

## ANALISIS PENGARUH INTENSITAS DAN POLA PENCAHAYAAN LED (*Light Emitting Diode*) BERWARNA PUTIH PADA PERTUMBUHAN TANAMAN PAKCHOI (*Brassica rapa L*) DI DALAM RUANG

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF INTENSITY AND PATTERN LIGHTING LED (*Light Emitting Diode*) WHITE COLOR IN GROWTH PAKCHOI PLANTS (*Brassica rapa L*) IN THE ROOM

Pramudya Adi Nugraha<sup>1</sup>, Endang Rosdiana<sup>2</sup>, Ahmad Qurthobis

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>pramudyaadin@student.telkomuniversity.com, <sup>2</sup>endangr@telkomuniversity.com,

<sup>3</sup>qurthobi@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Salah satu cara untuk menanggulangi kebutuhan akan lahan pertanian adalah dengan menggunakan sistem pertanian di dalam ruang. Sistem pertanian di dalam ruang membutuhkan sumber cahaya buatan salah satunya yaitu lampu LED. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui intensitas serta pola pencahayaan yang optimal bagi pertumbuhan pakchoi. Tanaman pakchoi ditanam pada ruang dengan ukuran yang sama dan diberikan pencahayaan dari lampu LED dengan intensitas yang berbeda. Proses pengamatan dilakukan selama  $\pm 15$  hari dengan pengambilan data setiap satu hari sekali. Proses penanaman dilakukan dua kali, yaitu proses penanaman bibit dengan menggunakan pola 12 jam dan 24 jam. Variabel yang diamati yaitu jumlah dan panjang daun serta tinggi tanaman. Hasil yang didapatkan yaitu, ruang dengan intensitas cahaya yang lebih tinggi memiliki hasil yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan oleh perbandingan ruang dengan intensitas sebesar 4.480 Lux yang memiliki rata-rata tinggi tanaman 16,6 cm, panjang daun 8,5 cm, dan jumlah daun 7 helai dengan ruang berintensitas 440 Lux rata-rata tinggi tanaman 8,2 cm, panjang daun 3,7 cm, dan jumlah daun 1 helai. Dari data penelitian tersebut dibuktikan bahwa dalam proses fotosintesis, intensitas berperan penting terhadap pertumbuhan tanaman. Dalam penelitian ini ditunjukkan dengan tinggi intensitas cahaya yang diberikan kepada tanaman, maka jumlah foton yang diterima tanaman akan semakin banyak. Foton yang diterima oleh tanaman berperan untuk mengeksitasi elektron yang terdapat pada klorofil tanaman, sehingga laju fotosintesis pada tanaman akan semakin cepat. Jumlah dan panjang daun juga berpengaruh terhadap pesatnya pertumbuhan tanaman, karena daun merupakan salah satu bagian utama terjadinya fotosintesis.

Kata kunci : *cahaya, pakchoi, lampu LED, fotosintesis, intensitas*

#### Abstract

One way to address the need for agricultural land is to use an indoor agricultural system. Agricultural systems in space require artificial light sources, one of which is LED lights. This study aims to determine the optimal intensity and lighting patterns for pakchoi growth. Pakchoi plants are planted in rooms of the same size and are given lighting from LED lamps of different intensities. The observation process was carried out for  $\pm 15$  days with data collection once a day. The planting process is carried out twice, namely the process of planting seeds using a 12 hour and 24 hour pattern. The variables observed were number and length of leaves and plant height. The results obtained are that, spaces with higher light intensity have better results. This is shown by the comparison of space with an intensity of 4,480 Lux which has an average plant height of 16.6 cm, leaf length of 8.5 cm, and number of leaves of 7 strands with a space of 440 Lux with an average plant height of 8.2 cm, leaf length of 3.7 cm, and the number of leaves 1 strand. From the research data it is proved that in the process of photosynthesis, intensity plays an important role in plant growth. In this study shown by the high intensity of light given to plants, the number of photons received by plants will be more and more. Photons received by plants act to excite the electrons present in plant chlorophyll, so the rate of photosynthesis in plants will be faster. The number and length of leaves also affect the rapid growth of plants, because the leaves are one of the main parts of photosynthesis.

