

# SISTEM PENCAHAYAAN DENGAN *FUZZY LOGIC* *CONTROLLER*

Arif Basuki<sup>1\*</sup>, Sugiarto Kadiman<sup>2</sup>, Rizki Ismail<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi D3 Teknik Elektronika, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

<sup>3</sup>Alumni Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

\*Email : [arif.basuki@itny.ac.id](mailto:arif.basuki@itny.ac.id)

## Abstrak

*Sistem pencahayaan ruangan kekinian selalu mengaitkan dengan isu lingkungan untuk pengurangan konsumsi energi primer. Sistem hibrida pencahayaan buatan dan alami dari matahari dapat menjadi solusi penghematan energi pada bangunan. Permasalahan yang terjadi dalam sistem hibrida adalah sangat bergantung pada kondisi cuaca dan interferensi cahaya berdasarkan konstruksi bangunan (terisolasi atau tidak). Penelitian ini menggunakan Fuzzy Logic Controller untuk mengatasi permasalahan tersebut. Fuzzy Logic Controller yang mendapat masukan tingkat intensitas cahaya dari dalam dan luar ruangan, digunakan untuk mengatur intensitas cahaya buatan melalui dimming lampu dan cahaya alami melalui bukaan jendela. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan sistem hibrida, pencahayaan buatan dapat dikurangi hingga setengah dari kondisi maksimal, tetapi dengan margin error yang berbeda-beda tergantung pada tingkat interferensi cahaya yang didapat. Nilai-nilai intensitas cahaya buatan dan alami dapat dimonitor secara real-time melalui Internet of Things (IoT).*

**Kata kunci:** *Sistem pencahayaan kekinian, sistem hibrida buatan dan alami, Fuzzy Logic Controller, IoT monitoring.*

## Abstract

*A “newest” room lighting system always links with environmental issues for reducing the consumption of primary energy. A hybrid system of artificial and natural lighting from the sun can be an energy saving solution for buildings. The problems that occur in a hybrid system are very dependent on weather conditions and light interference based on building construction (isolated or not). This research uses Fuzzy Logic Controller to solve this problem. Fuzzy Logic Controller, which gets input from indoor and outdoor light intensity levels, is used to adjust the intensity of artificial light through dimming of lights and natural light through window openings. The results showed that with a hybrid system, artificial lighting can be reduced to half of the maximum condition, but with a different margin of error depending on the level of light interference obtained. Artificial and natural light intensity values can be monitored in real-time via the Internet of Things (IoT).*

**Keywords:** *“The newest” lighting systems, Artificial and natural hybrid system, Fuzzy logic controller, IoT monitoring*

## 1. Pendahuluan

Sistem pencahayaan buatan (primer) pada sebuah bangunan mengonsumsi sekitar 20-30% dari total beban energi bangunan [1]. Konsumsi energi pada sistem pencahayaan buatan ini dapat dikurangi dengan memanfaatkan penggunaan energi pasif (alami).

Pemanfaatan energi matahari sebagai pencahayaan alami dapat menjadi solusi penghematan energi pada bangunan. Penggunaan penerangan alami dalam bangunan merupakan strategi penting dan berguna dalam menggantikan kebutuhan energi konvensional pada sistem pencahayaan bangunan [2][3]. Permasalahan dalam pemakaian energi matahari pada sebuah ruangan adalah adanya pengaruh yang signifikan oleh tingkat pencahayaan dan pola langit atau cuaca [4].

Solusi untuk mengatasi perubahan pola langit atau cuaca dalam pemakaian sistem pencahayaan alami (matahari) adalah dengan menambahkan *smart controller*. *Fuzzy Logic* merupakan jenis *smart controller* yang tepat digunakan untuk mengubah suatu ketidak-jelasan menjadi gradasi porsi kombinasi penggunaan pencahayaan alami dan buatan. Beberapa penelitian saat ini mengenai kombinasi sistem pencahayaan buatan dan alami dengan FLC hanya berfokus pada kombinasi yang dilakukan dengan memperhatikan besar kecilnya kombinasi tersebut dalam sebuah bangunan, dan banyaknya porsi pengkombinasian intensitas cahaya dalam bangunan [5][6][7]. Selain itu beberapa penelitian hanya melakukan pengkombinasian dalam bentuk simulasi [8][5][9]. Padahal dalam penerapan sistem pencahayaan kombinasi ruangan juga dipengaruhi oleh konstruksi bangunan terisolasi atau tidak terisolasi, dan adanya interferensi cahaya pada sekitar ruangan.

