

Penerapan *Dual Axis Solar Tracking* dengan *Fuzzy Logic Controller* untuk Optimalisasi *Output* pada *Solar Cell*

Lutfi Aziz
Universitas Buana Perjuangan
Karawang, Indonesia
if16.lutfiaziz@mhs.ubpkarawang.ac.id

Deden Wahiddin
Universitas Buana Perjuangan
Karawang, Indonesia
deden.wahiddin@ubpkarawang.ac.id

Santi Arum Puspita Lestari
Universitas Buana Perjuangan
Karawang, Indonesia
santi.arum@ubpkarawang.ac.id

Abstract— Salah satu solusi sistem pembangkit listrik yang masih dikembangkan saat ini, yakni dengan memanfaatkan energi matahari dan *solar cell*. Akan tetapi, mayoritas *solar cell* yang digunakan sebagai pembangkit listrik dinilai masih belum optimal karena hanya dipasang secara statis dan tidak mampu mengikuti arah pergerakan matahari. Pada penelitian ini dilakukan perancangan prototipe sistem *dual axis solar tracking* dengan *Fuzzy Logic Controller* dalam upaya mengoptimalkan *output* dari *solar cell*. *Fuzzy Logic Controller* berisi *rule base* atau aturan - aturan logis yang mencakup berbagai kemungkinan kondisi. *Light Dependent Resistor* (LDR) berfungsi menerima masukan cahaya matahari, Arduino Nano sebagai mikrokontroler yang mengatur keseluruhan sistem serta motor *servo* SG90 sebagai penggerak *axis* horizontal dan vertikal. Sistem *dual axis solar tracking* dilengkapi dengan sensor INA219 untuk mengukur *output* yang dihasilkan *solar cell* serta modul ESP-12E untuk mengirim data pengukuran ke *database*. Berdasarkan hasil pengujian, sistem *dual axis solar tracking* dengan *Fuzzy Logic Controller* dapat mengikuti pergerakan matahari dengan baik. *Solar cell* pada sistem *dual axis solar tracking* mampu menghasilkan *output* daya yang lebih optimal dibandingkan *solar cell* statis, dengan persentase optimasi mencapai 15.76%.

Kata kunci — *dual axis solar tracking*, *fuzzy logic controller*, *solar cell*.

I. PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi yang sangat diperlukan masyarakat adalah energi listrik. Jumlah penduduk yang makin meningkat serta berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi menyebabkan kebutuhan terhadap energi listrik juga semakin tinggi [1]. Sementara itu, bahan bakar fosil masih menjadi sumber energi utama pada sistem pembangkit listrik di Indonesia [2]. Hal tersebut dapat memicu berkurangnya sumber daya fosil dikemudian hari, serta menimbulkan dampak lain seperti bertambahnya pencemaran lingkungan dan polusi. Salah satu sumber energi terbesar, bersifat terbarukan serta bebas polusi di bumi ini dan mulai diterapkan sebagai sistem pembangkit listrik adalah energi matahari [3].

Dalam pemanfaatan energi matahari sebagai material utama pada sistem pembangkit listrik diperlukan suatu perangkat konversi energi yang dinamakan panel *photovoltaic* atau *solar cell* [3]. *Output* daya listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* bergantung pada panjang gelombang dan intensitas sinar matahari serta hambatan internal dan karakteristik *solar cell* [4]. Namun, dibalik kemudahan yang ditawarkan sistem *solar cell* terdapat suatu permasalahan dalam teknik pemasangannya yang pada umumnya statis dan tidak dapat diubah-ubah posisinya [5]. Hal ini dapat menyebabkan *output* dari *solar cell* tidak akan optimal, karena posisi matahari akan mengalami perubahan dari arah timur menuju barat setiap harinya. Oleh karena itu, diperlukan konsep sistem *solar tracking* agar *solar cell* dapat mengikuti arah datangnya cahaya matahari secara tepat sehingga dapat memaksimalkan *output* energi listrik yang dihasilkan [6].

Penelitian ini mengacu pada beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya. Winarno dan Wulandari menerapkan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) pada *single axis solar tracking* dan mampu mengoptimalkan *output solar cell* hingga 21.51% [6]. Perancangan prototipe *single axis solar tracking* dengan *Fuzzy Logic Controller* menghasilkan optimalisasi *solar cell* sebesar 20.79% [7]. Kendali *Fuzzy-PI* dapat meningkatkan efisiensi *output* pada *mobile dual axis solar tracking* sebesar 39.37% [8]. Penelitian lain menyatakan, sistem *dual axis solar tracking* mampu memberikan peningkatan *output* daya *solar cell* sebesar 27.91% [9].

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai sistem *dual axis solar tracking* pada *solar cell* yang dikombinasikan dengan *Fuzzy Logic Controller*. Perancangan prototipe terdiri dari mini *solar cell*, mikrokontroler, motor *servo*, LDR (*Light Dependent Resistor*) serta dilengkapi dengan *web monitoring* untuk memantau *output* tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan oleh *solar cell*.