Keywords: *light, pakchoi, LED lamp, photosynthesis, intensity*

#### 1. Pendahuluan

Pada saat ini, lahan pertanian sangat sulit ditemukan, karena banyak lahan pertanian yang beralih fungsi menjadi pemukiman dan fasilitas publik. Selain itu hasil pertanian banyak yang mengalami penurunan, ini disebabkan karena pencemaran yang semakin tinggi, kualitas lahan pertanian yang semakin buruk, dan faktor lain yang menyebabkan hasil pertanian semakin menurun. Hal ini memicu manusia untuk menggunakan kreatifitasnya

untuk menciptakan sebuah sistem yang dapat mempermudah penanaman. Salah satu contohnya adalah dengan menggunakan pertanian ruang tertutup. Dengan pertanian ruang tertutup ini kendala lahan, pencemaran, dan kualitas lahan pertanian yang buruk dapat diminimalisir, tetapi pada pertanian ruang tertutup ini terdapat kendala yaitu pada penyinaran oleh cahaya matahari langsung. Salah satu solusi dari kendala tersebut adalah dengan menggunakan sumber cahaya buatan yang dapat membantu poses pertumbuhan tanaman.

Sumber cahaya buatan merupakan sumber cahaya yang bukan berasal dari matahari. Salah satu contoh dari sumber cahaya buatan adalah lampu. Lampu mampu menggantikan fungsi matahari untuk memberikan cahaya pada proses fotosintesis. Dari permasalahan tersebut akan dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh intensitas dan pola cahaya lampu terhadap pertumbuhan tanaman. Pada penelitian ini sumber cahaya buatan yang digunakan yaitu lampu LED. Penggunaan lampu LED sendiri dikarenakan usia lampu yang lebih lama dari jenis lampu lainnya dan daya yang digunakanpun relatif kecil, sehingga dapat menghemat biaya pengeluaran [5].

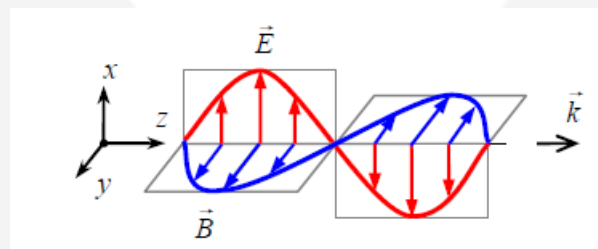
## 2. Dasar Teori dan Metodologi penelitian

### 2.1 Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan merupakan perubahan selama siklus hidup tanaman secara kuantitatif yang bersifat tidak dapat kembali (*irreversible*). Akibat adanya penambahan struktur baru pada tanaman berat dan besar tanaman pun akan berubah. Pada fase ini ukuran tanaman tidak dapat kembali lagi karena terjadi pembelahan pada struktur-struktur tanaman. Contohnya pada bagian-bagian seperti sel, organ, dan jaringan perkembangan merupakan sebuah proses perubahan secara kualitatif atau mengikuti pertumbuhan tanaman[5].

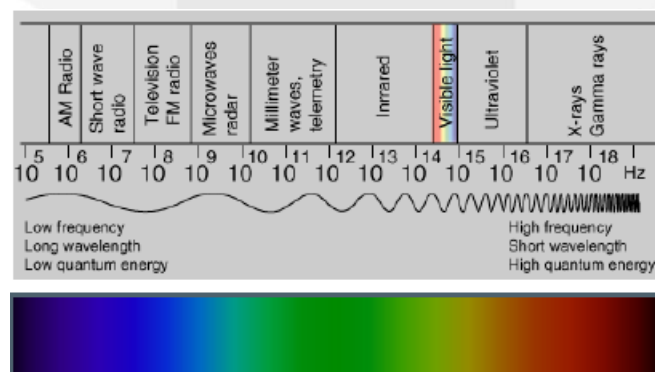
### 2.2 Cahaya dan intensitas cahaya

Cahaya merupakan salah satu jenis gelombang elektromagnetik (EM), yaitu gelombang yang dapat merambat tanpa memerlukan adanya perantara medium, melainkan melalui osilasi medan listrik dan medan magnetik. Di dalam vakum dan umumnya juga di udara, cahaya merupakan gelombang transversal.



Gambar 2.1 Gerak gelombang transversal

Gelombang transversal merupakan gelombang yang memiliki arah rambat yang tegak lurus terhadap arah osilasinya. Salah satu contoh dari gelombang transversal adalah gelombang elektromagnetik, di mana gelombang elektromagnetik arah dari rambat gelombang  $k$  tegak lurus dengan arah osilasi dari  $E$  dan  $B$ , serta kedua medan tersebut berosilasi secara sinusoidal dengan frekuensi dan fasa yang sama. Gelombang elektromagnetik terbentang dari frekuensi rendah ( $10^5$  Hz) hingga frekuensi tinggi ( $10^{18}$  Hz). Adapun mata manusia hanya mampu untuk melihat cahaya dalam rentang panjang gelombang 390 – 700 nm, di mana panjang gelombang tersebut terdapat pada orde panjang gelombang cahaya tampak. Gambar 2.2 menunjukkan tabel spektrum gelombang elektromagnetik.



