

PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM TRACKING PANEL SURYA DUA DERAJAT KEBEBASAN MENGGUNAKAN METODE KENDALI LOGIKA FUZZY

Yulyanto Adi Prabowo^{*)}, Aris Triwiyatno, and Sumardi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: yulyantoadiprabowo@gmail.com, aristriwiyatno@yahoo.com, sumardi.undip@gmail.com

Abstrak

Pada saat sekarang ini, banyak negara telah mengembangkan energi alternatif yang baru untuk menggantikan energi yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil. Salah satu jenis energi terbarukan yang berkembang pesat dan banyak digunakan adalah energi matahari atau solar power yang digunakan sebagai pembangkit listrik, dalam bentuk panel surya. Dalam rangka mengoptimalkan penggunaan panel surya tersebut, diperlukan sebuah sistem pengendali yang dapat mengontrol posisi panel surya agar selalu mengikuti arah dan posisi dari matahari secara otomatis. Kelebihan dari sistem ini dapat mengikuti posisi matahari yang sebenarnya tempat terbit dan tenggelamnya tidak selalu tepat di timur dan di barat, melainkan berangsur-angsur bergeser ke sebelah utara atau ke sebelah selatan. Respon unjuk kerja antara sistem yang tanpa menggunakan kontroler fuzzy yaitu tegangan = 17,86 V, arus = 0,19 A, dan daya = 3,48 W, sedangkan untuk sistem yang menggunakan kontroler fuzzy 1 DOF (Degree Of Freedom) menghasilkan tegangan = 17,77 V, arus = 0,19 A, dan daya = 3,5 W, dan sistem dengan menggunakan kontroler fuzzy 2 DOF (Degree Of Freedom) menghasilkan tegangan = 17,72 V, arus = 0,19 A, dan daya = 3,47 W.

Kata kunci: Dua Derajat Kebebasan, Kendali Logika Fuzzy, LDR, Motor Servo, Panel Surya, Tracking

Abstract

Now a days, many countries have developed alternative energy to replace fossil fuels energy. One type of renewable energy where growing rapidly and widely used is solar energy or solar power that use as a power plant, in the form of solar panels. To optimize the application of solar panels, required a control system that can control the position of solar panels so that always follow the direction and position of the sun automatically. The advantages of this system can follow the actual position of the sun rising and setting places are not always exactly in the east and in the west, but gradually shifted to the north or to the south. Response performance between system with out the fuzzy controller produces voltage=17.86V, current=0.19A, and power=3.48W, while for the system use fuzzy controller with 1DOF(Degree Of Freedom) produces a voltage=17.77V, current=0.19A, and power=3.5W, and a system use fuzzy controller with 2DOF(Degree Of Freedom) produces a voltage V=17.72, current=0.19A, and power=3.47W.

Keywords: Fuzzy Logic Control, LDR, Servo Motors, Solar Panel, Tracking, Two Degrees of Freedom

1. Pendahuluan

Sumber energi terbarukan (*Renewable Energy*) merupakan teknologi pilihan untuk menghasilkan sumber energi bersih[1]. Salah satunya adalah konversi energi surya (matahari), yang merupakan topik paling sering dibahas dalam bidang sistem energi terbarukan (*Renewable Energy*)[2][3].

Matahari adalah sumber energi yang tidak terbatas dan memancarkan sekitar $3,86 \times 10^{26}$ Joule energi setiap detik. Meskipun beberapa dari energi ini hilang dalam atmosfer, namun jumlah energi tersebut yang mencapai permukaan

bumi setiap detik masih cukup untuk memenuhi permintaan energi dunia. Jumlah rata-rata energi matahari dipancarkan ke bumi adalah sekitar 1 kW/m^2 atau setara dengan 10000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Atau kata lain, dengan menutup 0,1 persen saja permukaan bumi dengan *solarcell* yang memiliki efisiensi 10 persen sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia saat ini[4].

Tingkat penggunaan radiasi matahari dapat dimaksimalkan dengan menggunakan sistem mekanik untuk orientasi modul PV sesuai dengan garis edar matahari. Pada dasarnya sistem pelacakan adalah sistem mekatronika yang mengintegrasikan mekanika,

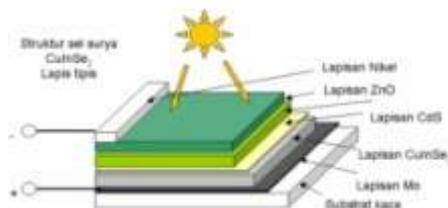
elektronika, dan teknologi informasi. Mekanisme ini digerakkan oleh motor rotari atau aktuator linier, yang dikontrol untuk memastikan posisi yang optimal dari modul PV relatif ke posisi matahari agar selalu sejajar. Orientasi dari modul photovoltaik dapat meningkatkan efisiensi sistem konversi dari 20% hingga 50% [3].