II. DATA & METODE

A. Gerak Semu Matahari

Gerak semu matahari terbagi menjadi dua yaitu gerak semu harian dan gerak semu tahunan. Gerak semu harian matahari disebabkan oleh rotasi bumi pada porosnya dimana bumi berputar dari arah barat ke timur sehingga seolah-olah matahari bergerak dari timur ke barat. Gerak bumi berotasi tersebut membutuhkan waktu selama 23 jam 56 menit 4.091 detik. Posisi matahari menyinari bumi dalam 1 hari dimana matahari bergerak sebesar 360° selama 24 jam [7].

Gerak semu tahunan matahari disebabkan oleh revolusi bumi dimana bumi mengelilingi matahari selama 365.25 hari sehingga seolah-olah matahari bergerak dari garis khatulistiwa, ke garis balik utara (23.5° LU), ke khatulistiwa lagi lalu ke garis balik selatan (23.5° LS) [5].

B. Solar Cell

Solar cell atau yang disebut sebagai sel *Photovoltaic* (PV) bekerja berdasar prinsip fotolistrik dimana elektron dari suatu atom dilepaskan dan menjadi arus listrik setelah menerima serangkaian energi yang berasal dari foton. Karakteristik arus yang dihasilkan oleh sel PV bergantung pada panjang gelombang dan intensitas sinar matahari, disamping juga hambatan internal dan karakteristik peralatan sel PV sendiri [4].

C. Sistem Solar Tracking

Sistem *solar tracking* berfungsi untuk mengatur posisi sel surya agar dapat terarah sesuai arah datangnya cahaya matahari. Sistem *solar tracking* harus mampu menyesuaikan posisi permukaan *solar cell* agar selalu tegak lurus terhadap arah datangnya cahaya matahari agar memperoleh intensitas cahaya yang optimal [7]. Secara umum, sistem *solar tracking* pada *solar cell* dibagi menjadi dua berdasarkan jumlah sumbu penggerakannya yaitu *single axis* dan *dual axis* [7].

1) Single Axis

Sistem *solar tracking single axis* hanya memiliki satu sumbu penggerak yaitu sumbu horizontal atau vertikal. Untuk *solar cell* yang dipasang di wilayah khatulistiwa, biasanya menggunakan sistem *solar tracking single axis* dengan sumbu horizontal. *Solar cell* yang dipasang pada wilayah yang jauh dari garis khatulistiwa maka disarankan untuk menggunakan sistem *solar tracking* dengan sumbu vertikal [7].

2) Dual Axis

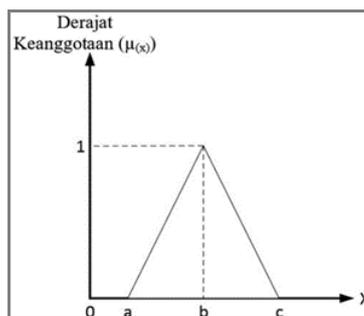
Sistem *solar tracking dual axis* memiliki dua sumbu penggerak yakni sumbu horizontal dan vertikal. Sumbu horizontal bergerak dari utara ke selatan atau sebaliknya, sedangkan sumbu vertikal melakukan gerak rotasi dari timur ke barat atau sebaliknya [7].

D. Fuzzy Logic Controller

Fuzzy Logic Controller merupakan suatu metode kendali yang pada dasarnya menyerupai pola pikir manusia dalam mengambil suatu keputusan secara tidak pasti (samar) yaitu nilai yang terletak antara 0 dan 1 [7]. *Fuzzy Logic Controller* diciptakan oleh Zadeh pada tahun 1965. Sistem ini berisi variable linguistik yang menggantikan model matematis sistem dinamis [10].

1) Fuzzifier

Fuzzifier atau fuzzifikasi merupakan suatu proses yang dapat mengubah nilai-nilai numerik menjadi kelas keanggotaan set *fuzzy*. Untuk memutuskan pergantian kondisi setiap aturan sesuai dengan input, blok fuzzifikasi harus sesuai dengan kondisi aturan dan data input. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai atau derajat keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi [7].



Gambar 1 Kurva fungsi segitiga

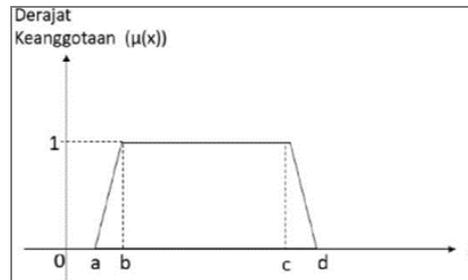
Persamaan pada fungsi keanggotaan segitiga adalah sebagai berikut :

$$f(x) = \begin{cases} 0; & x < a \\ \frac{x - a}{b - a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c - x}{c - b}; & b \leq x \leq c \\ 0; & x > c \end{cases}$$

(1)

Keterangan :

1. a adalah nilai terkecil derajat keanggotaan $\mu(x)$ sama dengan nol
2. b mempunyai derajat keanggotaan $\mu(x)$ sama dengan satu
3. c adalah nilai terbesar derajat keanggotaan $\mu(x)$ tertentu
4. x adalah nilai yang akan diubah ke dalam bilangan *Fuzzy Logic*



