

## **Fuzzy Logic dalam Pengontrolan Nilai Intensitas Cahaya LED pada Mini Plant Factory Budidaya Tanaman Pak Choy (*Brassica chinensis L.*) Hidroponik**

Choirul Umam<sup>1\*</sup>, Fahmi Arief Rahman<sup>1</sup>, Mohammad Syafii<sup>1</sup>, Nurul Hidayat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Pertanian Universitas Trunojoyo Madura

Jl. Raya Telang No 02 Kamal Bangkalan Madura 69162 Jawa Timur

\*[choirul.umam@trunojoyo.ac.id](mailto:choirul.umam@trunojoyo.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i2.15347>

### **Abstrak**

Idealnya tanaman Pak Choy (*Brassica chinensis L.*) ini dibudidayakan dengan kondisi lingkungan mikro suhu 15°C- 32°C, kelembapan 60% - 80% dan intensitas cahaya matahari yang sama seperti tanaman sayur lain yaitu pada vase vegetatif 300-400 micromols/m<sup>2</sup>/detik dan masa generatif 500-1000 micromols/m<sup>2</sup>/detik. Tantangan pertanian dewasa ini adalah memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat dengan keterbatasan lahan dan kondisi lingkungan mikro tanaman yang tidak menentu, salah satu solusi permasalahan tersebut adalah bertanam menggunakan sistem *plant factory*. Logika fuzzy memiliki metode yang efektif untuk pengendalian sistem kontrol *plant factory*, dikarenakan fleksibel dan perhitungan sederhana. Tujuan dari riset ini adalah menemukan nilai PWM pada sistem kontrol *plant factory* yang sesuai dengan kebutuhan optimal budidaya sayur pak choy. Terdapat 4 tahapan dalam penelitian, yaitu input data primer LED *plant factory*, Fuzzyfikasi, Fuzzy Interface System dan Defuzzyfikasi. Data diambil menggunakan lux meter dan terdapat total 56 aturan fuzzy dan 4 aturan fuzzy yang tidak bernilai 0. Sistem kontrol tingkat pencahayaan/intensitas cahaya berbasis logika fuzzy didapatkan dengan nilai PWM (Pulse Width Modulation) 872.1662 untuk set poin intensitas cahaya sebesar 8000 Lux.

**Kata Kunci** : lingkungan mikro, Lux, otomatisasi, hidroponik

### **Abstract**

Ideally, the Pak Choy plant (*Brassica Chinensis L.*) is cultivated with microenvironmental conditions of temperature 15°C- 32°C, humidity 60% - 80% and the same intensity of sunlight as other vegetable plants, namely in a vegetative vase of 300-400 micromols/m<sup>2</sup>/second and a period of generative 500-1000 micromols/m<sup>2</sup>/sec. The challenge of agriculture today is to meet the increasing need for food with limited land and uncertain plant microenvironmental conditions, one solution to this problem is planting using a plant factory system. Fuzzy logic has an effective method for controlling plant factory control systems, due to its flexibility and simple calculations. The purpose of this research is to find the PWM value in the plant factory control system that suits the optimal needs of pak choy vegetable cultivation. There are 4 stages in the research, namely the primary data input of the LED plant factory, Fuzzyfication, Fuzzy Interface System and Defuzzification. Data was taken using a lux meter and there were a total of 56 fuzzy rules and 4 fuzzy rules that did not have a value of 0. The lighting level/light intensity control system based on fuzzy logic was obtained with a PWM (Pulse Width Modulation) value of 872.1662 for a light intensity set point of 8000 Lux.

**Key words** : micro-environment, Lux, automatization, hydroponic

## **PENDAHULUAN**

Menurut FAO sayuran merupakan salah satu bahan pangan yang termasuk dalam *desirable dietary pattern* (UN, 2017), dengan fungsi utamanya sebagai sumber serat nabati yang sangat diperlukan tubuh (Takagaki *et al.*, 2014). Dalam beberapa tahun terakhir salah satu komiti sayur yang digemari dan punya nilai ekonomis

tinggi di masyarakat Indonesia adalah sayur Pak choy. Pak choy pertama kali ditanam di china sebelum abad ke-5, dan banyak berkembang setelahnya, tanaman ini memiliki penamaan *binomial Brassica Chinensis L.* (Mickensa *et al.*, 2019). Idealnya tanaman ini dibudidayakan dengan kondisi lingkungan mikro suhu 15°C- 32°C, kelembapan 60% - 80% (Gardner *et al.*, 1991) dan intensitas cahaya matahari yang sama seperti tanaman sayur lain yaitu pada vase vegetatif 300-400 micromols/m<sup>2</sup>/detik dan masa generatif 500-1000 micromols/m<sup>2</sup>/detik (Nassiri *et al.*, 2021). Khususnya cahaya, nilai intensitas yang diterima tanaman harus sesuai (Revathi & Sivakumaran,

### **Article History:**

**Received:** May, 7<sup>th</sup> 2022; **Accepted:** July, 13<sup>th</sup> 2023

### **Cite this as :**

Umam, C., Rahman, F.A., Syafii, M & Hidayat, N. 2023. Fuzzy Logic dalam Pengontrolan Nilai Intensitas Cahaya LED pada Miniplant Factory Budidaya Tanaman Pak Choy (*Brassica chinensis, L.*) Hidroponik. Rekayasa. Vol 16(2). 235-242.