Sebuah modul photovoltaik dengan pelacakan efisien, jika kuantitas energi listrik yang dihasilkan oleh sistem secara substansial lebih besar daripada jumlah energi yang dihasilkan oleh modul tanpa pelacakan (tetap) dan konsumsi energi untuk pelacakan. Oleh karena itu, tugas utama dalam mengoptimalkan sistem pelacakan adalah untuk memaksimalkan keuntungan energik dengan meningkatkan masukan surya. Untuk mencapai kondisi efisiensi energik, semua komponen yang penting dari sistem pelacakan berupa perangkat mekanis, aktuator, sistem kontrol & kontroler, serta integrasi mereka. Tak kalah penting ada aspek ekonomis, mengenai biaya produk (yang termasuk biaya desain), keandalan, dan periode bayar kembali[2].

Maka dari latar belakang yang telah diungkapkan diatas, pada peneliatian ini penulis merancang sebuah sistem pelacakan fotovoltaiik (PV) dengan dua derajat kebebasan (DOF) yang menggunakan Logika Kendali Fuzzy (KLF) yang dapat mengaturposisi dari panel surya sedemikian rupa sehingga diharapkan akan selalu tegak lurus dengan posisi matahari sepanjang hari, sehingga menghasilkan tenaga listrik yang optimal dari *solar panel* tersebut.

2. Metode

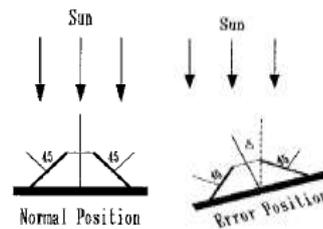
2.1. Sel Photovoltaik



Gambar1. Struktur Sel Surya [5]

Dalam proses konversi energi menjadi energi listrik pada *solar cell* ini dipengaruhi banyak faktor yang dapat mengurangi optimalisasi pengkonversian energi. Diantaranya adalah faktor orientasi terhadap matahari yang selalu berubah-ubah [5].

Energi matahari akan lebih banyak diserap ketika *solar cells* saat berhadapan langsung dengan pancaran sinar matahari, dalam artian posisi *solar cell* harus tegak lurus dengan cahaya yang datang. Dari kondisi ini, efektivitas *solar cell* dalam menghasilkan daya yang lebih besar lebih mudah didapat[5].



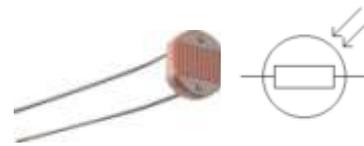
Gambar2. Posisi Solar Cell dalam menerima cahaya matahari [5]

2.2. LDR (Light Dependent Resistor)

Sebuah *Light Dependent Resistor* (LDR) terdiri dari sebuah piringan bahan semikonduktor dengan dua buah elektroda pada permukaannya. Biasanya LDR terbuat dari bahan Cds, CdSe, PbS, Dn Bi₂Se₃ [6].

2.2.1. Prinsip Kerja

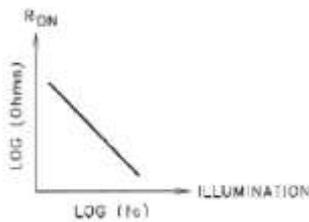
Dalam gelap atau dibawah cahaya yang redup, bahan piringan hanya mengandung elektron bebas dalam jumlah yang relatif sangat kecil. Hanya tersedia sedikit elektron bebas untuk mengalirkan muatan listrik. Hal ini berarti bahwa bahan bersifat sebagai konduktor yang buruk untuk mengalirkan arus listrik. Dengan kata lain, nilai tahanan bahan sangat tinggi [6].



(a) Konstruksi LDR (b) Simbol Skematik LDR

Gambar3. Bentuk LDR [6]

Di bawah cahaya yang terang, lebih banyak elektron dapat melepaskan diri dari atom-atom bahan semikonduktor ini. Terdapat lebih banyak elektron bebas yang mengalirkan muatan listrik. Hal ini disebabkan adanya efek foto elektrik (*photoelectric effect*) yaitu fenomena kuantum elektron dimana elektron-elektron dipancarkan atau dilepas oleh suatu bahan setelah menyerap energi dari radiasi gelombang elektromagnetik seperti sinar X (*X-ray*) atau cahaya tampak (*visible light*). Dalam keadaan ini, bahan bersifat sebagai konduktor yang baik. Semakin terang cahaya yang mengenai bahan, semakin banyak elektron bebas yang tersedia, dan semakin rendah pula tahanan listrik bahan. Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara intensitas cahaya terhadap resistansi LDR [6].



Gambar4. Grafik Hubungan Iluminasi dan Resistansi LDR [6]

2.2.2. Karakteristik LDR

2.2.2.1. Sensitivitas

Sensitivitas suatu LDR berhubungan dengan cahaya yang mengenainya dan hasil output sinyalnya. Resistansi LDR pada suatu tingkat (*level*) intensitas cahaya tertentu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, ditentukan melalui persamaan (1) [6]:

$$R_H = \rho_H \frac{w}{l} \tag{1}$$

Dimana,

- R_H = resistansi LDR pada intensitas cahaya *level* H
- ρ_H = data sensitivitas bahan LDR pada intensitas cahaya *level* H
- w = lebar celah elektroda
- l = panjang celah elektroda

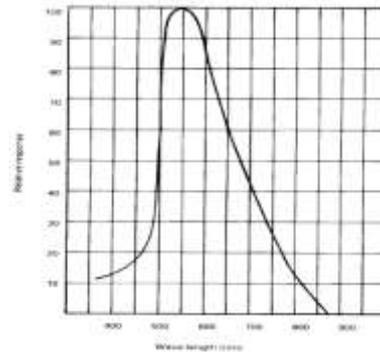
Pada gambar 5 terlihat bahwa bagian yang sensitif terhadap perubahan cahaya dibentuk dalam struktur yang berliku-liku, hal ini dimaksudkan agar resolusi tahanannya dapat sekecil mungkin [6].



