

RANCANG BANGUN SOLAR TRACKER DUAL AXIS MENGUNAKAN FUZZY BASED UNTUK OPTIMASI PLTS SKALA KECIL

¹ Krisna Ardi Nugraha, ² Awan Uji Krismanto,
^{1,2} Teknik Elektro S1 ITN Malang, Malang, Indonesia
¹krisnaardi57@gmail.com, ²awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS) merupakan pembangkit listrik alternative yang ramah lingkungan yang kebanyakan saat ini dirakit dan dipasang secara tegak lurus dengan arah sinar matahari, dimana posisi ini kurang optimal dalam penyerapan sinar matahari. Demi memaksimalkan penyerapan solar panel harus sejajar dengan matahari. Untuk itu diperlukan sistem tracker agar panel surya dapat mengikuti arah sinar matahari. Sistem dual axis solar tracker merupakan perangkat yang mengikuti posisi matahari sepanjang harinya untuk memanfaatkan daya outpunyat. Solar tracker meningkatkan produksi daya output dengan menjaga panel surya sejajar dengan matahari sehingga radiasi matahari membuat sudut 90° dengan solar cell. Pada makalah ini menyajikan pelacakan matahari sistem diimplementasikan secara real time. Sistem solar tracker ini terdiri dari pengontrol logika fuzzy yang diimplementasikan pada arduino uno, sensor, panel surya, motor dc dan input-output lainnya.

Kata Kunci: Solar Tracker, Dual Axis, Solar Cell, Fuzzy, PLTS

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik masyarakat Indonesia semakin tinggi. Kemajuan teknologi serta bertambahnya penduduk menjadi sebab utama. Sehingga sosialisasi hemat listrik gencar dilakukan oleh perusahaan listrik negara. Hal ini dilakukan untuk menekan penggunaan energi listrik pada beban puncak di waktu tertentu. (Kodrat Wirawan Fauzi, 2018) pembangkit listrik energi baru terbarukan mulai mengambil peran dominan dalam memenuhi kebutuhan permintaan energi listrik dengan ini diharapkan kedepanya penggunaan sumber daya berbahan bakar fosil semakin berkurang. (Kholiq, 2015) Energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari lingkungan alami dan tidak akan habis. Angin, sinar matahari, geothermal dan biomassa adalah sumber energi yang dapat diperbarui. diantara berbagai jenis energi terbarukan, energi matahari adalah yang paling efektif dan efisien untuk menghasilkan listrik. dimana di indonesia

berada di sekitar garis ekuator sehingga setiap tahun mendapatkan sinar matahari secara penuh dengan ini penggunaan panel surya sangat efektif digunakan di indonesia. apalagi teknologi solar cell memiliki kelebihan seperti sumber utamanya tidak terbatas, mudah diakses, berlimpah, tidak berpolusi, aman, bersih. (Dafi Dzulfikara, 2016) radiasi matahari terdiri dari 3 jenis radiasi langsung, radiasi hambur, radiasi total ketika cuaca mendung atau pada saat solar cell basah, solar cell tidak dapat menangkap radiasi matahari yang cukup untuk menghasilkan listrik. (M. Helmi, 2019) Sealin itu, masalah panel surya adalah memiliki efisiensi yang rendah dalam menghasilkan daya output maksimum dari matahari. untuk mengatasi masalah ini, banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi daya keluaran dengan menggunakan sistem pelacakan surya atau solar tracker. (Suwarti, 2018) Dengan demikian, efisiensi energi matahari dapat ditingkatkan dengan menerapkan sistem pelacakan atau solar tracker agar mendapatkan titik daya maksimum untuk panel surya.

Dari latar belakang permasalahan tersebut, maka terdapat beberapa pokok permasalahan yaitu :

1. Bagaimana merancang solar tracking system ?
2. Bagaimana membuat sistem solar tracker untuk PLTS 200wp selalu berada dalam sudut 90° dengan posisi sinar matahari.
3. Bagaimana cara LDR dan mikrokontroler dapat bekerja menggunakan metode fuzzy ?

Tujuan dari perancangan dual axis solar tracker system yang apat digunakan di seluruh wilayah dan juga membantu pemerintah dalam upaya mengatasi masalah energi terutama dalam pencarian dan pengoptimalan energi baru terbarukan.

II. KAJIAN PUSTAKA

Sistem solar tracker ini terdiri dari motor dc untuk memutar panel surya. Sensor cahaya dipasang ditepi panel surya, sensor itu menentukan intensitas matahari kemudian membaca sensor diberikan ke mikrokontroler arduino. Mikrokontroler menentukan posisi matahari dan putaran motor dc untuk menyelaraskan panel surya dengan matahari.