2016), secara fisiologis, tanaman menggunakan cahaya matahari untuk proses fotosintesis (Xu et al., 2017). Apabila berlebih tanaman akan mati dan apabila kekurangan tanaman juga akan tumbuh tidak optimal (Gardner et al., 1991).

Populasi penduduk perkotaan dunia pada tahun 2018 tercatat sejumlah 4.2 milyar jiwa, jumlah tersebut diperkirakan akan mencapai 5 milyar jiwa pada tahun 2030 (Rosemary & Ayalew, 2022). Peningkatan tersebut berbanding terbalik dengan jumlah masyarakat dunia yang bergerak dibidang pertanian, dimana diprediksi menurun sebanyak 3 milyar jiwa (UN, 2017). Dengan fakta diatas, diperlukan upaya optimalisasi produksi dan budidaya pertanian (Li et al., 2012). Dalam beberapa literasi (Kozai, 2013), salah satu faktor penghambat budidaya pertanian dewasa ini adalah memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat dengan keterbatasan lahan dan kondisi lingkungan mikro tanaman yang tidak menentu (Tian, et al, 2022).

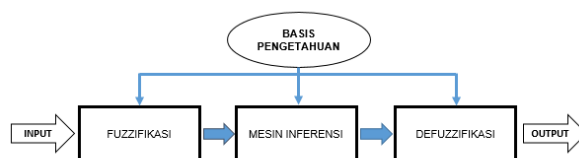
Salah satu langkah nyata dalam upaya optimalisasi produksi budidaya pertanian yang sudah dilakukan oleh beberapa negara di dunia adalah dengan melakukan budidaya menggunakan *mini plat factory/ plant factory* (Kozai et al., 2019). Khususnya dalam periode 2015- 2022 peneliti Jepang menjadi pioner utama dalam riset ini (Kozai, 2018), dalam berbagai literasi dipaparkan *Plant factory* merupakan salah satu teknologi budidaya tanaman didalam suatu tempat yang lingkungan *mikro* sekeliling tanaman terkontrol (Verdouw et al., 2021) dan sesuai dengan kebutuhan tanaman untuk tumbuh optimal (Xu et al., 2016). Metode budidaya dalam *plant factory* adalah menggunakan sistem hidroponik (Kozai et al., 2016). Kelebihan *plant factory* adalah budidaya tanaman dapat dilakukan sepanjang waktu karena tidak tergantung pada iklim dan hemat tempat karena dapat dilakukan secara vertikal (Tian et al., 2022). Di Indonesia sendiri riset terkait *mini plant factory/ plant factory* masih sangat terbatas mayoritas hampir seluruh kegiatan budidaya pertanian masih dilakukan secara konvensional.

Kegiatan budidaya pertanian melalui pendekatan *plant factory* yang dilakukan oleh negara di dunia seperti Jepang, pendekatan sistem kontrol yang digunakan adalah Logika Fuzzy (Honorato, 2022). Logika fuzzy memiliki metode yang efektif untuk pengendalian otomatis (Phan et al., 2020) dan banyak diterapkan dalam sistem kontrol pada beberapa *plant factory* di dunia (Tian,

et al., 2022). Logika ini mempelajari nilai kebenaran yang cukup banyak, didalam selang angka 0-1 (Liu, et al., 2016), ciri kedua logika ini adalah fleksibel dan perhitungan sederhana (Biswas et al., 2022). Beda dengan logika biasa dalam penyelesaian masalah, yang nilai kebenaran hanya ada 2 pilihan yaitu iya (1) dan tidak (0) (Riesgo et al., 2018). Logika fuzzy dibidang pertanian, banyak dikembangkan dan digunakan oleh peneliti Jepang (Anpo et al., 2018), namun penemu awal logika ini adalah ilmuwan Amerika Serikat Profesor Lotfi A. Zadeh dari Universitas California dan diseminasikan pertama kali tahun 1965. Logika fuzzy memiliki beberapa komponen diantaranya variabel fuzzy, himpunan fuzzy, semesta pembicaraan dan domain himpunan fuzzy. Dengan latar belakang diatas berupa potensi dan gap yang kami temukan, maka tujuan dari riset ini adalah melakukan optimalisasi produksi budidaya pertanian dengan langkah awal yaitu menemukan nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) pada sistem kontrol *plant factory* yang sesuai dengan kebutuhan optimal budidaya sayur pak choy.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Produksi Tanaman dan *Greenhouse* prodi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Trunojoyo Madura pada bulan November 2021- Mei 2022. Metode pengujian menggunakan pendekatan logika fuzzy untuk penentuan nilai PWM sistem kontrol *plant factory* budidaya pak choy hidroponik. Alat dan bahan yang digunakan diantaranya: *Arduino Mega 2560*, rangkaian LED, catu daya, *Driver L298N*, *software Arduino IDE*, Lux Meter dan Laptop. Untuk tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Input (Data Primer Performa Alat) didapat dengan menguji performa LED *plant factory* (Ali et al., 2018). Pengambilan data primer ini dilakukan selama 60 menit dengan selang waktu 2 detik/data. Data yang didapat nantinya dipakai sebagai dasar proses fuzzyfikasi dalam penentuan semesta pembicaraan, pembentukan himpunan

fuzzy, penentuan jenis kurva fuzzy dan rumus pendekatan fuzzy yang digunakan (Riesgo *et al*, 2018). *Set point* intensitas cahaya bernilai 8000 Lux (Hu, *et al*, 2017), data tersebut diambil menggunakan lux meter.

