



## **Pengembangan PV Solar Tracking System Dua Sumbu Putar Berbasis Model Fuzzy Sugeno Orde Nol**

Sryang T. Sarena<sup>1</sup>, Ryan Y. Adhitya<sup>1</sup>, Noorman Rinanto<sup>1</sup>, Dana Hartono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, <sup>2</sup>PT. Multimas Nabati Asahan

### **INFORMASI ARTIKEL**

Jurnal IPTEK – Volume 24  
Nomor 1, Mei 2020

Halaman:

1 – 10

Tanggal Terbit :

29 Mei 2020

DOI:

10.31284/j.ipitek.2020.v24i1  
.549

### **ABSTRACT**

*Solar Tracking System (STS) is one of the essential ways to increase the efficiency of solar cell panels. This study discusses the development of STS on photovoltaic cells that have two rotating axes (horizontal-vertical-rotation) with a controlling device in the form of a microcontroller and a zero-order Fuzzy Sugeno algorithm. The system input comes from four sensors of the Dependent Resistor (LDR) which consists of two LDR to detect the movement of the sun from east to west and the other two for the movement of the sun in the north or south. The place of the LDR is at the edge of the outer side of the photovoltaic cell. This system uses a 10 Wp polycrystalline solar cell and a 12 volt / 7.2Ah capacity battery. This system actuator is in the form of two high torque servo DC motors. Performance testing of this system is still carried out on a laboratory scale with the help of manually driven LED light. The output of solar cells is measured using a voltage sensor and ACS712 current sensor, where the data goes to a computer connected to the system. The resulting yield that the proposed method has a higher efficiency of 34.18% compared to a static solar cell system.*

**Keywords:** Solar tracking system; fuzzy sugeno; two rotary axes; microcontroller

### **EMAIL**

sryang.tera@ppns.ac.id  
ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id  
noorman.rinanto@ppns.ac.id  
danahartono.ppns@gmail.com

### **PENERBIT**

LPPM- Institut Teknologi  
Adhi Tama Surabaya  
Alamat:  
Jl. Arief Rachman Hakim  
No.100,Surabaya 60117,  
Telp/Fax: 031-5997244

*Jurnal IPTEK by LPPM-ITATS is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.*

### **ABSTRAK**

*Solar Tracking System (STS) merupakan salah satu cara esensial untuk meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya matahari pada panel sel surya. Penelitian ini membahas tentang pengembangan STS pada sel fotovoltai yang mempunyai dua sumbu putar (rotasi vertikal-rotasi horisontal) dengan perangkat pengendali berupa sebuah mikrokontroler dan algoritma cerdas Fuzzy Sugeno orde nol. Masukan sistem tersebut berasal dari 4 (empat) buah sensor cahaya Light Dependent Resistor (LDR) yang terdiri dari 2 (dua) sensor LDR untuk mendeteksi pergerakan matahari dari arah timur ke barat dan 2 (dua) sensor sisanya untuk pergerakan matahari di arah utara atau selatan. Keempat sensor tersebut ditempatkan ditepi sisi bagian luar dari sel fotovoltai. Sistem ini menggunakan sel surya polycrystalline 10 Wp dan sebuah baterai berkapasitas 12 volt / 7,2Ah. Aktuator sistem ini berupa 2 (dua) motor DC servo bertorsi tinggi. Pengujian kinerja sistem ini masih dilakukan dalam skala laboratorium dengan bantuan cahaya lampu LED yang digerakan manual. Tegangan dan arus keluaran sel surya diukur menggunakan sensor tegangan dan sensor arus ACS712, dimana hasilnya disimpan pada sebuah komputer yang terhubung dengan sistem. Respon unjuk kerja sistem STS yang menggunakan Fuzzy sugeno orde nol memiliki efisiensi yang lebih tinggi 34,18 % jika dibandingkan dengan sistem sel surya yang statis.*

**Kata kunci:** Solar tracking system; fuzzy sugeno; dua sumbu putar; mikrokontroler

## **PENDAHULUAN**

Ekstrimnya perubahan cuaca pada negara-negara di hampir seluruh dunia, semakin mempertegas keberadaan pemanasan global atau *Global Warming* [1]. Pemanasan global merupakan fenomena dimana suhu bumi meningkat akibat adanya gas pada atmosfer bumi yang menghalangi

pantulan komponen-komponen sinar matahari kembali keluar atmosfer bumi, sehingga menimbulkan efek rumah kaca. Para ilmuwan menemukan bahwa penyebab utama dari pemanasan global ini adalah gas rumah kaca (*greenhouse gas*, GHG) yang timbul akibat aktivitas manusia.