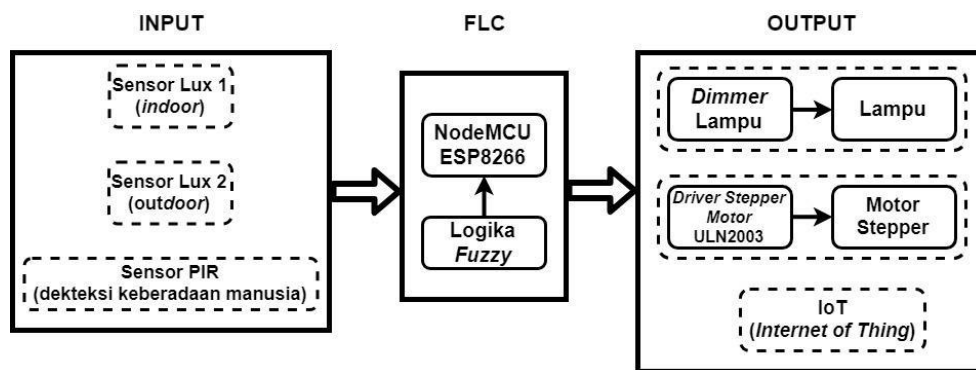
Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pencahayaan berbasis *Fuzzy Logic Controller* yang dapat memproses ketidak-jelasan sistem pencahayaan pada bangunan tidak terisolasi murni dan mungkin menghasilkan margin nilai *error* yang bergantung pada tingkat porsi dan besar nilai interferensi cahaya keadaan sekitar ruangan. Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan *Fuzzy Logic Controller* dalam sebuah perangkat keras berupa *microcontroller* yang mampu mengatur porsi intensitas cahaya lampu berdasarkan porsi cahaya matahari yang masuk ke dalam bangunan meskipun dipengaruhi oleh pola cuaca dan dimonitoring secara *real-time*.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini berupa desain sistem pencahayaan menggunakan *fuzzy logic controller* pada sebuah replika rumah sederhana. Penelitian ini difokuskan pada penerapan sistem inferensi *fuzzy* metode Mamdani berbasis *microcontroller* Node MCU8266 yang sudah *embedded* dengan kemampuan IoT (*Internet of Things*) untuk memonitor hasil operasi FLC secara *real-time*.

### 2.1. Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini dilakukan dengan mendesain suatu perangkat yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan kebutuhan perangkat keras dalam penelitian ini pada sisi masukan digunakan dua sensor lux pada tiap ruangan yang digunakan sebagai sensor tingkat iluminasi dalam ruangan dan luar ruangan, sensor keberadaan manusia sebagai pensaklaran otomatis. Sebagai perangkat kendali digunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Pada sisi luaran digunakan *dimmer* untuk pengendali tingkat pencahayaan lampu, *driver stepper motor* dan motor stepper yang menggerakkan posisi jendela.



Gambar 1. Skema perancangan perangkat keras

Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan menentukan jumlah keadaan yang akan menjadi acuan pengendalian dengan logika *fuzzy*. Pada penelitian ini digunakan lima keadaan berdasarkan kondisi cuaca yang mempengaruhi intensitas cahaya matahari terhadap intensitas cahaya di dalam ruangan yang terbaca pada sensor lux1 (*indoor*), yaitu sangat redup (SR), redup (R), sedang (S), terang (T), dan sangat terang (ST). Pada sensor lux2 (*outdoor*) digunakan lima keadaan untuk mengatur posisi bukaan jendela berdasarkan tingkat intensitas cahaya matahari untuk memaksimalkan masuknya cahaya matahari ke dalam ruangan.

### 2.2. Pengujian Sub Sistem

Pengujian terhadap tiga sub sistem dilakukan untuk mengkonfigurasi *input* dan *output* yang akan dihasilkan. Sub sistem tersebut terdiri atas sub sistem kendali penerangan primer (buatan), sub sistem kendali penerangan pasif (alami), dan sub sistem pensaklaran otomatis dengan menggunakan sensor PIR (*Passive Infra Red*).

Pengujian bagian sub sistem kendali penerangan primer (buatan) dilakukan melalui *dimming* lampu dengan mengatur luaran PWM (*Pulse Wide Modulation*) yang diberikan oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan melihat kelinieran antara intensitas cahaya dengan nilai PWM yang diberikan.

PWM merupakan pengaturan lebar pulsa pada pengendalian *output* analog yang berupa tegangan listrik 5VDC pada mikrokontroler, sehingga luaran yang diberikan tidak hanya berupa logika 0 dan 1 tetapi dapat menghasilkan nilai di antara 0 dan 1. Nilai tersebut diatur dalam skala nilai dari 0 hingga 1023 dalam satuan bit digital. Hasil dari modulasi bit PWM tersebut akan di teruskan ke *dimmer* lampu yang berupa IC

L293D yang dapat mengkonversi hasil modulasi PWM tersebut dari nilai 0 hingga 5 VDC menjadi 0 hingga 12 VDC sesuai dengan tegangan maksimum yang dibutuhkan pada lampu.

Pengujian sub sistem penerangan pasif (alami) dilakukan dengan menggunakan sensor lux yang diletakkan pada bagian luar konstruksi maket bangunan. Pada prosesnya sensor lux tersebut akan dipapari cahaya matahari buatan yang terbuat dari lampu LED dengan intensitas maksimum mencapai  $\pm 300$  lux, tetapi intensitas cahaya yang ditangkap pada sensor lux *outdoor* ini mencapai  $\pm 400$  lux, hal ini disebabkan oleh interferensi cahaya yang ditimbulkan kondisi penerangan sekitar tempat pengujian.

Pengujian ini dilakukan untuk melihat hubungan antara pembacaan sensor lux dengan kendali posisi motor *stepper* untuk menentukan lebar bukaan jendela. Posisi bukaan jendela diketahui dengan menghitung jumlah putaran motor berdasarkan *step* atau langkah yang dilakukan oleh motor yang akan menghasilkan putaran pada motor.

