

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman sawi yang dikenal dengan nama sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.) berasal dari Cina (Jayati dan Susanti, 2019). Permukaan daun sawi pagoda yang melengkung, keriting, dan berwarna hijau memberikan bentuk yang unik dan menarik. Sawi pagoda dapat dibudidayakan dengan metode konvensional maupun metode digitalisasi dengan menggunakan mesin otomatis hidroponik dan *greenhouse* (Yulianti dan Farida, 2023). Budidaya tanaman sawi pagoda dari penyiwaan hingga memasuki pemanenan memiliki rentang waktu selama 30 – 35 hari (Pane, 2023). Sawi pagoda memiliki kandungan senyawa kimia seperti alkaloid, kalium, iodium, dan zat samak yang baik untuk tubuh serta dapat menjaga kesehatan (Romza dkk., 2021). Sawi pagoda mengandung vitamin A, vitamin B kompleks, protein, kalsium, karbohidrat, magnesium, kalium, asamosinolat, dan nutrisi lainnya (Mariay dkk., 2022). Tanaman sawi pagoda banyak dicari karena harga jualnya yang tinggi dibandingkan dengan varietas lainnya (Yati dan Dewanti, 2022). Sawi pagoda memiliki tingkat permintaan yang tinggi dari masyarakat, harga jual relatif stabil dan mudah diusahakan (Bukhari dkk., 2022).

Tingkat permintaan sawi pagoda dari masyarakat terus mengalami peningkatan seiring berjalannya waktu (Mariay, 2022). Namun ketersediaan sawi pagoda masih terbatas dalam produksinya (Andriani dkk., 2023). Data dari Badan Pusat Statistik (2023) menunjukkan, Indonesia memproduksi 667.473 ton sawi pada tahun 2020, 727.467 ton pada tahun 2021, dan 706.305 ton pada tahun 2022. Diketahui bahwasanya faktor yang signifikan dalam mempengaruhi produksi sawi adalah luasan panen (Lama dan Kune, 2016). Data luasan panen sawi di Indonesia justru selalu mengalami peningkatan yakni sebesar 63.464 ha pada tahun 2020, sebesar 69.626 ha pada tahun 2021 dan sebesar 71.085 ha pada tahun 2022 (BPS, 2023). Sawi Pagoda umumnya dibudidayakan dengan menggunakan cara konvensional yang mengakibatkan hasil dan kualitas sawi seringkali tidak mencapai potensi maksimal bahkan sampai tingkat gagal panen (Rusmini dkk., 2021). Menurut Jupiter dan Kurnia (2020), berbagai upaya konvensional untuk

meningkatkan produktivitas tidak memberikan hasil yang memuaskan.

Berdasarkan data dari Renstra Kementerian Pertanian (2017) luas lahan produktif pertanian per petani di Indonesia sebesar 0,22 ha tahun 2012 dan diproyeksikan akan berkurang sebesar menjadi 0,18 ha tahun 2050. Potensialnya kondisi lahan pertanian yang menurun ini dapat menimbulkan ancaman terhadap ketersediaan pangan (Kusumastuti dkk., 2018). Maraknya perubahan penggunaan lahan pertanian ke lahan non – pertanian diperkirakan akan menimbulkan salah satu penyebab penurunan produksi sawi pagoda (Putra dkk., 2023). Salah satu cara untuk mengatasi masalah perubahan penggunaan lahan adalah dengan menggunakan teknik pertanian non-konvensional seperti hidroponik, yang dapat meningkatkan hasil pertanian (Samiha, 2023). Kegiatan budidaya tanaman dengan tidak menggunakan tanah adalah hidroponik yang merupakan kegiatan dengan tujuan utamanya adalah menyediakan nutrisi bagi tanaman (Salsabilla dkk., 2023). Budidaya tanaman secara hidroponik tidak bergantung terhadap ketersediaan lahan dan mampu diterapkan pada ruang yang terbatas (Waluyo dkk., 2021). Penerapan hidroponik dengan lahan terbatas dapat diaplikasikan melalui teknik penanaman bertingkat (*vertical farming*) (Irawani dkk., 2023). *Vertical farming* dapat diterapkan dalam konsep *indoor farming* (pertanian dalam ruangan) (Solikah dkk., 2019). Model pertanian dalam ruang merupakan pembangunan struktur dengan tujuan lingkungan yang dimanipulasi untuk menciptakan lingkungan dengan kondisi yang dikehendaki serta mampu mengendalikan serangan hama dan penyakit yang dapat tersebar melalui udara (Letari dkk., 2023). Pemeliharaan tanaman di dalam ruangan menghasilkan model kontrol yang lebih baik dan tingkat pertumbuhan lebih optimal daripada tanaman dengan kondisi tumbuh di luar ruangan (Wardani dan Lhaksana, 2018).

Cahaya menjadi satu dari beberapa unsur yang sangat esensial bagi proses fisiologi yang meliputi fotosintesis, respirasi, pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Afidah dkk., 2019). Sinar matahari yang merupakan salah satu sumber pemberian cahaya dapat digantikan dengan memberikan cahaya artifisial dengan lampu dalam budidaya secara hidroponik *indoor* (Nugraha dkk., 2020). Lampu yang digunakan sebagai sumber cahaya buatan dapat mengoptimalkan proses fotosintesis karena dapat diatur sesuai dengan kebutuhan tanaman (Aulia dkk.,

2019). Salah satu lampu yang digunakan untuk membantu penyinaran pada hidroponik *indoor* adalah lampu LED *growlight* (Prasetya dan Rozikin, 2021). Lampu LED *growlight* mampu melindungi tanaman dalam ruangan dari gangguan fisiologis serta mengurangi risiko penyakit dengan tujuan untuk mengantisipasi kerugian pada waktu panen (Gómez dan Izzo, 2018). Warna merah dan biru dengan spektrum yang terdapat pada lampu LED *growlight* memiliki dampak signifikan dalam mengurangi kondisi stres tanaman dibandingkan spektrum lainnya (Shamsabad dkk., 2022). Fase pertumbuhan vegetatif didukung oleh LED *growlight* warna biru, sedangkan fase pertumbuhan generatif didukung oleh LED *growlight* warna merah. Cahaya merah dan biru dapat diserap oleh klorofil a dan b secara efektif untuk proses fotosintesis (Hasanah dkk., 2018). Tanaman akan mencapai tingkat fotosintesis yang optimal ketika mendapatkan cahaya yang tercukupi (Slameto, 2023). Berdasarkan penelitian Slameto (2023) pada sawi hijau (*Brassica juncea* L.), cahaya LED *growlight* mempunyai dampak yang lebih signifikan pada beberapa parameter daripada perlakuan kontrol dengan LED putih. Menurut penelitian Novinanto dkk. (2019), tanaman selada (*Lactuca sativa* var. *Crispa* L.) yang diberikan perlakuan cahaya LED *growlight* mampu mencapai pertumbuhan maksimal dibandingkan dengan perlakuan lampu LED putih. Berdasarkan penelitian Slameto (2023), lama penyinaran yang berbeda pada sawi hijau memiliki pengaruh yang berbeda nyata terhadap parameter pengamatan jumlah daun. Perlakuan lampu LED *growlight* dengan lama penyinaran 12 jam menghasilkan jumlah daun terbaik.