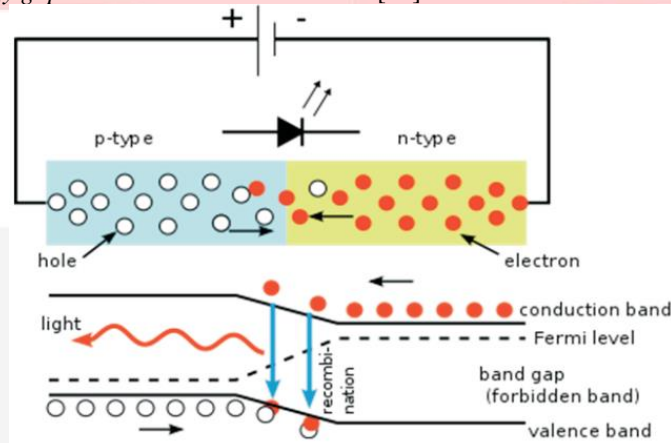
Gambar 2.2 Tabel spektrum gelombang elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sedikit lebih panjang dari rentang cahaya tampak (*visible light*) dikenal sebagai gelombang *infrared*, sedangkan yang lebih pendek daripada cahaya tampak merupakan gelombang *ultraviolet* [14]. Intensitas cahaya merupakan kuat cahaya yang dikeluarkan suatu sumber cahaya ke arah tertentu. Sebuah sumber cahaya yang memiliki intensitas sebesar 1 candela dapat mengeluarkan cahaya total ke segala arah sebanyak 12,57 lumen, dimana 12,57 merupakan luas permukaan kulit bola dengan jari-jari sepanjang 1 meter, dan dengan sumber cahaya sebagai titik pusatnya [15].

### 2.3 Light emitting diode

*Light emitting diode* atau LED merupakan salah satu jenis dari dioda yang memiliki fungsi khusus. LED hampir sama dengan dioda biasa, tetapi jika pada dioda biasa energy akan dikeluarkan dalam bentuk panas (disipasi daya), sedangkan energi pada LED akan dikeluarkan dalam bentuk pencerahan cahaya [18]. LED dapat memancarkan cahaya monokromatik yang dihasilkan dari pembiasan secara elektrik kearah maju dari persimpangan p-n nya. Efek tersebut dinamakan *electroluminescence*.

Prinsip kerja dari LED hingga dapat menghasilkan cahaya adalah ketika arus listrik DC dialirkan melalui p-n *junction* pada material semikonduktor, di mana kutub positif dari sumber dihubungkan dengan kaki p pada led dan kutub negative sumber dihubungkan pada kaki n led. Aliran elektron bertemu *hole* dan terjadilah rekombinasi antara muatan positif (*hole*) dan muatan negative (elektron), sehingga energi cahaya dilepaskan saat photon terbentuk. Warna yang dihasilkan dari proses tersebut bergantung dari level energi photon yang ditentukan dengan *energy gap* dari material semikonduktor [17].

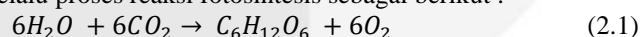


Gambar 2.3 Prinsip kerja *light emitting diode*

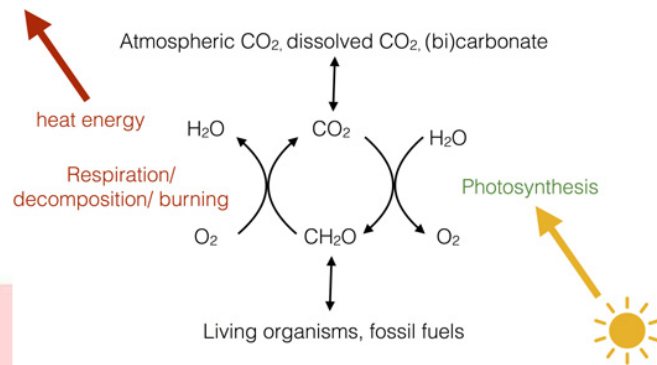
*White light emitting diode* atau LED putih merupakan salah satu jenis dari dioda yang dapat memancarkan cahaya. Terdapat dua jenis led putih secara pembuatannya, yaitu dengan memproduksi masing-masing led yang menghasilkan tiga warna primer, yaitu merah, hijau, dan biru. Warna-warna tersebut kemudian dicampurkan untuk menghasilkan warna putih. Cara selanjutnya yaitu dengan menambahkan lapisan fosfor berbeda warna pada led satu warna untuk menghasilkan warna putih [19].