Gambar 5. Geometri elektroda permukaan LDR [6]

2.2.2.2. Kecepatan Respon

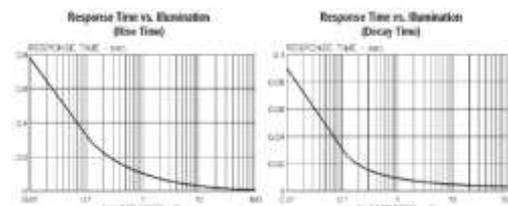
Kecepatan respon adalah pengukuran kecepatan saat LDR merespon perubahan cahaya dari terang ke gelap atau dari gelap ke terang. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar6. Grafik Respon LDR terhadap spektrum pada panjang gelombang cahaya[7]

Waktu naik (*rise time*) didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan konduktansi cahaya (*light conductance*) pada LDR untuk mencapai $1 - e^{-1}$ (sekitar 63%) dari nilai akhirnya. Waktu turun (*decay time*) didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan koonduktansi cahaya pada LDR untuk menurun sampai e^{-1} (sekitar 37%) dari keadaan teriluminasi, dimana *e* adalah bilangan Euler yang besarnya 2,718. Pada 1 fc (*fotocandela*) iluminasi, waktu respon sekitar 5ms sampai 100ms [6].

Kecepatan respon juga dipengaruhi oleh terang redupnya cahaya (*level* cahaya). Semua jenis material bahan LDR menunjukkan kecepatan responnya lebih tinggi saat *level* cahaya lebih terang dan kecepatan lebih rendah saat cahaya lebih redup. Penyimpanan LDR di ruang yang gelap akan menyebabkan respon lebih lambat daripada penyimpanan di ruang yang terang.



Gambar 7. Grafik Respon Waktu LDR [7]

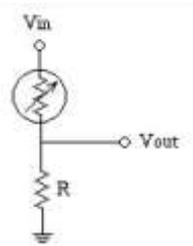
2.2.3. Perancangan LDR

LDR mempunyai karakteristik yang dapat berubah-ubah nilai resistansinya terhadap tingkat kepekaan cahaya. Semakin besar intensitas cahaya yang diterima LDR, maka semakin kecil nilai resistansinya. Dengan penyusunan posisi sensor menghadap keempat penjuru arah mata angin, maka diharapkan dapat menentukan kondisi dari keadaan di sekitar alat yang dapat memetakan orientasi alat terhadap posisi matahari.



Gambar 8. Peletakan Sensor Cahaya (LDR)

LDR akan menangkap cahaya matahari yang kemudian dirubah besarnya menjadi nilai resistansi terbalik dengan kuat cahaya yang diterima. Nilai resistansi LDR ketika menerima cahaya matahari dengan intensitas yang terang adalah sekitar $\pm 15 \Omega$. Sedangkan nilai resistansi LDR ketika tidak mendapat cahaya sama sekali (dalam kondisi gelap) adalah sekitar $\pm 4 M\Omega$.



Gambar 9. Konfigurasi Rangkaian Sensor Cahaya

Pada Gambar 9, LDR dan resistor 470Ω dikonfigurasi sebagai rangkaian pembagi tegangan dengan posisi LDR diatas, maka ketika ada cahaya, rangkaian akan menghasilkan tegangan keluaran dengan kisaran antara 0-5 V. Perhitungan tegangan keluarannya adalah :

- Kondisi gelap dengan tahanan LDR $4 M\Omega$ dan diasumsikan menggunakan resistor 470Ω .

$$V_{out} = \frac{470 \Omega}{470 \Omega + 4 M\Omega} \times 5V = 0,00058743 V \approx 0 V \quad (2)$$

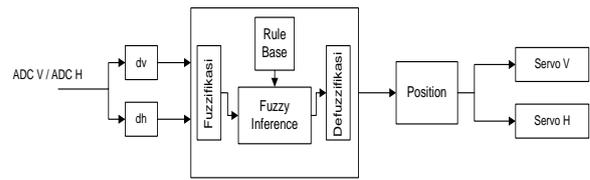
- Kondisi terang dengan tahanan LDR 15Ω dan diasumsikan menggunakan resistor 470Ω .

$$V_{out} = \frac{470 \Omega}{470 \Omega + 15 \Omega} \times 5 V = 4,84536 V \quad (3)$$

Tegangan keluaran yang dihasilkan rangkaian sensor cahaya ini mempunyai range antara 0 – 5 volt, jadi keluaran ini tidak memerlukan pengkondisi sinyal sehingga dapat langsung dipakai sebagai masukan pada ADC mikrokontroler ATmega8535.