Fuzzyfikasi adalah tahap kedua pada penelitian ini, pada prinsipnya fuzzyfikasi merupakan tahap merubah dan mengelaskan data input yang bernilai eksak menjadi nilai fuzzy (Anpo, M. *et al*, 2019). Nilai eksak sama dengan nilai crisp, banyak digunakan pada pendekatan logika konvensional (logika on/off) yang nilainya 1 dan 0, sedangkan himpunan nilai fuzzy nilainya berada di range 0-1, contohnya 0.25 dan 0.70 (T. J. Ross, 2010). Himpunan fuzzy yang dibentuk menggunakan beberapa jenis kurva, contohnya kurva linier, segitiga, trapezoid, bahu dan kurva (Revathi & Sivakumaran, 2016). Output dari fuzzyfikasi adalah variabel fungsi keanggotaan ( $\mu$ ), dan selanjutnya digunakan pada tahapan di mesin inferensi (Tian *et al.*, 2022).

Mesin Inferensi (*Fuzzy Interface System*) bisa juga disebut FIS, tahap ini adalah inti dari logika fuzzy. Langkah ini merupakan pengolahan nilai dari logika fuzzy, akan dibuat basis aturan fuzzy dengan nilai variabel sesuai dengan permasalahan yang akan dipecahkan (Tian *et al.*, 2022). Selanjutnya penyelesaian masalah, proses ini memiliki beberapa pendekatan contohnya metode Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno (Revathi & Sivakumaran, 2016). FIS pada riset ini menggunakan metode tsukamoto dengan fungsi implikasi MIN (Ross, 2010).

Defuzzyfikasi merupakan proses akhir pada pengujian riset ini, tahapnya merubah setiap output FIS menjadi bilangan tegas/ crisp (Revathi & Sivakumaran, 2016). Beberapa rumus yang digunakan antara lain (Ross, 2010):

$$\alpha x = \frac{((PWM \max) - (Zx))}{(PWM \max)} \dots\dots\dots(1)$$

$$Z_{PWM} = \frac{((\alpha_1)(Z_1) + (\alpha_2)(Z_2) + \dots + (\alpha_n)(Z_n))}{\sum \alpha} \dots\dots(2)$$

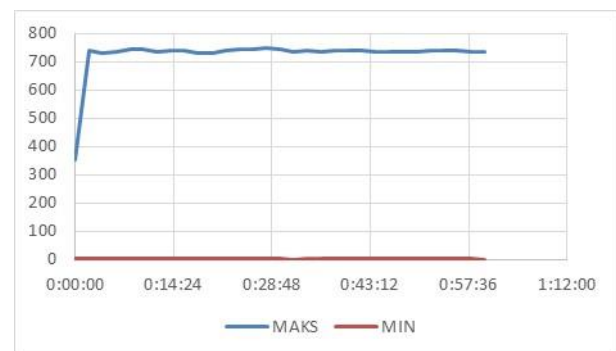
Keterangan :

- $\alpha x$  : Nilai crisp fuzzy
- $PWM \max$  : 1023
- $Zx$  : Nilai Defuzzifikasi
- $Z_{PWM}$  : Nilai PWM
- $\alpha$  : Nilai crisp fuzzy
- $Zx$  : Nilai Defuzzifikasi