### 2.4 Proses fotosintesis

Fotosintesis merupakan proses memproduksi zat makanan seperti gula (karbohidrat) pada tumbuhan. Proses produksi zat makanan tersebut dihasilkan melalui proses reaksi fotosintesis sebagai berikut :



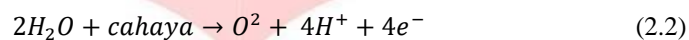
Tumbuhan menggunakan karbon dioksida dan air untuk menghasilkan gula dan oksigen yang dibutuhkan sebagai makanannya [6]. Air pada proses fotosintesis didapatkan dari dalam tanah yang diserap oleh akar tumbuhan dan dapat sampai menuju daun melalui pembuluh xilem. Karbon dioksida diperoleh dari udara sekitar yang masuk melalui stomata pada daun tumbuhan. Cahaya yang dibutuhkan untuk membantu proses fotosintesis diperoleh dari sumber cahaya. Cahaya yang datang ke arah daun tumbuhan tersebut ditangkap oleh klorofil[7].



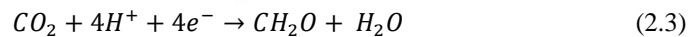
Gambar 2.4 Proses Fotosintesis

Proses fotosintesis terdiri dari dua tahap, yaitu reaksi terang yang membutuhkan cahaya dan melibatkan pemecahan air serta pelepasan oksigen. Reaksi terang terjadi pada grana. Reaksi gelap atau siklus Calvin, adalah proses dimana karbon dioksida diubah menjadi gula. Reaksi gelap terjadi pada stroma[6].

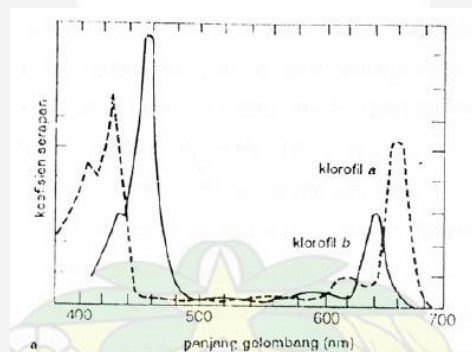
Reaksi terang :



Reaksi gelap :



Cahaya matahari yang digunakan pada saat reaksi terang terjadi ditangkap oleh klorofil. Panjang gelombang yang menyebabkan terjadinya fotosintesis berkisar antara 480 – 700 nm. Klorofil pada tanaman yang berfungsi menangkap cahaya matahari dibagi menjadi dua yaitu klorofil-a dan klorofil-b. Klorofil-a dan klorofil-b memiliki rentang panjang gelombang cahaya yang dapat diterima sebesar 600 – 700 nm[8].



Gambar 2.5 Spektrum cahaya yang diserap klorofil-a dan klorofil-b

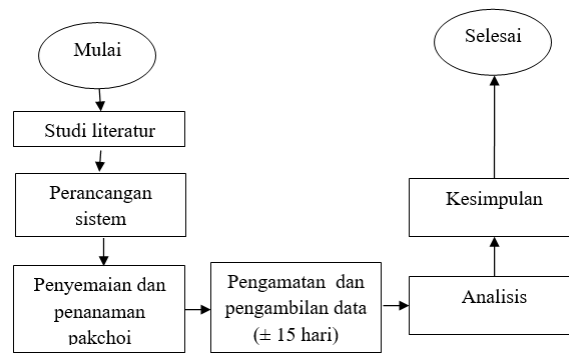
Cahaya yang datang tersebut terdiri dari partikel-partikel kecil atau paket energi yang disebut dengan foton [13]. Proses fotosintesis sangat bergantung terhadap daun, karena pada daun terdapat salah satu komponen penting dalam proses fotosintesis yaitu kloroplas. Proses fotosintesis dapat berjalan dengan optimal jika semakin banyak jumlah daun pada tanaman serta semakin lebar daun tanaman tersebut [2]. Laju fotosintesis tanaman akan meningkat dengan meningkatnya intensitas cahaya dalam batas fisiologis atau laju fotosintesis berbanding lurus dengan intensitas cahaya. Kecuali pada hari-hari berawan dan malam hari, cahaya tidak menjadi faktor pembatas dalam fotosintesis di alam [13].

## 2.5 Tanaman pakchoi

Pakchoi (Bahasa Kanton, yang berarti sayuran putih) atau bok choy termasuk dalam famili *Brassicaceae*, berumur pendek ±45 hari setelah tanam. Sayuran ini umumnya digunakan untuk bahan sup, untuk hiasan (*garnish*), tapi jarang dimakan mentah. Pakchoi cocok untuk ditanam pada daerah dengan ketinggian 1.000-1.200 m dpl dengan sinar matahari yang cukup, aerasi yang baik (tidak tergenang air), pH tanah berkisar 5,5-6. Suhu optimal untuk pertumbuhan pakchoi adalah 20-27 °C [9].