2.3. Kendali Logika Fuzzy(KLF)

Logika Fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh seorang kebangsaan Iran yang menjadi guru besar di University of California at Berkeley pada tahun 1965. Logika fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (Artificial Intelgent) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin [8].



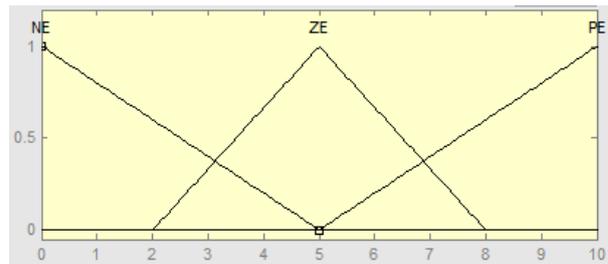
Gambar 10. Model Detail Kendali Logika Fuzzy (KLF)

Tabel 1. Interpretasi mekanisme LDR

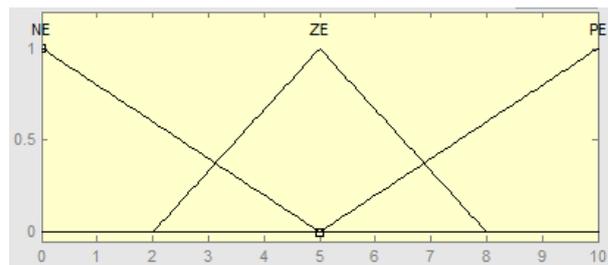
| | $d_v > V_{ref}$ | $d_v < V_{ref}$ | $d_v = V_{ref}$ |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| $d_H > V_{ref}$ | Timur ke Barat Selatan ke Utara | Timur ke Barat Utara ke Selatan | Timur ke Barat |
| $d_H < V_{ref}$ | Barat ke Timur Selatan ke Utara | Barat ke Timur Utara ke Selatan | Barat ke Timur |
| $d_H = V_{ref}$ | Selatan ke Utara | Timur ke Barat Selatan ke Utara | Center |

2.3.1. Fuzzifikasi

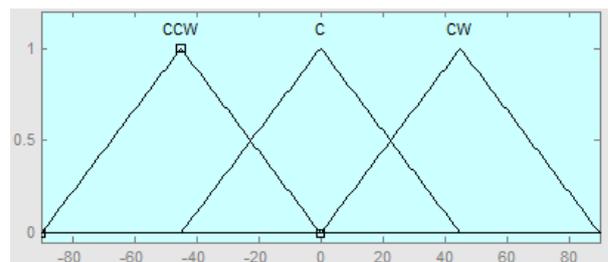
Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non fuzzy (variabel numerik) menjadi variabel fuzzy (variabel linguistik) [8].



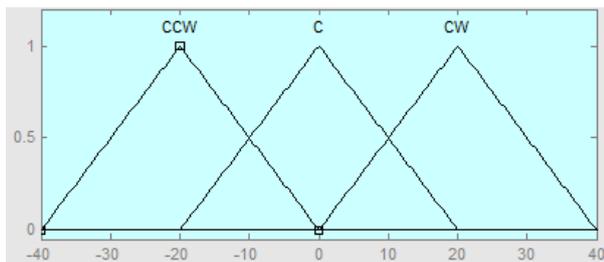
Gambar11. Fungsi Keanggotaan d_v



Gambar12. Fungsi Keanggotaan d_H



Gambar13. Fungsi Keanggotaan Output Horizontal



Gambar14. Fungsi Keanggotaan Output Vertikal

2.3.2. Inferencing (Rule Base)

Dengan *crisp* input dari masing-masing sensor dan *crisp* output dari masing-masing keluaran, maka dapat dibuat aturan atau rules sebanyak 9 aturan. Aturan-aturan tersebut antara lain :

1. Jika d_V adalah NE dan d_H adalah NE maka Servo1 adalah CCW dan Servo2 adalah CCW.
2. Jika d_V adalah NE dan d_H adalah ZE maka Servo1 adalah CCW dan Servo2 adalah C.
3. Jika d_V adalah NE dan d_H adalah PE maka Servo1 adalah CCW dan Servo2 adalah CW.
4. Jika d_V adalah ZE dan d_H adalah NE maka Servo1 adalah C dan Servo2 adalah CCW.
5. Jika d_V adalah ZE dan d_H adalah ZE maka Servo1 adalah C dan Servo2 adalah C.
6. Jika d_V adalah ZE dan d_H adalah PE maka Servo1 adalah C dan Servo2 adalah CW.
7. Jika d_V adalah PE dan d_H adalah NE maka Servo1 adalah CW dan Servo2 adalah CCW.
8. Jika d_V adalah PE dan d_H adalah ZE maka Servo1 adalah CW dan Servo2 adalah C.
9. Jika d_V adalah PE dan d_H adalah PE maka Servo1 adalah CW dan Servo2 adalah CW.