Gas ini merupakan kumpulan dari berbagai gas hasil pembakaran bahan bakar minyak. Pengguna terbesar bahan bakar ini diantaranya adalah pabrik-pabrik industri, moda transportasi dan pembangkitan tenaga listrik. Keberadaan gas ini sudah berada dalam ambang yang mengkhawatirkan. Batas maksimum GHG yang dapat menyebabkan pengaruh berbahaya dari fenomena pemanasan global adalah 450-550 ppm sedangkan konsentrasi CO<sub>2</sub> sebagai salah satu komponen GHG pada tahun 2017 sudah mencapai 405,5 ppm [2] [3]. Banyak cara untuk menekan meningkatnya konsentrasi gas ini, salah satunya adalah pemakaian sumber daya alam terbarukan untuk membangkitkan tenaga listrik seperti sel surya, turbin tenaga angin, mikro hidro dan lain-lain.

Sumber daya alam terbarukan yang paling banyak digunakan di dunia saat ini adalah sel surya. Penggunaan sumber daya ini sangat populer karena bersih tanpa gas buang dan pemeliharaannya yang mudah dan sederhana karena mengandung sedikit sekali komponen yang bergerak. Namun sayangnya efisiensi sel surya saat ini masih sangat rendah [4] [5]. Menurut hasil penelitian Green dkk pada tahun 2018, efisiensi tertinggi sel surya adalah sebesar 26,7% tetapi masih dalam penggunaan di dalam lab [6]. Maka dari itu dilakukan berbagai macam cara untuk meningkatkan efisiensi tersebut, baik pada bahan yang mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik maupun pada proses penangkapan cahaya matahari [7]. Salah satunya yaitu dengan melalui *Solar Tracking System* (STS).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mengoptimalkan STS dengan menggunakan pengendali metode logika *Fuzzy* berbasis DSP [8] dan berbasis komputer [9]. Dari penelitian-penelitian tersebut diketahui bahwa sel surya yang digerakkan menggunakan prinsip *dual axis* dalam mengikuti gerakan matahari mempunyai energi yang lebih optimum jika dibandingkan dengan *fixed axis solar tracker system* maupun *single axis*.

Pada penelitian ini fokus penelitian diarahkan pada peningkatan proses penangkapan cahaya matahari menggunakan *solar tracker*, yaitu perangkat atau sistem yang secara otomatis dapat mengarahkan muka panel surya pada intensitas radiasi matahari tertinggi, karena derajat posisi panel surya dapat berpengaruh pada tinggi rendahnya paparan sinar matahari yang didapat. Masukan sistem ini adalah informasi data dari *Light Dependent Resistor* (LDR) seperti yang dilakukan pada [10]. Kemudian data LDR tersebut diproses menggunakan metode *Fuzzy* sugeno orde nol untuk menghasilkan derajat posisi panel surya yang optimal. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan metode *Fuzzy* pada penelitian ini, keluaran yang digunakan untuk perbandingan adalah daya listrik yang dihasilkan oleh sistem yang dibandingkan dengan keluaran panel surya yang statis.

## METODE

Pada penelitian ini perancangan sistem terbagi menjadi beberapa tahapan diantaranya:

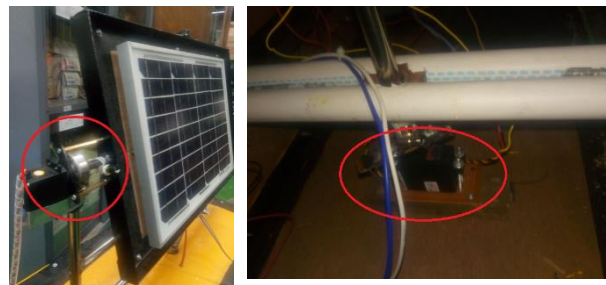
### Studi Literatur

Fungsi utama dari tahap studi literatur adalah untuk mengetahui posisi dari penelitian ini, posisi yang dimaksud adalah keterbaruan serta sumbangsih yang dapat diberikan dengan adanya penelitian ini. Untuk itu penulis mengumpulkan beberapa referensi mulai dari prioritas pemilihan penggerak berdasar penelitian - penelitian yang pernah dilakukan dengan topik yang sama yaitu pengendalian panel surya, pemilihan akan kebutuhan metode yang sesuai untuk aplikasi smart solar tracker, serta data yang akan disajikan pada hasil akhir penelitian ini.