Nutrisi yang diberikan menentukan keberhasilan budidaya tanaman hidroponik (Dalli dkk., 2023). Penekanan utama nutrisi yang diberikan kepada tanaman adalah pada nutrisi makro dan mikro. Nutrisi yang umum digunakan dalam budidaya hidroponik adalah AB mix, yang kaya akan nutrisi makro dan mikro esensial (Puspita dkk., 2023). Salah satu kelemahan penggunaan AB mix dalam sistem hidroponik adalah ketersediaannya yang terbatas sebagai nutrisi (Junior dkk., 2023). Kenaikan biaya produksi didorong oleh harga nutrisi AB mix yang relatif tinggi (Ilhamdi dkk., 2019). Kemudian daripada itu, penyerapan nutrisi AB mix umumnya diberikan melalui perakaran cenderung lebih lambat dibandingkan dengan nutrisi yang diberikan melalui bagian daun (Sembiring dan Maghfoer dkk.,

2019). Menurut penelitian Simanjuntak dan Setiawan (2021), bahwa aplikasi pupuk daun dapat menekan penggunaan nutrisi AB mix hingga 50% serta dapat mengoptimalkan pertumbuhan sayuran yang ditanam. Pupuk daun adalah bentuk pupuk yang diaplikasikan langsung ke daun tanaman (Manurung dkk., 2020). Nutrisi yang masuk melalui stomata dapat memberikan respon yang cepat, mempercepat pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Oleh karena itu, pemberian pupuk pada daun merupakan metode yang efektif dan bermanfaat (Tuwongkesong dkk., 2023). Memasok nutrisi melalui daun dapat meningkatkan proses fotosintesis, memperlancar aliran nutrisi ke dalam jaringan, mencegah kehilangan nitrogen pada jaringan daun, meningkatkan produksi karbohidrat, lemak, dan protein, dan pada akhirnya meningkatkan hasil panen (Surtinah, 2006). Hartati dkk. (2019) menyatakan bahwa pupuk daun seperti Gandasil D dipilih karena mengandung kadar Nitrogen (N) yang lebih tinggi dibandingkan dengan unsur lainnya. Soekamto dkk. (2023) menyoroti bahwa Nitrogen (N) merupakan unsur hara yang sangat penting untuk mendorong pertumbuhan vegetatif tanaman. Hal tersebut berkaitan yakni tanaman sawi yang sangat mementingkan unsur Nitrogen (N) karena sawi dipanen sebelum fase generatif (Ngantung dkk., 2018). Berdasarkan hasil penelitian Tuwongkesong dkk. (2023), aplikasi nutrisi AB mix sebanyak 15 ml/l dengan penambahan pupuk daun Gandasil D sebanyak 2 g/l pada tanaman sawi hijau menunjukkan pengaruh nyata pada parameter jumlah daun, lebar daun, tinggi tanaman, berat segar dan volume akar. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan pemberian cahaya lampu LED *growlight* dengan lama penyinaran serta pengaplikasian konsentrasi pupuk daun Gandasil D terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan, seperti yang diturunkan dari latar belakang masalah, adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan lama penyinaran lampu LED *growlight* terbaik terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda.
2. Mendapatkan konsentrasi pupuk daun Gandasil D terbaik terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda.

3. Mendapatkan kombinasi antara lama penyinaran dan konsentrasi pupuk daun terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda.

1.3 Kerangka Pemikiran

Proses fotosintesis dapat berjalan dengan optimal dikarenakan adanya peran penting dari intensitas cahaya (Syafriyudin dan Ledhe, 2015). Pengoptimalan pemberian cahaya dengan teknik hidroponik *indoor* dapat dilakukan dengan cara pemberian lampu LED *growlight* (Hutapea dkk., 2023). Menurut Slameto (2023), cahaya biru lampu LED *grow light* mendorong pertumbuhan pada fase vegetatif dan cahaya merahnya mendorong pertumbuhan pada fase generatif. Selama fotosintesis, klorofil a dan b pada daun secara efektif menyerap cahaya biru dan merah. Proses asimilasi CO₂ dalam proses fotosintesis membutuhkan energi utama yang disediakan oleh cahaya biru dan merah (Jumiyatun dkk., 2019). Lampu LED *growlight* dapat mengatur intensitas cahaya, mengadaptasi spektrum dan menghemat energi (Modarelli dkk., 2022). Pengoptimalan proses fotosintesis dapat terjadi pada tanaman yang mempunyai klorofil ketika mengalami penyerapan terhadap spektrum cahaya rentang 600 – 700 nm (Michaelian dan Mateo, 2022).

Perbedaan lama penyinaran pada sawi hijau memiliki pengaruh yang berbeda nyata pada parameter jumlah daun, dimana lama penyinaran 12 jam lampu LED *growlight* memberikan hasil jumlah daun terbaik (Slameto, 2023). Berdasarkan penelitian Zainudin dan Abror (2021), hasil yang terbaik dalam pengoptimalan luas daun pakcoy tertinggi diperoleh setelah mendapatkan penyinaran lampu LED *growlight* selama 12 jam. Sementara itu, perlakuan lama penyinaran 8 jam memperlihatkan pengaruh nyata pada variabel berat basah pakcoy. Berdasarkan penelitian Zhang dkk. (2018) menganjurkan dalam budidaya selada tingkat pencahayaan yang optimal adalah 16 jam/hari fotoperiode dengan mengaplikasikan lampu LED. Menurut Cahyono (2003), sawi hijau membutuhkan tingkat pencahayaan yang tinggi dengan durasi penyinaran matahari (fotoperiodisitas) berkisar 12 – 16 jam per hari untuk mengoptimalkan pertumbuhan. Dengan demikian pada penelitian ini menggunakan lampu LED *growlight* dengan taraf perlakuan lama penyinaran yang diberikan yaitu: 8 jam, 12 jam dan 16 jam.

Tanaman yang mendapatkan nutrisi yang tercukupi serta lengkap, maka tanaman yang diperoleh tumbuh secara maksimal dan menghasilkan produk dengan kualitas yang unggul (Purba dkk., 2021). Menurut Nunyai dkk. (2016), tanaman harus selalu dipenuhi kebutuhan unsur hara nya karena defisiensi dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan produktivitas. Hara lengkap seperti N (Nitrogen), P (fosfor), K (kalium), S (sulfur), Ca (kalsium), dan Mg (magnesium) sangat dibutuhkan untuk kesehatan tanaman. Selain unsur hara makro, unsur hara mikro seperti klorin, besi, mangan, tembaga, seng, boron, molibdenum, dan klorida juga diperlukan (Nurhayati, 2021). Pupuk anorganik harus digunakan untuk menyediakan unsur hara makro dan mikro yang penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Ibrahim dkk., 2022). Nutrisi hidroponik memiliki peranan krusial karena mengandung semua elemen hara makro dan mikro yang diperlukan dan sepenuhnya larut dalam air, sehingga mampu memenuhi kebutuhan hara tanaman (Sari dkk., 2019). Nutrisi merupakan faktor kunci yang mempengaruhi hasil dan kualitas produksi tanaman sawi (Acing dkk., 2021). Oleh karena itu, banyak sedikit nutrisi yang diberikan akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman sawi pagoda (Dahlianah dkk., 2019). Nutrisi yang diberikan dalam jumlah dan konsentrasi yang tepat dapat mendukung pertumbuhan sawi pagoda secara optimal. Memberikan nutrisi pada tanaman dengan komposisi yang tepat adalah kunci untuk menghindari gangguan dalam pertumbuhan dan hasil yang tidak optimal (Mahendra dkk., 2022).

