



Pendekatan Logika Fuzzy dan ON/OFF pada Pengontrolan Suhu dan Kelembapan *Plant Factory* terhadap Pertumbuhan Vegetatif dan Hasil Panen Tanaman Pak Choy (*Brassica chinensis L.*)

Choirul Umam^{1*}, Sinar Suryawati², Mustika Tripatmasari³

^{1,2,3}Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura

ARTIKEL INFO

Sejarah artikel
Diterima 08/10/2022
Diterima dalam bentuk revisi 01/02/2023
Diterima dan disetujui 17/02/2023
Tersedia online 16/06/2023

Kata kunci
Daun
Indeks
Lingkungan
Pertumbuhan
Vegetatif

ABSTRAK

Sayur pak choy (*Brassica chinensis L.*) dibudidayakan pertama kali di negara China dan lebih tepatnya sebelum abad ke-5. Kondisi lingkungan mikro yang ideal untuk budidaya tanaman pak choy adalah suhu di range 15°C - 32°C, kelembapan bernilai 60% - 80% dan kebutuhan cahaya matahari selama 8 jam/hari. *Plant factory* adalah teknologi budidaya tanaman dengan kondisi lingkungan mikro terkontrol sesuai dengan kebutuhan optimal pertumbuhan tanaman. Penelitian terkait *plant factory* di dunia mayoritas berasal dari negara-negara maju dunia. Dengan alasan di atas dan ditambah besarnya potensi pasar sayuran di Indonesia khususnya, peneliti bertujuan untuk melakukan penelitian terkait *plant factory* untuk budidaya tanaman sayur pak choy (*Brassica chinensis L.*). Parameter yang dianalisa antara lain: tinggi tanaman, lebar daun, jumlah daun, bobot segar tajuk, bobot segar akar, bobot total, bobot kering total, luas daun dan indeks luas daun, klorofil daun, penyesapan cahaya dan ketebalan daun serta indeks sampah. Data hasil pertumbuhan vegetatif dan panen pak choy adalah berbasis logika fuzzy adalah sebagai berikut: tinggi tanaman 20,25 cm; lebar daun tanaman 6,95 cm; jumlah daun tanaman 12,25 buah; bobot segar tajuk 93,62 g; bobot segar akar 11,4 g; bobot total 105,02 gr; bobot kering total 18,57 gr; luas daun 25,41; indeks luas daun 0,039; klorofil daun 59,94; penyesapan cahaya 43,2; ketebalan daun 0,47; dan indeks sampah 0,89.

ABSTRACT

Vegetable pak choy (*Brassica Chinensis L.*) was cultivated first in the country of China and more precisely before the 5th century. The ideal microenvironment conditions for the cultivation of pak choy plants are temperatures in the range of 15°C - 32°C, humidity worth 60%-80% and sunlight needs for 8 hours/day. Plant factory is a plant cultivation technology with controlled microenvironment conditions in accordance with the optimal needs of plant growth, research related to plant factories in the world mostly comes from developed countries of the world. With the above reasons and plus the large potential of the vegetable market in Indonesia in particular, researchers aim to conduct research related to plant factories for the cultivation of pak choy vegetable plants (*Brassica*

Chinensis L.). The parameters analyzed included: plant height, leaf width, number of leaves, fresh weight of the canopy, fresh weight of roots, total weight, total dry weight, leaf area and leaf area index, leaf chlorophyll, light confinement and leaf thickness as well as the waste index. The data on the results of vegetative growth and harvest of pak choy are based on fuzzy logic are as follows: plant height 20,25 Cm; the width of the leaves of the plant is 6,95 Cm; the number of leaves of the plant 12,25 pieces; fresh weight of heading 93,62 Gr; fresh weight of roots 11,4 Gr; total weight 105,02 Gr; total dry weight 18,57 Gr; leaf area 25,41; leaf area index 0,03975; chlorophyll leaves 59,94; light confinement 43,2; leaf thickness 0,47; and a garbage index of 0,89.

PENDAHULUAN

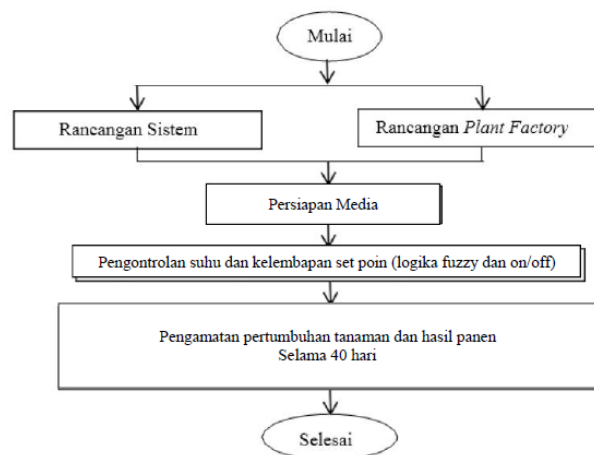
Sayur pak choy (*Brassica chinensis L.*) dibudidayakan pertama kali di negara China dan lebih tepatnya sebelum abad ke-5 (Gardner *et al.*, 1991), setelahnya mulai dikembangkan secara luas di seluruh dunia (Susila, 2013). Berdasarkan penamaan binomial, tanaman ini termasuk keluarga *Brassicaceae*/petsai (Kozai *et al.*, 2019), dapat tumbuh di iklim tropis/sub-tropis dan tanaman ini punya nilai jual yang cukup tinggi (Szysmanska *et al.*, 2017). Kondisi lingkungan mikro yang ideal untuk budidaya tanaman pak choy adalah suhu di range 15°C-32°C, kelembapan bernilai 60% - 80% dan kebutuhan cahaya matahari selama 8 jam/ hari (Mickensa *et al.*, 2019). Untuk dapat dipanen, tanaman Pak Choy dibudidayakan selama 40 hari, dengan rincian 15 hari persemaian dan 25 hari penanaman pasca semai-panen (Gardner *et al.*, 1991).

Plant factory adalah teknologi budidaya tanaman dengan kondisi lingkungan mikro terkontrol sesuai dengan kebutuhan optimal

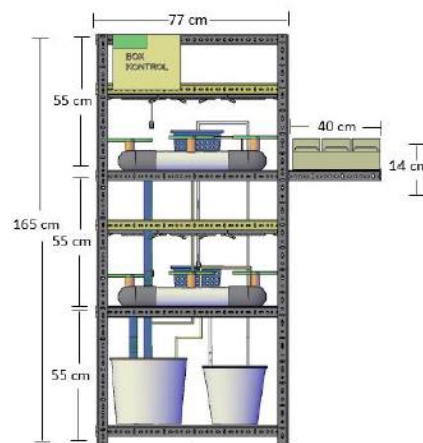
pertumbuhan tanaman (Graamans *et al.*, 2017). Penerapan teknologi ini dilakukan di dalam suatu ruangan tertutup dan dilakukan budidaya tanaman secara vertikal (Anpo *et al.*, 2018). Komponen lingkungan mikro terkontrol yang terdapat di dalam *plant factory* diantaranya: suhu dan kelembapan, kandungan nutrisi, konsentrasi CO₂ dan nilai intensitas cahaya (Jerhamre *et al.*, 2022). Cahaya yang digunakan adalah cahaya buatan, misalnya *LED*, lampu neon dan *fluorescent*, yang diatur sesuai dengan kebutuhan ideal masing-masing tanaman yang di budidayakan (Gayral, 2017). Pada *plant factory* terdapat komponen sistem kendali yang terdiri dari mikrokontrol, sensor dan aktuator (Olle & Virsille, 2013). Sistem budidaya yang digunakan di dalam *plant factory* mayoritas adalah sistem hidroponik (Hendrawan *et al.*, 2014), dan komoditi utamanya adalah tanaman sayuran (Xu *et al.*, 2016). Hidroponik sendiri merupakan teknik budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, melainkan menggunakan media tanam netral

(Anpo *et al.*, 2018). Kelebihan utama budidaya tanaman menggunakan *plant factory* diantaranya bisa dilakukan sepanjang tahun, tanaman bisa tumbuh dan panen optimal (fase vegetatif dan generatif) dan hemat tempat (Kozai *et al.*, 2019). Logika *Fuzzy* merupakan suatu ilmu yang mencari nilai kebenaran dengan jumlah bervariasi di dalam *range* angka 0-1, banyak digunakan oleh peneliti pertanian presisi di dunia khususnya Jepang (Riesgo *et al.*, 2018) sedangkan logika ON/OFF nilai kebenarannya hanya di angka 0 atau 1 (Revathi *et al.*, 2016).

Penelitian terkait *plant factory* di dunia mayoritas berasal dari negara-negara maju dunia, seperti: Jepang, China, Amerika Serikat dan beberapa negara eropa seperti Belanda (Singh *et al.*, 2015). Di Indonesia masih sangat terbatas terkait penelitian dan penerapan *plant factory* (Kozai *et al.*, 2019). Dengan alasan di atas dan ditambah besarnya potensi pasar sayuran di Indonesia khususnya (Rukaman, 1994), peneliti bertujuan untuk mengetahui performa alat dan juga pengaruh suhu serta kelembapan terhadap pertumbuhan vegetatif dan hasil panen pada budidaya sayur pak choy hidroponik di dalam *plant factory*.



Gambar 1. Tahapan penelitian



Gambar 2. Desain *plant factory*

METODE

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui performa alat dan juga pengaruh suhu serta kelembapan terhadap pertumbuhan vegetatif dan hasil panen pada budidaya sayur pak choy hidroponik di dalam *plant factory* (Gambar 2). Suhu konsisten dijaga pada angka 28°C dan kelembapan pada nilai 75%, nilai tersebut adalah kondisi optimal budidaya tanaman pak choy (Mickensa *et al.*, 2019). Untuk nilai intensitas cahaya konsisten di angka 8000 *Lux* menggunakan cahaya *LED* berwarna jingga (Kozai *et al.*, 2019). Secara umum tahapan kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Terdapat 3 pendekatan data yang didapat, yaitu data *plant factory* menggunakan logika fuzzy, data *plant factory* menggunakan logika *on/off* dan data tanaman kontrol yang ditanam secara konvensional.

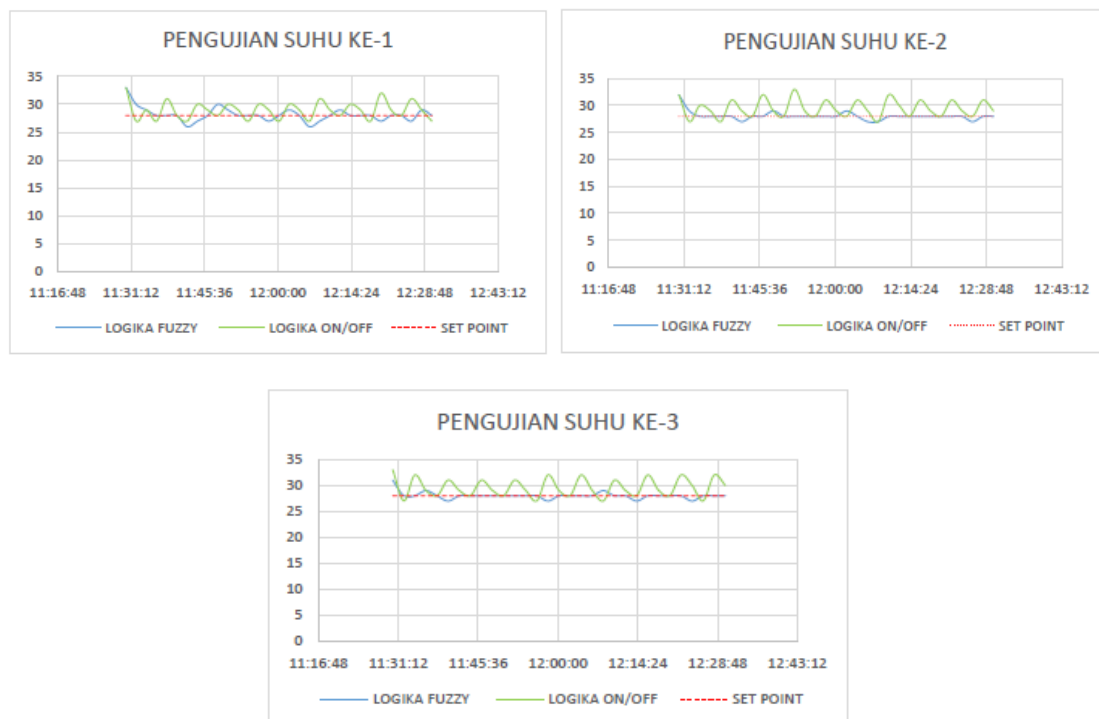
Parameter yang diamati dan dianalisa antara lain: tinggi tanaman, lebar daun, jumlah

daun, bobot segar tajuk, bobot segar akar, bobot total, bobot kering total, luas daun dan indeks luas daun, klorofil daun, penyesapan cahaya dan ketebalan daun serta indeks sampah (Gardner *et al.*, 1991). Data pertumbuhan tanaman diambil selama 40 hari dengan selisih per data adalah 5 hari (Mickensa *et al.*, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Performa Suhu dan Kelembapan *Plant Factory*

Secara umum penelitian ini dilakukan seperti skema yang ada pada Gambar 1. Uji performa suhu dan kelembapan *plant factory* dilakukan 3 (tiga) kali dan data dapat dilihat pada Gambar 3, pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui performa *plant factory* sebelum dilakukan proses budidaya pak choy di dalamnya (Kondaveeti *et al.*, 2021). Data yang didapat diambil full otomatis menggunakan modul *memory card* mikrokontrol yang ada di dalamnya (Ross, 2010).



Gambar 3. Grafik pengujian suhu *plant factory*

Set Point Suhu 28°C, pengontrolan suhu juga selalu berkaitan dengan nilai kelembapan (Anpo *et al.*, 2018). Dimana hubungan ke-2 nya selalu berbanding terbalik, khususnya di negara tropis. Pengujian suhu ruang semi *plant-factory* ke-1 didapatkan nilai uji suhu logika Fuzzy adalah *positive error*: 1,75°C (6,25%) dan *negative error*: 1,286°C (4,5992 %). Logika ON/OFF *positive error*: 1,9473°C (6,95%) dan *negative error*: 1°C (3,571%). Dari hasil di atas dapat diketahui nilai logika Fuzzy lebih buruk daripada logika ON/OFF, dengan nilai *error*: 10,8492% dibanding 10,521%. Hasil pengujian ke-1 digunakan sebagai bahan dasar pengembangan pada pengujian suhu ke-2.

Pengujian suhu ruang semi *plant-factory* ke-2 didapatkan nilai uji suhu logika Fuzzy adalah *positive error*: 1,75°C (6,25%) dan *negative error*: 1°C (3,571%). Logika ON/OFF *positive error*: 2,3°C (8,214%) dan *negative error*: 1,333°C (4,762%). Dari hasil di atas dapat diketahui nilai logika Fuzzy lebih baik daripada logika ON/OFF, dengan nilai *error* 9,821% dibanding 12,976%. Nilai tersebut (logika Fuzzy) sudah mengalami perbaikan dengan pengevaluasian nilai PWM pada aktuator. Sama seperti pengujian ke-1, nilai dari pengujian ke-2 juga digunakan sebagai bahan dasar pengembangan pada pengujian suhu ke-3. Hasil di atas dapat disimpulkan bahwa nilai *error* logika Fuzzy di bawah 10% dan itu sudah sangat bagus, jika dibanding kontrol logika ON/OFF bernilai 10%-15%.

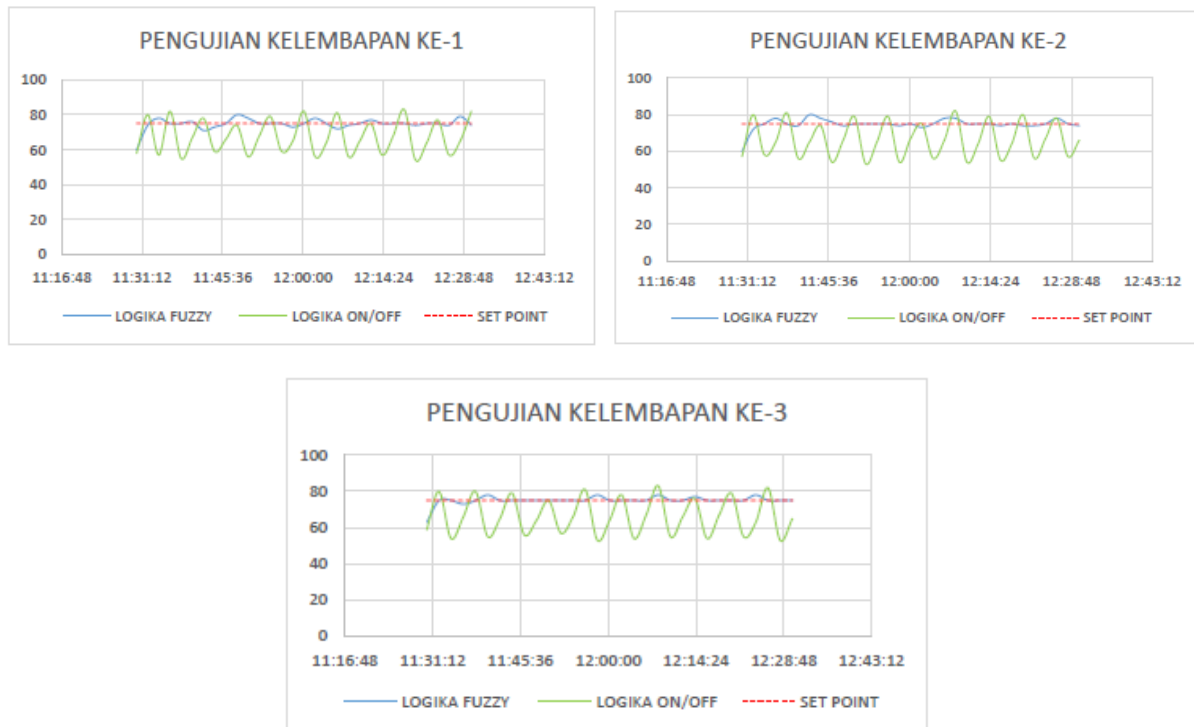
Pengujian suhu ruang semi *plant-factory* ke-3 didapatkan nilai uji suhu logika Fuzzy adalah *positive error* 1,6667°C (5,952%) dan

negative error: 1°C (3,571 %). Logika ON/OFF *positive error*: 2,5238°C (9,014%) dan *negative error*: 1°C (3,571 %). Dari hasil di atas dapat diketahui nilai logika Fuzzy lebih baik daripada logika ON/OFF, dengan nilai *error* 9,523% dibanding 12,585%. Peningkatan kualitas *Plant-Factory* logika Fuzzy tersebut, tercermin pada penurunan, hal itu sesuai dengan tujuan awal *Plant-Factory* sebagai pertanian presisi (Hendrawan *et al.*, 2014). Selanjutnya adalah pengujian kelembapan.

Hasil pengujian ruang semi *plant-factory* juga dilakukan terhadap kelembapan. Set point kelembapan adalah 75%, dasar pengujian kondisi suhu berdasar pada penelitian terdahulu oleh (Graamans *et al.*, 2017), pada pengujian ke-1 didapatkan nilai pada logika Fuzzy *positive error*: 3% (4%), *negative error*: 3,1% (4,133%) dan logika ON/OFF *positive error*: 5,44% (7,259%), *negative error*: 13,5714% (18,09%). Dari hasil uji ke-1 didapatkan nilai total *error* pada logika Fuzzy adalah 6,1% (8,133%) dan nilai logika ON/OFF 19,0114% (25,349%). Pada pengujian ke-2 didapatkan nilai pada logika Fuzzy *positive error*: 3 (4%) dan *negative error*: 3 (4%). Logika ON/OFF *positive error*: 4,75 (6,33%) dan *negative error*: 14,76 (19,683%). Jika ditotal pada uji ke-2 adalah Fuzzy 6% (8%) dan ON/OFF 19,52% (26,013%). Pengujian terakhir dilakukan berdasar pada pengujian ke-1 dan ke-2 didapatkan nilai *error* sebagai berikut logika Fuzzy 5,6% (7,4%) dan logika ON/OFF 20,228% (26,97%). Dari hasil di atas dapat diketahui nilai *error* logika Fuzzy terus mengalami penurunan dengan rata-rata nilainya

adalah dibawah 8,133%, dan untuk logika ON/OFF didapat nilai *error* rata-rata di bawah 26,97%. Terdapat perbedaan nilai *error* yang cukup besar antara logika *Fuzzy* dan logika ON/OFF, hal itu dikarenakan kondisi

kelembapan untuk berubah butuh waktu yang cukup lama (respon lama), berbeda dengan pengontrolan intensitas cahaya bisa dilakukan dengan respon yang cepat (Mickensa *et al.*, 2019).



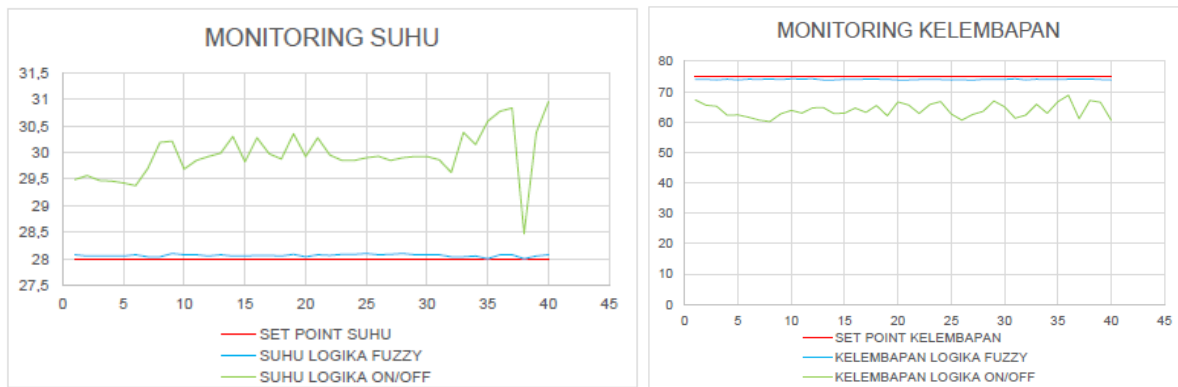
Gambar 4. Grafik pengujian kelembapan *plant factory*

Hasil pengujian Ruang Semi *Plant-Factory* juga dilakukan terhadap kelembapan, secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4. *Set point* kelembapan adalah 75%, dasar pengujian kondisi suhu berdasar pada penelitian terdahulu oleh (Graamans *et al.*, 2017) pada pengujian ke-1 didapatkan nilai pada logika *Fuzzy positive error*: 3% (4%), *negative error*: 3,1% (4,133%) dan logika ON/OFF *positive error*: 5,44% (7,259%), *negative error*: 13,5714% (18,09%). Dari hasil uji ke-1 didapatkan nilai total *error* pada logika *Fuzzy* adalah 6,1% (8,133%) dan nilai logika ON/OFF 19,0114% (25,349%). Pada pengujian ke-2 didapatkan nilai pada logika *Fuzzy positive*

error: 3 (4%) dan *negative error*: 3 (4%). Logika ON/OFF *positive error*: 4,75 (6,33%) dan *negative error*: 14,76 (19,683%). Jika ditotal pada uji ke-2 adalah *Fuzzy* 6% (8%) dan ON/OFF 19,52% (26,013%). Pengujian terakhir dilakukan berdasar pada pengujian ke-1 dan ke-2 didapatkan nilai *error* sebagai berikut logika *Fuzzy* 5,6% (7,4%) dan logika ON/OFF 20,228% (26,97%). Dari hasil di atas dapat diketahui nilai *error* logika *Fuzzy* terus mengalami penurunan dengan rata-rata nilainya adalah di bawah 8,133%, dan untuk logika ON/OFF didapat nilai *error* rata-rata di bawah 26,97%. Terdapat perbedaan nilai *error* yang cukup besar antara logika *Fuzzy* dan logika

ON/OFF, hal itu dikarenakan kondisi kelembapan untuk berubah butuh waktu yang cukup lama (respon lama), berbeda dengan pengontrolan intensitas cahaya bisa dilakukan dengan respon yang cepat (Mickensa *et al.*, 2019).

Hasil Monitoring Suhu dan Kelembaan Plant Factory



Gambar 5. Grafik monitoring suhu dan kelembapan *plant factory*

Dari data hasil monitoring suhu dan kelembapan, didapat fakta bahwa respon suhu dan kelembapan perlu waktu untuk mencapai angka yang stabil, hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu tentang *plant factory* (Mickensa *et al.*, 2019). Data pengamatan selama 40 hari dapat kami paparkan sebagai berikut: Nilai *error* suhu dapat diketahui sebagai berikut *Set point*: 28°C, logika Fuzzy *Positive Error*: 0.0628 dalam persen 0.225% dan logika ON/OFF nilai *error* adalah *Positive Error*: 2.0140 (7.193%). Nilai *negative error* pada 2 logika sama-sama bernilai 0. Dari hasil tersebut dapat diketahui nilai kontrol suhu pada logika Fuzzy sudah sangat baik sekali, sedangkan pada logika ON/OFF bernilai cukup besar jika dibandingkan dengan logika Fuzzy yaitu 7,193%. Hal tersebut sudah benar dan sesuai dengan hasil penelitian terdahulu

Setelah dilakukan uji performa suhu dan kelembapan dan didapat nilai *error* di bawah 10%, maka dilanjutkan dengan monitoring suhu dan kelembapan budidaya pak choy hidroponik pada *plant factory*, datanya dapat dilihat pada Gambar 5. Data diambil secara periodik setiap 15 menit selama 10 jam/hari dan total waktunya adalah 40 hari.

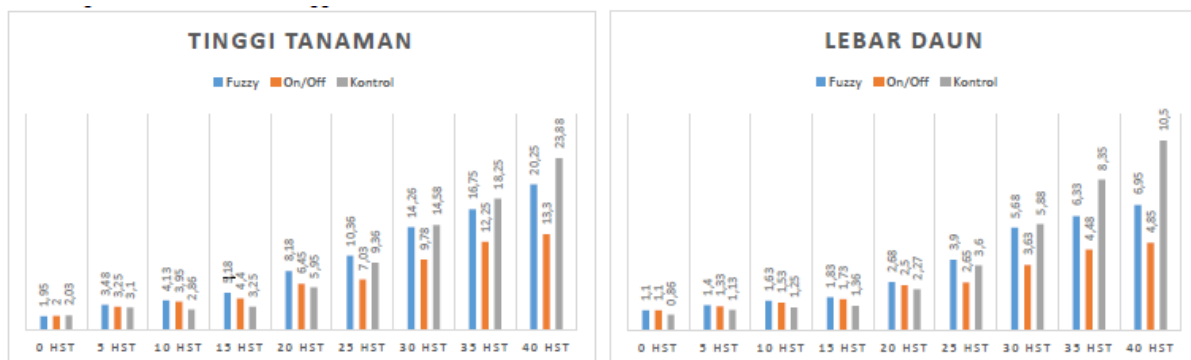
(Jerhamre *et al.*, 2022). Nilai *error* kelembapan adalah *Set point*: 75%, logika Fuzzy *Negative Error*: 0,955 (1,273%), *positive error*: 0 dan pada logika ON/OFF *Positive Error*: 0, *Negative Error*: 11,04 (14,72%). Dari hasil tersebut dapat diketahui hasil pendekatan logika Fuzzy berfungsi dengan sangat baik, ditandai dengan nilai *error* yang sangat kecil.

Hasil Pegamatan Pertumbuhan Vegetatif dan Data Panen Pak Choy

Parameter pertumbuhan yang digunakan disesuaikan dengan buku fisiologi tanaman budidaya karangan (Gardner *et al.*, 1991). Parameter yang diamati dan dianalisa antara lain: tinggi tanaman, lebar daun, jumlah daun, bobot segar tajuk, bobot segar akar, bobot total, bobot kering total, luas daun dan indeks luas daun, klorofil daun, penyesapan cahaya dan ketebalan daun serta indeks sampah.

Data pertumbuhan vegetatif pertama adalah data tinggi tanaman, data ini diambil secara periodik setiap 5 hari sekali. Data vegetatif harusnya usia tanaman hanya sampai 25 HST, namun data yang ditampilkan adalah keseluruhan sampai tanaman panen 40 HST (Rukaman, 1994). Dengan awalan rataan tinggi yang dapat dikatakan sama, sampai dengan pertumbuhan vegetatif 25 HST tanaman logika Fuzzy mempunyai nilai tertinggi, yang secara berurutan bernilai tinggi 1,95; 3,48; 4,13; 5,18; 8,18; 10,36, berselisih nilai tinggi 1 cm dengan tanaman kontrol dan 3,33 cm dengan tanaman logika ON/OFF. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan kondisi lingkungan mikro terkontrol dapat membuat tanaman bisa tumbuh optimal

(Gardner *et al.*, 1991). Ketika mulai masuk pada masa generatif didapatkan nilai tinggi logika Fuzzy: 14,26 cm; 16,75 cm; 20,25, logika ON/OFF 9,78; 12,25; 13,33 dan tinggi tanaman kontrol 14,58; 18,25; 23,88. Nilai akhir tinggi tanaman pada 35 HST tertinggi adalah tanaman kontrol 23,88 cm, kedua logika Fuzzy 20,25 cm dan logika ON/OFF 13,33 cm, ketika berumur 40 HST bernilai tinggi akhir 20,25 cm. Tanaman logika ON/OFF berukuran kecil, yaitu hanya 13,33 cm dan terakhir tanaman kontrol nilai rata-rata tingginya 23,88 cm. Untuk hasil tinggi terbaik adalah pada tanaman kontrol, hal ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor lingkungan khususnya cahaya dan bisa di optimalkan dalam penelitian selanjutnya.



Gambar 6. Grafik tinggi dan lebar daun tanaman

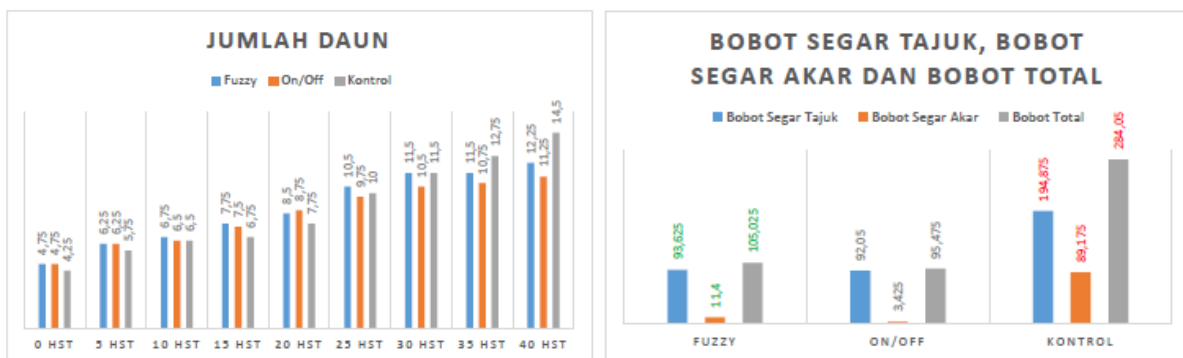
Hasil pertumbuhan lebar daun dapat dilihat pada gambar 6. Tanaman logika Fuzzy disimbolkan grafik biru, tanaman logika ON/OFF grafik orange dan tanaman kontrol grafik abu-abu. Hampir sama dengan hasil pengamatan tinggi tanaman, pada pengamatan lebar daun logika Fuzzy memimpin secara kuantitatif pada masa vegetatif atau mulai dari 1-25 HST. Nilainya sebagai berikut: tanaman logika Fuzzy 1,1 cm; 1,4 cm; 1,63 cm; 1,83 cm; 2,68 cm; 3,9 cm; 5,68 cm; 6,33; 6,95. Tanaman

logika ON/OFF 1,1 cm; 1,33 cm; 1,53 cm; 1,73 cm; 2,5 cm; 2,63 cm; 3,63 cm; 4,48 cm; 4,85. Tanaman kontrol 0,86 cm; 1,13 cm; 1,25 cm; 1,36 cm; 2,27 cm; 3,6 cm; 5,88 cm; 8,35 cm; 10,5 cm. Pada masa vegetatif 0-25 HST selisih nilai lebar daun tanaman logika Fuzzy dan tanaman kontrol adalah 0,3 cm, selisih dengan tanaman logika ON/OFF 1,27 cm. Pada masa generatif nilai akhir lebar daun tertinggi secara berurutan adalah tanaman kontrol dengan nilai

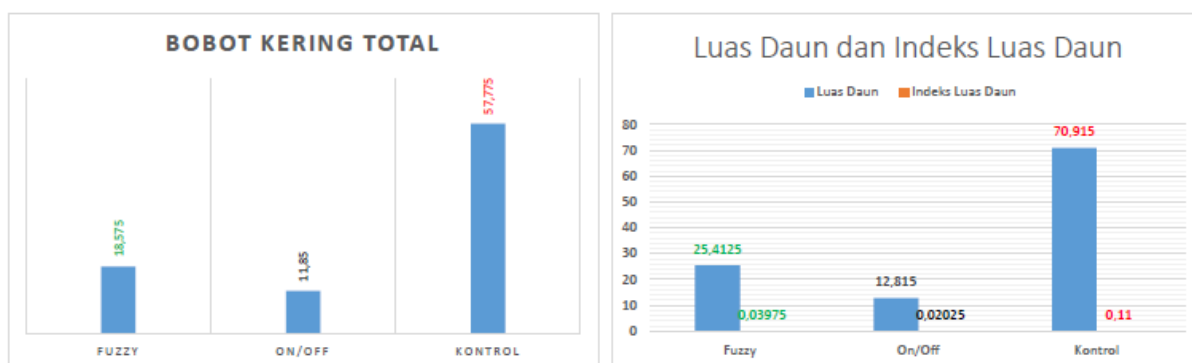
akhir 10,5 cm, tanaman logika *Fuzzy* 6,9 cm dan tanaman logika ON/OFF 4,85 cm.

Dengan awalan rata-rata jumlah daun yang dapat dikatakan sama yaitu tanaman logika *Fuzzy* 4,75 daun, tanaman logika ON/OFF 4,75 daun dan tanaman kontrol 4,25 daun. Dari grafik diketahui sampai dengan pertumbuhan vegetatif 25 HST tanaman logika *Fuzzy* mempunyai nilai tertinggi, dan bahkan sampai masuk awal tahap generatif bernilai jumlah daun sama dengan tanaman kontrol. Secara berurutan bernilai tinggi 4,75; 6,25; 6,75; 7,75;

8,5; 10,5, berselisih nilai jumlah daun 0,5 daun dengan tanaman kontrol dan 0,75 daun dengan tanaman logika ON/OFF. Ketika mulai masuk pada masa generatif didapatkan nilai jumlah daun logika *Fuzzy*: 11,5; 11,5; 12,25, logika ON/OFF 10,15; 10,75; 11,25 dan tanaman kontrol 11,5; 12,75; 14,5. Nilai akhir jumlah daun tanaman pada 35 HST tertinggi adalah tanaman kontrol 14,5 daun, kedua tanaman logika *Fuzzy* 12,25 daun dan logika ON/OFF 11,25 daun.



Gambar 7. Grafik pertumbuhan jumlah daun, bobot segar tajuk, bobot segar akar dan bobot total tanaman



Gambar 8. Grafik bobot kering, luas daun dan indeks luas daun tanaman

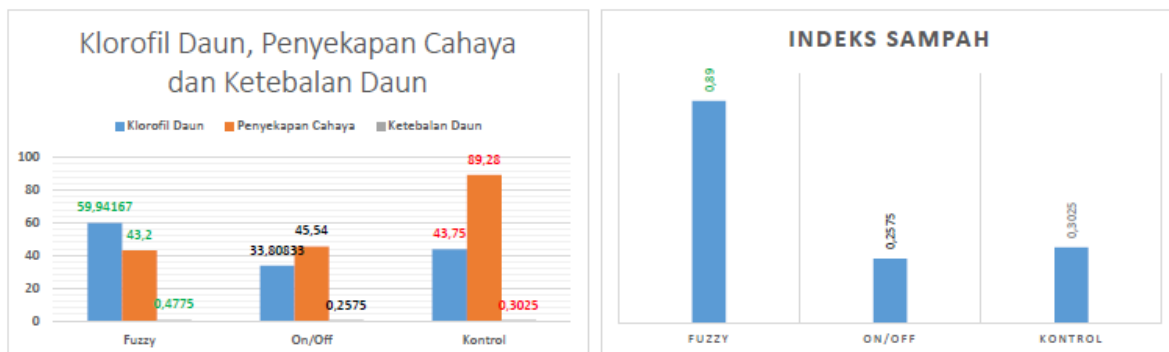
Bobot segar tajuk, bobot segar akar dan bobot total merupakan parameter penting dalam penentuan hasil panen tanaman sayuran (Gardner *et al.*, 1991). Bobot segar tajuk merupakan bobot tanaman dari pangkal bawah tanaman (atas akar) sampai ujung daun, bobot

akar dan bobot total adalah hasil penjumlahan keduanya. Didapatkan hasil tertinggi secara berurutan adalah tanaman kontrol, tanaman logika *Fuzzy* dan tanaman logika ON/OFF. Bobot segar tajuk logika *Fuzzy* 93,625 gr, logika ON/OFF 92,05 gr dan tanaman kontrol

194,875 gr. Bobot segar akar logika *Fuzzy* 11,4 gr, logika ON/OFF dan tanaman kontrol 89,175 Gr.

Bobot kering didapatkan dengan mengoven tanaman selama 48 jam dengan suhu konstan 80°C. Berat di atas merupakan berat kering total (berat tajuk dan berat akar). Jika di presentasikan nilai berat kering total dibanding berat total tanaman segar pada masing-masing perlakuan adalah sebagai berikut, perlakuan logika *Fuzzy* disimbolkan dengan angka warna hijau pada grafik punya nilai 17,68%, logika ON/OFF disimbolkan dengan angka warna hitam pada grafik punya nilai 12,41% dan tanaman kontrol disimbolkan dengan angka warna merah pada grafik punya nilai 20,33%. Bobot kering berbanding lurus dengan bobot basah (Gardner *et al.*, 1991).

Luas daun merupakan jumlah luasan daun yang memproyeksi pada bidang datar. Indeks Luas Daun (ILD) merupakan satu dari beberapa parameter yang digunakan untuk menganalisa pertumbuhan tanaman. Nilai ILD didapat dari perbandingan setiap unit luas permukaan tanah yang tertutupi oleh daun (Gardner *et al.*, 1991). ILD bisa didapat dengan membagi nilai luas daun dengan jarak tanam dikali 100%. Hubungan luas daun dan indeks luas daun dengan tanaman adalah berbanding lurus. Semakin besar luas daun dan indeks luas daun maka bobot tanaman juga harus semakin besar. Secara berurutan nilai luas daun dan indeks luas daun pada penelitian ini adalah tanaman kontrol 70,915; 0,11, tanaman logika *Fuzzy* 25,4125; 0,03975 dan tanaman logika ON/OFF 12,18; 0,02025.



Gambar 9. Grafik klorofil daun, penyebaran cahaya, ketebalan daun dan indeks sampah tanaman

Penyebaran cahaya didapatkan dengan cara menghitung nilai intensitas cahaya yang berada di bawah daun dan dibandingkan dengan intensitas cahaya yang berada di atas daun, lalu dikalikan 100%. Semakin besar penyebaran cahaya maka berbanding lurus dengan kuantitatif luas daun dan ketebalan daun (Anpo *et al.*, 2018). Menurut Gardner *et al.* (1991),

semakin besar nilai ILD akan berbanding lurus dengan nilai penyebaran cahaya, artinya hasil pada penelitian ini sesuai dengan teori fisiologi tanaman. Nilai pengamatan pada tanaman penelitian, didapatkan nilai penyebaran cahaya terbesar pada tanaman kontrol 89,28 nilai tebal daun 0,3025, tanaman logika *Fuzzy* 43,2 nilai tebal daun 0,4775 dan tanaman logika ON/OFF

penyekapan cahaya 45,54 tebal tanaman 0,2575. Nilai tebal daun tertinggi adalah tanaman logika Fuzzy yaitu 0,4775 cm, didapat dari menghitung 5 daun secara bersamaan menggunakan jangka sorong dan terakhir nilai klorofil ketika panen didapatkan nilai berurutan mulai dari yang terbesar adalah sebagai berikut: tanaman logika *Fuzzy* 59,94167, tanaman kontrol 43,75 dan tanaman logika ON/OFF 33,80833.

Indeks sampah bertujuan untuk mengetahui nilai berat tanaman yang dapat dikonsumsi. Indeks sampah dihitung dengan persamaan bagian tanaman konsumsi (tajuk) dibagi dengan bobot total tanaman dikali 100%. Hasilnya didapatkan nilai indeks sampah secara berurutan adalah tanaman logika *Fuzzy* 0,89, tanaman kontrol 0,3025 dan tanaman logika ON/OFF 0,2575. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa tanaman logika *Fuzzy* punya nilai berat tanaman konsumsi yang lebih baik daripada yang lain.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil uji performa alat untuk mengontrol kondisi suhu dan kelembapan di dalam *plant factory* dilakukan sebanyak 3 kali, didapatkan hasil terbaik adalah pada sistem kontrol logika *fuzzy*, dengan hasil nilai uji suhu: nilai *positive error* 1,6667°C (5,952%) dan nilai *negative error*: 1°C (3,571 %); serta hasil uji kelembapan nilai *error* pada logika *fuzzy* di bawah 8,133%.

Pengaruh suhu dan kelembapan terhadap pertumbuhan vegetatif dan hasil panen pada budidaya sayur pak choy hidroponik di dalam *plant factory* didapatkan hasil pertumbuhan vegetatif dan panen pak choy adalah berbasis

logika *fuzzy* adalah sebagai berikut: tinggi tanaman 20,25 Cm; lebar daun tanaman 6,95 Cm; jumlah daun tanaman 12,25 helai; bobot segar tajuk 93,625 Gr; bobot segar akar 11,4 Gr; bobot total 105,025 Gr; bobot kering total 18,575 Gr; luas daun 25,4125; indeks luas daun 0,03975; klorofil daun 59,94167; penyekapan cahaya 43,2; ketebalan daun 0,4775; dan indeks sampah 0,89.

Dengan data di atas dapat disimpulkan, pertumbuhan tanaman di masa vegetatif, generatif dan hasil panen akan optimal dengan kondisi lingkungan mikro yang sesuai, namun dengan belum maksimalnya parameter tinggi tanaman pada perlakuan budidaya logika *fuzzy* dan ON/OFF jika dibandingkan dengan tanaman kontrol perlu adanya penelitian lanjutan sebagai optimalisasi hasil budidaya khususnya yang berkaitan dengan cahaya buatan untuk budidaya sayur di dalam *plant factory*.

PERNYATAAN KONTRIBUSI

Dalam artikel ini, Choirul Umam berperan sebagai kontributor utama dan kontributor korespondensi, sementara Sinar Suryawati dan Mustika Tripatmasari sebagai kontributor anggota.

DAFTAR PUSTAKA

- Anpo, M., Fukuda, H., & Wada, T. (2018). *Plant-Factory Using Artificial Light*. ISBN: 978-0-12-813973-8, Elsevier Book Inc.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (1991). *Fisiologi Tanaman Budidaya*. Terjemahan oleh Herawati Susilo, Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).

- Gayral, B. (2017). LEDs for lighting: Basic physics and prospects for energy savings. *Comptes Rendus Physique*, 18(7-8), 453-461.
- Graamans, L., van den Dobbelsteen, A., Meinen, E., & Stanghellini, C. (2017). Plant factories; crop transpiration and energy balance. *Agricultural Systems*, 153, 138-147.
- Hendrawan, Y., Al Riza D. F., & Murase, H. (2014). Applications of Intelligent Machine Vision in Ruang Semi Plant-Factory. *Proceedings of the 19th World Congress the International Federation of Automatic Control Cape Town, South Africa, August, 24-29*.
- Jerhamre, E., Carlberg, C. J. C., & van Zoest, V. (2022). Exploring the susceptibility of smart farming: Identified opportunities and challenges. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100026.
- Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E., & Vappangi, S. (2021). A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, 40, 100364, 1-28.
- Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (Eds.). (2019). *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Academic press.
- Mickens, M. A., Torralba, M., Robinson, S. A., Spencer, L. E., Romeyn, M. W., Massa, G. D., & Wheeler, R. M. (2019). Growth of red pak choi under red and blue, supplemented white, and artificial sunlight provided by LEDs. *Scientia Horticulturae*, 245, 200-209.
- Olle, M., & Viršile, A. (2013). The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and food science*, 22(2), 223-234.
- Riesgo, Á., Alonso, P., Díaz, I., & Montes, S. (2018). Basic operations for fuzzy multisets. *International Journal of Approximate Reasoning*, 101, 107-118.
- Ross, T. J. (2009). *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons.
- Rukaman, R. (1994). *Bertanam Petsai dan Sawi*. Penerbit Kanisius: Yogyakarta.
- Revathi, S., & Sivakumaran, N. (2016). Fuzzy based temperature control of greenhouse. *IFAC-PapersOnLine*, 49(1), 549-554.
- Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 139-147.
- Susila, A. D. (2013). *Modul V Sistem Hidroponik*. IPB Press: Bogor.
- Szymańska, R., Ślesak, I., Orzechowska, A., & Kruk, J. (2017). Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 139, 165-177.
- Xu, Y., Chang, Y., Chen, G., & Lin, H. (2016). The research on LED supplementary lighting system for plants. *Optik*, 127(18), 7193-7201.