### Perancangan Hardware

Pada tahap perancangan hardware dua modul solar panel yang diusulkan penelitian ini adalah panel surya statis dan dinamis. Untuk panel surya dinamis (*smart solar tracker*) memiliki dua penggerak utama yaitu motor servo, masing - masing servo tersebut berfungsi untuk menggerakkan panel kearah utara dan selatan, serta barat dan timur. Pada penelitian sebelumnya [10] penggunaan motor DC dinilai kurang efisien dan terbatas pada resolusi, oleh karena itu motor servo merupakan alternatif yang dapat dijadikan sebagai penggerak utama panel surya. Motor servo dipilih karena

memiliki resolusi dalam satuan derajat serta cocok digunakan untuk aplikasi dengan torsi yang tinggi. Gambar 1 berikut adalah penempatan motor servo secara mekanik pada panel surya dinamis.



Gambar 1. Posisi motor servo

Selanjutnya adalah pemilihan sensor, rangkaian sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) yang digunakan pada penelitian ini mengalami modifikasi komponen yaitu penambahan resistor yang berfungsi sebagai penguat tegangan sehingga sensitifitas atau perubahan pembacaan sensor LDR dapat diamati secara lebih detail dengan resolusi pembacaan yang lebih luas. Gambar 2 menunjukkan penambahan resistor pada sensor LDR.



Gambar 2. Rangkaian sensor LDR

Motor servo dan sensor LDR merupakan variabel input dan output untuk sistem *Fuzzy* pada penelitian ini.

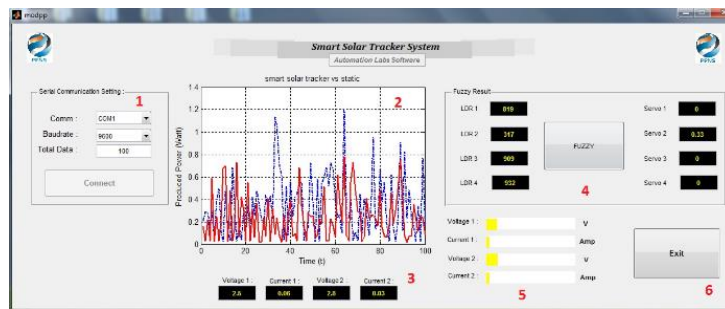
Analisis data pada tahap akhir penelitian ini menggunakan variabel daya sebagai acuan untuk menentukan selisih efisiensi antara panel surya statis dan dinamis. Daya yang merupakan hasil kalkulasi antara nilai tegangan dan arus pada penelitian ini didapatkan dengan menggunakan sensor tegangan dan sensor arus ACS 712. Kedua sensor ini terdapat pada masing - masing panel surya baik yang statis maupun dinamis. Kapasitas pembacaan untuk sensor tegangan adalah 25 VDC, dan telah memenuhi persyaratan kebutuhan pembacaan tegangan keluaran panel surya yang berada pada kisaran 0 sampai dengan 12 VDC. Sedangkan sensor arus yang digunakan adalah sensor arus dengan prinsip efek hall yang mempunyai kapasitas pembacaan arus mencapai 5 ampere.

Proses pembacaan sensor LDR, sensor arus, sensor tegangan dan pemberian sinyal penggerak motor servo dilakukan sepenuhnya oleh mikrokontroler arduino mega 2560, dengan total sensor analog yang digunakan mencapai 8 sensor analog tentunya tidak akan efisien jika menggunakan kontroler sekelas ATmega16 maupun arduino uno yang memiliki keterbatasan terminal analog. Untuk komponen tambahan lainnya yaitu beban berupa baterai dengan kapasitas 12 V, 7,2Ah serta *charger controller* sebagai indikator pengisian baterai.

### Perancangan Software

Keseluruhan data pembacaan sensor yang meliputi kondisi dari empat sensor LDR yang mengindikasikan posisi matahari, kondisi daya yang dihasilkan oleh panel surya melalui sensor arus dan sensor tegangan diolah lebih lanjut dengan menggunakan bantuan software MATLAB 2013a. Pengambilan data dilakukan secara langsung pada waktu yang bersamaan (*real time*) dengan mengakses kontroler melalui komunikasi serial via mini USB. Aplikasi berbasis desktop pada

penelitian ini memanfaatkan fasilitas GUI (*Graphical User Interface*), Gambar 3 berikut adalah tampilan GUI untuk aplikasi *smart solar tracker* berbasis *Fuzzy sugeno* orde nol.