Gambar 2 Kurva fungsi trapesium

Persamaan pada fungsi keanggotaan trapesium adalah sebagai berikut :

$$f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d - x}{d - c}; & c \leq x \leq d \\ 0; & x > d \end{cases} \quad (2)$$

Keterangan :

1. a adalah nilai terkecil derajat keanggotaan $\mu(x)$ sama dengan nol
2. b adalah nilai terkecil derajat keanggotaan $\mu(x)$ sama dengan satu
3. c adalah nilai terbesar derajat keanggotaan $\mu(x)$ sama dengan satu
4. d adalah nilai terbesar derajat keanggotaan $\mu(x)$ sama dengan nol
5. x adalah nilai yang akan diubah ke dalam bilangan *Fuzzy Logic*

2) Inference Engine

Inference Engine atau *Fuzzy Inference* merupakan proses pemetaan dari input dalam bentuk himpunan *Fuzzy* ke *output* dengan menggunakan *Fuzzy Logic* [7]. Proses ini dibagi menjadi dua bagian yaitu *data base* dan *rule base*. *Data base* berisi parameter-parameter *Fuzzy* dan *rule base* berisi aturan- aturan *Fuzzy Logic* [7].

3) Defuzzifier

Defuzzifier atau defuzzifikasi merupakan proses *computing* dengan berbagai metode untuk mengubah nilai *fuzzy* menjadi nilai *crisp* [7].

E. Bahan dan Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian yakni komponen penyusun sistem yang berupa *hardware* dan komponen penyusun sistem yang berupa *software*. Komponen *hardware* dibutuhkan dalam perancangan prototipe *dual axis solar tracking*. Sedangkan komponen *software*, digunakan untuk merancang program mikrokontroler serta aplikasi *web monitoring*.

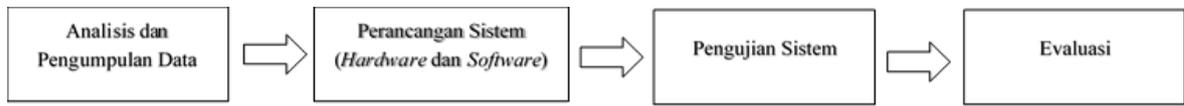
1) Komponen Hardware

1. Arduino Nano
2. 2 buah Mini Solar Cell 12 VDC, 200mA
3. 4 buah Light Dependent Resistor (LDR)
4. 2 buah Motor Servo SG90
5. 2 buah Sensor INA219
6. Modul Wi-Fi ESP-12E

- 2) Komponen *Software*
 - 1. Arduino IDE
 - 2. MatLab
 - 3. XAMPP

F. Prosedur Penelitian

Dalam upaya merealisasikan tujuan, penelitian ini melewati beberapa tahapan atau prosedur. Tahapan-tahapan tersebut diantaranya:



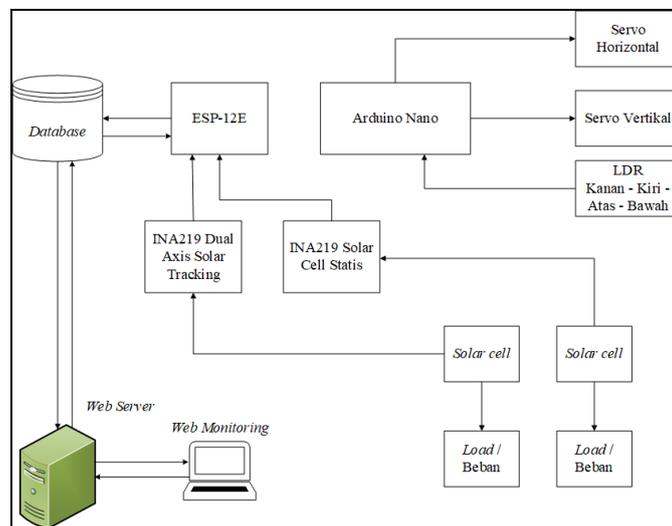
Gambar 3 Flowchart prosedur penelitian

Tahapan penelitian ini dimulai dengan analisis dan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian. Setelah itu, dilanjutkan pada tahap perancangan sistem yang dibagi menjadi dua bagian yakni perancangan *hardware* dan perancangan *software*. Perancangan *hardware* meliputi pembuatan prototipe *dual axis solar tracking*. Perancangan *software* meliputi perancangan *Fuzzy Logic Controller*, pemrograman mikrokontroler serta perancangan aplikasi *web monitoring*. Setelah tahap perancangan selesai, dilanjut dengan tahap pengujian sistem. Tahap terakhir yakni melakukan evaluasi untuk menilai optimalisasi yang dihasilkan oleh *solar cell* dengan sistem *solar tracking*.

G. Perancangan Sistem

- 1) Perancangan *Hardware*

Perancangan *hardware* atau prototipe sistem *dual axis solar tracking* menggunakan mikrokontroler Arduino Nano sebagai unit pemroses. Empat buah LDR yang akan dipasang dibagian kanan, kiri, atas serta bawah. Pada bagian *output* terdapat dua motor *servo SG90* yang akan menjadi penggerak *axis horizontal* dan *axis vertikal*. *Solar cell* yang digunakan berjenis monokristal 12 VDC, 200 mA. Prototipe *dual axis solar tracking* juga dilengkapi sensor INA219 untuk mengukur tegangan, arus serta daya yang dihasilkan oleh *solar cell*. Skema perancangan sistem *dual axis solar tracking* dapat dilihat pada Gambar 4.