1. Logika Fuzzy

Penelitian yang dilakukan pada makalah ini menggunakan sistem pengontrolan Fuzzy. Perlu dipahami sebelumnya bahwa model logika fuzzy merupakan hubungan input dan output yang berisi fuzzifier, defuzzifier, mesin inference dan aturan basis fuzzy (rule base fuzzy).

A. Input dan Output

Untuk menjalankan pengontrolan logika fuzzy dalam suatu program, langkah pertama adalah mengidentifikasi variable output dan input untuk fuzzy. Dalam perencanaan ini terdapat 2 set input dan output, dimana setiap output dikendalikan oleh satu input. Setiap input berasal dari perbedaan nilai output antara dua sensor LDR untuk mengontrol satu output, yang merupakan rotasi moto. Oleh karena itu setiap input akan mengontrol satu output, baik vertical atau horizontal.

B. Fuzzification

Fuzzification adalah proses mengubah nilai crisp menjadi variable linguistic fuzzy dihadirkan dalam sebuah bentuk himpunan fuzzy dengan satu fungsi keanggotaanya masing masing. Misalnya ketika S1 mendeteksi intensitas lebih tinggi daripada S2 maka himpunan fuzzy ditentukan negative.

C. Knowledge base

Pengontrolan logika fuzzy terdiri dari database dan basis aturan. Aturan control fuzzy dalam perancangan solar tracker ini didasarkan pada proses model fuzzy, yang berarti bahwa aturan control fuzzy IF-THEN dinuat untuk melacak maksimum intensitas cahaya matahari. metode ini sedikit rumit daripada metode lain, tetapi menghasilkan kinerja dan keandalan yang lebih.

D. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah langkah proses terakhir dari fuzzy logic dimana tujuannya untuk mengonversikan setiap hasil inference engine yang diekspresikan dalam bentuk fuzzy set kesatuan bilangan real. Hasil dari konversi tersebut yaitu aksi yang dilakukan oleh sistem kendali fuzzy.

2. Panel Surya

Solar cell atau panel surya merupakan komponen yang terdiri dari sell surya yang dapat merubah menjadi energi listrik. Disebut surya atas matahari atau “sol” dikarenakan matahari adalah sumber cahaya terkuat yang bisa dimanfaatkan. Panel surya atau solar cell sering kali disebut

sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan juga sebagai “cahaya-listrik”.

Modul sell surya *photovoltaic*. Komponen utama sistem surya *photovoltaic* merubah panas matahari menjadi arus listrik DC. Komponen utama sistem surya *photovoltaic* adalah modul unit rangkaian dari beberapa sel surya *photovoltaic*. Panel surya pada perancangan *solar tracker* menggunakan panel dengan output 200 WP (*wattpeak*) berbahan *polycrystalline*.



Gambar 1. Solar Cell 200wp

Tabel 1. Spesifikasi Solar Cell

Spesifikasi	Keterangan
Production	Luminous
Max. Power Voltage (Pmax)	200 Watt
Max. Power Voltage (Vmp)	36,3 V
Max. Power Current (Imp)	5,51 A
Open Circuit voltage	42,8 V
Short Circuite Voltage	6,02 A
Dimension	1330x990 mm
Application Class	Class A

3. Baterai

Baterai yang pada umumnya digunakan pada sistem surya atau *photovoltaic* yaitu baterai *lead acid SLI*, *lead acid low antimony* dan *nickel cadmium*. Tetapi karena factor sulitnya mendapatkan jenis baterai *lead acid low antimony* dan *nickel cadmium* serta faktor harga, maka dipilih jenis baterai, maka dipilih jenis baterai atau aki cair dengan tipe Yuasa Pafecta 50ZL-55D26L dengan output 12V/60ah.

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini fungsi dari battery aki ini adalah sebagai media untuk menyimpan energy listrik yang dihasilkan dari sel surya, selain itu battery aki ini juga berfungsi sebagai suplai daya untuk komponen komponen antara lain, *Motor dc*, *Arduino Uno*, *Sensor LDR*, *Driver Motor*, *Display* alat ukur tegangan dan arus, *solar charge controller*.



Gambar 2. Aki Yuasa 50ZL-55D26L

4. Sensor LDR

Selanjutnya, empat sensor LDR dipasang di samping panel surya. Sensor LDR terhubung ke analog arduino uno. Sensor ditempatkan di empat sisi utara, selatan, timur dan barat panel surya. Dimana sensor terhubung seri dengan variable penghambat, sensor ini mendeteksi intensitas sinar matahari dan membandingkan nilai analog dengan resistor 10 k Ω . konfigurasi sensor LDR adalah terletak di sirkuit pembagi tegangan, dimana sensor diperbaiki secara seri dengan resistor. Perbedaan tegangan muncul di setiap sensor untuk berbagi tingkatan cahaya, dimana LDR berubah nilai resistif tergantung intensitas cahaya.