Sawi pagoda merupakan tanaman sayuran dengan memanfaatkan hasil dari daunnya dengan fokus pada pertumbuhan fase vegetatif (Yulianti, 2023). Usaha dalam mendukung pertumbuhan fase vegetatif sawi pagoda salah satunya dengan menggunakan pupuk yang banyak mengandung Nitrogen (Suhastyo dan Raditya, 2019). Pupuk yang mempunyai kandungan Nitrogen (N) yang dominan adalah pupuk daun Gandasil D (Hartati dkk., 2019). Diketahui pupuk Gandasil D dimanfaatkan guna mendorong pertumbuhan tunas tanaman sayuran agar daunnya dapat berkembang dengan baik (Arifin dkk., 2023). Kandungan pada pupuk daun Gandasil D antara lain: 14% Nitrogen, 12% Fosfat, 14% Kalium, 1% Magnesium, serta berbagai unsur dan senyawa lainnya seperti Mangan (Mn), Boron (B), Tembaga (Cu), Kobalt (Co), dan Seng (Zn) dalam proporsi yang sesuai (Hastuti

dkk., 2016). Arifin dkk. (2023) menyatakan bahwa kandungan Nitrogen (N) pada pupuk daun Gandasil D berpotensi untuk mempercepat pertumbuhan tanaman dan meningkatkan kualitas daun dan akar. Selain itu, tanaman mendapatkan manfaat dari Nitrogen (N) karena merupakan komponen protoplasma utama, yang menghasilkan peningkatan volume dinding sel. Bentuk pengaruh Nitrogen (N) dapat membuat rasio protoplasma terhadap bahan dinding sel menjadi lebih besar dan dinding sel yang tipis dapat membuat sel menjadi lebih besar.

Kombinasi perlakuan dengan konsentrasi nutrisi AB mix sebanyak 3 ml/l ditambah dengan pupuk daun Gandasil D sebanyak 3 g/l menunjukkan efek yang sangat signifikan terhadap pertumbuhan dan hasil selada hijau (Agustina, 2019). Perlakuan dengan konsentrasi AB mix 1300 ppm + NPK 700 ppm + pupuk daun Gandasil D 600 ppm pada tanaman sawi pagoda memberikan hasil terbaik pada jumlah daun yang terlihat pada 20 Hari Setelah Tanam (HST) (Nirwanto dan Mutiarasari, 2023). Penelitian oleh Remindau (2020) menunjukkan bahwa penggunaan nutrisi AB mix sebanyak 5 ml/l dengan tambahan pupuk daun Gandasil D sebanyak 1 g/l berinteraksi secara signifikan dengan pertumbuhan luas daun (cm²) selada merah, dengan hasil terbaik mencapai 259,49 cm². Menurut penelitian Tuwongkesong dkk. (2023), pemberian nutrisi AB mix sebanyak 15 ml/l dan pupuk daun Gandasil D sebanyak 2 g/l pada tanaman sawi hijau (*Brassica rapa* Var. *Parachinensis* L.) memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah daun, lebar daun, tinggi tanaman, berat segar, dan volume akar. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimal pupuk daun Gandasil D dalam budidaya sawi pagoda secara hidroponik indoor. Pengujian yang dilakukan dengan pemberian 15 ml/l AB mix, 15 ml/l AB mix + 1 g/l Gandasil D, 15 ml/l AB mix + 2 g/l Gandasil D, dan 15 ml/l AB mix + 3 g/l Gandasil D.

Tanaman sawi pagoda dipupuk dengan Gandasil D pada bagian daun. Daun merupakan organ pada tanaman yang merupakan salah satu alat transpirasi. Pemberian pupuk daun Gandasil D akan efektif dan memiliki hasil yang optimal jika kondisi stomata membuka. Secara umum, stomata terbuka pada hari yang cerah untuk memungkinkan masuknya CO₂, yang sangat penting untuk fotosintesis selama periode cahaya ini, dan kemudian secara bertahap menutup ketika kondisi cahaya berkurang. Kondisi tanaman yang berada pada ruang gelap secara langsung

dapat menutup stomata lebih cepat (Haryanti dan Meirina, 2009). Hal tersebut berkaitan dengan lama penyinaran yang diberikan dimana faktor lama penyinaran merupakan salah satu faktor dalam membuka dan menutupnya stomata. Pupuk daun Gandasil D dapat menghasilkan kandungan klorofil pada daun menjadi lebih tinggi (Anam dan Amiroh, 2017). Jumlah klorofil yang tinggi dapat menyerap cahaya dengan optimal berakibat proses fotosintesis berjalan dengan optimal (Yustiningsih, 2019). Maka dari hal tersebut, pada penelitian ini memberikan faktor lama penyinaran dengan lampu LED *growlight* yaitu 8 jam, 12 jam dan 16 jam serta konsentrasi pupuk daun Gandasil D 15 ml/l AB mix, 15 ml/l AB mix + 1 g/l Gandasil D, 15 ml/l AB mix + 2 g/l Gandasil D, dan 15 ml/l AB mix + 3 g/l Gandasil D.

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penilitan ini adalah:

1. diduga terdapat lama penyinaran lampu LED *growlight* terbaik terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda.
2. diduga terdapat konsentrasi pupuk daun Gandasil D terbaik terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda.
3. diduga terdapat interaksi antara lama penyinaran dan konsentrasi pupuk daun terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda.

1.5 Kontribusi Penelitian

Kontribusi dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian tentang pengaruh lama penyinaran dan konsentrasi pupuk daun Gandasil D terhadap pertumbuhan dan hasil panen sawi pagoda diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga bagi para pembaca..
2. Penelitian yang dilakukan tentang lama penyinaran dan konsentrasi pupuk daun Gandasil D terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda diharapkan dapat menjadi hal yang normal untuk memberikan informasi yang dapat diterapkan oleh daerah setempat.
3. Penelitian yang dilakukan tentang lama penyinaran dan konsentrasi pupuk daun Gandasil D terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda diharapkan dapat menjadi referensi penelitian mahasiswa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Sawi Pagoda

Sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.) tergolong keluarga *Brassicaceae* yang mengandung asamosinolat, vitamin A, kalsium, karbohidrat, magnesium, kalium, dan vitamin B kompleks yang tinggi (Mariay dkk., 2020). Sawi pagoda merupakan tanaman asli Asia dan berasal dari Cina. Meskipun pengembangan sawi pagoda masih terbatas, namun permintaan pasar terus meningkat (Andriani, 2023). Sawi pagoda dapat tumbuh sepanjang tahun dikarenakan mempunyai ketahanan pada curah hujan (Laia, 2022). Menurut Fernandes dkk. (2019), tanaman sawi pagoda diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Kelas : Angiospermae
Subkelas : Dicotyledonae
Ordo : Papaverales
Famili : Brassicaceae
Genus : Brassica
Species : Brassica rapa
Subspecies/var: narinosa

Sawi pagoda tergolong *annual* yang mudah untuk dibudidayakan karena memiliki waktu pertumbuhan yang relatif singkat dalam kurun waktu 30 – 35 hari dari persemaian dan siap untuk dipanen (Pane, 2023). Sawi pagoda memiliki keindahan visual yang khas ditandai dengan bentuk daun yang unik dan menarik dengan ciri – ciri permukaan yang bergelombang dan berwarna hijau (Jayati dan Susanti, 2019).