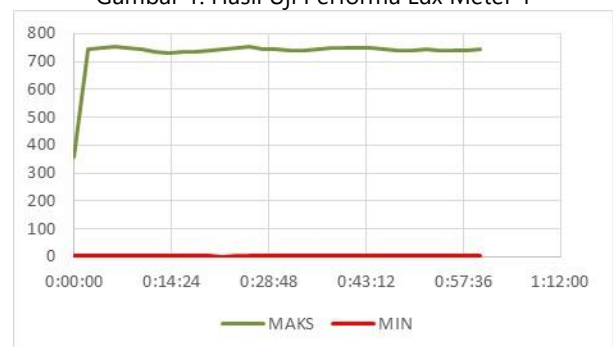
## HASIL PEMBAHASAN

### Data Primer Performa Alat

Set poin yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah 8000 Lux (Kozai, T., 2013.). Data primer alat dilakukan dengan menghidupkan LED pada mini plant factory. Pengujian pertama dilakukan selama 60 menit, pengamatan dilakukan secara manual menggunakan Lux meter. Hasil yang kami tampilkan langsung konversi dalam satuan PAR, dengan nilai kalibrasi 8000 Lux=667.2 PAR (Graamans *et al.*, 2018). Dari Gambar 1 dapat dilihat pada detik ke 0, nilai intensitas cahaya LED maksimal di angka 354 PAR dan nilai intensitas cahaya LED minimalnya adalah 15 PAR, dari nilai ini dapat diketahui bahwa mini plant factory tidak sepenuhnya kedap cahaya luar (Kozai, T., 2013.), hal ini tidak mempengaruhi hasil budidaya karena memang penelitian ini sesuai dengan literasi terdahulu (Kozai, 2013), nilai cahaya yang masuk ini tidak mempengaruhi hasil budidaya dikarenakan nilai intensitas cahaya yang masuk dengan nilai sangat kecil. Nilai tertinggi ada pada detik ke 28, dengan nilai 751 PAR dan nilai terendah pada kondisi minimal 34 dengan nilai 1.68 PAR.



Gambar 1. Hasil Uji Performa Lux Meter 1



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Performa Lux Meter 2

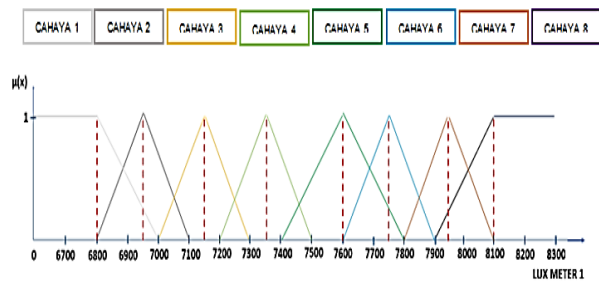
Gambar 2 diatas menampilkan hasil uji performa alat menggunakan Lux meter 2. Sama seperti Gambar 1, hasil pada pengamatan nilai intensitas cahaya pada Gambar 2 langsung

ditampilkan dalam satuan PAR. Hasil pengamatan didapat rata-rata nilai maksimal cahaya 730 PAR, nilai rata-rata minimalnya 1.55 PAR. Nilai maksimal dan minimal pada Gambar 2 dan Gambar 3, digunakan sebagai batas atas dan batas bawah semesta pembicaraan pada tahap fuzzyfikasi (Rim et al., 2018).

Dari data hasil uji performa diketahui bahwa hasil rancangan alat bekerja dengan baik, dimana nilai gangguan cahaya dari luar sangat minim dan nilai performa alat sesuai dengan buku panduan alat itu sendiri (Nalwanga 2022). Secara kuantitatif dapat dibuktikan dengan nilai intensitas cahaya yang berada pada range 1.55 PAR - 730 PAR untuk lux meter 2 dan 1.68 PAR - 751 PAR pada lux meter 1, performa baik ini sesuai jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu (Pacco, 2022), hal diatas menunjukkan hasil rancangan mini plant factory sudah bekerja dengan baik dan sesuai set poin intensitas cahaya.

**Fuzzyfikasi**

Pembentukan Himpunan Fuzzy terdapat 2 jenis himpunan Fuzzy, yaitu himpunan Fuzzy Lux meter 1 (Variabel CAHAYA) dan himpunan Lux meter 2 (Variabel TERANG). Adapun semesta pembicaraan dalam tahap fuzzyfikasi ini didapat dari tahap 1/ uji performa alat.



Gambar 4. Himpunan Fuzzy pada Variabel Cahaya Semesta pembicaraan variabel Lux METER 1 : [0 750] PAR. Domain himpunan Fuzzy dikonversi dalam satuan PAR (Ambarish, G. M., and Saroj, K. L. 2016).

- Cahaya 1 :  $x \leq 583.8$
- Cahaya 2 :  $567.12 \leq x \leq 592.14$
- Cahaya 3 :  $583.8 \leq x \leq 608.82$
- Cahaya 4 :  $600.48 \leq x \leq 625.5$
- Cahaya 5 :  $617.16 \leq x \leq 650.52$
- Cahaya 6 :  $633.84 \leq x \leq 658.86$
- Cahaya 7 :  $650.52 \leq x \leq 675.54$
- Cahaya 8 :  $x \geq 658.86$

Domain himpunan fuzzy dalam tahap fuzzyfikasi variabel Lux Meter 1 ada 8, yaitu cahaya