Gambar 3. Sensor LDR

5. Mikrokontroler Arduino Uno

Didalam sebuah rangkaian board arduino terdapat mikrokontroler AVR seri ATmega 328P yang merupakan produk dari atmel. Pada IC ini semua program *solar tracker* diisikan, bahasa yang digunakan pada pemograman arduino ialah bahasa C yang disederhanakan menjadi bahasa syntax pemogramannya sehingga lebih mudah, sehingga perancangan ini dapat berjalan sesuai dengan yang dikehendaki. Spesifikasi dari data teknis yang terdapat pada board mikrokontroler arduino uno R3 ialah sebagai berikut . Integrated circuit (IC) ini memiliki 14 Output/input digital (6

Output PWM). 6 analog input, Soket USB, pin header ICSP, Soker adaptor, resonator Kristal kramik 16MHz dan tombol reset. Inilah yang digunakan atau dibutuhkan untuk mensupport arduino uno secara mudah terhubung dengan kabel power dari USB atau baterai dan juga adaptor AC ke DC.

Mikrokontroler Arduino Uno R3 berbeda dari semua board mikrokontroler diawal awal yang tidak menggunakan chip khusus driver FTDI USB-to-serial adalah ATmega16U2 versi R2 (versi sebelumnya dari ATmega8U2. Versi dari Mikrokontroler Arduino Rev.2 dilengkapi dengan resistorke 8U2 ke garis ground yang lebih mudah diberikan ke mode DFU. Ini dapat dimanfaatkan untuk mewujudkan sebuah rangkaian elektronik rangkaian sederhana hingga yang sangat kompleks. Digunakan sebagai pengendali LED hingga untuk pengontrolan robot dapat diimplementasikan dengan cara menggunakan board atau papan yang berukuran relative kecil. Bahkan , dengan menambahkan komponen komponen tertentu , dapat juga digunakan untuk pemantauan jarak jauh melalui internet. Seperti pemantauan kondisi pasien di puskesmas dan penendali alat alat disekolah.



Gambar 4. Arduino Uno

Tabel 2. Spesifikasi Arduino Uno

Spesifikasi	Keterangan
Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-12V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 Ma
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16MHz

Gambar 6. Driver Motor XY-160D

6. Penentuan Motor DC

Perancangan *solar tracker* pada panel surya yang menggunakan motor dc untuk menggerakkan panel surya, pada perancangan ini digunakan motor dc dikarenakan dibutuhkan torsi yang besar untuk memutar panel surya. Juga dikarenakan dalam penelitian ini motor servo tidak kuat untuk memutar panel maka digunakan motor dc.



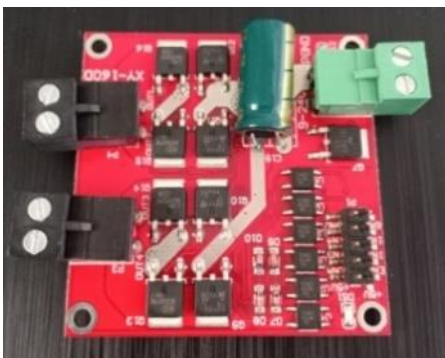
Gambar 5. Motor DC

Tabel 3. Spesifikasi Motor DC

Spesifikasi	Keterangan
Maximum load	40kg
Protection	East/west limit protection
V/I/W	12V/7A/12.30W

7. Driver Motor

Perencanaan *solar tracker* pada propane surya yang menggunakan driver motor tipe XY-160D untuk memodulasi lebar pulsa yang digunakan untuk menggerakkan motor pada *solar tracker* ini sehingga kecepatan motor bisa dikontrol. Driver motor ini memiliki input tegangan 6,5-27 Volt dan arus keluaran 7A pada setiap channel, arus puncak 50A setiap channel.



Tabel 4. Spesifikasi Driver Motor

Spesifikasi	Keterangan
Model	XY-160D
Voltage Input	6.5V-27V
PWM Frequency	0-10KHZ
Output Current	10 A
Peak Current	50A
Product Size	55x55x16mm

8. Solar Control Charger

Untuk perancangan alat ini digunakan solar control charger dengan tipe PWM dengan maksimal arus 10 A . Solar control charger ini menggunakan pulse width modulation (PWM) untuk mengatur proses pengisian baterai dan over charging ke baterai. Kebutuhan beban juga dapat diambil dari solar control charger



Gambar 7. Solar Control Charger

Tabel 5. Spesifikasi Solar Control Charger

Spesifikasi	Keterangan
Battery Voltage	12-24 Volt
Max Solar Input	50 V
Max Power Current	10 A