Gambar 1. Pagoda (*Brasica Narinosa L.*)
Sumber: pngtree.com

Sawi pagoda memiliki perakaran tunggang yang menumbuh ke bagian bawah, dengan cabang-cabang akar mengarah memanjang ke berbagai arah hingga kedalaman sekitar 30 hingga 50 cm (Tripama dan Yahya, 2018). Sebagai komponen vegetatif tanaman, akar memainkan peran penting dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangannya. Akar berfungsi sebagai saluran transportasi penyalur nutrisi yang mengambil unsur hara yang kemudian dialirkan ke bagian tanaman lain yang membutuhkan sehingga berdampak pada proses fisiologis tanaman (Amir, 2016). Karena strukturnya yang pendek, bercabang dan ruas-ruasnya yang berjarak dekat, batang sawi pagoda nyaris tersembunyi (Laia, 2022). Sawi pagoda yang merupakan varietas sawi hijau memiliki daun berbentuk khas menyerupai pagoda, cembung, dan memiliki warna hijau yang gelap (Lareta, 2023). Daun pada sawi pagoda yang keriting dan memiliki warna hijau sehingga secara nilai estetika memiliki bentuk yang indah dan menarik (Jayati dan Susanti, 2019). Bentuk daun sawi pagoda yang menyerupai *flat rosette* seperti pada pakcoy yang berada dekat permukaan media tanam dan memiliki warna hijau tua. Tangkai bunga (*inflorescence*) dari sawi pagoda tumbuh dengan tinggi dan memiliki banyak cabang. Sawi pagoda memiliki empat benang sari, satu putik dengan dua ruang, empat kelopak mahkota berwarna kuning cerah, dan empat daun kelopak (Gustianty dan Saragih, 2020). Biji dari sawi pagoda memiliki karakteristik yang mirip dengan biji sawi lainnya yaitu kecil, berbentuk kearah bulat, memiliki warna coklat kehitaman, mengkilap, mempunyai permukaan yang licin dan tekstur yang keras (Suhastyo dan Raditya, 2019).

Menurut Jayati dan Susanti (2019), salah satu jenis sayuran yang memiliki rasa enak adalah sawi pagoda, kemudian tekstur yang renyah, dan nilai gizi yang tinggi, antara lain alkaloid, kalium, dan yodium. Sawi pagoda juga mengandung protein, vitamin A, vitamin B kompleks, kalsium, karbohidrat, magnesium, kalium, dan asamosinolat (Mariay dkk., 2022). Sawi pagoda adalah sawi yang dapat membantu mencegah kanker, berkat kandungan antioksidan dan nutrisinya yang kaya. Menurut Rusmini dkk. (2021), konsumsi sawi pagoda dapat membantu menjaga kesehatan tubuh. Sawi pagoda memiliki kandungan karbohidrat, protein, kalsium, lemak, fosfor, zat besi, dan (A, B, C) vitamin yang semuanya memiliki kekayaan manfaat bagi kebugaran (Mujiyati dan Dewanti, 2022).

Sawi pagoda dapat menyesuaikan diri dengan suhu panas maupun dingin, sehingga cocok untuk dibudidayakan baik di dataran rendah maupun tinggi. Namun, tanaman ini cenderung menghasilkan hasil yang lebih baik di ketinggian yang lebih tinggi, dengan pertumbuhan optimal terjadi antara 500 dan 1.200 meter di atas permukaan laut. Meskipun demikian, sawi biasanya ditanam pada ketinggian dari 100 hingga 500 meter di atas permukaan laut. Suhu ideal untuk menanam sawi adalah 15,6°C pada malam hari dan 21,1°C pada siang hari (Laia, 2022). Suhu di atas 24°C dapat menyebabkan daun terbakar, dan paparan suhu di bawah 13°C dalam waktu lama bisa membuat tanaman memasuki fase pertumbuhan reproduksi terlalu awal. Sawi pagoda umumnya ditanam di dataran rendah daerah tropis dan subtropis. Selama musim kemarau, pengelolaan tata air yang tepat diperlukan untuk mencegah kekeringan, sedangkan pada musim hujan, pengelolaan drainase yang baik diperlukan untuk menghindari genangan air dan mengatasi serangan ulat daun (Gazali dan Ilhamiyah, 2022).

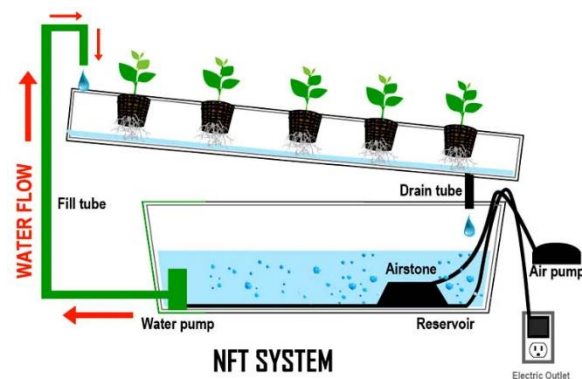
2.2 Hidroponik

Metode pertanian yang tidak melibatkan penggunaan tanah sebagai media tanam disebut dengan hidroponik (Siregar dan Novita, 2021). Sistem pertanian hidroponik menjadi pilihan yang efektif dalam mengembangkan pertanian skala kecil, karena dapat disesuaikan dengan keterbatasan lahan (Gayatri dan Mahyuni, 2021). Tanaman yang umumnya dibudidayakan secara hidroponik adalah tanaman sayuran (Maulidia, 2023). Di Indonesia, penggunaan sistem hidroponik secara komersial dimulai di Jakarta pada tahun 1980 dengan tujuan untuk

membudidayakan tanaman sayuran dan buah-buahan yang bernilai tinggi (Jalil, 2018). Pertanian hidroponik berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua istilah, yaitu “hydro” yang berarti air dan “ponous” yang berarti kerja. Ini menunjukkan bahwa pertanian hidroponik adalah metode bercocok tanam yang memanfaatkan oksigen, nutrisi, dan air. Budidaya dengan cara hidroponik dapat menjadi peluang bisnis dengan memanfaatkan halaman rumah (Putra dkk., 2019). Proses produksi tanaman melalui hidroponik memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan memenuhi standar kesehatan. Beberapa manfaat dari sistem hidroponik meliputi: kemampuan untuk meningkatkan kepadatan tanaman per unit area untuk menghemat lahan, pengaturan yang baik terhadap kebutuhan nutrisi tanaman sehingga dapat menghasilkan produk berkualitas dari segi bentuk, ukuran, rasa, warna, dan kebersihan. Selain itu, keunggulan hidroponik juga memungkinkan budidaya yang berkelanjutan tanpa bergantung pada musim, sehingga dapat disesuaikan dengan permintaan pasar (Roidah, 2014). Teknik hidroponik kini semakin digemari karena higienis, relatif mudah dan bebas dari risiko penyakit tanah, serangan serangga atau hama. Hal ini mengakibatkan pengurangan bahkan eliminasi penggunaan pestisida dan bahan kimia beracun. Tidak adanya hambatan mekanis pada akar dan ketersediaan nutrisi yang optimal pada model hidroponik menyebabkan pertumbuhan tanaman lebih cepat. Terlebih lagi, tanaman memperoleh waktu pertumbuhan yang lebih singkat dari tanaman yang ditanam di tanah. Metode hidroponik sangat efektif jika diterapkan di daerah yang memiliki suhu ekstrem (panas, dingin, gurun) yang menjadi problematika krusial (Sharma dkk., 2018).

