



## Rancang Bangun Sistem *Plant Factory* untuk Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.)

### Prototype of Plant Factory System for Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Plant Production

Galih Mustiko Aji\*<sup>1</sup>, Artdhita Fajar Pratiwi<sup>1</sup>, Sari Widya Utami<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap, Cilacap, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Pengembangan Produk Agroindustri, Politeknik Negeri Cilacap, Cilacap, Indonesia

\*Penulis Korespondensi

Email: [galihma@gmail.com](mailto:galihma@gmail.com)

**Abstrak.** Saat ini di Indonesia, jarang yang melakukan budidaya tanaman pakcoy dengan sistem *plant factory*. Sistem *plant factory* dalam ruangan sangat bergantung pada kuantitas dan kualitas cahaya buatan yang digunakan dan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan desain sistem *plant factory* terbaik untuk tanaman pakcoy dengan kuantitas dan kualitas lampu LED yang tepat untuk pertumbuhan dan hasil tanaman pakcoy. Metode penelitian ini adalah eksperimen dengan membuat sistem *plant factory* yang dirancang dengan sumber pencahayaan buatan yaitu lampu LED yang intensitasnya diatur sebesar 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  dan lama penyinaran yang divariasikan selama 12 jam, 16 jam, 20 jam dan 24 jam. Pengaturan kestabilan intensitas cahaya pada sistem *plant factory* menggunakan PWM driver dengan tingkat toleransi sebesar  $\pm 2\%$ . Parameter pertumbuhan adalah tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman pakcoy digunakan sebagai variabel pengujian dari sistem *plant factory* yang dibangun. Hasil penelitian menunjukkan sistem *plant factory* yang dibuat mampu memproduksi tanaman pakcoy dengan produksi tertinggi didapatkan pada lama penyinaran selama 24 jam.

**Kata kunci:** *plant factory*, LED, pakcoy, produksi

**Abstract.** Cultivating pakcoy plants with a *plant factory* system is rare in Indonesia. The indoor *plant factory* system depends on the quantity and quality of artificial light used according to the plant's needs. This research aimed to obtain the best *plant factory* system design for pakcoy plants with the correct quantity and quality of LED lights for the growth and yield of pakcoy plants. This research method is an experiment by making a *plant factory* system designed with an artificial lighting source, namely LED lights. The LED light intensity is set at 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , and the irradiation time varies for 12 hours, 16 hours, 20 hours, and 24 hours. The stability of light intensity in the *plant factory* system using a PWM driver with a tolerance level of  $\pm 2\%$ . This *plant factory* system uses the growth parameter of plant height and the number of leaves of the pakcoy as the test variable. The results showed that this *plant factory* system could produce pakcoy plants with the highest production obtained at 24-hour irradiation.

**Keywords:** *plant factory*, LED, pakcoy, production

## 1. Pendahuluan

Sawi pakcoy (*Brassica rapa* L.) memiliki siklus pertumbuhan cukup cepat (Mutryarny & Lidar, 2018) yang tumbuh subur di daerah tropis dan bersifat ekonomis (Tan *et al.*, 2020). Sawi Pakcoy banyak mengandung mineral yang penting seperti antosianin (Cocetta *et al.*, 2017). Tanaman sawi pakcoy sangat baik dibudidayakan menggunakan budidaya hidroponik. Penggunaan hidroponik mampu meningkatkan produksi tanaman pada lahan sempit. Keuntungan lain dalam penggunaan sistem hidroponik adalah kebersihan tanaman lebih terjaga, media tanam steril, efisiensi penggunaan air dan pupuk, dan tidak bergantung dengan musim (Wirawati & Arthawati, 2021).

Metode hidroponik dalam ruangan tidak terpengaruh dari cuaca, biaya pengolahan dan tenaga kerja (Bakhtar *et al.*, 2018). Sistem produksi tanaman di dalam ruangan lebih sering dikenal dengan istilah *plant factory*. Umumnya sistem *plant factory* menggunakan cahaya buatan dengan memanfaatkan lampu *fluorescent* ataupun lampu LED sebagai pengganti cahaya matahari yang digunakan oleh tanaman untuk proses fotosintesis (Pennisi *et al.*, 2020).