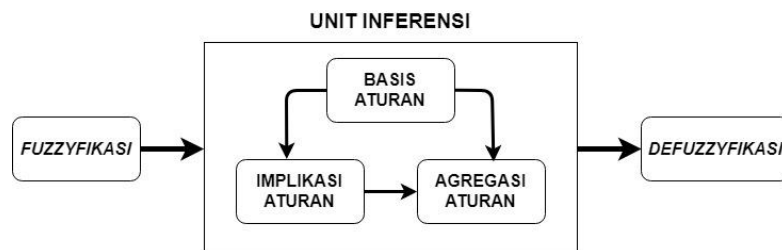
$$step = \frac{360^\circ(\text{dalam 1 putaran})}{5,6^\circ(\text{sudut per step})} \quad (1)$$

Sehingga menghasilkan persamaan untuk mencari jumlah putaran:

$$putaran = step \times 5,6^\circ(\text{sudut per step}) \quad (2)$$

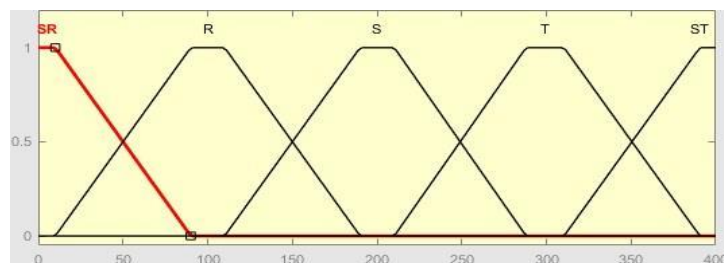
### 2.3. Fuzzy Logic Controller

Proses pengendaliannya *Fuzzy Logic Controller* (FLC) secara umum terdiri atas tiga bagian, yaitu *fuzzyfikasi*, unit inferensi, dan *defuzzyfikasi*. Setiap bagian tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 5 memiliki peran penting dalam proses pengendalian logika fuzzy [6].



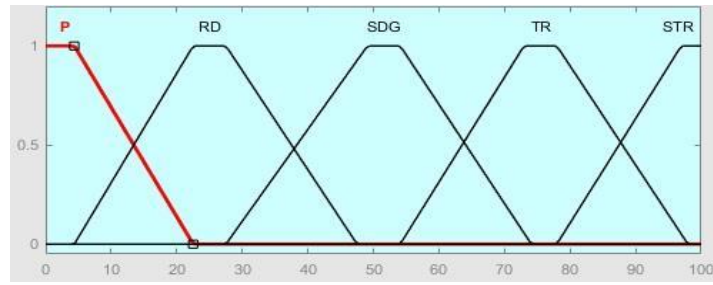
Gambar 2. Struktur internal *fuzzy logic controller*

Bagian *fuzzyfikasi* merupakan bagian yang mengubah masukan sistem berbentuk *crisp* ke dalam bahasa *fuzzy* (numerik ke linguistik) [10]. Pada penelitian ini masukan sistem berupa pengendalian lampu hidup dan mati yang bernilai 0 dan 1 diubah ke dalam lima himpunan fungsi keanggotaan yang telah dirancang sesuai dengan kebutuhan pengendalian, yaitu mengkombinasikan pencahayaan buatan dan pencahayaan alami (matahari). Proses ini dipengaruhi oleh tingkat pencahayaan atau pola langit (cuaca) [4]. Fungsi keanggotaan sistem penerangan pada proses *fuzzyfikasi* dalam penelitian ini adalah sangat redup (SR), redup (R), sedang (S), terang (T), dan sangat terang (ST), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



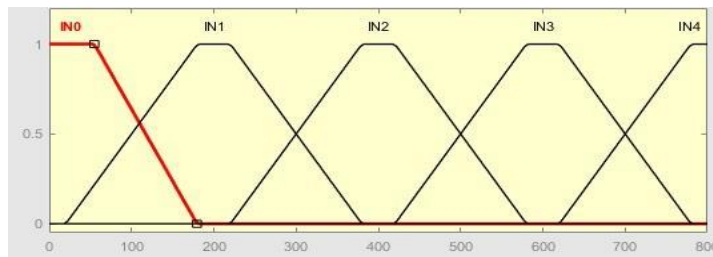
Gambar 3. Fungsi keanggotaan *fuzzy input* sistem penerangan *indoor*

Fungsi keanggotaan luaran sistem ini adalah Padam (P), Redup (RD), Sedang (SDG), Terang (TR), dan Sangat Terang (STR), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



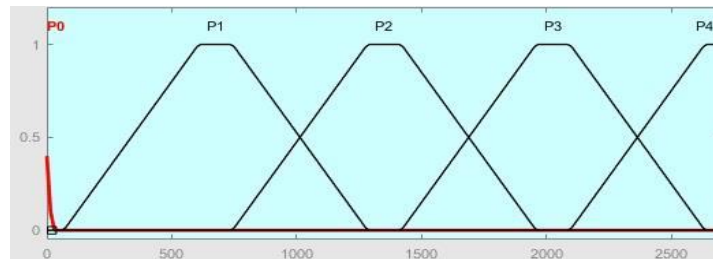
**Gambar 4.** Fungsi keanggotaan *fuzzy output* sistem penerangan *indoor*