2.3.2. Defuzzifikasi

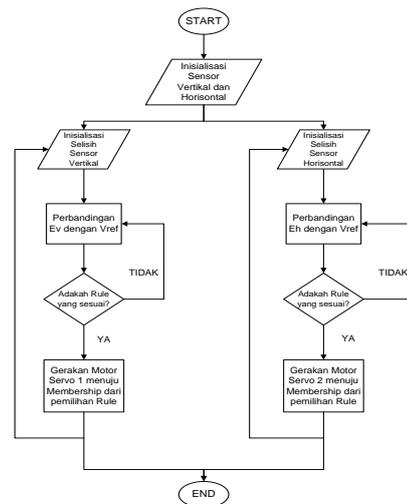
Defuzzifikasi yang digunakan dalam proyak akhir ini menggunakan penalaran fuzzy metode mamdani (*Centre of Area*). Digunakannya metode ini karena dalam sistem dibutuhkan proses yang cepat dan berlangsung kontinyu. Rumusan dasar penalaran fuzzy metode mamdani (COA) dapat ditunjukkan pada persamaan (4).

$$v_0 = \frac{\sum_{k=1}^m vk \mu_k(vk)}{\sum_{k=1}^m \mu_k(vk)} \quad (4)$$

Dimana,

vk = nilai dari proses AND antara input error d_H/d_V

$\mu_k(vk)$ = nilai singleton output



Gambar15. Proses Diagram Alir Sistem

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian LDR

Pada pengujian sensor cahaya bertujuan untuk mengetahui berapa besar nilai resistansi yang diterima LDR dan nilai besar tegangan ketika dihubungkan dalam rangkaian tertutup.



Gambar 16. Pengujian Sensor LDR

Tabel 2. Pengujian Sensor LDR Hari I

| Waktu (WIB) | Resistansi (Ω) | | | | Tegangan (Volt) | | | |
|-------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|--------|
| | SU | SS | ST | SB | SU | SS | ST | SB |
| 06.00 | 940 | 460 | 153 | 993 | 1,83 | 2,467 | 3,772 | 1,64 |
| 07.00 | 764 | 482 | 104 | 881 | 1,514 | 2,731 | 4,094 | 1,7395 |
| 08.00 | 677 | 628 | 218 | 468 | 1,676 | 2,241 | 2,683 | 2,071 |
| 09.00 | 1.277 | 822 | 607 | 797 | 1,206 | 1,625 | 2,030 | 1,663 |
| 10.00 | 194 | 190,1 | 142,1 | 269 | 3,278 | 3,433 | 3,67 | 3,124 |
| 11.00 | 483 | 375 | 173,6 | 244,6 | 3,72 | 3,852 | 4,02 | 3,545 |
| 12.00 | 151,1 | 109,6 | 141,7 | 174,1 | 3,31 | 3,69 | 3,8 | 3,7 |
| 13.00 | 585 | 94,4 | 161,1 | 76,2 | 2,249 | 3,84 | 3,364 | 3,82 |
| 14.00 | 1.621 | 336,4 | 459 | 2.279 | 0,963 | 2,531 | 2,279 | 2,391 |
| 15.00 | 251 | 186,3 | 573 | 175 | 3,042 | 3,479 | 2,092 | 3,375 |
| 16.00 | 317 | 672 | 766 | 639 | 2,591 | 2,951 | 1,515 | 2,955 |
| 17.00 | 588 | 364 | 1.425 | 575 | 1,901 | 2,302 | 1,001 | 2,44 |
| 18.00 | 628 | 677 | 468 | 218 | 1,676 | 2,241 | 2,071 | 2,683 |
| Rata - rata | 652,0 | 415,1 | 414,7 | 599,1 | 2,23 | 2,88 | 2,80 | 2,70 |

Tabel 3. Pengujian Sensor LDR Hari II

| Waktu (WIB) | Resistansi (Ω) | | | | Tegangan (Volt) | | | |
|-------------|----------------|-------|-----|-------|-----------------|-------|-------|-------|
| | SU | SS | ST | SB | SU | SS | ST | SB |
| 06.00 | 873 | 497 | 146 | 1.128 | 1,75 | 2,43 | 3,815 | 1,471 |
| 07.00 | 738 | 421 | 139 | 973 | 1,945 | 2,638 | 3,859 | 1,629 |
| 08.00 | 247,2 | 136,1 | 287 | 538 | 3,048 | 3,393 | 3,125 | 2,78 |

| | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 09.00 | 310,7 | 115,1 | 360 | 424 | 2,584 | 3,81 | 2,637 | 2,34 |
| 10.00 | 151 | 65,3 | 156,6 | 215 | 2,917 | 3,577 | 3,046 | 2,35 |
| 11.00 | 885 | 420 | 643 | 957 | 1,667 | 2,703 | 2,172 | 2,148 |
| 12.00 | 77,5 | 58,3 | 58,5 | 128,1 | 3,97 | 3,98 | 4,08 | 3,596 |
| 13.00 | 322,8 | 231,4 | 656 | 250 | 2,964 | 3,007 | 1,698 | 2,859 |
| 14.00 | 433 | 271,9 | 989 | 364 | 2,002 | 2,529 | 1,067 | 2,241 |
| 15.00 | 231,8 | 157,8 | 421 | 217 | 3,042 | 3,479 | 2,092 | 3,376 |
| 16.00 | 306 | 297,4 | 963 | 729,4 | 2,591 | 2,951 | 1,515 | 2,955 |
| 17.00 | 684 | 265 | 1.237 | 517 | 1,901 | 2,302 | 1,001 | 2,440 |
| 18.00 | 592 | 567 | 415 | 196 | 2,213 | 2,266 | 2,655 | 3,528 |
| Rata - rata | 503,9 | 269,5 | 497,8 | 510,5 | 2,51 | 3,01 | 2,52 | 2,59 |