Metode hidroponik mampu diaplikasikan dengan teknik otomatisasi yang dapat menggantikan teknik pertanian tradisional yang dilakukan tenaga kerja seperti: penyemprotan, penyiraman dan pengolahan tanah. Konsep penggunaan air dalam metode hidroponik dapat dihemat dalam penerapan irigasi yang presisi dan tidak membutuhkan jenis semprotan lainnya (Yachya dkk., 2023). Metode hidroponik menghasilkan produksi yang tinggi karena lebih banyak tanaman yang dapat ditanam per satuan luas dibandingkan dengan pertanian tradisional. Menurut Mutakin dkk. (2019). penyakit dan hama lebih mudah dikelola karena gulma tidak ada.

Hidroponik mempunyai beberapa jenis sistem yaitu: *drip system* (sistem tetes), *Ebb and flow (flood and drain)*, *wick system* (sistem sumbu), *deep water culture*, *aeroponic*, *Deep Flow Technique (DFT)* dan yang cukup banyak diaplikasikan seperti sistem *Nutrient Film Technique (NFT)*. Hidroponik model NFT (Gambar 2) memiliki prinsip menyalurkan nutrisi melalui aliran air yang tipis yang memungkinkan akar tanaman bersentuhan dengan nutrisi yang mengalir secara tipis tersebut. Ketika aliran listrik terganggu, sistem ini mampu menjaga larutan nutrisi tetap berada dalam sistem. Struktur sistem dirancang secara bertingkat yang memungkinkan larutan nutrisi dipompa melalui pipa teratas mengalir turun melalui pipa – pipa berikutnya dan langsung menuju wadah penyimpanan nutrisi. Sistem ini mayoritas menyukainya disebabkan akar tanaman dapat mengambil oksigen lebih banyak dari udara daripada yang diambil dari larutan nutrisi. Fenomena tersebut terjadi disebabkan hanya bagian ujung akar yang berkontak langsung dengan larutan nutrisi sehingga tanaman menerima pasokan oksigen yang lebih besar berakibat pada percepatan pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Tallei dkk., 2017).



Gambar 2. Hidroponik sistem *Nutrient Film Technique (NFT)*
Sumber: agroniaga.com

2.3 Indoor Farming

Indoor farming atau pertanian di dalam ruangan adalah suatu struktur atau bangunan yang dirancang untuk mengontrol kondisi lingkungan, menciptakan kondisi lingkungan yang dikehendaki dan mencegah potensi hama dan penyakit melalui udara. Tanaman yang dibudidayakan dalam ruangan akan mengalami pertumbuhan puncaknya dibandingkan dengan tanaman lain di luar ruangan karena

sistem kontrol yang tepat membantu menjaga proses pertumbuhan tanaman (Wardani dan Lhaksmana, 2018). Berbagai potensi yang dimiliki oleh konsep pertanian dalam ruangan mencakup kemampuan untuk menghasilkan produk pertanian sepanjang tahun tanpa mengenal musim, menciptakan produksi dan frekuensi panen yang lebih tinggi, dapat diaplikasikan pada berbagai lokasi dengan kebutuhan ruang yang relatif kecil, memenuhi kandungan nutrisi maksimal dalam produk dan menghasilkan produk yang lebih sehat serta menghilangkan penggunaan pestisida (Soelistyari dkk., 2023). Hasil panen dapat diperkirakan dengan presisi dan dapat meningkatkan keberhasilan dalam mencapai tujuan komersial dari *indoor farming*. Konsep penerapan *indoor farming* dengan kondisi lingkungan yang terkontrol seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. *Indoor farming*
Sumber: dokumen pribadi

2.4 Nutrisi AB mix

Kegiatan budidaya secara hidroponik memiliki hal esensial yang harus dipenuhi yaitu pemberian nutrisi. Pemberian nutrisi diselaraskan dengan kebutuhan tanaman yakni mencakup kebutuhan hara makro dan hara mikro. Ketersediaan unsur hara makro dan hara mikro dapat dipenuhi dengan bahan organik atau bahan anorganik yang dibuat menjadi larutan nutrisi. Umumnya, nutrisi hidroponik yang sering diaplikasikan adalah AB mix. Nutrisi AB mix terdiri dari dua jenis nutrisi, yakni nutrisi A dan nutrisi B dicampur secara bersamaan sebelum diaplikasikan ke tanaman (Karunia dkk., 2019). Nutrisi A terdiri dari kalsium nitrat, Fe dan kalium

nitrat, sedangkan nutrisi B terdiri dari KH_2PO_4 (amonium, monobutana, fosfat), kalium sulfat, magnesium sulfat, mangan sulfat, tembaga sulfat, seng sulfat, korosif borat, dan amonium heptamolibdat atau natrium molibdat (Sutiyoso, 2003). Unsur hara makro (N, P, dan K) dan unsur hara mikro (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, dan Zn) yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman disediakan oleh nutrisi AB mix (Rehatta dkk., 2023). Penerapan nutrisi AB mix dapat diaplikasikan pada tanaman sayuran dan buah – buahan, seperti: selada, sawi, pakcoy, kangkung, bayam, tomat, mentimun, stroberi, anggur, dan sejenisnya.

Nutrisi yang diperlukan secara keseluruhan dalam pertanian hidroponik disediakan dalam jumlah yang sesuai dan dapat diserap dengan lancar oleh tanaman (Sulistyowati dan Nurhasanah, 2021). Unsur – unsur hara makro dan mikro pada larutan nutrisi yang diberikan melalui media tanam ataupun akar secara langsung meliputi:

a. Unsur makronutrien

Makronutrien adalah unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah yang banyak oleh tanaman (Rahayu dkk., 2022). Adapun unsur – unsur yang terdapat pada makronutrien diantaranya sebagai berikut:

1. Nitrogen (N)

Unsur yang mendominasi atmosfer dengan komposisi sebanyak 80% adalah unsur Nitrogen. Nitrogen di atmosfer berada dalam bentuk gas, tetapi tidak semua dapat langsung dimanfaatkan oleh organisme secara langsung. Cyanobacteria dan sebagian bakteri merupakan satu – satunya organisme yang mampu memanfaatkan gas Nitrogen secara langsung (Bhatla dan Lal, 2018). Bakteri didalam tanah yang mampu menangkap Nitrogen di udara berfungsi memasok Nitrogen kedalam tanah untuk dapat diabsorpsi oleh tanaman (Russo, 2017). Proses fiksasi Nitrogen dapat dilakukan oleh beberapa jenis tumbuhan yang bersimbiosis bersama mikroorganisme seperti Rhizobium. Tanaman Legum dapat berasosiasi dengan Rhizobium melalui akar dan membentuk bintil pada bagian akarnya.