Penggunaan lampu *fluorescent* (Aulia *et al.*, 2019) atau lampu LED (Zou *et al.*, 2020) pada tanaman sawi pakcoy terbukti memiliki pengaruh yang tidak terlalu berbeda, dimana tanaman dapat tumbuh dengan baik dengan perlakuan kedua jenis lampu tersebut (Pennisi *et al.*, 2020). Namun, penggunaan lampu LED pada intensitas yang sama dengan lampu *fluorescent* terbukti lebih efisien (Syam *et al.*, 2020), (Avgoustaki & Xydis, 2021). Sistem *plant factory* dengan lampu LED banyak dikembangkan dengan memperhatikan kuantitas dan kualitas dari lampu LED yang disesuaikan dengan jenis tanaman. Energi yang dibutuhkan oleh lampu LED sangat mempengaruhi kuantitas cahaya yang digunakan pada proses fotosintesis (Avgoustaki & Xydis, 2021). Setiap tanaman memiliki kebutuhan cahaya yang dinyatakan dalam *Photosynthetic Photon Flux Density* (PPFD) yang berbeda. Pada tanaman Basil (*Ocimum basilicum* L.) dibutuhkan PPFD sebesar 500  $\mu\text{mol/s/m}^2$  (Avgoustaki & Xydis, 2021) sedangkan pada tanaman sawi pakcoy (*Brassica rapa* L.) kuantitas cahaya optimalnya adalah sebesar 100  $\mu\text{mol/s/m}^2$  (Pratiwi *et al.*, 2022).

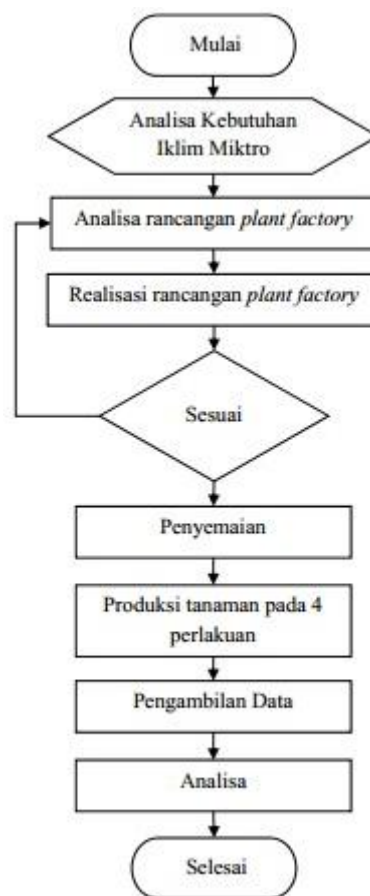
Pada penelitian ini dirancang sistem *plant factory* dengan model hidroponik untuk tanaman sawi pakcoy (*Brassica rapa* L.) pada PPFD 100  $\mu\text{mol/s/m}^2$  dengan variasi penyinaran 12 jam, 16 jam, 20 jam dan 24 jam. Adapun tujuan penelitian yaitu untuk mendapatkan desain sistem *plant factory* terbaik untuk tanaman sawi pakcoy dengan kuantitas dan kualitas lampu LED yang tepat untuk pertumbuhan dan hasil tanaman sawi pakcoy.

## 2. Bahan dan Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Rancangan lingkungan dalam penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari 1

faktor berupa lama penyinaran dan 4 taraf perlakuan. Adapun alur pembuatan *plant factory* ditunjukkan pada diagram alir pada [Gambar 1](#).

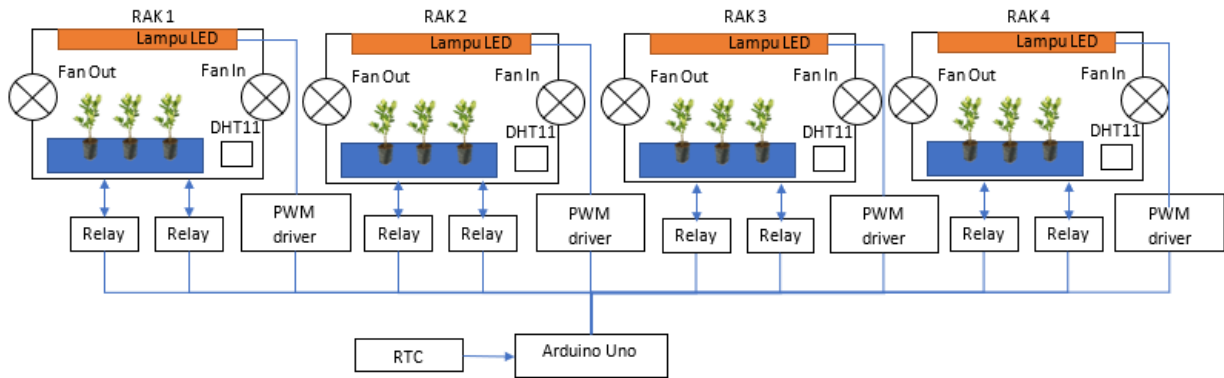
Gambaran sistem *plant factory* secara menyeluruh ditunjukkan pada [Gambar 2](#). Sistem terdiri dari 4 rak yang digunakan untuk menentukan lama penyinaran terbaik. Rak 1 diberikan perlakuan dengan penyinaran penuh atau 24 jam, Rak 2 diberikan perlakuan dengan penyinaran 12 jam (06.00 – 18.00), Rak 3 diberikan perlakuan dengan penyinaran 20 jam (06.00 – 02.00), dan Rak 4 diberikan perlakuan dengan penyinaran 16 jam (06.00 – 22.00). Setiap rak memiliki PWM driver, 2 buah relay, sensor DHT11, 2 buah kipas untuk sirkulasi angin masuk dan keluar.