9. Kabel

Kabel jumper dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Male to male
2. Male to female
3. Female to female

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

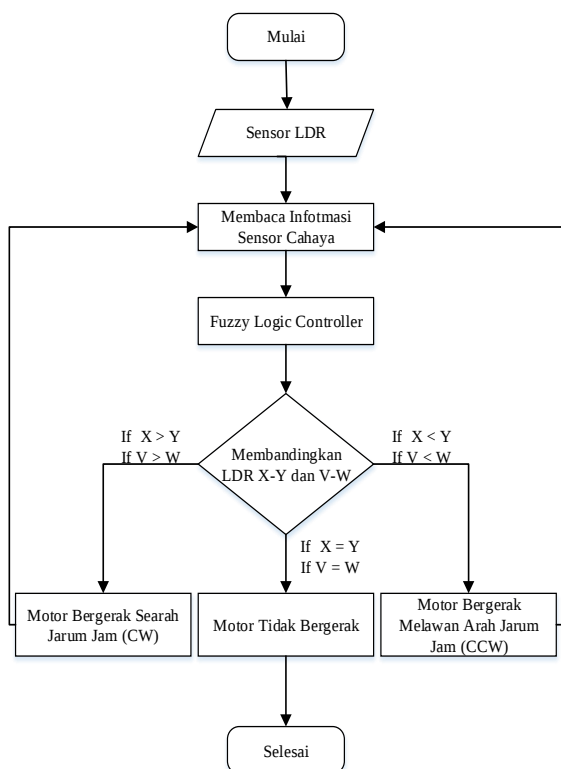
Bagian ini akan membahas mengenai perencanaan dan pembuatan alat, mulai dari menentukan bahan serta

komponen yang digunakan, serta tahapan-tahapan perencanaan *dual axis solar tracker* pembangkit listrik tenaga surya menggunakan sensor LDR berbasis arduino dengan menggunakan logika *fuzzy*, baik dalam menentukan jenis *solar cell* yang digunakan serta penentuan komponen-komponen lainnya seperti motor dc dan lain sebagainya, serta menentukan jumlah LDR yang diperlukan untuk menggerakkan *solar cell* agar bergerak ke atas, bawah, kanan dan kiri.

B. Alur Perencanaan dan Pembuatan Alat

Masuk pada tahap perencanaan yaitu mencari solusi terhadap permasalahan yang ditimbulkan pada tahap pengidentifikasian masalah. Setelah itu pembuatan alat *solar tracker* dengan komponen yang sudah ditentukan antara lain sensor LDR, setiap sensor diberi pembatas pipa untuk membantu penyorotan matahari secara langsung dan untuk mengurangi efek radiasi matahari yang dipantulkan tersebar. Sensor LDR S1 (sisi barat) dan S2 (sisi timur) digunakan untuk mengontrol sumbu vertical, S3 (sisi utara) dan S4 (sisi selatan) untuk mengatur sumbu horizontal. Arduino merupakan mikrokontroler yang sempurna untuk perencanaan ini karena dapat bekerja efisien dalam jangka waktu yang cepat, konsumsi daya rendah, jumlah input / output dan sebagainya. Untuk sistem input 3mpat LDR dipilih karena kemampuannya untuk mendeteksi intensitas matahari secara akurat. Driver motor dan motor dc digunakan untuk mengontrol arah dan posisi dari solar tracker, digunakanya motor dc dikarenakan memiliki torsi yang tinggi sehingga dapat memutar panel surya.

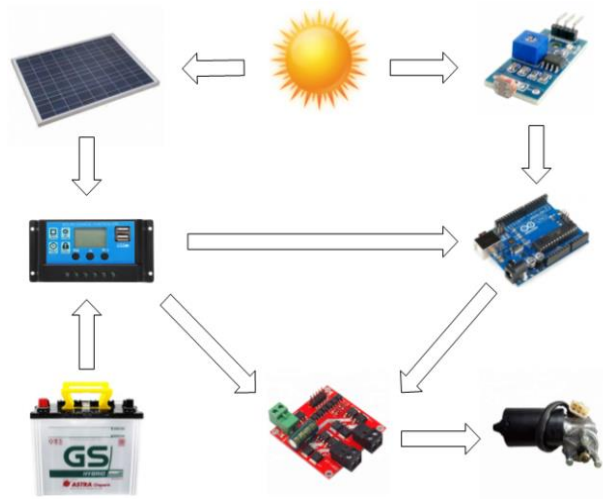
C. Flowchart Cara Kerja Rangkaian Solar Tracker



Gambar 8. Flowchart Sistem Kerja Alat

D. Diagram Blok Solar Tracker

Diagram blok merupakan gambaran dasar dari suatu sistem yang akan dirancang. Dari diagram blok dibawah dapat diketahui fungsi-fungsi dari peralatan yang digunakan dalam perancangan solar tracker sampai dapat digunakan.