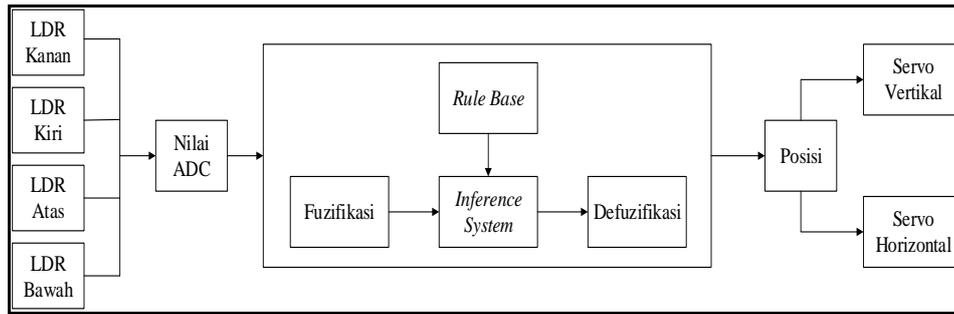


Gambar 4 Skema perancangan sistem *dual axis solar tracking*

- 2) Perancangan *Software*

- a) Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

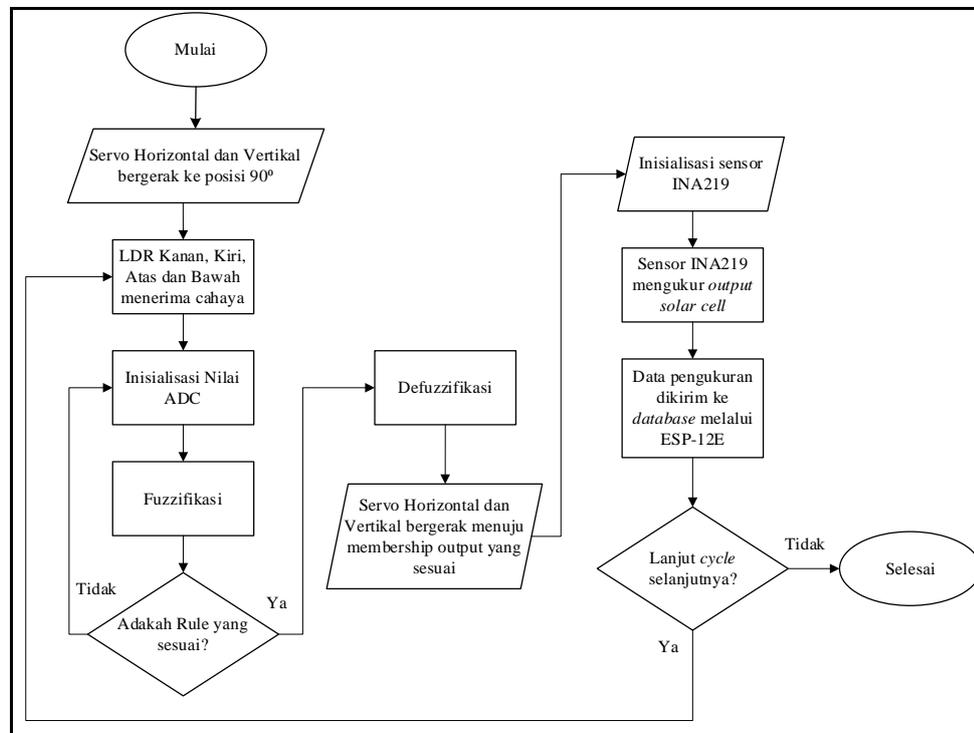
Konsep dasar *Fuzzy Logic Controller* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Konsep *Fuzzy Logic Controller dual axis solar tracking*

b) Pemrograman Mikrokontroler

Pemrograman mikrokontroler menggunakan Arduino Nano, modul ESP-12E dan Arduino IDE sebagai *compiler*-nya. *Flowchart* pemrograman mikrokontroler dari sistem *dual axis solar tracking* ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 *Flowchart* pemrograman mikrokontroler

c) Perancangan Aplikasi *Web Monitoring*

Perancangan aplikasi *web monitoring* untuk memantau *output* dari *solar cell* menggunakan Bahasa pemrograman HTML, PHP serta tampilan *template* Bootstrap. Fitur dalam aplikasi *web monitoring output solar cell* ini terdiri dari :