Ammonium dan nitrat adalah dua jenis asal mula Nitrogen yang tersedia bagi tanaman non – legum. Secara umum, tanaman menyerap Nitrogen dalam bentuk derivat Nitrogen yakni nitrat (NO_3^-) selanjutnya diubah membentuk nitrit dari enzim nitrat reduktase di sitosol. Molibdenum mengaktifkan enzim nitrat

reduktase dalam proses mengubah nitrat menjadi nitrit. Selanjutnya, nitrit diangkut ke plastida dan diubah menjadi hydroxylamine (NH_2OH) oleh enzim nitrit reduktase. Dalam tahap terakhir, hydroxylamine (NH_2OH) diubah menjadi ammonium (NH_4^+) dari enzim hydroxylamine reductase yang diaktifkan oleh adanya unsur mangan (Mn) (Duca, 2015).

2. Fosfor (P)

Unsur fosfor merupakan elemen penting kedua setelah Nitrogen. Tanaman membutuhkan fosfor dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangannya (Irfan dkk., 2019). Fosfor memiliki peran kunci dalam metabolisme karbon, pembentukan membran, pengaktifan enzim dan fiksasi Nitrogen. Fosfor juga berkontribusi dalam sintesis asam nukleat dan fosfolipid (Marschner, 2012). Saat berada dalam larutan air, fosfor diserap oleh tanaman dalam wujud anion sebagai fosfor anorganik (Pi) seperti H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} . Akar tanaman mencapai asupan fosfat maksimum ketika pH tanah berada dalam rentang 5 – 6 yang merupakan kondisi pH tanah umumnya terjadi di alam. Anion – anion (H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-}) merupakan bentuk utama dimana tanaman menyerap fosfat (Hernández dan Munné-Bosch, 2015).

3. Kalium (K)

Kalium merupakan elemen penting yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan dan fungsi fisiologisnya. Kalium berperan dalam manajemen reaksi biokimia berkaitan dengan pembentukan protein, metabolisme karbohidrat, serta aktifitas enzim (Wang dkk., 2013). Keberadaan kalium memiliki indikator pengaruh fisiologis tanaman yakni dalam Pengaturan stomata dalam membuka dan menutup serta proses fotosintesis. Kalium berperan untuk meningkatkan keseimbangan tanaman jika terjadi cekaman abiotik. Dalam kondisi cekaman garam, Kalium berperan melindungi homeostasis ion dan membenahi aliran air melalui proses osmosis. Kalium dapat mengatur pembukaan stomata untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi dalam kondisi kekurangan air (kekeringan) (Hasanuzzaman dkk., 2018).

4. Kalsium (Ca)

Salah satu unsur hara yang paling umum di dalam tanah adalah kalsium, yang bertanggung jawab dalam pembentukan dinding sel, mediator kedua dalam

transmisi sinyal, dan aktivator enzim. Ca diserap oleh tanaman dalam bentuk kation divalen (Ca^{2+}). Ca^{2+} tidak dapat melalui difusi melalui lapisan membran fosfolipid, sehingga ia masuk ke dalam sel melalui pompa khusus yang mengontrol pergerakan ion Ca^{2+} . Kalsium masuk ke dalam xilem akar melalui daerah apikal ujung akar dimana endodermis belum berdiferensiasi. Hal ini terjadi karena pita kaspari pada endodermis membatasi difusi kalsium (Rahayu dkk., 2022).

5. Magnesium (Mg)

Ion magnesium (Mg^{2+}) merupakan komponen penting dari berbagai proses fisiologis, seperti fotosintesis, katalisis enzim, dan sintesis asam nukleat. Magnesium merupakan bagian penting dari proses fotosintesis tanaman karena merupakan komponen utama dari klorofil (Tanoi dan Kobayashi, 2015). Selain itu, sebagai kofaktor, magnesium berperan penting dalam berbagai enzim yang terlibat dalam proses fiksasi karbon (Hermans, 2013).

6. Sulfur (S)

Sulfur adalah nutrisi penting yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah signifikan dalam pertumbuhan dan perkembangan. Berfungsi dalam berbagai proses fisiologis dan biokimia, sulfur diserap dalam bentuk ion sulfat (SO_4^{2-}). Elemen ini mendukung perbaikan pertumbuhan akar dan produksi biji, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap suhu dingin. Selain itu, sulfur mempercepat pembentukan nodul akar dan pertumbuhan akar pada tanaman legum (Bhatla dan Lal, 2018).

b. Unsur mikronutrien

1. Besi (Fe)

Tanaman dapat menyerap zat besi dalam bentuk ion Fe^{2+} . Ion Fe^{3+} dalam larutan tanah diubah menjadi Fe^{2+} oleh sistem redoks di plasmalemma sel rhizodermis, memungkinkan zat besi diserap oleh tanaman melalui akar (Duca, 2015). Sebagai bagian dari fungsinya, zat besi terlibat dalam pembentukan protein-protein penting seperti ferredoksin dan sitokrom, yang memainkan peran dalam pengangkutan elektron selama proses fotosintesis dan respirasi (Bhatla dan Lal, 2018).

2. Mangan (Mn)

Mangan memainkan peran besar dalam siklus fisiologis tanaman. Kehadiran

mangan sangat penting untuk penataan kloroplas dan selanjutnya untuk berlakunya berbagai katalis yang terkait dengan siklus pernapasan, fotosintesis, dan pencernaan nitrogen. Menurut Bhatla dan Lal (2018), mangan juga berkontribusi pada proses dekarboksilasi selama respirasi dan berfungsi sebagai penyedia elektron untuk klorofil b.

3. Seng (Zn)

Tanaman menyerap seng dalam bentuk Zn^{2+} dari *zinc chelate*. Seng merupakan komponen dari beberapa enzim termasuk enzim karbohidrase, karboksipeptidase, fosfatase, dan aldolase. Seng memainkan peran krusial dalam proses fotosintesis sebagai bagian dari enzim karbohidrase yang terlibat dalam fiksasi CO_2 . Selain itu, seng terlibat dalam biosintesis protein, triptofan, asam nukleat, vitamin tertentu dan klorofil (Duca, 2015). Selain itu, seng berperan secara tidak langsung pada pembentukan auksin (Bhatla dan Lal, 2018).

4. Tembaga (Cu)

Tanaman menyerap tembaga dalam bentuk ion dari partikel tanah. Ion Cu^{2+} diangkut menuju ke titik – titik inti yang dominan, seperti organ-organ yang aktif dalam proses pembentukan dan biji yang sedang berkembang (Duca, 2015). Selain itu Cu berperan dalam metabolisme akar dan meningkatkan pemanfaatan protein (Bhatla dan Lal, 2018).

5. Boron (B)

Boron berfungsi dalam pembentukan struktur dinding sel yang merupakan komponen kunci dari pektin. Boron sangat penting dalam menjaga struktural dinding sel, karena kurangnya boron pada dinding sel primer dapat berakibat bentuk yang kelainan. Selain itu, boron mempunyai peran signifikan dalam proses perkembangan serbuk sari bagian buluh. Boron berperan dalam pergerakan gula dan menjadi unsur esensial bagi perkembangan biji dan buah. Sebaliknya, dalam hal ini, boron juga penting untuk transportasi gula serta dalam pertumbuhan biji dan buah (Bhatla dan Lal, 2018).

6. Molibdenum (Mo)

Molibdenum dibutuhkan dalam pembentukan leghemoglobin yakni sebuah protein yang membawa oksigen dalam nodul akar. Sebagai logam yang katalis,

molibdenum diperlukan dalam reaksi aminasi dan transaminasi. Memiliki fungsi dalam penyusunan asam amino menjadi rantai peptida serta aktivitas enzim lainnya (Duca, 2015).

Menghitung jumlah pupuk dengan tepat dan akurat adalah kunci untuk mencapai konsentrasi akhir dari setiap unsur diinginkan. Sistem hidroponik pada umumnya memerlukan 2 tangki larutan stok yang diperuntukkan campuran nutrisi yang diperlukan. Hal tersebut dilakukan beberapa jenis pupuk mengalami pengendapan ketika digabungkan dalam konsentrasi tinggi. Endapan kalsium fosfat umumnya terjadi karena kalsium nitrat dicampur dengan beberapa sumber fosfat. Stok A, yang mengandung kalsium nitrat, kalium nitrat, dan Fe EDTA, serta Stok B, yang mengandung mikronutrien, sumber fosfor, magnesium sulfat, kalium klorida, dan kalium nitrat, membentuk larutan stok. Keadaan pengaturan suplemen harus terus diamati dan dikontrol. Biasanya, larutan nutrisi dikontrol dengan mengukur Konduktivitas Listrik (EC) dalam satuan konsentrasi garam total. Tanaman umumnya mengalami pertumbuhan optimal ketika ditanam dalam larutan nutrisi pada nilai EC antara 1,8 hingga 3,5. Faktor – faktor seperti jenis tanaman, pemancaran sinar matahari, suhu lingkungan dan kualitas air. Dalam sistem resirkulasi sering terjadi kekeliruan dalam pembacaan karena perubahan kandungan unsur secara individual selama pertumbuhan tanaman (Purbajanti dkk., 2017).

2.5 Pupuk Daun Gandasil D

Pupuk adalah salah satu komponen sangat penting dalam tahapan menghasilkan tanaman. Pemberian pupuk pada bagian akar atau daun adalah salah satu alternatif. Campuran nutrisi yang digunakan untuk merangsang pertumbuhan tanaman, terutama pada fase vegetatif, dikenal sebagai pupuk daun. Pupuk daun dapat diterapkan melalui penyemprotan atau penyiraman ke seluruh bagian tanaman (Ayuningtyas dkk., 2020). Pupuk ini dapat langsung diserap oleh tanaman dan lebih efektif bila diberikan pada daun. Penggunaan pupuk kandang Gandasil D dapat mengurangi ketergantungan pada kompos dasar NPK serta mencegah kekurangan suplemen dalam skala penuh dan miniatur pada tanaman (Anam, 2015). Pupuk dapat diserap dengan efisiensi lebih dari 90% melalui jaringan daun dibandingkan bagian akar yang hanya mampu menyerap kira – kira 10% pupuk tersebut (Putri dan Abror, 2023). Gandasil D adalah jenis pupuk daun yang

memiliki bentuk serbuk dan bersifat higroskopis. Gandasil D adalah pupuk daun yang ekstensif, tembus cahaya dan larut dalam air. Pupuk daun Gandasil D mengandung sekitar 14% Nitrogen, 12% Fosfat, 14% Kalium, 1% Magnesium, dan berbagai komponen dan campuran seperti Mangan (Mn), Boron (B), Tembaga (Cu), Kobalt (Co), dan Seng (Zn) serta mengandung beberapa unsur hara yang signifikan, misalnya aneurin, laktoflavin, dan di tengah-tengahnya (Hastuti dkk, 2016). Karena setiap komponen memainkan peran yang unik dan signifikan dalam pertumbuhan dan hasil tanaman, unsur hara makro dan mikro sangat bermanfaat (Arifin dkk., 2023). Kandungan Nitrogen yang tinggi pada pupuk Gandasil D secara efektif mendorong perkembangan tanaman dan memperbaiki sifat daun dan akar. Nitrogen sangat bermanfaat untuk komponen utama protoplasma yang menyebabkan peningkatan volume dinding sel. Manfaat lain dari Nitrogen bagi tumbuhan sebagai faktor pembentuk protoplasma yang menciptakan peningkatan volume dinding sel (Kholifanasari, 2021).

Penggunaan pupuk daun Gandasil D dapat mencapai hasil maksimal dengan memperhatikan konsentrasi dan frekuensi aplikasinya. Jumini dan Marliah (2009) menyatakan bahwa efektivitas pemupukan daun dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konsentrasi larutan dan waktu aplikasi. Lingga dan Marsono (2004) menjelaskan bahwa penggunaan pupuk daun dalam konsentrasi yang berlebihan dapat mengakibatkan gejala seperti terbakar, layu, kekeringan, dan gugurnya daun, yang dapat menghambat pertumbuhan serta hasil tanaman. Pupuk daun Gandasil D direkomendasikan untuk diaplikasikan pada konsentrasi 1-3 g/l air untuk tanaman sayuran (Qibtyah, 2015). Penyemprotan sebaiknya dilakukan pada pagi hari antara pukul 08.00 - 10.00. Gandasil D adalah salah satu jenis pupuk kimia yang digunakan untuk merangsang pertumbuhan tunas dan pembentukan daun pada tanaman sayuran. Aplikasi pupuk daun Gandasil D pada tanaman berdaun dapat meningkatkan kesuburan, memperluas permukaan daun, dan menambah jumlah daun tanaman (Arifin dkk., 2023). Penelitian oleh Sarida dkk. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan Gandasil D dengan berbagai konsentrasi memiliki dampak signifikan terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy, termasuk tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot basah tanaman.

2.6 Pencahayaan Artifisial

Proses fotosintesis yang terjadi pada tanaman sangat berkaitan penting pada intensitas cahaya dalam memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan. Energi dari cahaya sangat penting untuk menggabungkan CO₂ (karbondioksida) dan H₂O (air) menjadi karbohidrat (Tando, 2019). Energi yang diserap dari cahaya bergantung pada karakteristik seperti panjang gelombang, daya (jumlah cahaya per 1 cm² per detik), dan lama waktu penyinaran. Menurut Bantis (2021) Kualitas cahaya mempunyai dampak yang signifikan pada pertumbuhan tanaman serta kandungan fitokimia didalamnya. Menurut hasil penelitian yang dilakukan Putri dkk. (2021) mengenai dampak lampu LED terhadap pertumbuhan tanaman Pakcoy, dijumpai bahwa cahaya yang diaplikasikan memiliki pengaruh nyata dengan parameter yang diamati berupa jumlah batang, jumlah daun, dan tinggi tanaman.

Lampu LED growlight, yang memancarkan spektrum cahaya merah dan biru, berperan penting dalam fotosintesis karena klorofil a dan b dalam sel-sel daun secara efektif menyerap cahaya merah dan biru untuk mendukung proses fotosintesis. Cahaya tampak, yang bisa dilihat oleh mata manusia, memiliki rentang spektrum antara 400 nm hingga 700 nm dan merupakan jenis cahaya yang dibutuhkan oleh tanaman. Pigmen yang terdapat pada tanaman berupa klorofil menyerap terutama cahaya biru (dengan spektrum antara 400 hingga 500 nm) dan merah (sekitar 650 hingga 680 nm) (Grondelle dan Boeker, 2017). Spektrum cahaya antara 600 dan 700 nm berpengaruh terhadap tanaman yang memiliki pigmen klorofil untuk mencapai tingkat penyerapan tertinggi yang memungkinkan fotosintesis mencapai efisiensi maksimal (Michaelian dan Mateo, 2022). Cahaya merupakan sumber energi bagi tanaman mempunyai 3 faktor utama yang perlu diperhatikan seperti intensitas, kualitas dan fotoperiodisitas. Cahaya memiliki tingkat kecerahan dan lama penyinaran yang bermacam – macam. Di daerah tropis dengan tingkat kecerahan matahari yang tinggi, proses fotooksidasi lebih rendah daripada daerah beriklim sedang yang berakibat fotorespirasi berlangsung lebih cepat yang dapat berakibat penurunan terhadap sintesis protein. Perbedaan karakteristik cahaya memiliki dampak pada proses fisiologi tanaman dengan hasil yang berbeda. Masing – masing spesies atau jenis tanaman juga mempunyai respon kualitas cahaya yang berbeda – beda. Panjang gelombang cahaya yang berubah –

ubah mulai pagi hingga sore hari. Pada pagi hari, cahaya mempunyai panjang gelombang yang pendek kemudian menjelang sore hari panjang gelombang yang dimiliki cenderung menjadi lebih panjang. Oleh sebab itu, sesudah siang hari adalah waktu yang paling efisien untuk berjalannya proses fotosintesis. Fotoperiodisme memberikan respon pertumbuhan vegetatif dan pertumbuhan reproduktif terhadap fotoperiode. Tanaman berhari panjang berdasarkan fotoperiode seperti: bayam, lobak, selada, bunga aster china, bunga gardenia dan bunga delphinium. Tanaman hari panjang memerlukan waktu optimal cahaya selama 14 – 16 jam/hari, akan tetapi dengan kondisi cuaca dengan curah hujan tinggi menyebabkan terbatasnya cahaya matahari yang mengakibatkan penurunan efisiensi fotosintesis (Putri dkk., 2021).

Cahaya biru dan merah merupakan gelombang cahaya yang paling efektif dalam menjalankan proses fotosintesis. Cahaya biru memiliki foton dengan energi 2.5 – 2.75 eV, sementara cahaya merah memiliki foton dengan energi 1.65 – 2.00 eV (Suyatman, 2020). Klorofil menyerap cahaya dalam rentang panjang gelombang 400 – 700 nm tertuju pada cahaya biru dan merah (Ai dan Banyo, 2011). Menggunakan lampu LED *growlight* mempunyai kelebihan dari jenis lampu tumbuh lainnya. Berdasarkan hasil penelitian Johkan dkk. (2010) tanaman selada yang diberikan penyinaran dengan lampu LED *growlight* mendapatkan hasil lebih unggul dari lampu neon. Lampu LED *growlight* memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan lampu neon, hanya membutuhkan sepertiga dari energi yang digunakan oleh lampu neon (Widjaja, 2013). Dengan efisiensi PAR maksimum antara 80% – 100%, LED menyediakan spektrum cahaya yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman (Darko dkk., 2014). Jarak optimal antara lampu dan tanaman berbeda-beda: lampu neon pada 10 cm, lampu halogen pada 70 cm, LED pada 60 cm, dan lampu pijar pada 20 cm (Restiani dkk., 2015). Gambar 4 memperlihatkan penggunaan lampu LED *growlight* dalam budidaya tanaman secara indoor farming.



Gambar 4. Lampu LED *growlight*
Sumber: Dokumen Pribadi

LED adalah sebuah semikonduktor yang menghasilkan cahaya tunggal warna atau dioda yang mengeluarkan cahaya ketika dialiri arus listrik (Ramli dan Arief, 2021). LED *growlight* yang merupakan lampu artifisial digunakan untuk mendukung pertumbuhan tanaman, baik ketika tanaman tidak mendapatkan penyinaran matahari atau sebagai tambahan cahaya saat sinar matahari tidak mencukupi (Anindyarasmi dkk., 2021). Lampu LED memiliki spektrum cahaya yang rendah, konsumsi energi yang tidak banyak dan menghasilkan sedikit panas (Kobayashi dkk., 2013). LED tidak memberikan suhu tinggi sehingga dapat dimanfaatkan secara efisien untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman (Restiani dkk., 2015). Pencahayaan artifisial yang dihasilkan oleh lampu LED *growlight* cocok untuk pertumbuhan tanaman karena memiliki spektrum utama berwarna biru dan merah. LED *growlight* memberikan efisiensi cahaya lebih baik daripada LED putih, hijau, merah dan biru karena dapat memberikan dua spektrum utama yang sangat dibutuhkan oleh tanaman (Santoso dkk., 2020). Panjang gelombang optimal oleh cahaya tampak dalam proses fotosintesis yakni gelombang biru (425–450 nm) dan merah (600–700 nm) (Vernier, 2018).

Kualitas cahaya memiliki peranan penting sebagaimana intensitas cahaya dalam mendukung proses fotosintesis yang normal terhadap organisme fotoautotrofik (Janeeshma, 2022). Kualitas cahaya merujuk pada tingkatan cahaya yang didapatkan merupakan bentuk konkret dalam panjang gelombang. Cahaya tampak dapat digunakan dalam proses fotosintesis memiliki panjang gelombang antara 400 nm – 760 nm (1 nm = 10 Angstrom). Fotosintesis hanya memerlukan radiasi panjang gelombang antara 400 nm – 760 nm dikenal sebagai *visible light*

atau PAR (*photosintetic active radiation*) (Lukitasari, 2018). Pigmen daun tanaman terdiri dari kromofor, senyawa kimia dengan ikatan rangkap terkonjugasi, yang dapat menyerap dan memantulkan cahaya pada panjang gelombang yang berbeda. Pigmen ini memainkan peran penting dalam berbagai proses metabolisme tanaman. Salah satunya adalah fotosintesis, di mana energi foton digunakan untuk mengubah karbon dioksida dan air menjadi karbohidrat. Tanaman biasanya mengandung berbagai jenis pigmen, yang termasuk dalam empat kategori utama: betalain, flavonoid, porfirin, dan karotenoid. Masing-masing jenis pigmen memiliki kemampuan unik untuk menyerap dan memantulkan cahaya pada panjang gelombang tertentu. Misalnya, klorofil sangat baik menyerap cahaya merah pada rentang 650–700 nm dan cahaya biru pada rentang 400–700 nm (Rega dkk., 2018).