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan *Plant Factory*

## 2.1. Rancangan Umum Sistem

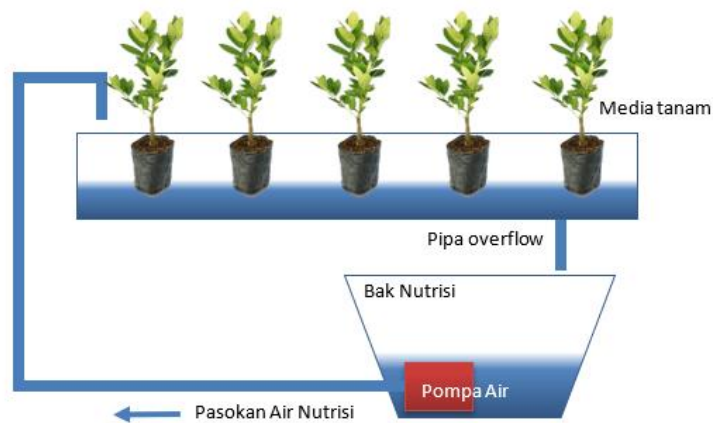
Gambaran sistem *plant factory* secara menyeluruh ditunjukkan pada [Gambar 2](#). Sistem terdiri dari 4 rak yang digunakan untuk menentukan lama penyinaran terbaik. Rak 1 diberikan perlakuan dengan penyinaran penuh atau 24 jam, Rak 2 diberikan perlakuan dengan penyinaran 12 jam (06.00 – 18.00), Rak 3 diberikan perlakuan dengan penyinaran 20 jam (06.00 – 02.00), dan Rak 4 diberikan perlakuan dengan penyinaran 16 jam (06.00 – 22.00). Setiap rak memiliki PWM driver, 2 buah relay, sensor DHT11, 2 buah kipas untuk sirkulasi angin masuk dan keluar.



Gambar 2. Diagram rancangan umum sistem *plant factory*

### 2.2. Rancangan Perangkat Keras

Sistem hidroponik yang digunakan adalah sistem DFT (*Deep Flow Technique*) atau yang dikenal sebagai hidroponik rakit apung (seperti pada Gambar 3). Dalam sistem ini akar tanaman dibiarkan terendam dalam larutan air yang sudah tercampur dengan nutrisi dengan ketersediaan oksigen yang cukup (Yustiningsih *et al.*, 2019). Jenis tanaman hortikultura yang akan digunakan adalah sawi pakcoy (*Brassica rapa L.*). Setiap satu rak *plant factory* akan ditanami 15 tanaman dengan jarak tanam 15 cm. Pupuk yang digunakan adalah pupuk AB mix yang akan dilarutkan menjadi larutan nutrisi. Konsentrasi larutan diukur dengan TDS meter, dengan standar larutan sebesar 1200 ppm.

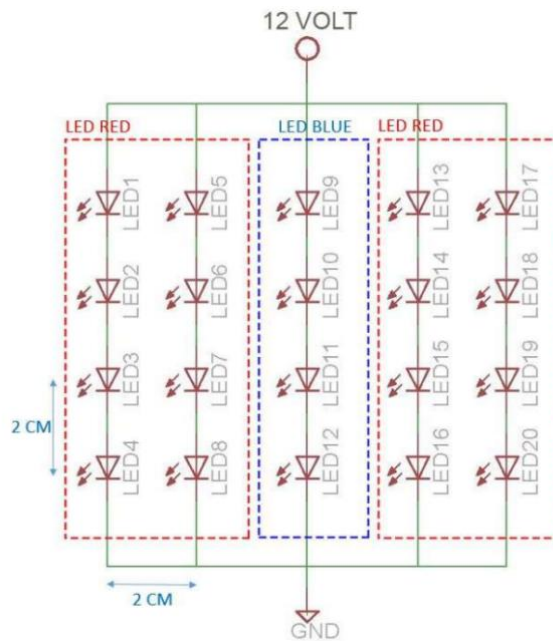


Gambar 3. Desain hidroponik sistem DFT

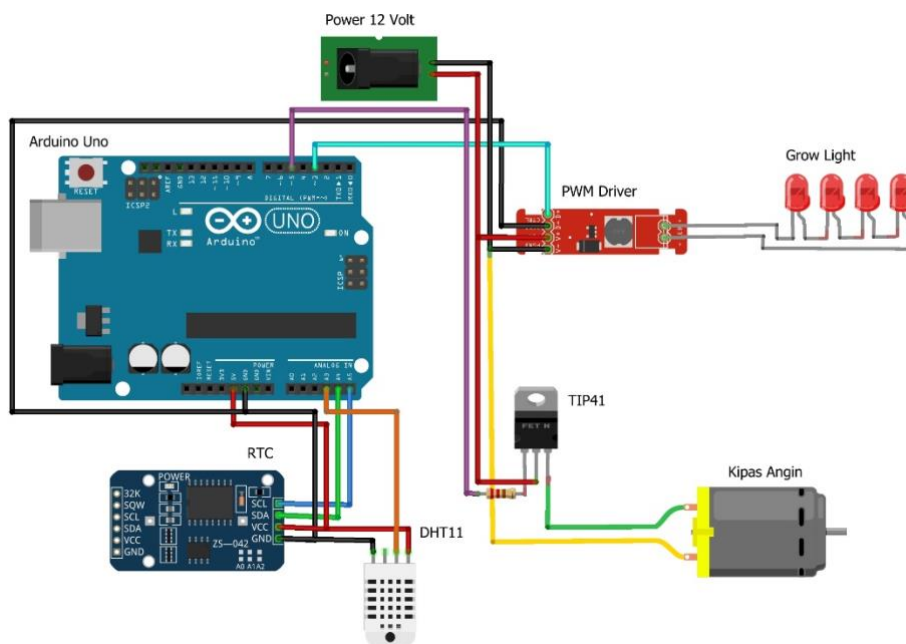
Sumber cahaya yang digunakan yaitu lampu LED tipe SMD 5730. Lampu LED disusun seri parallel untuk mendapatkan input tegangan sebesar 12 Volt dengan rasio perbandingan lampu LED merah dan lampu LED biru yaitu 4 : 1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Lampu LED diatur dengan menggunakan mikrokontroler agar secara konstan menghasilkan PPFD sebesar  $100 \mu\text{mol/s/m}^2$ . Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno yang dihubungkan ke driver lampu LED yang dikontrol dengan Teknik PWM (*Pulse Width Modulation*) seperti skematik pada Gambar 5. Selain untuk mengatur intensitas cahaya lampu

LED, Arduino Uno juga dilengkapi dengan *real time clock* (RTC) yang digunakan untuk mengatur lama penyinaran.



Gambar 4. Rangkaian LED merah dan biru



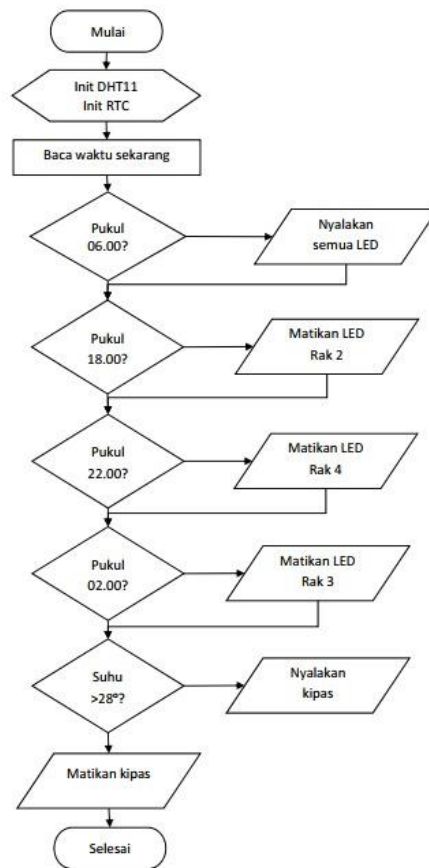
Gambar 5. Skematik rangkaian *plant factory*

Arduino adalah papan elektronik yang dilengkapi dengan perangkat lunak *open source* yang dapat digunakan untuk memudahkan penggunaan perangkat elektronik dalam berbagai bidang otomasi (Al Hafiz & Erlinda, 2020). Arduino mendapatkan input dari RTC yang merupakan chip yang mempunyai kode binari jam atau kalender yang menyediakan data bentuk detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan dan tahun yang dapat diprogram. Selain RTC, input Arduino

berasal dari DHT11 yaitu sensor pengukur suhu dan kelembaban relative dengan keluaran sinyal digital (Saptadi, 2014). Pemrosesan hasil pembacaan suhu dan kelembaban di dalam *plant factory* digunakan untuk mengatur kipas angin yang berfungsi sebagai pendingin udara, penyegar udara, ventilasi (*exhaust fan*) dan pengering yang secara umum pada *plant factory* digunakan untuk menjaga suhu agar tidak melewati batas suhu yang ditetapkan. Kipas angin dikontrol oleh Arduino dengan cara menyalakan dan mematikan sesuai batas suhu dan kelembaban yang ditentukan.

### 2.3. Rancangan Perangkat Lunak

Rancangan perangkat lunak disajikan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*). *Flowchart* digunakan untuk menggambarkan perancangan sistem secara keseluruhan dari membaca sensor DHT11, RTC dan mengatur kipas serta lampu agar tetap dalam intensitas  $100 \mu\text{mol/s/m}^2$ . Adapun rancangan perangkat lunak dalam bentuk *flowchart* disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir kontrol *plant factory*

Pada *flowchart* di atas sistem akan memeriksa data RTC berdasarkan jam yaitu setiap jam 06.00 semua LED akan dinyalakan. Kemudian jika jam melewati pukul 18.00 maka LED pada Rak 2 akan dimatikan, pada pukul 22.00 LED pada Rak 4 akan dimatikan dan pada pukul 02.00 LED pada Rak 3 akan dimatikan. Sistem juga secara terus-menerus akan membaca nilai suhu, dimana suhu di atas 28 derajat akan menyalakan kipas dan di bawah 28 derajat akan mematikan kipas.

## 2.4. Rancangan Perlakuan

*Plant factory* dibuat sebanyak 4 rak dengan kapasitas masing-masing sebanyak 15 tanaman. Setiap rak memiliki spesifikasi sumber cahaya yang sama yaitu  $100 \mu\text{mol/s/m}^2$  dengan lama penyinaran yang berbeda-beda. Rak 1 memiliki lama penyinaran 24 jam, Rak 2 memiliki lama 12 jam, Rak 3 memiliki lama penyinaran 20 jam dan Rak 4 memiliki lama penyinaran 16 jam.

Setelah proses pembuatan *plant factory* maka langkah selanjutnya adalah memulai melakukan proses pengamatan tanaman sawi pakcoy. Mula-mula benih sawi ditanam pada media rockwool untuk mendapatkan bibit dengan umur 6-10 hari. Setelah bibit tumbuh 2 daun sejati, barulah bibit sawi diletakan pada media hidroponik yang diberi nutrisi AB mix dengan konsentrasi 1200 ppm.

Pengamatan dilakukan selama 35 hari setelah tanam terhitung sejak proses pindah tanam dari semai keinstalasi hidroponik. Pengukuran dilakukan setiap 7 hari terhadap tinggi tanaman yang diukur dengan menggunakan mistar dari batang yang menancap di rockwool hingga ujung tanaman (tidak termasuk akar tanaman) serta dilakukan pengukuran terhadap jumlah daun.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pengujian Perangkat Keras Sistem *Plant Factory*

Sistem *plant factory* dibuat sebanyak 4 rak yang mewakili lama penyinaran 12 jam, 16 jam, 20 jam dan 24 jam. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kondisi alat yang dibuat dan melihat kesesuaiannya dengan perancangan yang ada. Diawali dengan pengujian untuk masing-masing lampu LED apakah sudah dapat menyala dengan benar, seperti pada [Gambar 7](#). Pengujian dilakukan dengan menyalakan lampu LED merah dengan PPF<sub>D</sub>  $80 \mu\text{mol/s/m}^2$ , kemudian LED biru dengan PPF<sub>D</sub>  $20 \mu\text{mol/s/m}^2$  dan kemudian kedua LED dinyalakan secara bersamaan untuk mendapatkan PPF<sub>D</sub>  $100 \mu\text{mol/s/m}^2$ .

Pencahayaan dengan lampu LED tidak menggunakan sistem *closed-loop* sehingga perlu dikalibrasi secara manual dengan menggunakan alat ukur Digital Lux Meter Sanfix LX-1010BS. Penggunaan PWM driver cukup stabil menjaga intensitas cahaya pada tiap-tiap rak tetap pada PPF<sub>D</sub>  $100 \mu\text{mol/s/m}^2$  dengan toleransi  $\pm 2\%$  seperti yang disampaikan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Hasil pengujian arus, tegangan dan intensitas cahaya lampu LED

Rak	Arus (A)	Tegangan (V)	Intensitas Cahaya ( $\mu\text{mol/s/m}^2$ )
24 jam	20	12	100
20 Jam	19	12	99
16 Jam	19	12	98
12 Jam	20	12	100



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Pengujian lampu LED; (a) warna merah; (b) warna biru; (c) warna merah dan biru dengan rasio 4:1

Setiap rak memiliki arus, tegangan, dan intensitas cahaya yang tidak jauh berbeda. Adapun rata-rata arus adalah 19,5 Ampere, rata-rata tegangan adalah 12 volt, dan rata-rata intensitas cahaya adalah  $99,25 \mu\text{mol/s/m}^2$ .

Suhu ruangan tiap rak dijaga agar tetap memenuhi syarat tumbuh tanaman sawi pakcoy. Adapun hasil pengujian suhu selama proses pertumbuhan dapat ditunjukkan pada [Tabel 2](#).



Suhu udara dalam hal ini suhu lingkungan sebagai bagian dari variabel unsur iklim mikro tanaman berpengaruh terhadap reaksi-reaksi biologis seperti proses fotosintesis dan respirasi tanaman. Berdasarkan data pada [Tabel 2](#), kendali kipas angin dapat bekerja dengan baik sesuai dengan set poin yang ditentukan.

Tabel 2. Hasil Pengukuran suhu selama proses pertumbuhan

Hari Pengamatan Ke-	Suhu Udara (Min-Max) (°C)	Kelembaban Udara (%)	Status Kipas Angin
2	29,9 – 30,3	61	On
4	27,3 – 28,2	71	On
6	28,8 – 29,3	67	On
8	28,3 – 29,1	65	On
10	20,9 – 21,5	47	Off
12	27,2 – 28,9	72	On
14	27,5 – 28,1	50	On
16	27,9 – 29,5	75	On
18	27,3 – 28,2	71	On
20	28,8 – 30,2	62	On
22	27,9 – 29,5	67	On
24	27,2 – 28,7	75	On
26	27,4 – 28,4	79	On
28	28,5 – 29,5	79	On
30	27,2 – 28,7	62	On
32	21,5 – 22,5	50	Off
34	29,5 – 30,3	61	On

### 3.2. Pengujian Produksi Tanaman

Pengujian produksi tanaman dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik lama penyinaran terbaik dari 4 rak dengan perlakuan yang berbeda. Didapatnya lama penyinaran paling optimal merupakan acuan dalam desain *plant factory* pada tanaman sawi pakcoy yang direkomendasikan. Pengujian produksi tanaman membutuhkan waktu 10 hari untuk penyemaian (penyiapan bibit) dan 35 hari setelah tanam (HST) untuk waktu produksi tanaman. Adapun pengujian produksi tanaman sawi pakcoy ditunjukkan pada [Gambar 8](#).

Setelah dilaksanakan proses pengamatan dan pengukuran tanaman sawi selama 35 HST pada 4 perlakuan yang berbeda dalam *plant factory*, didapatkan angka hasil pengukuran tinggi dan jumlah daun tanaman sawi pakcoy. Data-data tersebut merupakan pengolahan dari data mentah dari masing-masing populasi tanaman sawi pakcoy dalam *plant factory*. Pada [Tabel 3](#) ditunjukkan data dari hasil hitungan rata-rata pengukuran tinggi dan jumlah daun tanaman sawi pakcoy pada seluruh perlakuan yang telah dilakukan.

Data pada [Tabel 3](#) kemudian dilakukan uji anova (*analysis of variance*) satu arah untuk mengetahui signifikansi dari seluruh perlakuan yang sudah dilakukan. Pertambahan tinggi tanaman sawi pakcoy berumur 7 HST – 35 HST pada perlakuan lama penyinaran dapat dilihat

dalam Gambar 9. Hasil uji anova menunjukkan perlakuan 1 dan 2 tidak berbeda nyata, dan perlakuan 3 dan 4 juga tidak berbeda nyata. Sedangkan laju pertumbuhan tinggi tanaman terbaik ditunjukkan oleh perlakuan 4 dan perlakuan 3 dimana keduanya tidak berbeda nyata, sehingga jika dilihat dari lama penyinaran terhadap tinggi tanaman maka penggunaan penyinaran selama 20 jam sudah dapat dikatakan optimal.

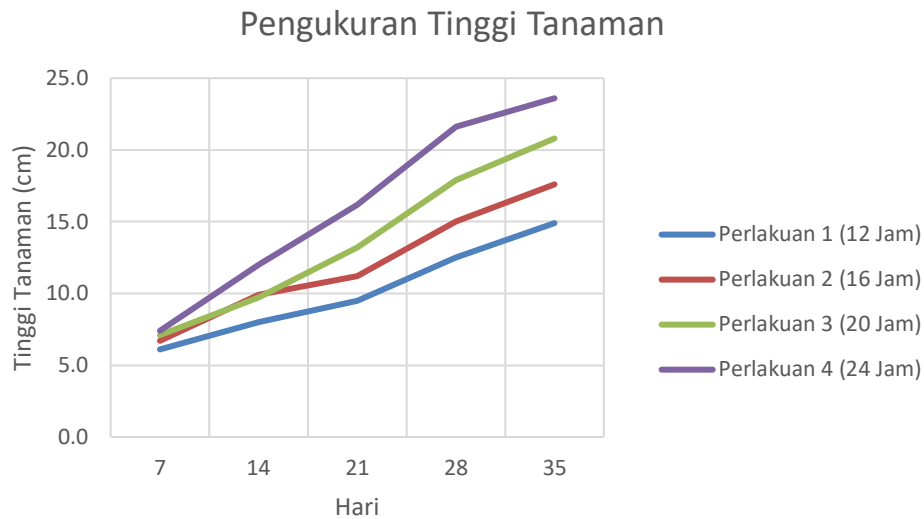


Gambar 8. Pengujian produksi tanaman sawi pakcoy

Tabel 3. Data pengukuran tinggi dan jumlah daun tanaman

Hari	Perlakuan 1 (12 Jam)		Perlakuan2 (16 Jam)		Perlakuan3 (20 Jam)		Perlakuan4 (24 Jam)	
	Tinggi tanaman (cm)	Jml daun (buah)	Tinggi tanaman (cm)	Jml daun (buah)	Tinggi tanaman (cm)	Jml daun (buah)	Tinggi tanaman (cm)	Jml daun (buah)
7	6,1	4	6,7	4	7,1	4	7,4	4
14	8	5	9,9	6	9,7	6,3	12	6,8
21	9,5	6,8	11,2	8,8	13,2	9	16,2	11
28	12,5	12,5	15	12,5	17,9	13	21,6	14,8
35	14,9	15,5	17,6	15,8	20,8	17,5	23,6	20,5

Tinggi tanaman pakcoy pada umur 7 HST yang ditanam pada Plant Factory ini mempunyai pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan tinggi tanaman pada fase pembibitan dengan umur 14 HSS yang ditanam dibawah intensitas cahaya yang besar seperti  $250 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (He *et al.*, 2022) dan  $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (Huang *et al.*, 2021). Hal ini menunjukkan tingkat efisiensi panas yang terdapat pada *plant factory* yang digunakan lebih baik dibandingkan penelitian sejenis sebelumnya.



Gambar 9. Grafik rata-rata pengukuran tinggi tanaman

Pertambahan jumlah daun tanaman sawi pakcoy berumur 7 HST – 35 HST pada perlakuan penyinaran dapat dilihat pada Gambar 10. Laju pertambahan jumlah daun terbaik ditunjukkan oleh perlakuan 4 yaitu penyinaran selama 24 jam, disusul oleh perlakuan 3, dan perlakuan 2 dan perlakuan 1 tidak berdampak secara signifikan.



Gambar 10. Grafik rata-rata pengukuran jumlah daun tanaman

Hasil pengujian menunjukkan bahwa energy cahaya harian (DLI) yang lebih banyak yaitu perlakuan 4 dengan lama penyinaran 24 jam pada PPFD  $100 \mu\text{mol/s/m}^2$  dimanfaatkan oleh tanaman dapat secara signifikan mempengaruhi pertumbuhan tinggi tanaman dan jumlah daun pada tanaman sawi pakcoy.

#### 4. Kesimpulan

Lampu LED dapat dimanfaatkan sebagai cahaya buatan dalam pertumbuhan tanaman sawi pakcoy. Penggunaan Lampu LED sebagai cahaya buatan diatur pada PPFD  $100 \mu\text{mol/s/m}^2$  dengan

menggunakan PWM Driver. PWM Driver memberikan toleransi sebesar  $\pm 2\%$ . Produksi tanaman tertinggi didapatkan pada perlakuan lama penyinaran selama 24 jam yang ditandai dengan jumlah daun yang terbentuk paling banyak dan tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya. Untuk mengetahui kualitas dari tanaman pakcoy yang diproduksi perlu dilakukan penelitian terkait pemanfaatan *plant factory* yang maksimal baik produksi maupun kualitasnya.