Tabel 4. Pengujian Sensor LDR Hari III

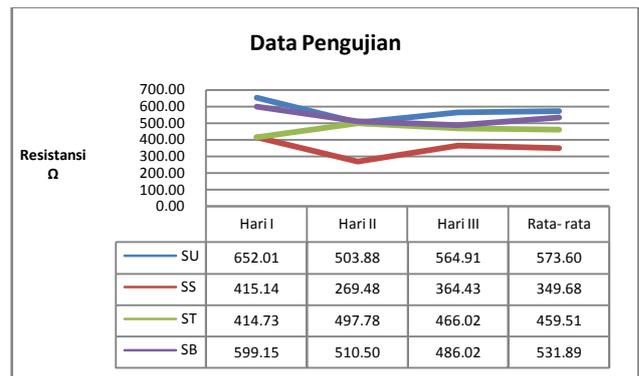
| Waktu (WIB) | Resistansi (Ω) | | | | Tegangan (Volt) | | | |
|-------------|-------------------------|-------|------|-----|-----------------|-------|-------|-------|
| | SU | SS | ST | SB | SU | SS | ST | SB |
| 06.00 | 1.117 | 645,1 | 375 | 989 | 1,48 | 2,107 | 2,781 | 1,61 |
| 07.00 | 584,7 | 312 | 98,7 | 834 | 2,228 | 3,005 | 4,132 | 1,802 |
| 08.00 | 677 | 628 | 218 | 468 | 1,676 | 2,241 | 2,683 | 2,071 |

Tabel 4. Pengujian Sensor LDR Hari III (Lanjutan)

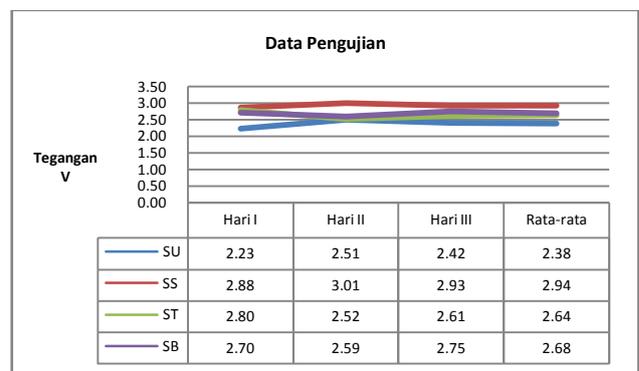
| Waktu (WIB) | Resistansi (Ω) | | | | Tegangan (Volt) | | | |
|--------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| | SU | SS | ST | SB | SU | SS | ST | SB |
| 09.00 | 1.277 | 822 | 607 | 797 | 1,206 | 1,652 | 2,030 | 1,663 |
| 10.00 | 194 | 190,1 | 142,1 | 269 | 3,278 | 3,433 | 3,67 | 3,124 |
| 11.00 | 151,1 | 109,6 | 141,7 | 174,1 | 3,31 | 3,69 | 3,8 | 3,7 |
| 12.00 | 124,5 | 102,9 | 74,7 | 96,2 | 3,43 | 3,66 | 3,798 | 3,62 |
| 13.00 | 162 | 104 | 420 | 106 | 3,718 | 4,094 | 2,64 | 4,08 |
| 14.00 | 1,634 | 336,4 | 459 | 427 | 0,963 | 2,531 | 2,279 | 2,391 |
| 15.00 | 317,7 | 672,5 | 766,1 | 639,8 | 2,591 | 2,951 | 1,515 | 2,955 |
| 16.00 | 231 | 157 | 421,3 | 217,2 | 3,042 | 3,479 | 2,092 | 3,376 |
| 17.00 | 306,5 | 297 | 963,6 | 729 | 2,591 | 2,951 | 1,515 | 2,955 |
| 18.00 | 567,3 | 361 | 1.371 | 572 | 1,901 | 2,302 | 1,001 | 2,44 |
| Rata - rata | 564,9 | 364,4 | 466,0 | 486,0 | 2,42 | 2,93 | 2,61 | 2,75 |

Dari data yang teramati dapat disimpulkan bahwa matahari bergerak dari arah timur ke barat (ditunjukkan dari ST dan SB) dan pada saat dilakukan pengujian posisinya berada di sebelah selatan garis kathulistiwa(ditunjukkan dari SU dan SS).

Perbedaan yang terjadi dari pada setiap data pengujian yang teramati, dikarenakan besarnya intensitas cahaya matahari yang diterima sensor cahaya (LDR) pada setiap waktu pengujian (hari dan jam) tidak selalu sama atau dengan kata lain tidak linear.