Gambar 9. Blok Diagram

E. Perencanaan Solar Tracker



Gambar 10. Desain Perancangan Alat

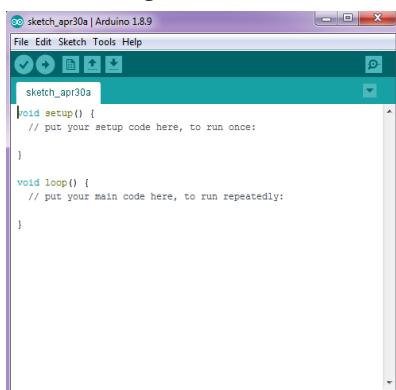
F. Cara Kerja Solar Tracker

Sistem tracker ini menggunakan beberapa komponen utama mikrokontroler arduino uno, empat sensor LDR, driver motor dan motor dc. Metode fuzzy diterapkan dalam sistem melalui arduino uno tujuan digunakanya metode

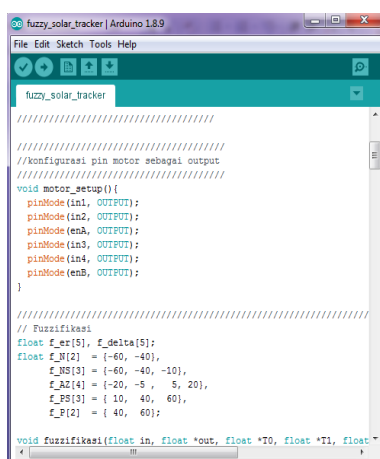
fuzzy ini adalah untuk meminimalkan konsumsi daya dan memaksimalkan energi matahari. arduino mengontrol keseluruhan kinerja sistem kemudian fuzzy memberikan kesimpulan atau keputusan utama mengenai posisi mana panel surya harus memutar arah rotasinya. Sensor LDR yang telah terpasang digunakan untuk mendeteksi perubahan arah matahari , dengan itu pelacakan cahaya matahari dapat dilakukan. Output sensor diteruskan ke mikrokontroler arduino yang selanjutnya digunakan sebagai variable input fuzzy logic. Kemudian fuzzy memberikan keputusan ke driver motor untuk memutar motor dc secara horizontal maupun vertical ke posisi panel surya agar tegak lurus dengan cahaya matahari sehingga intensitas radiasi matahari dapat dimaksimalkan.

G. Pemrograman Arduino

Fungsi dari program disini antara lain yaitu, mengolah data yang diterima oleh sensor ldr dengan metode fuzzy yang selanjutnya akan memberikan output berupa pulsa yang digunakan untuk menggerakan motor dc.



Gambar 11. Tampilan awal program Arduino

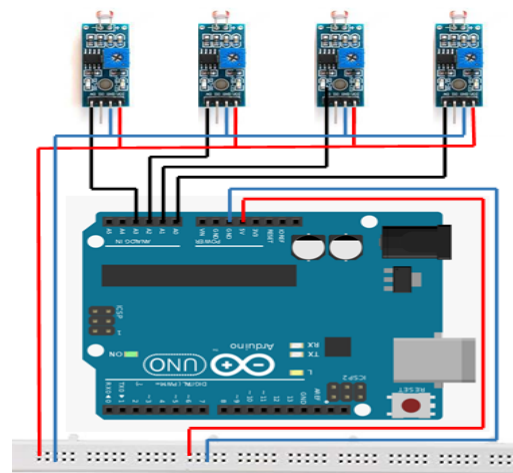


Gambar 12. Bentuk code arduino

H. Perancangan Solar Tracker

Pada bagian ini dijelaskan secara detail penyambungan dan pengkabelan antara arduino dengan LDR, Arduino

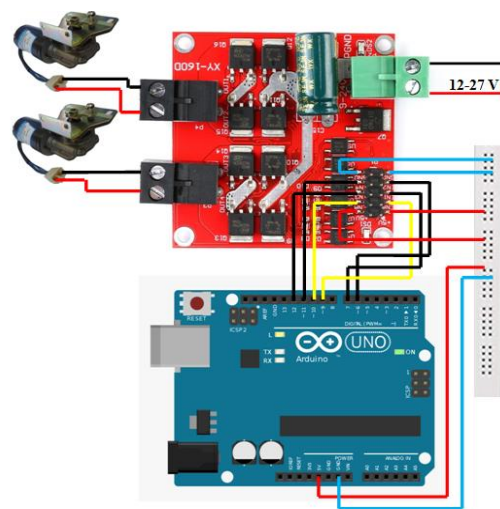
dengan driver motor, driver motor dengan motor dc yang merupakan komponen pembangun pada perancangan solar tracker ini. Berikut ini adalah perancangan antara LDR dengan arduino.