Karakter dari tanaman pakchoi memiliki daun yang bertangkai, berbentuk agak oval, berwarna hijau tua dan mengkilap, tumbuh agak tegak atau setengah mendatar, melekat pada batang yang tertekan. Tangkai daun pakchoi berwarna putih atau hijau muda, teksturnya gemuk dan berdaging; tanaman ini memiliki tinggi berkisar antara 15-30 cm[10].

## 2.3 Metodologi penelitian



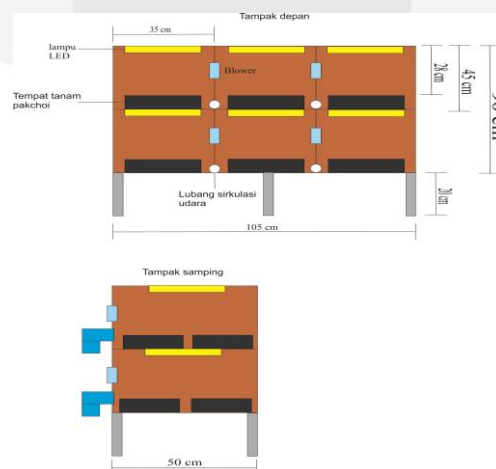
Gambar 2.6 Diagram alir metodologi penelitian

Pada penelitian terdapat tahapan-tahapan pengerjaan sebagai alur pengerjaan dengan memperhatikan beberapa aspek. Penelitian dimulai dengan, (1) studi literatur, yaitu mempelajari literatur berupa makalah, karya tulis, artikel, dan jurnal *online* mengenai pengaruh penggunaan cahaya buatan sebagai pengganti cahaya matahari pada pertumbuhan tanaman, (2) perancangan sistem, membangun sebuah sistem sebagai ruang yang akan digunakan sebagai tempat pengamatan pertumbuhan tanaman pakchoi yang terdiri dari sistem pencahayaan dan komponen pendukung lainnya, (3) penyemaian benih pakchoi, penyemaian benih pakchoi dilakukan dengan bantuan petani di Cikole, Lembang selama  $\pm 20$  hari, (4) persiapan media tanam, media tanam yang digunakan adalah media tanam siap pakai yang diletakkan pada kotak plastik berukuran 23 x 23 cm (5) penanaman bibit pakchoi, bibit pakchoi ditanam menggunakan media tanah siap pakai, lalu diletakkan pada sistem yang telah dibuat, (6) pengamatan dan pengambilan data, dilakukan selama  $\pm 15$  hari dari penanam bibit, pengambilan data dilakukan setiap satu hari sekali, lalu data dianalisa dengan membandingkan data yang sebelumnya sudah diambil dari pakchoi yang ditanam dengan cahaya matahari langsung.

Pada penelitian ini ada beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang pembuatan alat serta pengukuran parameter yang akan diamati alat dan bahan yang digunakan antara lain :

1. Luxmeter LM 8.000 A
2. Gergaji
3. Penggaris
4. Palu
5. Paku
6. Kayu
7. Kotak plastik 23 x 23 cm
8. Adaptor 5 A dan 10 A
9. Media tanam organik
10. Lampu LED 5050 SMD 60 led/m *indoor strip white*
11. Kaiser 24 hours time switch
12. Biji pakchoi
13. Suntikan 12 ml
14. Pupuk cair merk nutrigan
15. Terpal 2 x 2 meter
16. Blower DC 12 V
17. Pestisida

Alat yang akan dirancang berupa sebuah ruang tertutup. Pada ruang tertutup tersebut diberikan sumber cahaya buatan berupa lampu LED (*light emitting diode*) berwarna putih. Ruang yang akan dirancang sebanyak enam ruang dengan setiap ruangan nantinya akan memiliki intensitas cahaya yang berbeda. Pada setiap ruangan diberikan sirkulasi udara dengan memanfaatkan blower dan lubang yang akan dibuat. Rancangan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:



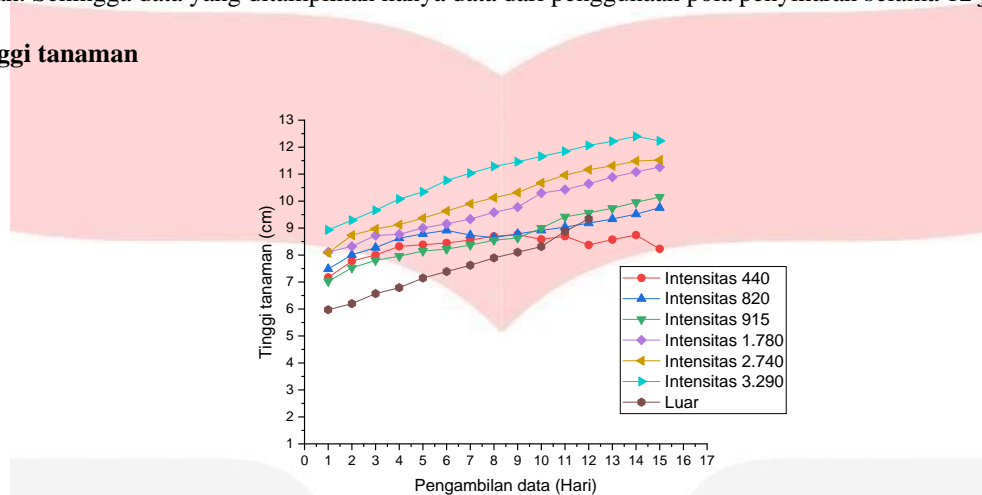
Gambar 2.7 Rancangan Sistem

### 3. PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengujian Penanaman Pakchoy di dalam ruang penanaman

Pengukuran tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang daun dilakukan setiap hari dari pukul 11.00 WIB sampai pukul 13.00 WIB di *laboratory of material engineering and modeling*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan dua pola lama penyinaran, yaitu 12 dan 24 jam. Namun, setelah dilakukan percobaan dengan pola penyinaran selama 24 jam, ternyata tanaman disemua ruang tanam tidak dapat bertahan dan mati pada hari kedua pengamatan. Sehingga data yang ditampilkan hanya data dari penggunaan pola penyinaran selama 12 jam.

##### 3.1.1. Tinggi tanaman

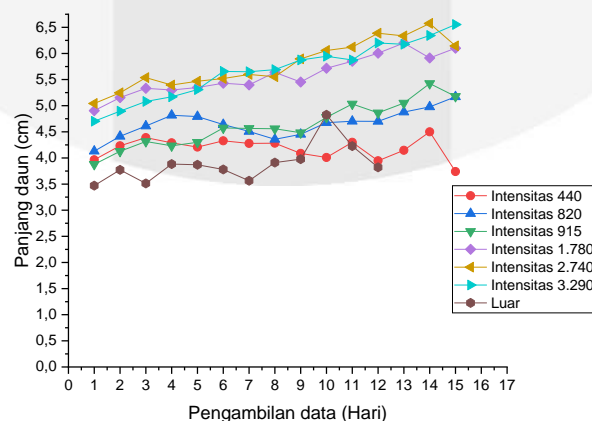


Gambar 3.1 Grafik pertambahan tinggi tanaman per hari

Tinggi tanaman yang diamati diukur dari titik permukaan tanah hingga titik tertinggi tanaman (ujung daun tertinggi). Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa ruangan dengan intensitas sebesar 3.290 Lux memiliki tinggi akhir terbesar dibandingkan dengan tinggi akhir pada ruangan lain. Untuk pertambahan tinggi tanaman, dari grafik di atas dapat dilihat pada ruangan dengan intensitas 2.740 Lux lebih besar dibandingkan dengan pertambahan tinggi pada ruangan lain.

Faktor yang mempengaruhi mengapa tinggi pada ruangan dengan intensitas 3.290 Lux bisa lebih besar dibandingkan dengan ruangan lain adalah karena semakin tinggi intensitas yang diberikan kepada tanaman maka laju fotosintesisnya pun akan semakin besar, hal ini didukung dengan teori yang berada pada bab 2, dimana salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tinggi tanaman yaitu proses fotosintesis. Pada proses fotosintesis terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, diantaranya yaitu tingginya tingkat intensitas cahaya yang diberikan pada tanaman berbanding lurus dengan laju fotosintesis tanaman tersebut.