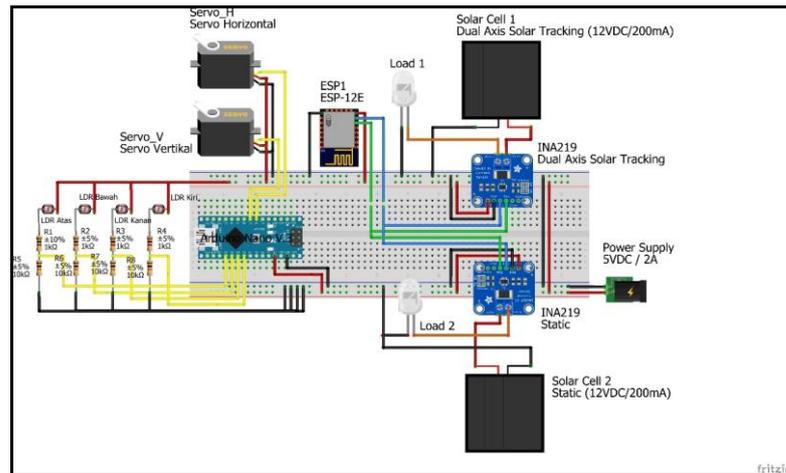
1. Menu *Login* untuk akses ke sistem *web monitoring* dengan validasi *username* dan *password*.
2. Menu Utama menampilkan status *real-time* serta grafik dari tegangan, arus dan daya yang dihasilkan *solar cell* dengan sistem *dual axis solar tracking* dan *solar cell* statis.
3. Menu Histori menampilkan data *log* hasil pemantauan *output solar cell* yang dihimpun perhari dan bisa di-*export* ke dalam *file* Microsoft Excel.
4. Menu Tentang menampilkan nama aplikasi, pembuat aplikasi dan *copyright*.
5. Menu *Logout* untuk keluar dari sistem *web monitoring*.

III. HASIL & PEMBAHASAN

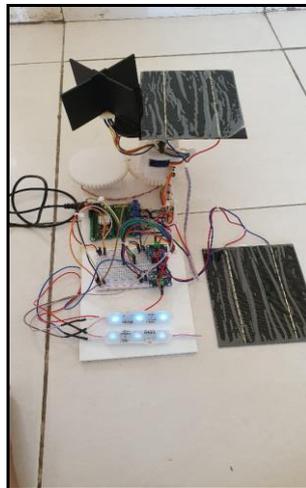
A. Perancangan Sistem

1) Perancangan *Hardware*

Prototipe *dual axis solar tracking* terdiri dari 3 bagian utama, yaitu blok *input*, blok proses dan blok *output*. Blok *input* terdiri dari empat buah LDR (kiri, kanan, atas dan bawah) serta dua buah sensor INA219. Blok proses yang menjadi bagian utama karena bertugas sebagai pemroses *input* dan *output*. Mikrokontroler yang digunakan pada blok proses yakni Arduino Nano dan ESP-12E. Pada blok *output* terdiri dari dua buah motor *servo*, dua buah *solar cell* dan juga lampu LED sebagai *load*/beban. Motor *servo* berfungsi untuk menggerakkan *axis* pada prototipe, baik secara vertikal maupun horizontal. Terdapat dua buah *solar cell*, yakni yang menggunakan sistem *tracking* dan statis. Skema rangkaian serta prototipe *dual axis solar tracking* dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



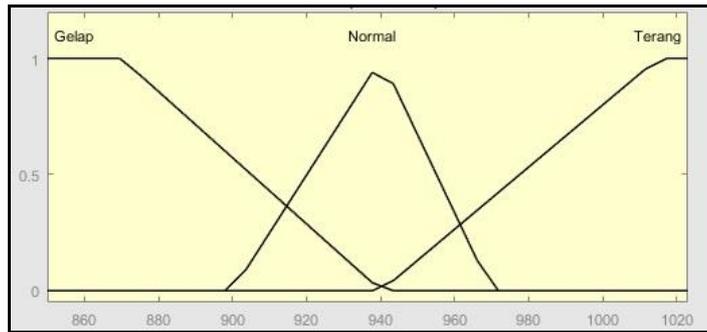
Gambar 7 Skema rangkaian prototipe *dual axis solar tracking*



Gambar 8 Prototipe *dual axis solar tracking*

2) Perancangan *Software*a). Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

Terdapat dua tahap *fuzzifikasi* pada sistem *dual axis solar tracking*. *Fuzzifikasi* pertama yakni, untuk mengklasifikasikan *input* cahaya yang diterima oleh LDR. *Fuzzifikasi* yang kedua berisi selisih dari nilai derajat keanggotaan himpunan terang LDR kiri dengan kanan serta LDR atas dengan bawah. Dua nilai selisih tersebut nantinya dijadikan *membership input* pada proses *fuzzifikasi* yang kedua.