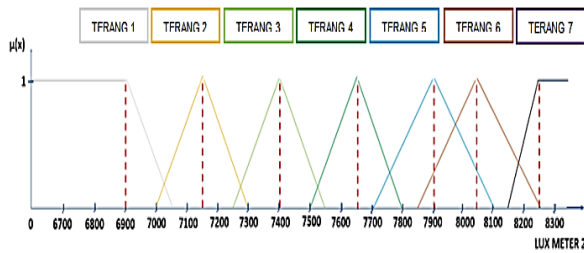
1 sampai dengan cahaya 8. Gambar 4 menggambarkan fungsi keanggotaan masing-masing domain himpunan fuzzy dalam bentuk grafik. Variabel Lux Meter 1 dinyatakan dalam bentuk fungsi keanggotaan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mu_{CAHAYA1} &= \begin{cases} 1 & ; x \leq 567.12 \\ \frac{(583.8-x)}{(583.8-567.12)} & ; 567.12 \leq x \leq 583.8 \\ 0 & ; x \geq 583.8 \end{cases} \\ \mu_{CAHAYA2} &= \begin{cases} 0 & ; x \leq 567.12 \text{ atau } x \leq 592.14 \\ \frac{(x-567.12)}{(6950-567.12)} & ; 567.12 \leq x \leq 579.63 \\ \frac{(592.14-x)}{(592.14-579.63)} & ; 579.63 \leq x \leq 592.14 \\ 0 & ; x \geq 583.8 \text{ atau } x \geq 608.82 \end{cases} \\ \mu_{CAHAYA3} &= \begin{cases} 0 & ; x \leq 583.8 \text{ atau } x \geq 608.82 \\ \frac{(x-583.8)}{(596.31-583.8)} & ; 583.8 \leq x \leq 596.31 \\ \frac{(608.82-x)}{(608.82-583.8)} & ; 596.31 \leq x \leq 608.82 \\ 0 & ; x \leq 600.48 \text{ atau } x \geq 625.5 \end{cases} \\ \mu_{CAHAYA4} &= \begin{cases} 0 & ; x \leq 600.48 \text{ atau } x \geq 625.5 \\ \frac{(x-600.48)}{(612.99-600.48)} & ; 600.48 \leq x \leq 612.99 \\ \frac{(625.5-x)}{(625.5-612.99)} & ; 612.99 \leq x \leq 625.5 \\ 0 & ; x \leq 617.16 \text{ atau } x \geq 650.52 \end{cases} \\ \mu_{CAHAYA5} &= \begin{cases} 0 & ; x \leq 617.16 \text{ atau } x \geq 650.52 \\ \frac{(x-617.16)}{(633.84-617.16)} & ; 617.16 \leq x \leq 633.84 \\ \frac{(650.52-x)}{(650.52-633.84)} & ; 633.84 \leq x \leq 650.52 \\ 0 & ; x \leq 633.84 \text{ atau } x \geq 658.86 \end{cases} \\ \mu_{CAHAYA6} &= \begin{cases} 0 & ; x \leq 633.84 \text{ atau } x \geq 658.86 \\ \frac{(x-646.35)}{(658.86-642.18)} & ; 633.84 \leq x \leq 646.35 \\ \frac{(658.86-x)}{(658.86-646.35)} & ; 646.35 \leq x \leq 658.86 \\ 0 & ; x \leq 650.52 \text{ atau } x \geq 675.54 \end{cases} \\ \mu_{CAHAYA7} &= \begin{cases} 0 & ; x \leq 650.52 \text{ atau } x \geq 675.54 \\ \frac{(x-650.52)}{(663.03-650.52)} & ; 650.52 \leq x \leq 663.03 \\ \frac{(675.54-x)}{(675.54-663.03)} & ; 663.03 \leq x \leq 675.54 \\ 1 & ; x \geq 675.54 \end{cases} \\ \mu_{CAHAYA8} &= \begin{cases} 1 & ; x \geq 675.54 \\ \frac{(x-658.86)}{(675.54-658.86)} & ; 658.86 \leq x \leq 675.54 \\ 0 & ; x \leq 658.86 \end{cases} \end{aligned}$$

Selanjutnya dari 8 fungsi keanggotaan yang terbentuk, dilakukan seleksi dengan memilih variabel CAHAYA yang bernilai ≠ 0 . Secara detail dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{CAHAYA7} &= \frac{(675.54-x)}{(675.54-663.03)} ; 663.03 \leq x \leq 675.54 \\ &= \frac{(675.54-667.2)}{(675.54-663.03)} = \frac{8.34}{12.51} = 0.6667 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{CAHAYA8} &= \frac{(x-658.86)}{(675.54-658.86)} ; 658.86 \leq x \leq 675.54 \\ &= \frac{(667.2-658.86)}{(675.54-658.86)} = \frac{8.34}{16.68} = 0.5 \end{aligned}$$



Gambar 5. Himpunan Fuzzy Pada Variabel Terang

Semesta pembicaraan variabel *Lux Meter 2* : [0 750] PAR. Domain himpunan Fuzzy dikonversi dalam satuan PAR (Ambarish, G. M., and Saroj, K. L. 2016) :

- Terang 1 :  $x \leq 596.31$
- Terang 2 :  $583.8 \leq x \leq 608.82$
- Terang 3 :  $604.65 \leq x \leq 629.67$
- Terang 4 :  $625.5 \leq x \leq 650.52$
- Terang 5 :  $642.18 \leq x \leq 675.54$
- Terang 6 :  $654.69 \leq x \leq 688.05$
- Terang 7 :  $x \geq 675.54$

Berbeda dengan domain himpunan fuzzy *Lux Meter 1*, tahap fuzzyfikasi variabel *Lux Meter 2* ada 7, yaitu TERANG 1 sampai dengan TERANG 7. Gambar 5 menggambarkan fungsi keanggotaan masing-masing domain himpunan fuzzy dalam bentuk grafik. Variabel *LUX Meter 2* dinyatakan dalam bentuk fungsi keanggotaan adalah sebagai berikut :

$$\mu_{\text{TERANG1}} = \begin{cases} 1 ; x \leq 575.46 \\ \frac{(587.97-x)}{(587.97-575.46)} ; 575.46 \leq x \leq 587.97 \\ 0 ; x \geq 587.97 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG2}} = \begin{cases} 0 ; x \leq 583.8 \text{ atau } x \leq 608.82 \\ \frac{(x-583.8)}{(596.31-583.8)} ; 583.8 \leq x \leq 596.31 \\ \frac{(608.82-x)}{(608.82-596.31)} ; 596.31 \leq x \leq 608.82 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG3}} = \begin{cases} 0 ; x \leq 604.65 \text{ atau } x \geq 629.67 \\ \frac{(x-604.65)}{(617.16-604.65)} ; 604.65 \leq x \leq 617.16 \\ \frac{(629.67-x)}{(629.67-617.16)} ; 617.16 \leq x \leq 629.67 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG4}} = \begin{cases} 0 ; x \leq 625.5 \text{ atau } x \geq 650.52 \\ \frac{(x-625.5)}{(638.01-625.5)} ; 625.5 \leq x \leq 638.01 \\ \frac{(650.52-x)}{(650.52-638.01)} ; 638.01 \leq x \leq 650.52 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG5}} = \begin{cases} 0 ; x \leq 642.18 \text{ atau } x \geq 675.54 \\ \frac{(x-642.18)}{(658.86-642.18)} ; 642.18 \leq x \leq 658.86 \\ \frac{(675.54-x)}{(675.54-658.86)} ; 658.86 \leq x \leq 675.54 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG6}} = \begin{cases} 0 ; x \leq 654.69 \text{ atau } x \geq 688.05 \\ \frac{(x-654.69)}{(671.37-654.69)} ; 654.69 \leq x \leq 671.37 \\ \frac{(688.05-x)}{(688.05-671.37)} ; 671.37 \leq x \leq 688.05 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{TERANG7}} = \begin{cases} 1 ; x \geq 688.05 \\ \frac{(x-679.71)}{(688.05-679.71)} ; 679.71 \leq x \leq 688.05 \\ 0 ; x \leq 679.71 \end{cases}$$

Selanjutnya dari 7 fungsi keanggotaan yang terbentuk, dilakukan seleksi dengan memilih variabel TERANG yang bernilai  $\neq 0$ . Secara detail dapat dilihat sebagai berikut

$$\mu_{\text{TERANG5}} = \frac{(675.54-x)}{(675.54-658.86)} ; 658.86 \leq x \leq 675.54$$

$$= \frac{(675.54-667.2)}{(675.54-658.86)} = \frac{8.34}{16.68} = 0.5$$

$$\mu_{\text{TERANG6}} = \frac{(x-654.69)}{(8050-654.69)} ; 654.69 \leq x \leq 8050$$

$$= \frac{(667.2-654.69)}{(671.37-654.69)} = \frac{12.51}{16.68} = 0.75$$

Setelah didapat fungsi keanggotaan *Lux Meter 2* dan *Lux Meter 2*, selanjutnya adalah membuat Basis Aturan Fuzzy. Fungsinya sebagai aturan dalam operasi Fuzzyfikasi. Total rule Fuzzy yang dibuat adalah 56 aturan, mengingat variabel *Input* berjumlah 2 dan masing-masing memiliki 8 *membership* (Ross, 2010). Dari hasil tahap 2 (Fuzzyfikasi) diketahui bahwa tahapan yg dilakukan pada penelitian ini telah sesuai dengan penelitian terdahulu (Krishnan *et al.*, 2019; Suganthi, 2015). Untuk hasil pada domain himpunan fuzzy CAHAYA dan TERANG menggunakan rumus dasar perhitungan fuzzy tsukamoto (Ambarish & Saroj, 2016), dengan masing-masing memiliki 2 fungsi keanggotaan variabel yang tidak bernilai 0. Hasil ini telah sesuai dengan penelitian terdahulu dan teori perhitungan fuzzy tsukamoto, dimana masing-masing fungsi keanggotaan harus memiliki minimal 1 fungsi keanggotaan yang bernilai  $\neq 0$  (Munir *et al.*, 2019). Total terdapat 4 fungsi keanggotaan variabel yang bernilai  $\neq 0$ , dan selanjutnya akan di hitung ke tahap FIS (Fuzzy Interface System) untuk didapat nilai PWM terbaik.

### Fuzzy Interface System (FIZ)

Tahap FIS merupakan tahap ke 3 dalam penelitian ini, tujuannya adalah menemukan nilai minimal pada fungsi keanggotaan aturan fuzzy yang bernilai  $\neq 0$  (Graamans *et al.*, 2018). Nilai-nilai yang didapat akan diolah pada tahap defuzzyfikasi. Tahap FIS yang dilakukan ada total 56 aturan fuzzy yang didapat, yang berasal dari 7 domain himpunan CAHAYA dan 8 domain himpunan TERANG, hal ini sudah sesuai dengan tahapan fuzzy tsukamoto pada penelitian yang lain (Ross, 2010). Adapun rule fuzzy yang dapat diolah pada FIS dapat dilihat pada tabel 1 yang bertanda



biru, total hanya ada 4, yaitu *rule 39*, *rule 40*, *rule 47* dan *rule 48*, dasar penentuan ini juga telah sesuai dengan penelitian terdahulu (Krishnan *et al.*, 2019). Nilai yang didapat akan dilakukan perhitungan lanjutan yaitu tahap defuzzyfikasi (Pacco, 2022).

Selanjutnya sama seperti Fuzzy suhu dan kelembapan adalah konversi nilai de-Fuzzyfikasi ke bentuk PWM. Rumus konversi PWM :

$$Z_{PWM} = \frac{((0.50)(511.5)+(0.50)(511.5)+(0.6667)(340.9659)+(0.50)(511.5))}{(0.50+0.50+0.6667+0.50)}$$

$$Z_{PWM} = \frac{994.5719}{2.1667} = 872.1662$$

Tahap akhir ini ada 4 perhitungan yang dilakukan, dengan goal ahir adalah mengetahui nilai PWM terbaik untuk set poin intensitas cahaya 8000 Lux (Kozai, 2013). Terdapat 4 perhitungan yang kami lakukan, dimana didapat nilai PWM akhir adalah 872,1662 hal ini telah sesuai dengan penelitian terdahulu (Pacco, 2022 dan Kozai, 2013), dimana nilai Z PWM ini akan digunakan sebagai angka yang dimasukkan ke dalam pemrograman mikrokontrol alat, dengan kondisi cahaya yang stabil dan sesuai diharapkan akan menghasilkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman yang terbaik.

## KESIMPULAN

Sistem kontrol tingkat pencahayaan/intensitas cahaya berbasis logika *fuzzy* didapatkan dengan nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) 872.1662 untuk set point intensitas cahaya sebesar 8000 Lux. Pengontrolan pada *plant factory* menggunakan pendekatan *fuzzy* tsukamoto sudah tepat, dikarenakan kelebihan pendekatan tsukamoto adalah perhitungan sederhana dan fleksibel. Saran untuk penelitian kedepan adalah pengambilan data baiknya langsung menggunakan PAR meter dikarenakan benar-benar sesuai satuan nilai intensitas cahaya tanaman (Mickensa, M. A, *et al.*, 2019). Penelitian ini masih menggunakan alat ukur *Lux meter*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, R.B., Bouadila, S., and Mami, A. (2018). Development of Fuzzy Logic Controller applied to an agricultural greenhouse experimentally validated. *Journal Applied Thermal Engineering*, Volume 141, August (2018), pages 798-810, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.06.014
- Ambarish, G. M., and Saroj, K. L. 2016. Neural Network Pattern Classification and Weather Dependent Fuzzy Logic Model for Irrigation Control in WSN Based Precision Agriculture. *Procedia Computer Science* 78 ( 2016 ) 499 – 506
- Anpo, M., Fukuda, H., Wada, T. (2019). *Ruang Semi Plant-Factory Using Artificial Light*. ISBN: 978-0-12- 813973-8, Elsevier Book Inc
- Biswas, S., Deka, B., Dash, S., and Rout, K. (2022). IoT based fuzzy logic-controlled novel and multilingual mobile application for hidroponic farming. *Journal AI, Edge and IoT-base Smart Agriculture, Intelligent Data-Centric Systems* (2022); pages 31-42, doi.org/10.1016/B978-0-12- 823694-9.00027-X
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., and Mitchell, R. L. (1991). *Fisiologi Tanaman Budidaya*. Terjemahan oleh
- Herawati Susilo , Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press), 2008
- Graamans, L., Baeza, E., Dobbblesteen, A. V. D., Tsafaras, I., Stanghellini, C. (2018). *Plant Factories Versus Greenhouse: Comparison of Resources Use Efficiency*. *ELSEVIER Journal Agricultural Systems* 160 (2018) 31-43
- Honorato, C, P. 2022. Simulation of temperature control and irrigation time in the production of tulips using Fuzzy logic. *Procedia Computer Science* 200 (2022) 1–12
- Kozai, T., 2013. Sustainable plant factory: closed plant production system with artificial light for high resource use efficiencies and quality produce. *Acta Horti* 1004, 27e40.
- Kozai, T., 2013a. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: concept, estimation and application to plant factory. *Proc. Japan Acad. Ser. B* 89, 447e461.
- Kozai, T., 2013b. Plant factory in Japan: current situation and perspectives. *Chron. Horti*. 53 (2), 8e11.

- Kozai, T., Fujiwara, K., Runkle, E. (Eds.), 2016. LED Lighting for Urban Horticulture. Springer, p. 454.
- Kozai, T. (Ed.), 2018. Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms. Springer, 456 pages.
- Kozai, T., Uraisami, K., Kai, K., Hayashi E., 2019. Some thoughts on productivity indexes of plant factory with artificial lighting (PFAL). Proceedings of International symposium on environment control technology for value-added plant production, Aug. 28e30. Beijing, China, 29 pages.
- Li, M., Kozai, T., Ohyama, K., Shimamura, D., Gonda, K., Sekiyama, T., 2012. CO<sub>2</sub> balance of a commercial closed system with artificial lighting for producing lettuce plants. HortScience 47 (9), 1257e1260
- Liu, J., Zhang, W., Chu, X., and Liu, Y. (2016). Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting system considering lighting comfort and daylight. Journal Energy and Buildings Volume 127, 1 September 2016, pages 95-104, doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.066
- Mickensa, M.A., Torralba, M., Robinson, Spencer, L.E., Romeyna, M.W., Massaa, G.D., Wheeler, R.M. (2019). Growth Of Red Pak Choi Under Red And Blue, Supplemented White, And Artificial Sunlight Provided by LEDs. ELSEVIER Journal Scientia Hortikulturae 245 (2019) 200-209
- L.A. Zadeh. (1965). Fuzzy Sets. Prosiding Information and Control Vol. 8, Issue 3 June 1965, pg. 338-353
- Madsen, S. L., Dyrmann, M., Jorgensen, R.N., and Karstoft, H. (2019). Generating artificial images of plant seedlings using generative adversarial networks. BIOSYSTEMS ENGINEERING 187 (2019) 147-159, doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.09.005
- Nalwanga, Rosemary., and Belay, Ayalew. 2022. Fuzzy Logic based Vegetable Price prediction in IoT. Procedia Computer Science 203 (2022) 807-812, doi.org/10.1016/j.procs.2022.07.121
- Nassiri, S.M., Tahavoor, A., and Jafari, A. (2021). Fuzzy logic classification of mature tomatoes based on physical properties fusion. Journal Information Processing in Agriculture, doi.org/10.1016/j.inpa.2021.09.001
- Pacco, H, C. (2022). Simulation of temperature control and irrigation time in the production of tulips using Fuzzy logic. Procedia Computer Science 200 (2022) 1-12, doi.org/j.procs.2022.01.199
- Phan, D.C., Bui, N. G., Vo, T. H., Park, S., Choi, J., Mondal, S., Kim, B. G., and Oh, J. (2020). Development of LED light therapy device with power density control using a Fuzzy logic controller. Journal Medical Engineering & Physics, Volume 86, pages 71-77, doi.org/10.1016/j.medengphy.2020.09.008
- R. Santhana Krishnan, E. Golden Julie, Y. Harold Robinson, S. Raja, Raghvendra Kumar, Pham Huy Thong, Le Hoang Son. (2019). Fuzzy Logic based Smart Irrigation System using Internet of Things, Journal of Cleaner Production, doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119902
- Rim, B. A., Salwa, B., and Abdelkader, M. 2018. Development of a Fuzzy Logic Controller applied to an agricultural greenhouse experimentally validated. Applied Thermal Engineering 141 (2018) 798-810
- Rosemary, N., and Ayalew, B. 2022. Fuzzy Logic based Vegetable Price prediction in IoT. Procedia Computer Science 203 (2022) 807-812
- S. Revathi, and N. Sivakumaran. (2016). Fuzzy Based Temperature Control of Greenhouse. IFAC-PapersOnLine 49- 1 (2016) 549-554, doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.03.112
- Suganthi, L., Iniyan, S., and Samuel, Anand, A. (2015). Applications of fuzzy logic in renewable energy systems- A review. Journal Renewable and Sustainable Energy, Reviews 48 (2015) 585-607
- T. J. Ross. (2010). Fuzzy Logic With Engineering Applications. 3th Edition. A John Wiley and Sons, Ltd, Publication
- Takagaki, M., Hara, H., Kozai, T. 2014. Indoor Horticulture Using Micro-plant Factory for Improving Quality of Life in Urban Areas e

- Design and a Social Experiment Approach. IHC 2014, Abstract Book
- Tian, Z., Ma, W., Yang, Q., and Duan, F. (2022). Application status and challenges of machine vision in plant factory. *Journal Information Processing in Agriculture*, Volume 9, Issue 2, June 2022, Pages 195-211, doi.org/10.1016/j.inpa.2021.06.003
- UN, 2017. *Planning Sustainable Cities: Global Report on Human Settlements*. UN-Habitat, United Nations, Nairobi
- Verdouw. C, Tekinerdogan. B, Beulens. A, and Wolfert. S. (2021). Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems* 189 (2021) 103046, doi.org/10.1016/j.agry.2020.103046
- Xu, Y., Chang, Y., Chen, G., Lin, H. (2016). The Research on LED Supplementary Lighting System for Plants. *ELSEVIER Journal Optik* 127 (2016) 7193-7201
- Xu, H., Fu, Y., Li, T., Wang, R. (2017). Effects Of Different LED Light Wavelengths on the Resistance Of Tomato Against Botrytis Cinerea and The Corresponding Physiological Mechanisms. *ELSEVIER Journal of Integrative Agriculture* 2017, 16(1): 106-114