##### 3.1.2. Panjang daun

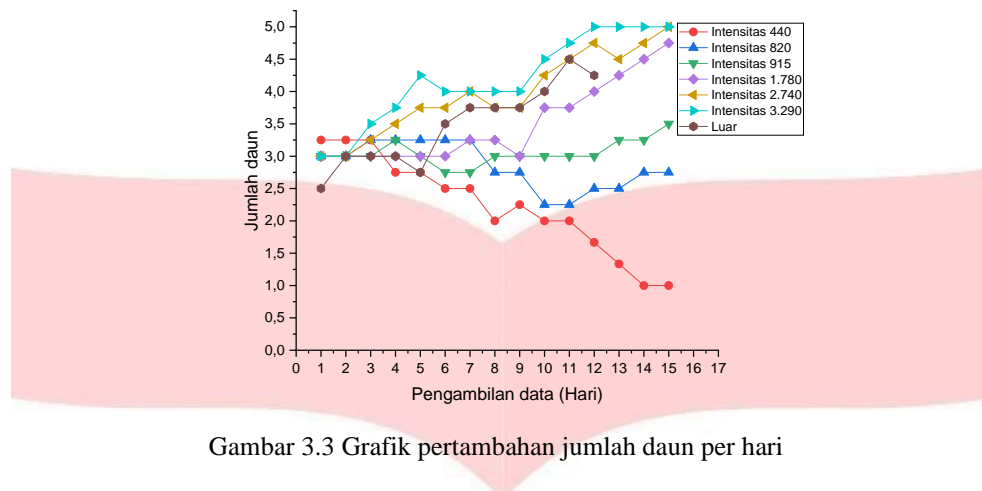


Gambar 3.2 Grafik pertambahan panjang daun tanaman per hari

Menurut grafik di atas, data panjang daun terbesar didapatkan pada ruangan dengan pemberian intensitas sebesar 3.290 Lux, sedangkan panjang daun terkecil terdapat pada ruangan dengan pemberian intensitas sebesar 440 Lux. Panjang daun sendiri dipengaruhi oleh struktur di dalam daun yang salah satu penyusunnya merupakan klorofil. Pada intensitas yang tinggi, laju fotosintesis pada tanaman sangat pesat, sehingga pembentukan struktur dari

tanaman itu sendiri semakin pesat. Hal tersebut yang mengakibatkan pertumbuhan panjang daun tanaman mengalami penambahan yang cukup pesat pada intensitas yang semakin besar.

**3.1.3. Jumlah daun**



Gambar 3.3 Grafik penambahan jumlah daun per hari

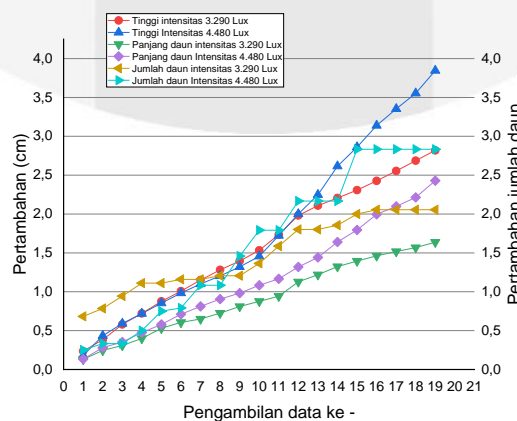
Dari grafik diatas didapatkan bahwa tanaman dengan pemberian intensitas sebesar 2.740 dan 3.290 Lux, sedangkan pada ruang dengan intensitas terendah yaitu sebesar 440 Lux jumlah daun pada tanaman tergolong rendah, hal ini disebabkan karena proses fotosintesis yang berjalan pada ruangan dengan intensitas yang besar lebih cepat dibandingkan dengan yang memiliki intensitas kecil. Hal ini menyebabkan proses pertumbuhan tanaman pun terganggu, sehingga mempengaruhi jumlah daun yang tumbuh pada tanaman tersebut.

Selain itu hal yang mempengaruhi sedikitnya jumlah daun pada intensitas yang kecil yaitu, karna laju fotosintesis yang lambat mengakibatkan pertumbuhan pada tanaman pun terhambat, sehingga jumlah daun pun akan semakin sedikit. Jumlah daun yang sedikit ini juga mempengaruhi proses fotosintesis, karena semakin sedikit jumlah daun maka proses fotosintesis pun akan semakin sedikit, karena tempat terjadinya fotosintesis yang paling utama yaitu terdapat pada daun, sehingga pengaruh dari jumlah daun terhadap pertumbuhan tanaman pun berbanding lurus.

**3.2 Hasil Pengujian Kedua Penanaman Pakchoy di dalam ruang penanaman**

**3.2.1 Perbandingan tinggi, panjang daun, dan jumlah daun**

Pada proses pertumbuhan dan fotosintesis tanaman faktor yang mempengaruhi, diantaranya yaitu panjang daun dan jumlah daun. Panjang daun dan jumlah daun berpengaruh karena, daun merupakan salah satu tempat utama terjadinya proses fotosintesis. Semakin panjang daun dan semakin banyak jumlahnya, maka laju fotosintesis tanaman tersebut akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena, daun merupakan tempat utama terjadinya proses fotosintesis. Jika semakin banyak jumlah daun dan semakin panjang ukuran daun tersebut, maka proses fotosintesis yang terjadi dapat lebih banyak. Jumlah daun yang semaki banyak serta panjang daun yang semakin besar memperbesar peluang untuk daun menangkap foton yang diberikan dari sinar cahaya yang datang. Dapat dilihat dari grafik 4.