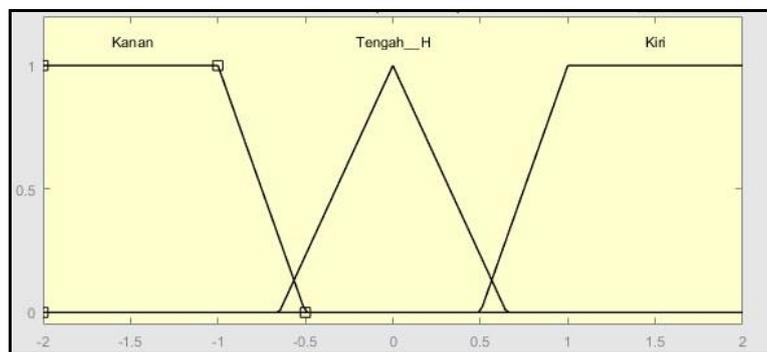


Gambar 9 Membership function input LDR

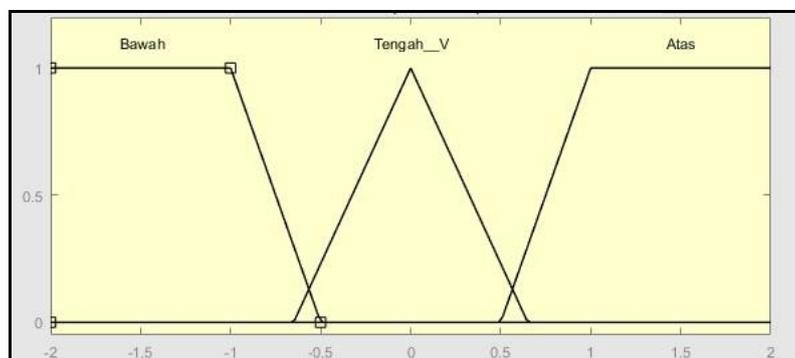
Membership function input LDR yang terdapat pada Gambar 9 telah diklasifikasikan kedalam tiga himpunan fuzzy yakni gelap, normal dan terang. Berdasarkan pada Gambar 9, penentuan standar range nilai ADC pada setiap membership function input LDR dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Standar range nilai ADC membership function input LDR

Membership Function	Range Nilai ADC
Gelap	≤ 940
Normal	≥ 900 dan ≤ 980
Terang	≥ 940



Gambar 10 Membership function input Diff_KrKn



Gambar 11 Membership function input Diff_AtBw

Pada Gambar 10, membership function input Diff_KrKn diklasifikasikan ke dalam tiga himpunan fuzzy yakni Kiri, Tengah_H dan Kanan. Sedangkan pada Gambar 11, membership function input Diff_AtBw diklasifikasikan ke dalam himpunan Bawah, Tengah_V dan Atas. Penentuan standar range

selisih derajat keanggotaan himpunan terang pada setiap *membership function input* Diff_KrKn dan Diff_AtBw dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Standar *range membership function input* Diff_KrKn

<i>Membership Function</i>	<i>Range Selisih Derajat Keanggotaan MF Terang</i>
Kanan	(-1) hingga (-0.5)
Tengah_H	(-0.65) hingga 0.65
Kiri	0.5 hingga 1

Tabel 3 Standar *range membership function input* Diff_AtBw

<i>Membership Function</i>	<i>Range Selisih Derajat Keanggotaan MF Terang</i>
Bawah	(-1) hingga (-0.5)
Tengah_V	(-0.65) hingga 0.65
Atas	0.5 hingga 1

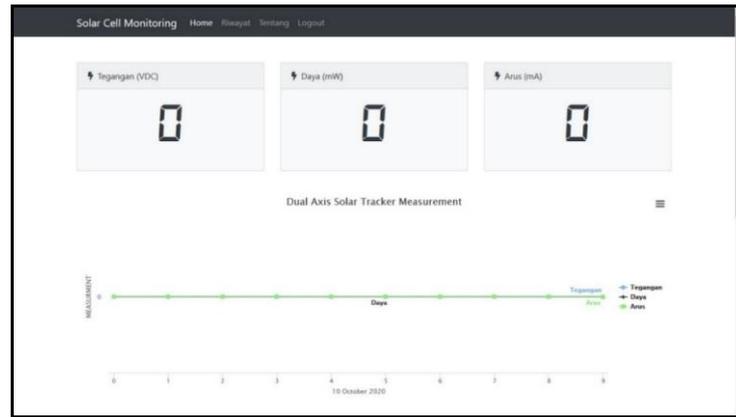
Membership function output gerak motor *servo*, baik horizontal dan vertikal diklasifikasikan kedalam aksi Plus, Sedikit_Plus, Nol, Sedikit_Min dan Min. Masing - masing *membership function* memiliki parameter *output* tersendiri yang akan disesuaikan pada kondisi di lapangan. Adapun *Inference system* atau *rule base* pada sistem *dual axis solar tracking* mencakup beberapa aturan - aturan yang mengendalikan sistem di lapangan. *Rule base* pada sistem *dual axis solar tracking* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 *Rule base system dual axis solar tracking*

b). *Aplikasi web monitoring*

Aplikasi web monitoring berfungsi untuk memantau *output* tegangan, arus serta daya listrik yang dihasilkan oleh *solar cell*, baik dengan *dual axis solar tracking* maupun statis. Adapun tampilan dari *aplikasi web monitoring output solar cell* dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Tampilan aplikasi web monitoring

B. Pengujian Sistem

Skenario pengujian sistem yakni dengan membandingkan *output* tegangan, arus serta daya yang dihasilkan oleh solar cell pada sistem *dual axis solar tracking* dengan solar cell yang dipasang statis. Pengujian dilakukan dari pagi hingga sore hari, mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 17.00 WIB. Hasil pengujian sistem *dual axis solar tracking* dan sistem statis dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Pengujian sistem *dual axis solar tracking* dengan Fuzzy Logic Controller

Waktu (WIB)	Pencahayaannya (lux)	Posisi Solar Cell		Tegangan (VDC)	Arus (mA)	Daya (mW)	Keterangan
		Horizontal	Vertikal				
08:00:00	88232	34°	27°	12,41	70,50	875,05	Cerah
09:00:00	86471	56°	48°	12,32	70,30	865,81	Cerah
10:00:00	85557	71°	60°	12,36	68,80	850,37	Cerah
11:00:00	94549	78°	75°	12,42	72,20	896,44	Cerah
12:00:00	103948	88°	90°	12,56	73,90	928,48	Cerah
13:00:00	84747	109°	91°	12,23	66,30	810,98	Cerah
14:00:00	84867	131°	81°	12,30	68,20	838,86	Cerah
15:00:00	92519	160°	40°	12,58	70,10	881,86	Cerah
16:00:00	60383	162°	26°	11,99	58,80	705,13	Cerah
17:00:00	10965	164°	17°	8,91	13,20	117,64	Berawan
Rata - Rata Output :				12,01	63,23	777,06	

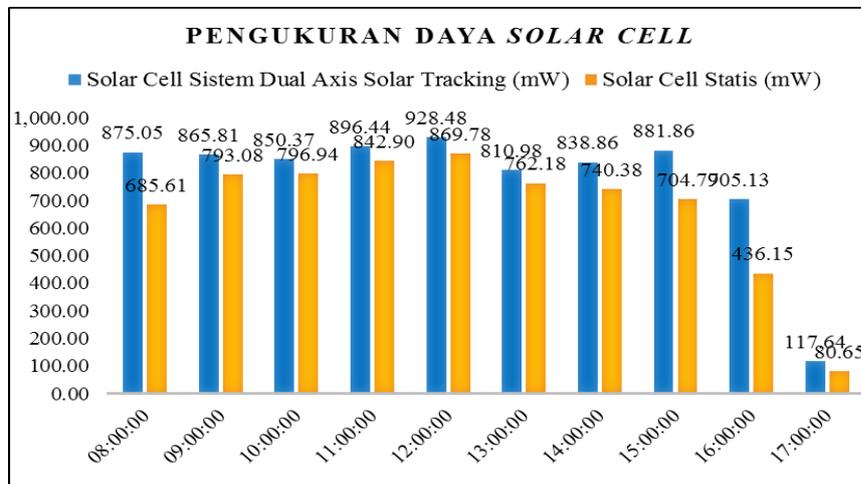
Dapat dilihat pada Tabel 4, sistem *dual axis solar tracking* mampu melakukan penjejakan terhadap cahaya matahari dengan baik. Pada pengujian pukul 08.00 hingga 11.00, posisi *axis* horizontal dan vertikal berada kurang dari 90°. Pada pengujian pukul 12.00, posisi *axis* horizontal dan vertikal berturut - turut berada di sudut 88° dan 90°. Hal tersebut dikarenakan posisi matahari sudah berada tegak lurus dengan solar cell. Pada pengujian pukul 13.00 hingga 17.00, posisi *axis* horizontal lebih besar dari 90° karena matahari mulai bergerak ke arah barat.

Tabel 5 Pengujian solar cell statis

Waktu (WIB)	Pencahayaannya (lux)	Posisi Solar	Tegangan (VDC)	Arus (mA)	Daya (mW)	Keterangan
08:00:00	88232	90°	11,66	58,80	685,61	Cerah
09:00:00	86471	90°	11,98	66,20	793,08	Cerah
10:00:00	85557	90°	11,98	66,50	796,94	Cerah
11:00:00	94549	90°	12,13	69,50	842,90	Cerah
12:00:00	103948	90°	12,22	71,20	869,78	Cerah
13:00:00	84747	90°	11,87	64,20	762,18	Cerah
14:00:00	84867	90°	11,75	63,00	740,38	Cerah
15:00:00	92519	90°	11,69	60,30	704,79	Cerah
16:00:00	60383	90°	10,61	41,10	436,15	Cerah
17:00:00	10965	90°	8,67	9,30	80,65	Berawan
Rata - Rata Output :			11,46	57,01	671,25	

Pada Tabel 5, *solar cell* statis diletakkan tegak lurus atau posisi 90° terhadap permukaan. *Output* tegangan yang dihasilkan rata - rata dibawah kapasitas maksimal *solar cell* yakni 12 VDC. *Solar cell* statis mampu menghasilkan *output* maksimalnya pada pengukuran jam 11.00 dan 12.00 saat posisi matahari berada tegak lurus terhadap *solar cell*.