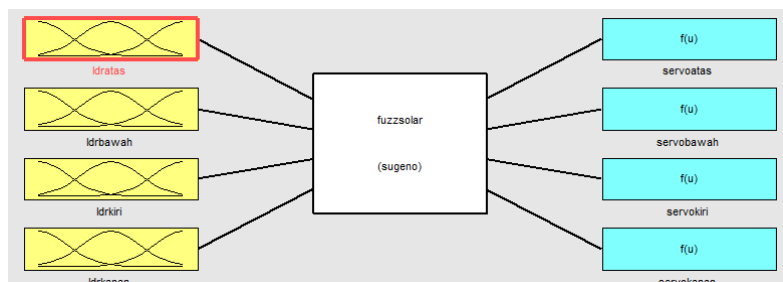
Gambar 3. GUI Matlab

Gambar 3 adalah tampilan utama software dengan keterangan sebagai berikut:

1. *Setting* komunikasi serial: pada menu ini user dapat menentukan port komunikasi (*comm*) yang digunakan, kecepatan transfer data (*baudrate*) serta kebutuhan data yang akan diambil (*total data*).
2. Grafik yang menunjukkan respon daya dari dua panel surya yang ada, grafik berwarna biru merupakan respon daya *smart solar tracker* sedangkan grafik berwarna merah merupakan respon *static solar panel*.
3. Informasi berupa nilai tegangan dan nilai arus untuk panel statis dan dinamis.
4. Pembacaan nilai ADC dari keempat sensor LDR dan hasil keluaran proses *Fuzzy* yang menentukan pergerakan servo.
5. Tampilan level analog yang dapat berubah - ubah sesuai kondisi nilai tegangan dan arus.
6. Tombol exit untuk keluar program, dan setelah program berhasil keluar maka data yang telah terekam akan disimpan secara otomatis pada file *.xls* untuk analisis data lebih lanjut.

### Aplikasi Logika *Fuzzy Sugeno* Orde Nol

Pada dasarnya *Fuzzy sugeno* orde nol memiliki tahapan yang sama seperti metode *Fuzzy* yang lain seperti *mamdani*, *Fuzzy* type II maupun type III. Tahapan tersebut adalah *fuzzifikasi*, *rule base* dan *defuzzifikasi* [11]. Yang menjadi perbedaan yaitu pada proses *defuzzifikasi*, pada *Fuzzy sugeno* orde nol setiap variabel linguistik dinyatakan dalam bentuk konstanta bukan seperti persamaan garis yang ada pada *Fuzzy sugeno* orde satu atau penentuan titik berat (*center of gravity*) sesuai bentuk keanggotaan yang ada pada *Fuzzy* *mamdani*.

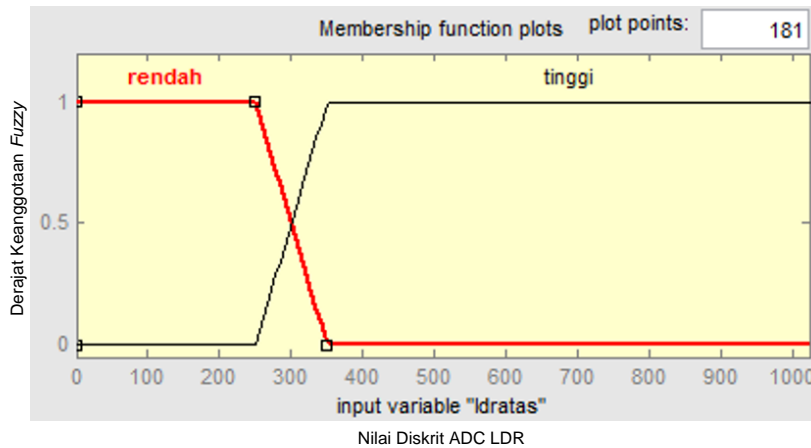


Gambar 4. Masukan dan keluaran logika *Fuzzy*

Gambar 4 menunjukkan sistem *Fuzzy* yang digunakan pada penelitian ini, sistem *Fuzzy* pada aplikasi *smart solar tracker* memiliki 4 masukan yang berasal dari pembacaan sensor LDR dan dideklarasikan dengan nama *ldratas*, *ldrbawah*, *ldrkiri* dan *ldrkanan*. Untuk keluaran sistem *Fuzzy* memiliki 4 keluaran, 2 keluaran bernama *servoatas* dan *servobawah* untuk pergerakan motor servo 1 dan *servokiri* dan *servokanan* untuk pergerakan motor servo 2.

a. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses klasifikasi rentang bilangan tertentu baik definit positif maupun negatif ke dalam bentuk variabel linguistik atau istilah yang sering digunakan di kehidupan sehari-hari [11]. Rentang bilangan untuk pembacaan sensor LDR pada penelitian ini memiliki kisaran antara 0 sampai dengan 1023, rentang tersebut adalah resolusi pembacaan nilai ADC 10 bit yang tersedia pada kontroller arduino mega 2560.



Gambar 5. Fuzzifikasi variabel input

Seperti yang ditunjukkan Gambar 5, semua variabel input LDR memiliki bentuk keanggotaan yang sama yaitu dua buah trapesium dengan variabel bernama rendah dan tinggi. Untuk variabel rendah keempat titik trapesium berada pada (0,0,250,350) sedangkan variabel tinggi memiliki titik (250,350,0,0). Titik perpotongan terjadi antara nilai 250 dan 350. Dua titik tersebut dipilih karena pada saat uji coba pembacaan LDR dari kondisi normal (kondisi ruangan skala laboratorium) ke kondisi penuh cahaya (dengan memanfaatkan cahaya lampu LED) nilai pembacaan sensor berada dikisaran 250 hingga 350 pada saat kondisi bercahaya dan lebih dari 350 saat kondisi normal.

b. Rule Base

Rule base merupakan pembentukan aturan dasar, dimana pada tahap ini pakar dapat memasukkan logika penalaran manusia yang berupa sebuah pernyataan *if(statement)then(expression)* serta memasukkan operator tambahan berupa relasi *OR* atau *AND*. Semua aturan dasar pada penelitian ini menggunakan operator *AND* sebagai penghubung antara variabel input yang ditunjukkan pada persamaan (2). Perbedaan dasar penggunaan operator pada persamaan *Fuzzy* adalah untuk menentukan nilai keanggotaan masing - masing fungsi, jika operator yang dipilih adalah fungsi *AND* maka pada setiap aturan akan dipilih nilai keanggotaan yang paling kecil (*MIN function*) sebaliknya jika yang digunakan adalah operator *OR* maka dipilih nilai keanggotaan yang paling besar (*MAX function*) seperti tertuang pada persamaan (1). Metode mencari nilai keanggotaan terbesar dan terkecil pada *Fuzzy* sugeno orde nol sering disebut dengan istilah *MINMAX function*. Berikut persamaan dari kedua fungsi tersebut:

Fungsi OR

$$\max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \dots (1)$$

Fungsi AND

$$\min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \dots (2)$$

$\mu_A(x)$  = nilai derajat keanggotaan variabel A

$\mu_B(x)$  = nilai derajat keanggotaan variabel B

min = *minimum*

max = *maximum*

Tabel 1. Aturan dasar (Rule Base)

No	LDR1	LDR2	LDR3	LDR4	S1	S2	S3	S4
1	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Orange	Orange	Orange
2	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Orange	Blue	Orange	Orange
3	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Orange	Orange	Blue	Orange
4	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Orange	Orange	Orange	Blue
5	Green	Green	Green	Green	Orange	Orange	Orange	Orange
6	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange
7	Yellow	Green	Green	Yellow	Orange	Blue	Blue	Orange
8	Yellow	Green	Yellow	Green	Orange	Blue	Orange	Blue
9	Green	Yellow	Green	Yellow	Blue	Orange	Blue	Orange
10	Green	Yellow	Yellow	Green	Blue	Orange	Orange	Blue

Keterangan:

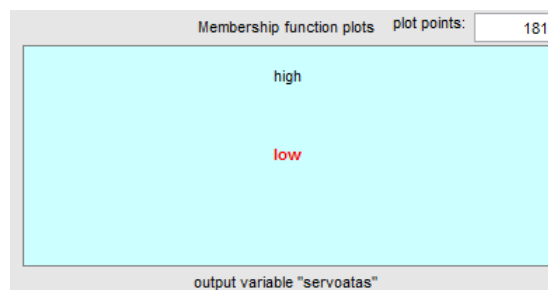
- : Kondisi LDR kategori rendah
- : Kondisi LDR kategori tinggi
- : Servo kondisi *high*
- : Servo kondisi *low*

Pada Tabel 1 tertuang aturan dasar untuk sistem *Fuzzy* sugeno orde nol. Sebagai contoh pada aturan pertama dapat dibaca :

Jika LDR1 = rendah dan LDR2 = tinggi dan LDR3 = tinggi dan LDR4 = tinggi maka S1 = *high*, S2 = *low*, S3 = *low*, S4 *low*. Atau dapat direpresentasikan jika cahaya dominan atau cenderung kearah LDR1 (atas) maka servo S1 juga bergerak kearah atas supaya posisi cahaya kembali ke titik tengah panel surya.

c. Defuzzifikasi

Pada tahap terakhir, untuk setiap variabel keluaran servo (atas, bawah, kiri, dan kanan) masing - masing memiliki dua variabel linguistik dengan nama *low* (kondisi servo mati) dan *high* (kondisi servo nyala). Variabel *low* berisi konstanta dengan nilai 0 sedangkan variabel *high* berisi konstanta dengan nilai 1. Dua kondisi ini dalam sistem pengendalian diskrit sering disebut dengan istilah flag. Gambar 6 adalah deklarasi variabel keluaran.



Gambar 6. Deklarasi variabel keluaran motor servo

Berkebalikan dengan proses fuzzifikasi, pada proses defuzzifikasi variabel linguistik akan dikuantitatifkan melalui persamaan (3) berikut :

$$z = \frac{\sum w_i f_i(x, y)}{\sum w_i} \dots (3)$$

- Z = nilai keluaran proses *Fuzzy*
- w<sub>i</sub> = nilai bobot / derajat keanggotaan
- f<sub>i</sub>(x,y) = nilai konstanta pada aturan dasar ke-i

Setelah ketiga tahapan dirancang menggunakan bantuan toolbox FIS (*Fuzzy Inference System*) MATLAB. Rancangan *Fuzzy* tersebut disimpan dengan ekstensi **.fis** untuk selanjutnya digunakan pada aplikasi GUI sehingga ketika aplikasi menerima data serial berupa informasi pembacaan

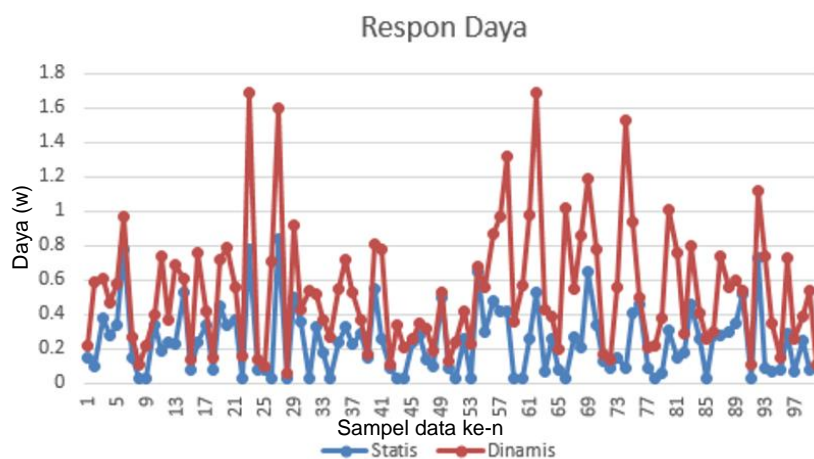
sensor LDR maka secara langsung dapat diproses dan menghasilkan *output Fuzzy* sebagai referensi pergerakan motor servo.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap pengujian, kedua panel akan dibandingkan satu sama lain dengan parameter uji yaitu daya rata - rata yang dihasilkan untuk n-sampling data. Simulasi pengujian dibagi menjadi dua kondisi yaitu simulasi pengambilan data saat matahari yang digantikan dengan cahaya lampu LED digerakkan secara bertahap dari arah timur ke barat. Untuk kondisi yang kedua arah cahaya dikondisikan mulai dari selatan ke utara.

### Respon Panel Surya Kondisi 1

Jumlah data yang diambil adalah 100 data, panel surya statis diarahkan 45 derajat dalam kondisi diam dan panel surya dinamis dikondisikan mulai kondisi 0 derajat sejajar dengan posisi awal cahaya buatan. Kedua panel surya hanya dibebani baterai 12V, 7Ah. Gambar 7 berikut adalah respon sistem panel surya kondisi 1.



**Gambar 7.** Respon daya panel statis (biru) dan dinamis (merah)

Pada gambar 7 dapat dilihat secara visual respon panel surya dinamis lebih dominan jika dibandingkan dengan panel surya statis. Sehingga dari total 100 data yang didapatkan maka rata - rata daya yang dihasilkan untuk kedua panel tersebut sebagaimana tertuang pada Tabel 2.

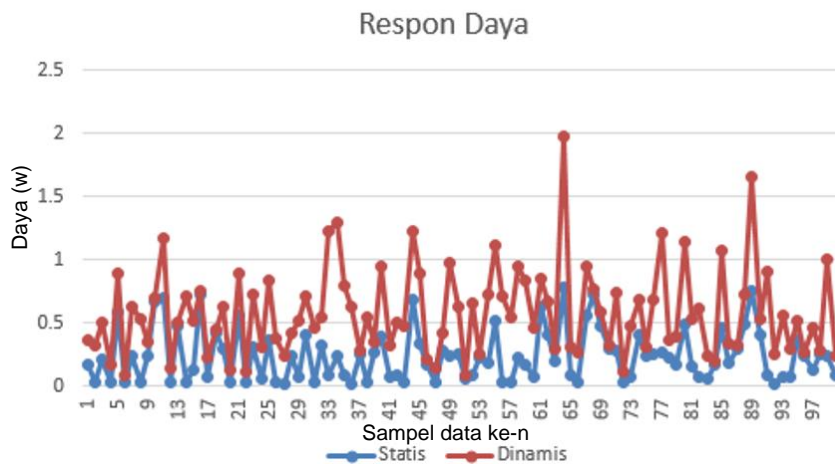
**Tabel 2.** Respon Daya Rata - Rata Kondisi 1

Variabel	Dinamis (Watt)	Statis (Watt)
Daya Rata - Rata	0,297	0,239

Daya rata - rata yang dihasilkan oleh panel surya berbasis *Fuzzy* sugeno orde nol bernilai 0,297 watt lebih besar dari panel surya statis yang hanya bernilai 0,239 watt. Dapat disimpulkan bahwa panel surya berbasis *Fuzzy* sugeno orde nol lebih efisien 24,26 % jika dibandingkan dengan panel surya statis.

### Respon Panel Surya Kondisi 2

Perbedaan antara kondisi 2 dengan kondisi 1 terdapat pada inialisasi posisi awal serta pergerakan cahaya LED yang semula dari timur ke barat menjadi selatan ke utara. Gambar 8 berikut adalah respon daya untuk kedua panel surya.



Gambar 8. Respon daya panel statis dan dinamis

Tidak jauh berbeda dengan hasil pada kondisi 1, secara visual dominasi panel surya dinamis lebih unggul dibandingkan panel statis. Daya rata - rata yang dihasilkan pada kondisi 2 tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Respon Daya Rata - Rata Kondisi 2

Variabel	Dinamis (Watt)	Statis (Watt)
Daya Rata - Rata	0,343	0,238

Selisih yang cukup signifikan terjadi ketika daya rata - rata yang dihasilkan oleh panel surya dinamis dari 100 data sampling mencapai 0,343 watt, jauh lebih besar dibandingkan panel statis yang hanya mampu mencapai 0,238 watt, sehingga dapat disimpulkan pada kondisi kedua panel surya dinamis 44,11 % lebih efisien dari panel surya statis.

Dari kedua kondisi tersebut maka efisiensi rata - rata panel surya berbasis *Fuzzy* sugeno orde nol yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 34,18%. Walau pengujian dilakukan pada skala lab, system dual axis solar tracker berbasis *Fuzzy* sugeno orde nol ini memiliki efisiensi peningkatan daya yang dihasilkan lebih unggul jika dibanding penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh P. Pangaribuan [12] dengan PI controller sebesar 6% , I. Winarno [13] dengan metode ANFIS sebesar 21.51%, H. Hijawi [14] dengan metode fuzzy Mamdani sebesar 22%, dan D. Sinha [15] dengan metode Fuzzy-PID sebesar 29.76%. Hal tersebut disebabkan karena penggunaan aturan dasar yang disesuaikan dengan kapasitas sensor dan aktuator, meskipun aktuator hanya diatur pada kecepatan konstan dan dikendalikan secara diskrit (*active high / active low*), penggunaan metode *Fuzzy* sederhana [16] [17] secara tepat sasaran mampu menghasilkan respon yang memuaskan.

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dirancang dua buah panel surya yang bersifat statis dan dinamis, panel surya dinamis pada penelitian ini merupakan panel surya berbasis kecerdasan buatan dengan menggunakan metode *Fuzzy* sugeno orde nol. Panel surya dinamis pada penelitian ini menggunakan empat buah sensor LDR dan dua buah motor servo sebagai variabel input dan output logika *Fuzzy*. Uji coba yang dilakukan pada skala lab dengan skema pengujian menggunakan cahaya buatan berupa lampu LED mendapatkan hasil bahwa efisiensi yang didapat melalui dua kondisi menunjukkan bahwa panel surya dinamis berbasis *Fuzzy* sugeno orde nol mampu menghasilkan daya rata - rata yang lebih efisien 34,18% jika dibandingkan dengan panel surya statis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas dukungan Hibah Penelitian Dosen Pemula dari Kemenristekdikti.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. R. J. Hansen, M. Sato and K. Lo, "Global surface temperature change," *In Reviews of Geophysics*, vol. 48, no. 4, 2010.
- [2] W. M. O. (WMO), "World Meteorological Organization (WMO)," 20 November 2018. [Online]. Available: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-levels-atmosphere-reach-new-record>. [Accessed 31 August 2019].
- [3] T. J. Wallington, J. Srinivasan, O. J. Nielsen and E. J. Highwood, "Greenhouse Gases and Global Warming," in *Environmental and Ecological Chemistry, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Oxford, Eolss Publishers, 2004.
- [4] Mustofa, R. Magga and Y. Arifin, "Desain Hybrid Panel Surya Tipe Monocrystalline dan Thermal Kolektor Fluida Air," *Jurnal IPTEK*, vol. 19, no. 2, pp. 67-73, 2015.
- [5] Z. H. Kafafi, R. J. Martín-Palma, A. F. Nogueira, D. M. O'Carroll, J. J. Pietron, I. D. W. Samuel, F. So, N. Tansu and L. Tsakalakos, "The role of photonics in energy," *Journal of photonics for energy*, 2015.
- [6] M. A. Green, Y. Hishikawa, E. D. Dunlop, D. H. Levi, J. Hohl- Ebinger, M. Yoshita and A. W. Ho- Baillie, "Solar cell efficiency tables (Version 53)," *Progress in Photovoltaics*, vol. 27, no. 1, pp. 3-12, 2019.
- [7] H. Ranjbar and e. al., "Neural Network based Global Maximum Power Point Tracking under partially shaded condition," in *Iranian Conference on Electrical Engineering*, 2015.
- [8] E. Atei and e. al., "Design and Construction of a Fuzzy Logic Dual Axis Solar Tracker Based on DSP," in *International Conference on Control, Instrumentation and Automation (ICCA)*, 2011.
- [9] J.-S. Choi and e. al., "Design of Fuzzy Controller based on PC for Solar Tracking System," in *International Conference on Smart Manufacturing Application*, Gyeonggi-do, 2008.
- [10] R. Adhitya, S. T. Sarena, R. A. Atmoko and D. Hartono, "Smart PV Solar Tracking System Menggunakan Metode BP-NN (Back Propagation Neural Network)," in *Seminar MASTER PPNS*, Surabaya, 2016.
- [11] S. T. Sarena, R. Y. Adhitya, C. R. Handoko and N. Rinanto, "Aplikasi Sistem Peringatan Tabrakan pada Kapal Berbasis Data GPS Menggunakan Logika Fuzzy," *Jurnal IPTEK ITATS*, vol. 20, no. 2, pp. 93-104, 2016.
- [12] P. Pangaribuan and e. all, "Perancangan Sistem Panel Surya Terkendali dalam Dua Sumbu untuk Peningkatan Efisiensi Pembangkitan Energi Listrik," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 15, no. 1, 2019.
- [13] I. Winarno and e. all, "Solar Tracking System Single Axis Pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan Daya Dengan Metode ANFIS," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2017.
- [14] H. Hijawi and e. all, "Design of Dual Axis Solar Tracker System Based on Fuzzy Inference Systems," *International Journal on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (IJSCAI)*, vol. 5, no. 2/3, 2016.
- [15] D. Sinha and e. all, "Fuzzy Logic-based Dual Axis Solar Tracking System," *International Journal of Computer Applications*, vol. 155, no. 12, 2016.
- [16] A. Budianto and e. all, "Analysis of artificial intelligence application using back propagation neural network and fuzzy logic controller on wall-following autonomous mobile robot," in *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, Yogyakarta, 2017.
- [17] R. Y. Adhitya and e. all, "Comparison methods of Fuzzy Logic Control and Feed Forward Neural Network in automatic operating temperature and humidity control system (Oyster Mushroom Farm House) using microcontroller," in *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, Bandung, 2016.

*- halaman ini sengaja dikosongkan -*