Fungsi keanggotaan masukan proses *fuzzyfikasi* pada sistem penerangan *outdoor* dalam penelitian ini adalah Sangat Redup (IN0), Redup (IN1), Sedang (IN2), Terang (IN3), dan Sangat Terang (IN4) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



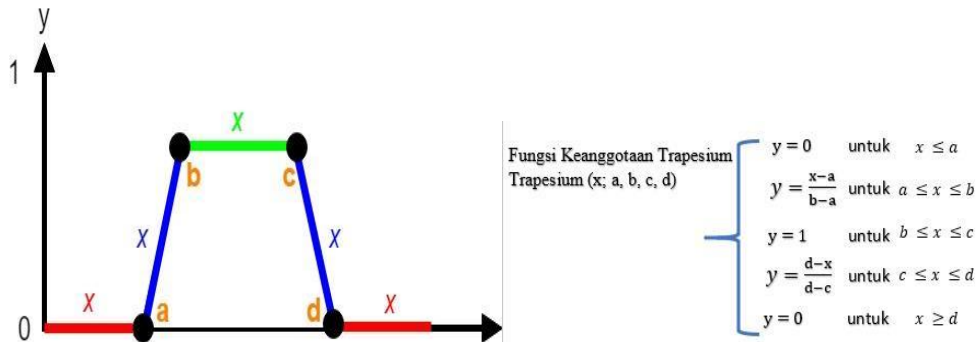
**Gambar 5.** Fungsi keanggotaan *fuzzy input* sistem penerangan *outdoor*

Fungsi keanggotaan luaran sistem penerangan *outdoor* (pada jendela) dalam penelitian ini adalah Posisi Tertutup (P0), Posisi ¼ Terbuka (P1), Posisi ½ Terbuka (P2), Posisi ¾ Terbuka (P3), dan Posisi Terbuka Penuh (P4), seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Fungsi keanggotaan *fuzzy output* sistem penerangan *outdoor* (pada jendela)

Setiap himpunan dalam semua fungsi keanggotaan sebagaimana dijelaskan di atas dibentuk oleh bangun datar trapesium untuk memudahkan pemetaan dominan dari nilai *fuzzy* yang didapat dari nilai masukan pada sensor, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Bentuk Fungsi keanggotaan trapesium

Hasil *fuzzyfikasi* yang mengubah kemampuan linguistik pada manusia menjadi beberapa fungsi keanggotaan dalam bentuk bangun datar yang telah dikelompokkan menjadi lima keanggotaan yang berbeda-beda akan diproses pada *inference system unit*. Pada penelitian ini dalam *inference system unit* digunakan metode Mamdani. Unit inferensi *fuzzy* terdiri dari beberapa tahapan hingga mendapatkan satu hasil luaran yang kemudian akan diproses pada unit *defuzzyfikasi* yang akan mengubah luaran yang semula dalam bentuk logika *fuzzy* kedalam bentuk numerik.

Tahap awal proses pada unit inferensi *fuzzy* adalah tahap *knowledge base*. Pada proses ini dilakukan penyusunan logika *fuzzy* berdasarkan pengetahuan manusia berupa premis (**IF**) yang menggambarkan situasi tertentu dalam bentuk spesifikasi *fuzzy* dari nilai yang terukur dan kesimpulan (**THEN**) yang menentukan nilai output *fuzzy* yang sesuai [2]. Rancangan *Rule Base* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

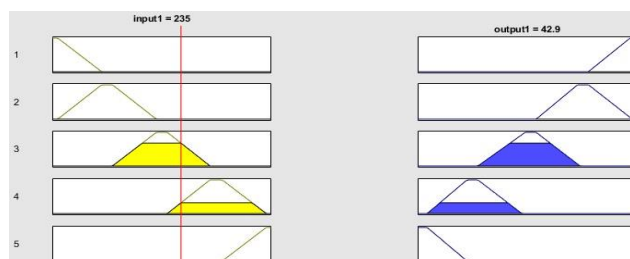
**Tabel 1.** Rancangan Rule Base sistem pencahayaan indoor

Rule Base	Hasil Kombinasi
If (input <i>I</i> is <i>SR</i> ) then (output <i>I</i> is <i>STR</i> )	Kombinasi sangat redup dengan sangat terang
If (input <i>I</i> is <i>R</i> ) then (output <i>I</i> is <i>TR</i> )	Kombinasi redup dengan terang
If (input <i>I</i> is <i>S</i> ) then (output <i>I</i> is <i>SDG</i> )	Kombinasi sangat sedang dengan sedang
If (input <i>I</i> is <i>T</i> ) then (output <i>I</i> is <i>RD</i> )	Kombinasi sangat terang dengan redup
If (input <i>I</i> is <i>ST</i> ) then (output <i>I</i> is <i>P</i> )	Kombinasi sangat terang dengan sangat padam

**Tabel 2.** Rancangan Rule Base sistem pencahayaan outdoor

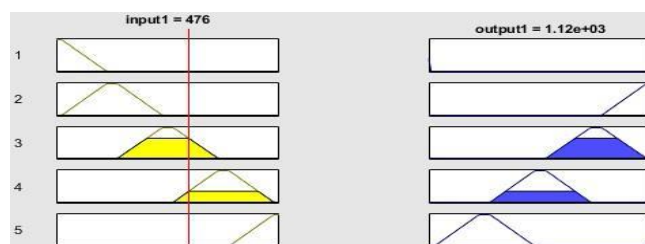
Rule Base	Hasil Kombinasi
If (input <i>I</i> is <i>IN0</i> ) then (output <i>I</i> is <i>P0</i> )	Kombinasi sangat redup dengan posisi tertutup
If (input <i>I</i> is <i>IN1</i> ) then (output <i>I</i> is <i>P4</i> )	Kombinasi redup dengan posisi terbuka penuh
If (input <i>I</i> is <i>IN2</i> ) then (output <i>I</i> is <i>P3</i> )	Kombinasi sedang dengan posisi terbuka 3/4
If (input <i>I</i> is <i>IN3</i> ) then (output <i>I</i> is <i>P2</i> )	Kombinasi terang dengan posisi terbuka 1/2
If (input <i>I</i> is <i>IN4</i> ) then (output <i>I</i> is <i>P1</i> )	Kombinasi sangat terang dengan posisi terbuka 1/4

Setelah melewati tahap *knowledge base* pada penelitian ini akan dicari hasil dari *rule base* berdasarkan keterlibatan dari tiap keanggotaan dalam proses kendali logika *fuzzy*, seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Proses ini disebut implikasi aturan.



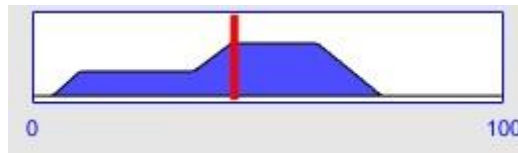
**Gambar 8.** Hasil implikasi aturan pada sistem pencahayaan indoor

Berdasarkan Gambar 8 dapat dijelaskan bahwa dimisalkan nilai input 235 dalam satuan lux berada diantara keanggotaan *S* = Sedang dan *T* = Terang, maka hasil implikasi dari *rule base* pada *output* akan menunjukkan nilai diantara *SDG* = Sedang dan *TR* = Terang dengan bobot nilai yang sama pada tiap-tiap keanggotaan pada *input* dan *output* yang apabila bobot tersebut disatukan akan didapat nilai 1 pada sumbu  $\mu$ . Hal yang sama juga berlaku pada bagian sistem pencahayaan *outdoor* seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

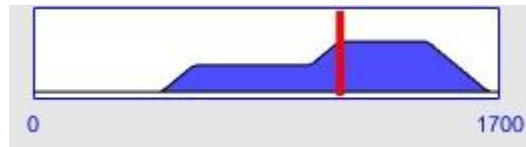


**Gambar 9.** Hasil implikasi aturan pada sistem pencahayaan outdoor

Dari hasil proses implikasi aturan akan ditentukan hasil agregasi atau komposisi aturan dan mengambil nilai maksimum dari komposisi tersebut berdasarkan metode *inference system* Mamdani. Hasil agregasi aturan ini ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



**Gambar 10.** Hasil agregasi aturan sistem pencahayaan *indoor*



**Gambar 11.** Hasil agregasi aturan sistem pencahayaan *outdoor*

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11 dapat dilihat bahwa untuk menentukan hasil agregasi aturan digunakan metode max dalam prosesnya. Dapat dilihat nilai max pada sistem pencahayaan indoor berada pada keanggotaan SDG = Sedang, dan pada sistem pencahayaan outdoor berada pada keanggotaan P2 = Posisi terbuka  $\frac{3}{4}$ .

Berdasarkan proses *inference system* tersebut, hasil kendali logika *fuzzy* diterjemahkan kembali ke dalam bentuk numerik (*crisp*). Proses ini dinamakan *defuzzyfikasi* yang juga dapat disebut sebagai penegasan dari hasil logika *fuzzy*. Pada metode Mamdani, proses *defuzzyfikasi* menggunakan COG (*Center Of Gravity*) yang mana solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat ( $z^*$ ) daerah *fuzzy*. Metode ini terdiri dari beberapa proses diantaranya adalah mencari nilai tengah dan luasan dari tiap fungsi keanggotaan, mencari nilai momentum, dan memasukkan hasil nilai momentum total dan luasan total ke dalam persamaan COG pada metode ini.

Mencari Titik Tengah bangun datar trapezium dari fungsi keanggotaan:

$$\text{Titik Tengah} = \frac{a_4 - a_1}{2} + a_1 \quad (3)$$

Mencari Luasan bangun datar trapezium dari fungsi keanggotaan:

$$\text{Luasan} = (a_4 - a_1 + a_3 - a_2) \times u \quad (4)$$

dengan nilai  $u$  adalah nilai dari proses *fuzzyfikasi* pada tiap keanggotaan yang mengindikasikan tinggi dari tiap keanggotaan.

Mencari nilai Momentum dari fungsi keanggotaan:

$$\text{Momentum} = \text{Luasan} \times \text{Titik Tengah} \quad (5)$$

Dari persamaan untuk mencari nilai luasan dan nilai momentum dapat digunakan untuk mencari nilai COG dari proses *defuzzyfikasi* dengan menjumlah nilai luasan dan nilai momentum dari tiap keanggotaan *fuzzy* berdasarkan persamaan berikut.

Persamaan umum mencari nilai COG pada proses *defuzzyfikasi*

$$\text{COG}(z^*) = \frac{\sum \text{Momen}}{\sum \text{Luasan}} \quad (6)$$

dengan  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  mendefinisikan titik sudut pada bentuk bangun datar fungsi keanggotaan seperti terlihat pada Gambar 12.

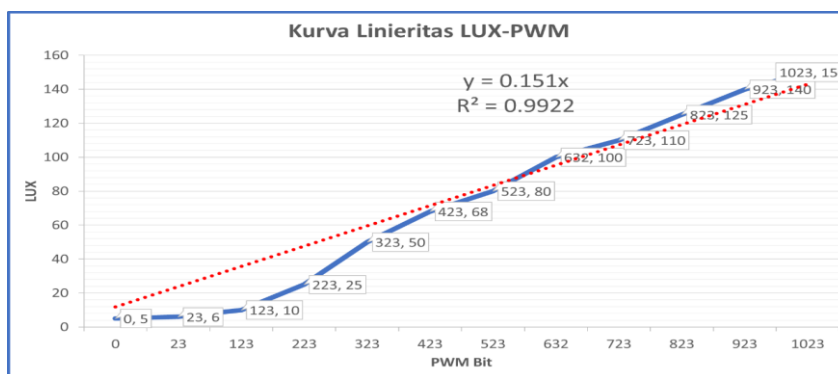


Gambar 12. Letak titik a1, a2, a3, a4 pada bentuk fungsi keanggotaan a

3. Hasil dan Analisis

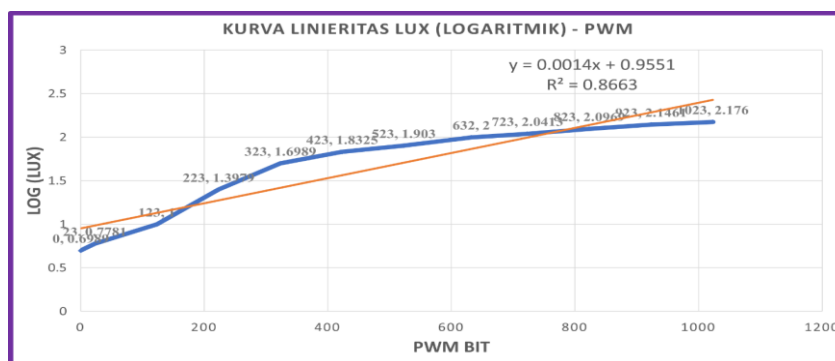
3.1. Hasil Pengujian Sub Sistem

Hasil pengujian bagian sub sistem kendali penerangan primer (buatan) yang melihat hubungan antara nilai PWM pada *dimmer* lampu penerangan primer (buatan) dengan pembacaan sensor lux, ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Gambar linieritas fluktuasi antara nilai Lux pembacaan sensor dengan nilai PWM

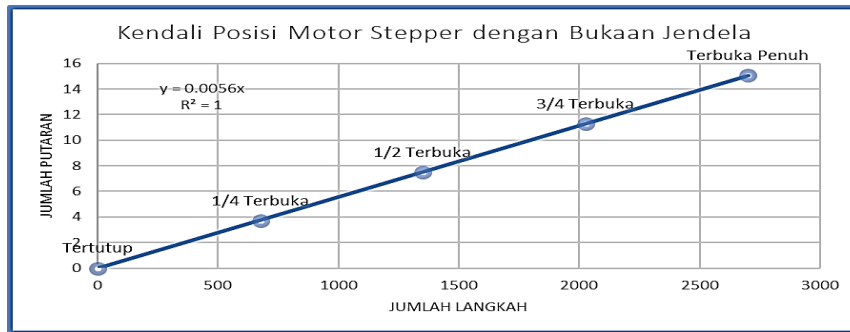
Berdasarkan pengujian hubungan antara nilai lux hasil pembacaan sensor dengan *dimming* berkala pengendalian PWM secara berurutan dapat dilihat bahwa fluktuasi nilai lux linier dengan perubahan terhadap nilai bit PWM seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Namun karena cahaya bersifat logaritmik maka nilai-nilai lux pada Gambar 13 perlu dikonversikan lagi ke dalam bentuk logaritmik dan hasil linieritasnya dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Kurva linieritas antara nilai PWM dan Lux (Logaritmik)

Hasil pengujian sub sistem penerangan pasif (alami) yang melihat hubungan antara pembacaan sensor lux dengan kendali posisi motor *stepper* untuk menentukan lebar bukaan jendela, ditunjukkan pada Gambar 15.





Gambar 15. Grafik Kendali Posisi Motor Stepper dengan Bukaannya Jendela

### 3.2. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Berdasarkan pengujian pada bagian sub sistem dapat diketahui bahwa nilai penerangan pada replika rumah sebesar  $E = 250$  lux dan nilai penerangan pada sistem matahari buatan menggunakan lampu LED 8W sebesar  $E = 600$  lux. Hasil pembacaan sensor tersebut akan kendalikan oleh FLC untuk melihat hasil pengkombinasian sistem pencahayaan buatan dan alami.

Pengujian kinerja keseluruhan sistem pada penelitian ini dilakukan pada tiga kondisi yang mewakili kondisi langit secara umum. Ketiga kondisi tersebut adalah kondisi pada (1) saat matahari terbit, (2) saat matahari mulai meninggi, dan (3) saat matahari sudah tinggi. Hasil pengujian untuk ketiga kondisi tersebut disajikan dalam Tabel 3 sampai Tabel 8, dan Gambar 16 sampai Gambar 18.

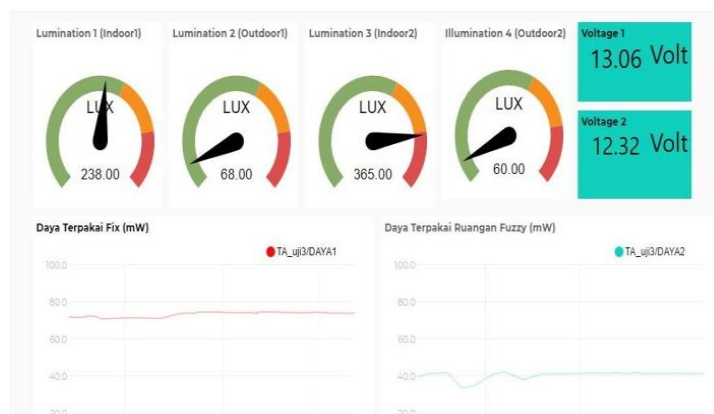
Tabel 3. Hasil operasi logika fuzzy pada kondisi simulasi matahari terbit sistem pencahayaan indoor

Pembacaan Sensor	Hasil Operasi Logika Fuzzy									
	Keanggotaan input						Keanggotaan output			
	SR	R	S	T	ST	P	RD	SDG	TR	STR
239	0	0.72	0	0	0	0	0	0	0.72	0

Tabel 4. Hasil operasi logika fuzzy pada kondisi simulasi matahari terbit sistem pencahayaan outdoor

Pembacaan Sensor	Hasil Operasi Logika Fuzzy									
	Keanggotaan input						Keanggotaan output			
	IN0	IN1	IN2	IN3	IN4	P0	P1	P2	P3	P4
69	0.89	0.31	0	0	0	0.89	0.31	0	0	0

Berdasarkan hasil operasi fuzzy di atas maka tampilan pada IOT (Internet Of Things) pada sistem pencahayaan dengan fuzzy logic controller di penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Tampilan IOT hasil operasi fuzzy sistem pencahayaan dengan fuzzy logic controller kondisi simulasi matahari terbit



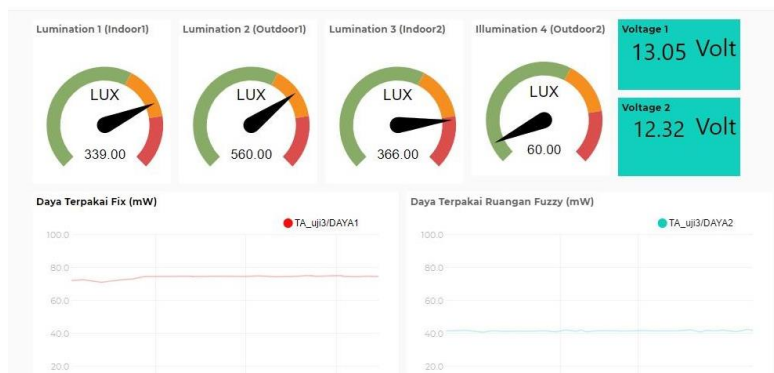
**Tabel 5.** Hasil operasi logika *fuzzy* pada kondisi simulasi matahari mulai meninggi sistem pencahayaan *indoor*

Pembacaan Sensor	Hasil Operasi Logika Fuzzy									
	Keanggotaan <i>input</i>					Keanggotaan <i>output</i>				
	SR	R	S	T	ST	P	RD	SDG	TR	STR
336	0	0.04	0.81	0	0	0	0	0.81	0.04	0

**Tabel 6.** Hasil operasi logika *fuzzy* pada kondisi simulasi matahari mulai meninggi sistem pencahayaan *outdoor*

Pembacaan Sensor	Hasil Operasi Logika Fuzzy									
	Keanggotaan <i>input</i>					Keanggotaan <i>output</i>				
	IN0	IN1	IN2	IN3	IN4	P0	P1	P2	P3	P4
507	0	0	0.46	0.54	0	0	0	0.54	0.46	0

Berdasarkan hasil operasi *fuzzy* di atas maka tampilan pada IOT (*Internet Of Things*) pada kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 17.



**Gambar 17.** Tampilan IOT hasil operasi fuzzy sistem pencahayaan dengan fuzzy logic controller kondisi simulasi matahari mulai meninggi

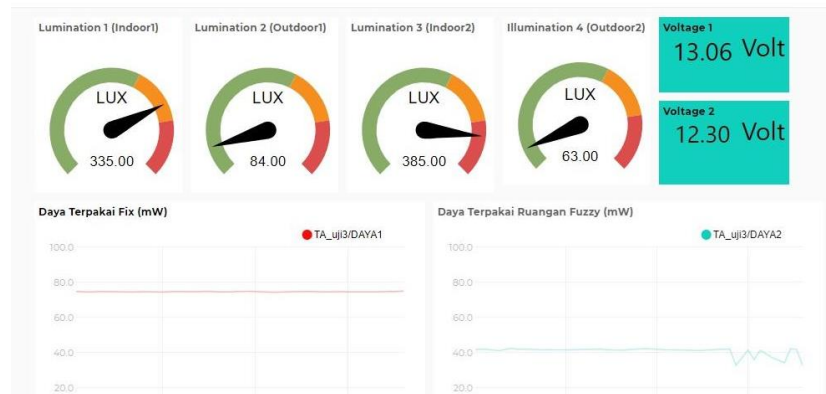
**Tabel 7.** Hasil operasi logika *fuzzy* pada kondisi simulasi matahari sudah tinggi sistem pencahayaan *indoor*

Pembacaan Sensor	Hasil Operasi Logika Fuzzy									
	Keanggotaan <i>input</i>					Keanggotaan <i>output</i>				
	SR	R	S	T	ST	P	RD	SDG	TR	STR
256	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0.6	0

**Tabel 8.** Hasil operasi logika *fuzzy* pada kondisi simulasi matahari sudah tinggi sistem pencahayaan *outdoor*

Pembacaan Sensor	Hasil Operasi Logika Fuzzy									
	Keanggotaan <i>input</i>					Keanggotaan <i>output</i>				
	IN0	IN1	IN2	IN3	IN4	P0	P1	P2	P3	P4
85	0.76	0.41	0	0	0	0.76	0	0	0	0.41

Berdasarkan hasil operasi *fuzzy* di atas maka tampilan pada IOT (*Internet Of Things*) pada kondisi ini ditunjukkan pada Gambar 18.



**Gambar 18.** Tampilan IOT hasil operasi fuzzy sistem pencahayaan dengan fuzzy logic controller kondisi simulasi matahari sudah tinggi

Dari hasil monitoring proses kendali sistem FLC untuk ketiga kondisi di atas dapat dilihat bahwa *margin* nilai *error* pada proses pengendalian sangat besar. Hal ini disebabkan oleh tempat pengujian yang tidak terisolasi sehingga menyebabkan banyak interferensi cahaya dari lingkungan pengujian.

#### 4. Kesimpulan

Sistem pencahayaan kombinasi dengan *microcontroller* Node MCU8266 yang *embedded* dengan kemampuan IoT (*Internet of Things*) telah mampu melakukan operasi dengan kendali logika *fuzzy*. Namun nilai *margin error* pada proses pengendalian melebihi 5%. Hal ini dikarenakan lingkungan pada proses penelitian tidak terisolasi sehingga menyebabkan banyaknya interferensi pada nilai masukan yang berupa cahaya dari pencahayaan alami (matahari) dengan cahaya lampu pada tempat penelitian. Dengan demikian sistem penerangan alami pada sistem tidak murni alami melainkan adalah gabungan dari pencahayaan alami (matahari) dan pencahayaan buatan dalam lingkungan penelitian atau *hybrid*.

#### Daftar Pustaka

- [1] S. D. Panjaitan and A. Hartoyo. A Lighting Control System in Buildings based on Fuzzy Logic. *Telkomnika*. 2011; vol. 9, no. 3, pp. 423–432.
- [2] M. T. Lah and B. Zupanc. Daylight illuminance control with fuzzy logic. 2006; vol. 80, pp. 307–321.
- [3] S. Görgülü and N. Ekren. Energy saving in lighting system with fuzzy logic controller which uses light-pipe and dimmable ballast. *Energy Build*. 2013; vol. 61, pp. 172–176.
- [4] D. H. W. Li and E. K. W. Tsang. An analysis of measured and simulated daylight illuminance and lighting savings in a daylit corridor. *Build. Environ*. 2005; vol. 40, no. 7, pp. 973–982.
- [5] J. Liu, W. Zhang, X. Chu, and Y. Liu. Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight. *Energy Build*. 2016; vol. 127, pp. 95–104.
- [6] A. Cziker, M. Chindris, and A. Miron. Implementation of a lighting control system based on fuzzy logic. 2007; vol. 1, no. PART 1. IFAC.
- [7] F. T. Nirwana. Alat Kendali Penerangan Ruang Dengan Logika Fuzzy Berbasis Atmega16. 2013; vol. 16, no. 12507134014, pp. 1–7.
- [8] M. Azaza, C. Tanougast, E. Fabrizio, and A. Mami. Smart greenhouse fuzzy logic based control system enhanced with wireless data monitoring. *ISA Trans*. 2016; vol. 61, pp. 297–307.
- [9] R. Susana, Perancangan Sistem Penerangan untuk Bangunan Kantor Berbasis Logika Fuzzy. *J. Inform*. 2013; vol. 4, no. 3, pp. 40–50.
- [10] C. S. Kang, C. H. Hyun, and M. Park. Fuzzy logic-based advanced on-off control for thermal comfort in residential buildings. *Appl. Energy*. 2015; vol. 155, pp. 270–283.