Gambar17. Grafik Pengujian Resistansi LDR



Gambar18. Grafik Pengujian Tegangan LDR

Dari grafik pengujian LDR, yang ditunjukkan pada Gambar 17 dapat diketahui bahwa resistansi rata-rata yang didapatkan sensor utara (SU) adalah sebesar 573,6 Ω dengan nilai tegangan rata-rata sebesar 2,38 V (ditunjukkan pada Gambar 18), dan resistansi rata-rata yang didapatkan sensor selatan (SS) adalah sebesar 349,68 Ω dengan nilai tegangan rata-rata sebesar 2,94 V (ditunjukkan pada Gambar 18). Sedangkan untuk sensor timur (ST), resistansi rata-rata yang didapatkan adalah sebesar 459,51 Ω dengan nilai tegangan sebesar 2,64 V (ditunjukkan pada Gambar 18), dan untuk sensor barat (SB) resistansi rata-rata yang didapatkan adalah sebesar 531,89 Ω dengan nilai tegangan rata-rata sebesar 2,68 V (ditunjukkan pada Gambar 18).

3.2. Pengujian Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy (KLF)

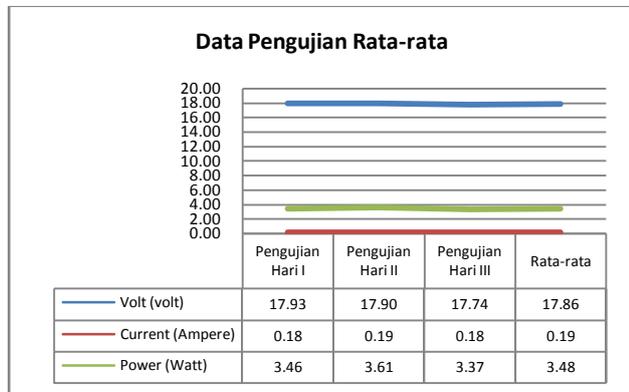


Gambar 19. Pengujian Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy (KLF)

Pada pengujian rangkaian total ini dilakukan tanpa menggunakan kontroler Fuzzy, sehingga sistem berada dalam kondisi statis yang menyebabkan sistem hanya berada pada satu posisi saja tanpa mengikuti pergerakan dari matahari.

Tabel 5. Pengujian Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy (KLF)

| Pengujian | Volt (volt) | Current (Ampere) | Power (Watt) | LDR U | LD RS | LD RT | LD RB |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|
| Pengujian Hari I | 17.93 | 0.18 | 3.46 | 114 | 146 | 143 | 138 |
| Pengujian Hari II | 17.90 | 0.19 | 3.61 | 112 | 145 | 140 | 136 |
| Pengujian Hari III | 17.74 | 0.18 | 3.37 | 106 | 135 | 143 | 137 |
| Rata-rata | 17.86 | 0.19 | 3.48 | 111 | 142 | 142 | 137 |



Gambar20. Grafik Pengujian Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy (KLF)

Berdasarkan data hasil pengujian yang dilakukan selama tiga hari (ditunjukkan pada Tabel 5), dapat diketahui bahwa sistem yang bekerja tanpa kontroler fuzzy menghasilkan tegangan rata-rata terbesar 17,86 V, arus rata-rata terbesar 0,19 A, dan daya rata-rata terbesar 3,48 W.

3.3. Pengujian Sistem Menggunakan Kendali Logika Fuzzy (KLF) Dengan 1 DOF

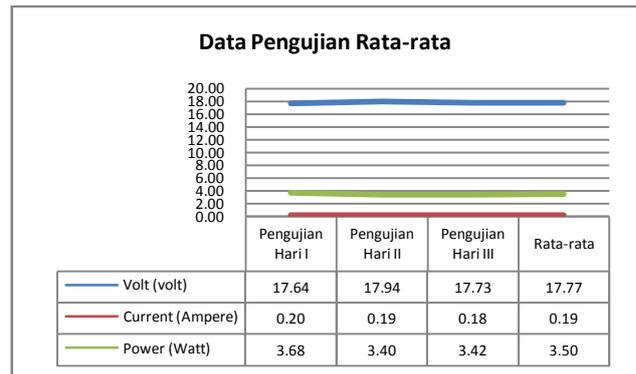


Gambar 21. Pengujian Sistem Dengan Kendali Logika Fuzzy (KLF) 1 DOF

Pada pengujian rangkaian total ini dilakukan dengan menggunakan kontroler Kendali Logika Fuzzy (KLF) 1 DOF (*Degree Of Freedom*), sehingga sistem akan melakukan pelacakan matahari hanya berdasarkan posisi sebelah barat dan timur saja.