### Daftar Pustaka

- Al Hafiz, N. W., & Erlinda, E. (2020). Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Arduino. *Jurnal Teknologi Dan Open Source*, 3(2), 245–260. <https://doi.org/10.36378/jtos.v3i2.831>
- Aulia, S., Ansar, A., & Putra, G. M. D. (2019). Pengaruh Intensitas Cahaya Lampu Dan Lama Penyinaran Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kangkung (*Ipomea Reptans Poir*) Pada Sistem Hidroponik Indoor. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 7(1), 43–51. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v7i1.100>
- Avgoustaki, D. D., & Xydis, G. (2021). Energy cost reduction by shifting electricity demand in indoor vertical farms with artificial lighting. *Biosystems Engineering*, 211, 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.09.006>
- Bakhtar, N., Chhabria, V., Chougale, I., Vidhrani, H., & Hande, R. (2018). IoT based Hydroponic Farm. *2018 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 205–209. <https://doi.org/10.1109/ICSSIT.2018.8748447>
- Cocetta, G., Casciani, D., Bulgari, R., Musante, F., Kołton, A., Rossi, M., & Ferrante, A. (2017). Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. *The European Physical Journal Plus*, 132(1), 43. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2017-11298-x>
- He, X., He, R., Li, Y., Liu, K., Tan, J., Chen, Y., Liu, X., & Liu, H. (2022). Effect of Ratios of Red and White Light on the Growth and Quality of Pak Choi. *Agronomy*, 12(10), 2322. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102322>
- Huang, J. J., D'Souza, C., & Zhou, W. (2021). Light-Time-Biomass Response Model for Predicting the Growth of Choy Sum (*Brassica rapa* var. *parachinensis*) in Soil-Based LED-Constructed Indoor Plant Factory for Efficient Seedling Production. *Frontiers in Plant Science*, 12(June), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.623682>
- Mutryarny, E., & Lidar, S. (2018). Respon Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L) Akibat Pemberian Zat Pengatur Tumbuh Hormonik. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 14(2), 29–34. <https://doi.org/10.31849/jip.v14i2.258>
- Pennisi, G., Pistillo, A., Orsini, F., Cellini, A., Spinelli, F., Nicola, S., Fernandez, J. A., Crepaldi, A., Gianquinto, G., & Marcelis, L. F. M. (2020). Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. *Scientia Horticulturae*, 272(May), 109508. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109508>
- Pratiwi, A. F., Aji, G. M., Utami, S. W., & Kristiningsih, A. (2022). Penerapan Cahaya Buatan Pada Chamber Semai Tanaman Hidroponik Di KWT Sekar Arum. 3(1).
- Saptadi, A. H. (2014). Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22. *JURNAL INFOTEL - Informatika Telekomunikasi Elektronika*, 6(2), 49. <https://doi.org/10.20895/infotel.v6i2.16>
- Syam, S., Kurniati, S., & Effendi, J. (2020). Analisis Efisiensi Penggunaan Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Ballast Elektronik Pada Lampu Neon. *Elektrika Borneo*, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.35334/jeb.v6i1.1282>
- Tan, W. K., Goenadie, V., Lee, H. W., Liang, X., Loh, C. S., Ong, C. N., & Tan, H. T. W. (2020). Growth and glucosinolate profiles of a common Asian green leafy vegetable, *Brassica rapa* subsp. *chinensis* var. *parachinensis* (choy sum), under LED lighting. *Scientia Horticulturae*,

- 261(October 2018), 108922. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108922>
- Wirawati, S. M., & Arthawati, S. N. (2021). Meningkatkan Pendapatan Masyarakat Melalui Budidaya Tanaman Sawi Dengan Metode Hidroponik Di Desa Pelawad Kecamatan Ciruas. *ABDIKARYA: Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.47080/abdikarya.v3i1.1151>
- Yustiningsih, M., Naisumu, Y. G., & Berek, A. (2019). Deep Flow Technique (DFT) Hidroponik Menggunakan Media Nutrisi Limbah Cair Tahu Dan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L) untuk Peningkatan Produktivitas Tanaman. *Mangifera Edu: Jurnal Biologi and Pendidikan Biologi*, 3. <http://dx.doi.org/10.31943/mangiferaedu.v3i2.25>
- Zou, T., Huang, C., Wu, P., Ge, L., & Xu, Y. (2020). Optimization of artificial light for spinach growth in plant factory based on orthogonal test. *Plants*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/plants9040490>