Gambar 13. Pengkabelan Arduino uno dengan LDR

Keterangan :

1. GND LDR ke sumber (-)
2. VCC LDR ke sumber (+)
3. DO masing-masing LDR masuk pin A0, A1, A2, A3



Gambar 14. Pengkabelan Mikrokontroler Arduino ke Driver Motor dan Motor DC

Keterangan :

Driver Motor XY 160 D

1. ENA ke Pin 9 Arduino
2. IN1 ke Pin 6 Arduino
3. IN2 ke Pin 7 Arduino
4. ENB ke Pin 10 Arduino
5. IN3 ke Pin 12 Arduino
6. IN4 ke Pin 11 Arduino
7. VCC ke sumber (+)

8. GND ke sumber (-)
9. Output 1 dan 2 ke Motor I
10. Output 3 dan 4 ke Motor II
11. Input Driver motor ke baterai

IV. SIMULASI DAN ANALISA

Pengujian yang dilakukan meliputi :

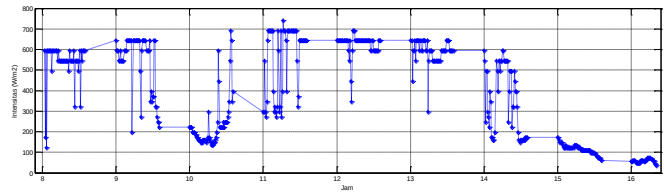
1. Pengujian solar tracker posisi dinamis.
2. Pengujian Intensitas(lux) dan Radiasi w/m^2 .
3. Pengujian keluaran Arus dan Tegangan Solar Cell.
4. Membandingkan hasil dari percobaan yang telah dilakukan.

1. Hasil Perencanaan dan perancangan Solar Tracker



Gambar 15. Percobaan Solar Tracker

untuk diimplementasikan dilingkungan yang masih jauh dari sumber listrik.



Gambar 16. Grafik Solar Irradiance



Gambar 17. Pengujian Solar Tracker

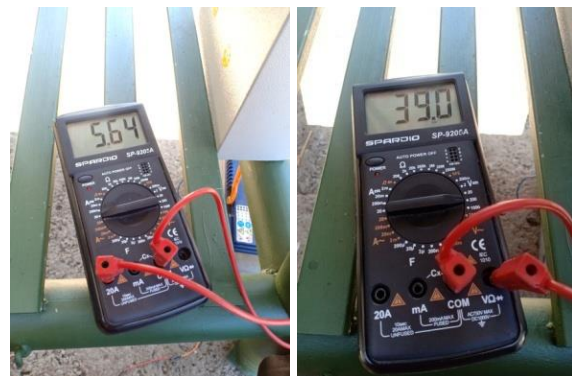
2. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian *solar tracker* dengan sensor LDR berbasis arduino adalah pengujian yang dilakukan terhadap seluruh rangkaian LDR, motor dc, dan komponen lainnya. Untuk menuji pergerakan solar tracker membutuhkan sinar matahari yang kuat agar sensor LDR bekerja sesuai dengan mestinya dan secara maksimal.

1. Upload program fuzzy Arduino uno ke solar tracker.
2. Letakan Solar tracker di halaman terbuka agar mendapat panas yang sempurna.
3. Pengujian pertama solar tracker diam dengan cara mematikan program pada arduino.
4. Pengujian yang kedua yaitu solar tracker dinamis yang mengikuti sinar matahari.
5. ambil data yang didapatkan dari penngujian tersebut.

3. Hasil Pengujian

Hasil pengujian ini dimaksudkan untuk melihat hasil dari pengujian menggunakan *fuzzy* yang diimplementasikan pada solar tracker, hal ini dilakukan untuk mengetahui efektifitas



Gambar 18. Pengukuran Tegangan & Arus



Gambar 20 Grafik Arus Solar Cell

Gambar 19. Pengujian Intensitas & Radiasi Matahari

4. Perhitungan

Dengan hasil pengujian, maka langkah selanjutnya dilakukan perhitungan daya serta presentase peningkatan arus dan tegangan listrik yang dihasilkan.

- Untuk Mencari daya

$$P = V \times I$$

$$P = 38,5 \times 4,33$$

$$P = 166,705$$

- Rugi-rugi daya panel surya

$$E_b = E_p - (15\% \times E_p)$$

$$E_b = 200 - (15\% \times 200)$$

$$E_b = 170 \text{ Watt/jam}$$

- Efisiensi

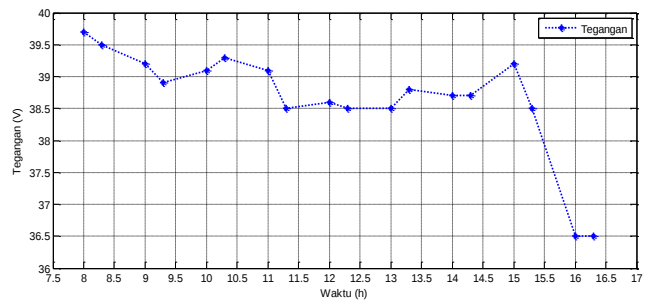
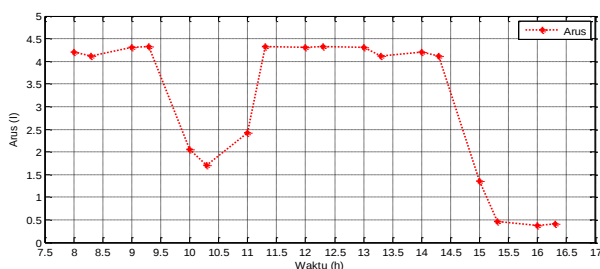
$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100$$

$$= \frac{170}{200}$$

$$= 0,85\%$$

Tabel 6. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus

Hasil Pengujian Solar Tracker		
Jam	V	I
08.00	39,7	4,21
08.30	39,5	4,11
09.00	39,2	4,31
09.30	38,9	4,33
10.00	39,1	2,06
10.30	39,3	1,7
11.00	39,1	2,42
11.30	38,5	4,33
12.00	38,6	4,31
12.30	38,5	4,33
13.00	38,5	4,31
13.30	38,8	4,11
14.00	38,7	4,21
14.30	38,7	4,11
15.00	39,2	1,35
15.30	38,5	0,46
16.00	36,5	0,38
16,30	36,5	0,41



Gambar 21 Grafik Tegangan Solar Cell

Tabel 7. Daya Solar Cell

Hasil Pengujian Solar Tracker			
Jam	V	I	P
08.00	39,7	4,21	167,173
08.30	39,5	4,11	162,345
09.00	39,2	4,31	168,952
09.30	38,9	4,33	168,473
10.00	39,1	2,06	80,546
10.30	39,3	1,7	66,81
11.00	39,1	2,42	94,622
11.30	38,5	4,33	166,705
12.00	38,6	4,31	166,366
12.30	38,5	4,33	166,705
13.00	38,5	4,31	165,935
13.30	38,8	4,11	159,468
14.00	38,7	4,21	162,927
14.30	38,7	4,11	159,057
15.00	39,2	1,35	52,92
15.30	38,5	0,46	17,71
16.00	36,5	0,38	13,87
16,30	36,5	0,41	14,965
Total Energi Listrik			2155,549 Wh

V. KESIMPULAN

Hasil dari pengujian solar tracker yang telah dilaksanakan mendapat nilai radiasi tertinggi 643.1 w/m^2 dapat menghasilkan tegangan 38,5 V dengan rata-rata arus 4.33 A. Jadi dengan ini dapat disimpulkan :

1. sistem tracker pada solar cell akan dapat membantu solar cell melakukan penyerapan sinar matahari secara maksimal dan lebih efisien karena berada sejajar atau 90° dengan posisi matahari.
2. Semakin tinggi radiasi matahari semakin tinggi arus yang dihasilkan dapat dilihat dari nilai radiasi $643,61 \text{ w/m}^2$ menghasilkan arus sebesar 4.33 A sedangkan nilai radiasi 544.59 w/m^2 menghasilkan arus sebesar 4.11 A.
3. Pada nilai radiasi 643.1 w/m^2 solar cell menghasilkan daya sebesar 166.705 watt .

4. Total energi listrik yang dihasilkan dengan solar tracker adalah 2155,549 Wh.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azwaan Zakariaha, M. F. (2015). Medium Size Dual-Axis Solar Tracking System With Sunlight Intensity Comparison Method And Fuzzy Logic Implementation. *77:17 (2015) 145–157*, 146.
- [2] By Sobuj Kumar Ray, M. A. (2012). Two Ways of Rotating Freedom Solar Tracker by Using ADC of Microcontroller. *Volume 12 Issue 4 Version 1.0 Year 2012*, 30.
- [3] Dafi Dzulfikara, W. B. (2016). Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga. *Volume V, Oktober 2016*, 73.
- [4] Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbaru Untuk Mendukung Substitusi Bbm. *Vol.19 No. 2, Desember 2015*, 76.
- [5] Kodrat Wirawan Fauzi, T. A. (2018). Perancangan dan Realisasi Solar Tracking System untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno. *Vol.4, No.1, Mei 2018, pp. 64~75*, 63.
- [6] M. Helmi, D. F. (2019). Optimalisasi Radiasi Sinar Matahari Terhadap Solar Cell. *Volume 7, Nomor 2, Juli 2019*, 86.
- [7] Suwarti, W. B. (2018). Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya. *Vol 14 No. 3 September 2018; 78 - 85*, 78.
- [8] Dhomo,Dedy. Pemanfaatan Mikrokontroler Sebagai Pengendali *Solar Tracker* Untuk Mendapatkan Energi Maksimal. Sistem Pelacak Matahari Menggunakan Arduino, Universitas Narotama Surabaya. 2007
- [9] Hon, S. P., Kolte, M. T. and A, R. S. 2013. FPGA Based Sun Tracking System Using Fuzzy Logic. *International Journal of Scientific and Technology Research*. 2(9): 217-220
- [10] Beltran, J. A., Gonzalez Rubio, J. L. S., and Garcia-Beltran, C. D. Design, Manufacturing and Performance Test of a Solar Tracker Made by an Embedded Control. 2007 IEEE Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference. Morelos, Mexico. Sept. 2007:IEEE. 2007. 129- 134.
- [11] Azwaan Zakariaha, Mahdi Faramarzia, Jasrul Jamani Jamianb, Mohd Amri Md Yunusa. Medium Size Dual-Axis Solar Tracking System With Sunlight Intensity Comparison Method And Fuzzy Logic Implementation. Received 28 June 2015 Received in revised form 1 September 2015 Accepted 15 October 2015
- [12] M.A. Abella, E. Lorenzo, F. Chenlo, “Effective irradiance estimation for PV applications”, 3rd World Conference On Photovoltaic Energy Conversion, May 11-18, 2003 Osaka, Japan.
- [13] E. Koutroulis, K. Kalaitzakis, N. C. Voulgaris, “Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system”, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 16, No. 1, January 2001.
- [14] M. A. Usta, Ö. Akyazı and İ. H. Altaş "Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- [15] J. S. Choi, D. Y. Kim, K. T. Park, C. H. Choi and D. H. Chung, “Design of Fuzzy Controller Based on PC for Solar Tracking System”, International Conference on Smart Manufacturing Application, April, 9-11, 2008 in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea.
- [16] C. Rodriguez, G. A. J. Amaratunga, “Analytic solution to the photovoltaic maximum power point problem”, IEEE Transactions On Circuits And Systems, Vol. 54, No. 9, September 2007.
- [17] A. Louchene, A. Benmakhlouf and A. Chaghi, “Solar Tracking System with Fuzzy Reasoning Applied to Crisp Sets”, *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 10, No 2, pp. 231 – 240, 2007.
- [18] Gustavo Ozuna, Carlos Anaya. Diana Figueroa. Nun Pitalua, “Solar Tracker of Two Degrees of Freedom for Photovoltaic Solar Cell Using Fuzzy Logic”, *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol II WCE 2011*, July 6 - 8, 2011, London, U.K.
- [19] Stamatescu, I., G. Stamatescu, N. Arghira, I. Fagarasan, et al. 2014. Fuzzy Decision Support System for Solar Tracking Optimization. 2014 IEEE International Conference on Development and Application Systems (DAS). Suceava, Romania. IEEE. 16-20.
- [20] Huang, Y. J., Wu, B. C., Chen, C. Y., Chang, C. H., and Kuo, T. C. 2009. Solar Tracking Fuzzy Control System Design Using FPGA. In *Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE '09)*, vol. 1, London, UK, July. 1-5.
- [21] Chin, C. S., Neelakantan, P., Yoong, H. P., & Teo, K. T. K. 2011. Optimisation of Fuzzy Based Maximum Power Point Tracking In PV System For Rapidly Changing Solar Irradiance. *Transaction on Solar Energy and Planning*. 2: 130-137.
- [22] Hon, S. P., Kolte, M. T. and A, R. S. 2013. FPGA Based Sun Tracking System Using Fuzzy Logic. *International Journal of Scientific and Technology Research*. 2(9): 217-220.
- [23] Patcharaprakiti, N., Premrudeepreechacharn, S., and Sriuthaisiriwong, Y. 2005. Maximum Power Point Tracking Using Adaptive Fuzzy Logic Control for Grid-Connected Photovoltaic System. *Renewable Energy*. 30(11): 1771-1788.
- [24] A. Şenpinar, M. Cebeci, Evaluation of power output for fixed and two-axis tracking PV arrays, *Applied Energy*, 92, 2012, 677-685
- [25] Aryunto Soetedjo, Abraham Lomi, Yusuf Ismail Nakhoda, Awan Uji Krismanto,” Modeling of Maximum Power Point Tracking Controller for Solar Power System” July 2012, pp. 419 – 430.