Tabel 6. Pengujian Sistem Dengan Kendali Logika Fuzzy (KLF) 1 DOF

| Pengujian | Volt (volt) | Current (Ampere) | Power (Watt) | LD RU | LD RS | LD RT | LD RB |
|--------------------|--------------|------------------|--------------|----------|----------|------------|------------|
| Pengujian Hari I | 17.64 | 0.20 | 3.68 | 0 | 0 | 142 | 135 |
| Pengujian Hari II | 17.94 | 0.19 | 3.40 | 0 | 0 | 140 | 144 |
| Pengujian Hari III | 17.73 | 0.18 | 3.42 | 0 | 0 | 139 | 135 |
| Rata-rata | 17.77 | 0.19 | 3.50 | 0 | 0 | 140 | 138 |



Gambar22. Grafik Pengujian Sistem Dengan Kendali Logika Fuzzy (KLF) 1 DOF

Berdasarkan data hasil pengujian yang dilakukan selama tiga hari (ditunjukkan pada Tabel 6), dapat diketahui bahwa sistem yang menggunakan kontroler fuzzy 1 *Degree Of Freedom* (DOF) menghasilkan tegangan rata-rata terbesar 17,77 V, arus rata-rata terbesar 0,19 A, dan daya rata-rata terbesar 3,5 W.

3.4. Pengujian Sistem Menggunakan Kendali Logika Fuzzy (KLF) Dengan 2 DOF

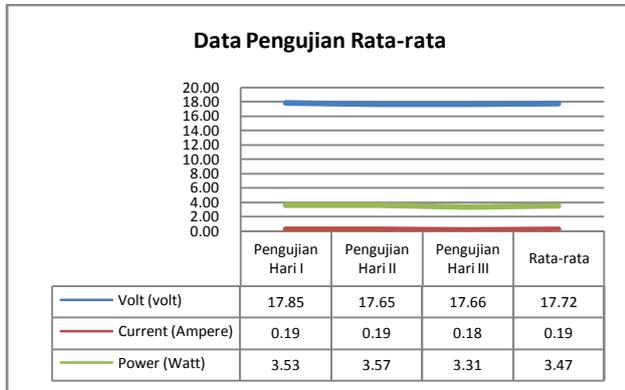


Gambar 23. Pengujian Sistem Dengan Kendali Logika Fuzzy (KLF) 2 DOF

Tabel 7. Pengujian Sistem Dengan Kendali Logika Fuzzy (KLF) 2 DOF

| Pengujian | Volt (volt) | Current (Ampere) | Power (Watt) | LD RU | LD RS | LD RT | LD RB |
|-------------------|-------------|------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Pengujian Hari I | 17.85 | 0.19 | 3.53 | 105 | 139 | 139 | 136 |
| Pengujian Hari II | 17.65 | 0.19 | 3.57 | 104 | 139 | 139 | 136 |

| | | | | | | | |
|--------------------|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Pengujian Hari III | 17.66 | 0.18 | 3.31 | 102 | 137 | 140 | 136 |
| Rata-rata | 17.72 | 0.19 | 3.47 | 103 | 138 | 139 | 136 |



Gambar 24. Grafik Pengujian Sistem Dengan Kendali Logika Fuzzy (KLF) 2 DOF

Berdasarkan data hasil pengujian yang dilakukan selama tiga hari (ditunjukkan pada Tabel 7), dapat diketahui bahwa sistem yang menggunakan kontroler fuzzy 2 *Degree Of Freedom* (DOF) menghasilkan tegangan rata-rata terbesar 17,72 V, arus rata-rata terbesar 0,19 A, dan daya rata-rata terbesar 3,47 W.

4. Kesimpulan

Perbedaan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh masing-masing sensor cahaya (LDR) tidak selalu sama (tidak linear) dan sistem (prototipe) telah mampu untuk melakukan *tracking* matahari. Perbandingan respon unjuk kerjasolar *paneldipengaruhi* faktor-faktor diantaranya suhu *solar cell*, radiasi matahari, dan orientasi untuk mendapatkan nilai yang maksimum. Untuk pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan perbaikan pada rangkaian mekanis, sehingga mampu untuk bekerja lebih optimal lagi, dan juga dilakukan pengujian dengan kondisi berbeda seperti model ketinggian, suhu dan kelembaban, serta parameter lainnya yang mempengaruhi.

Referensi

- [1]. Usta, M. A. Ö. Akyaz , İ. H. Altaş. *Systems Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller*.Elazığ, Turkey. 16-17 May 2011.
- [2]. Catalin, Alexandru.*Optimal Design of the Controller for a Photovoltaic Tracking System Using Parametric Technique*.Transilvania University of Braşov, Romania. 2010.
- [3]. Guo, Liping, Paul Curtis, Andrew Barendregt, Anthony Surillo. *A SUN-TRACKING SOLAR-POWER SYSTEM* . Northern Illinois University, USA. 2009.
- [4]. Babatunde, E. B. *Solar Radiation, a Friendly Renewable Energy Source*. Covenant University, Ota, Ogun State, Nigeria. 1995.

- [5]. Lorenzo, Eduardo. *Solar Electricity, Engineering of PhotovoltaicSystems*. Madrid: Polytechnic University of Madrid. 1994.
- [6]. Seipel, Robert G.*Optoelectronics for Technicians and Engineering*. Prentice Hall College Div. New Jersey, USA. 1989.
- [7]. -----, Datasheet LDR.
- [8]. Jantzen, Jan. *Tutorial On Fuzzy Logic*. Technical University of Denmark, Department of Automation. Denmark.1998.