Hasil pengujian pada Tabel 4 dan Tabel 5 membuktikan bahwa *solar cell* dengan sistem *dual axis solar tracking* mampu menghasilkan *output* tegangan, arus serta daya yang lebih besar dibandingkan dengan *solar cell* statis. Grafik perbandingan *output* daya yang dihasilkan *solar cell* dengan sistem *dual axis solar tracking* dan *solar cell* statis dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Grafik perbandingan *output* daya *solar cell*

C. Evaluasi

Pada tahap evaluasi, akan dihitung persentase optimasi berdasarkan nilai rata - rata *output* daya yang dihasilkan masing - masing *solar cell*. Nilai rata - rata *output* daya yang digunakan pada penghitungan persentase optimasi ini mengacu pada Tabel 4 dan Tabel 5. Persentase optimasi dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Optimasi (\%)} &= \frac{(\bar{x}_{\text{Daya Tracking}} - \bar{x}_{\text{Daya Statis}})}{\bar{x}_{\text{Daya Statis}}} \times 100\% \tag{3} \\
 &= \frac{(777.06 - 671.25)}{671.25} \times 100\% \\
 &= \frac{100.68}{671.25} \times 100\% = 15.76\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan pada persamaan (3), maka persentase optimasi daya yang dihasilkan oleh *solar cell* dengan sistem *dual axis solar tracking* sebesar 15.76%.

IV. KESIMPULAN & SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yang dimulai dari tahap analisa dan pengumpulan data, perancangan sistem, pengujian sistem serta evaluasi dapat disimpulkan bahwa prototipe *dual axis solar tracking* dengan *Fuzzy Logic Controller* dapat melakukan penjejakan terhadap cahaya matahari dengan baik. Rata - rata *output* daya yang dihasilkan oleh *solar cell* pada sistem *dual axis solar tracking* dengan *Fuzzy Logic Controller* yakni sebesar 777.06 mW, sedangkan untuk rata - rata *output* daya yang dihasilkan *solar cell* statis sebesar 671.25 mW. Dengan demikian, *solar cell* pada sistem *dual axis solar tracking* dengan *Fuzzy Logic Controller* mampu menghasilkan *output* daya yang lebih optimal dibandingkan dengan *solar cell* statis. Adapun persentase optimasi yang diperoleh dari penerapan sistem *dual axis solar tracking* dengan *Fuzzy Logic Controller* sebesar 15.76%.

Saran yang dapat dijadikan referensi untuk pengembangan pada penelitian serupa, yakni diperlukan nilai resistor yang tepat sebagai pengatur sensitivitas dari LDR. Pengaturan sensitivitas LDR sangat penting agar dapat disesuaikan dengan kondisi cahaya yang ada. Disarankan untuk menggunakan variabel resistor (potensiometer atau *trimpot*) sebagai pengatur sensitivitas LDR. Perancangan mekanisasi yang lebih kokoh dapat memaksimalkan pergerakan pada masing - masing *axis*, serta diutamakan memakai warna gelap pada sekat bayangan LDR dan dudukan *solar cell*.

PENGAKUAN

Naskah ilmiah ini adalah sebagian dari penelitian Tugas Akhir milik Lutfi Aziz dengan judul Penerapan *Dual Axis Solar Tracking* dengan *Fuzzy Logic Controller* untuk Optimalisasi *Output* pada *Solar Cell*, yang dibimbing oleh Pembimbing I Deden Wahiddin dan Pembimbing II Santi Arum Puspita Lestari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asri, M., & Serwin. 2019. Rancang Bangun Solar Tracking System untuk Optimalisasi Output Daya pada Panel Surya. *Jurnal Informasi Sains Dan Teknologi (INSTEK)* 4(1): 11-20.
- [2] Primadhyta, S. 2018. Batu Bara Tetap Jadi Sumber Energi Utama Hingga 2050. Online <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20180509092041-92-296811/batu-bara-tetap-jadi-sumber-energi-utama-hingga-2050>. 05 Januari 2020 (18:26).
- [3] Hamdi. 2016. *Energi Terbarukan*. Edisi Pertama. Cetakan Pertama. Kencana. Jakarta.
- [4] Nurhuda, M. 2018. *Mendulang Energi Gratis Dengan Teknologi Tepat Guna*. Cetakan Pertama. UB Press. Malang.
- [5] Nuzuluddin, M., Arengga, D., & Handayani, A. N. 2017. Simulasi Penjadwalan Posisi Panel Surya dengan menggunakan Pengendali PID (Proportional, Integral, dan Derivative). *Jurnal Nasional Teknik Elektro* 6(2): 129-136.
- [6] Winarno, I., & Wulandari, F. 2017. Solar Tracking System Single Axis Pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan Daya Dengan Metode Adaptive Neuro- Fuzzy Inference System (ANFIS). *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*. 1-2 November: 1-10.
- [7] Fathurrahman, G., Nugraha, R., & Sumaryo, S. 2019. Sistem Kendali Posisi Sel Surya Menggunakan Fuzzy Logic Controller. *E-Proceeding of Engineering* 6(2): 3061-3067.
- [8] Aini, L. I. 2017. Perancangan Mobile Active Two Axis Solar Tracker Pada Photovoltaic Menggunakan Kendali Logika Fuzzy-Pi. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [9] Raharja, W. K., & Kennedy. 2019. Optimalisasi Daya Sistem Sel Surya Menggunakan Solar Tracker Dual Axis. *Jurnal Ilmiah Komputasi* 18(1): 17-32.
- [10] Toyfan, H. 2017. Performance of Dual Axis Solar Tracking System Using Fuzzy Logic Control: A Case Study in Pinarhisar, Turkey. *European Journal of Engineering and Natural Sciences* 2(1): 130-136.