Gambar 3.4 Perbandingan tinggi, panjang daun, dan jumlah daun percobaan kedua

Dari grafik tersebut dapat dilihat jika panjang serta jumlah daun berpengaruh terhadap tinggi dari tanaman tersebut. Selain intensitas yang berpengaruh terhadap pertambahan tinggi tanaman pada ruang dengan intensitas sebesar 4.480 Lux, jumlah daun yang lebih banyak serta panjang daun yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanaman pada ruang dengan intensitas sebesar 3.290 Lux mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman tersebut, sehingga memiliki tinggi yang lebih besar.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil percobaan dan analisis yang sudah dilakukan dalam penelitian dapat disimpulkan bahwa Intensitas yang semakin besar ternyata mempengaruhi pertumbuhan tanaman tersebut, karena semakin tinggi intensitas yang diberikan maka laju fotosintesisnya pun akan semakin besar. Hal tersebut didukung dengan data yang didapatkan, di mana tanaman pada ruang dengan intensitas tertinggi yaitu 3.290 Lux memiliki tinggi 12,23 cm, panjang daun 6,55 cm, dan jumlah daun 4,75 helai. Data tersebut merupakan data terbesar jika dibandingkan dengan seluruh ruang lain. Pertambahan tinggi, panjang daun, serta jumlah daun saling mempengaruhi satu dengan yang lainnya, selain intensitas sebagai faktor utama dari pertumbuhan tanaman tersebut. Tanaman dengan pertumbuhan terkecil dipengaruhi oleh kurangnya intensitas yang didapatkan oleh tanaman serta jumlah daun yang sedikit.

#### Daftar Pustaka:

- [1] Puspitasari, E., Kristianita, & Putri, K. (2012). Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max*). *Skripsi*. Madiun: Institut Keguruan Ilmu dan Pendidikan PGRI Madiun.
- [2] Lindawati, Y., Triyono, S., & Suhandy, D. (2015). Pengaruh Lama Penyinaran Kombinasi Lampu LED dan Lampu Neon Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*) Dengan Hidroponik Sistem Sumbu (Wick System). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* Vol. 4, 196.
- [3] Sarido, L., & Junia. (2017). Uji Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*) dengan Pemberian Pupuk Organik Cair Pada System Hidroponik. *Jurnal AGRIFOR Volume XVI*.
- [4] Al Amin, A., Yulia, A. E., & Nurbaiti. (2017). Pemanfaatan Limbah Cair Tahu untuk Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*). *JOM FAPERTA* Vol. 4.
- [5] Nababan, R. S. (2018). Pengujian Pengaruh Intensitas Cahaya Lampu pada Pertumbuhan Tanaman Jagung Dalam Ruang. *Skripsi*. Bandung: Telkom University Bandung.
- [6] Wiraatmaja, I. W. (2017). *Bahan Ajar Fotosintesis*. Denpasar: Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian UNUD.
- [7] Rahman, T. (2010). *Nutrisi dan Energi Tumbuhan*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- [8] Utomo, B. (2007). *Fotosintesis Pada Tumbuhan*. Medan: USU e-Respiratory.
- [9] Setiawati, W., Murtiningsih, R., Sopha, G. A., & Handayani, T. (2007). *Petunjuk Teknis Budidaya Tanaman Sayuran*. Bandung: Balitsa.
- [10] Rubatzky, V. E., & Yamaguchi, M. (1998). *Sayuran dunia : prinsip, produksi, dan gizi*. Bandung: ITB.
- [11] Yenti, F. Z. (2015). Penggunaan POC Ekstrak Daun Lamtoro Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*). *Skripsi*. Politeknik Pertanian.
- [12] Bhatia, S., & Gupta, R. (2018). *Text Book Of Renewable Energy*. New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt. Ltd.
- [13] Viridi, S., & N, N. (2014, Agustus). Cahaya dan Optik: Pemantulan-Cermin dan Pembiasan-Lensa. *Pelatihan Penguatan Kompetensi Guru OSN Tingkat SMP & SMA se-Aceh Batch III*.
- [14] Satwiko, P. (2009). *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: ANDI OFFSET.
- [15] *Data Sheet 5050 SMD 60 LED/m Indoor Strip LED*. (n.d.). ilker elektronik.
- [16] Palaloi, S. (2015). Pengujian dan Analisis Umur Pakai Lampu Light Emitting Diode (LED) Swabalast Untuk Pencahayaan Umum. *Jurnal Standardisasi*.
- [17] Riza, R., & Hermanto, D. (2014). Rancang Bangun Prototype Perangkat Aplikasi WI-FI Lamp Berbasis Mikrokontroler dan Aplikasi Menggunakan Platform Android. In *Skripsi*. Palembang: STMIK GI MDP & MDP Business School.
- [18] Singh, S. C. (2009). Basics of Light Emitting diodes, Characterizations and Applications. *Handbook of Light Emitting and Schottky Diode Research*.
- [19] Rohmah, A. (2007). *Studi Karakteristik Klorofil Pada Daun Sebagai Material Photodetector Organic*. Surakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNS.