

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim mengakibatkan penipisan lapisan ozon. Lapisan ozon stratosfer adalah salah satu lapisan ozon yang berfungsi untuk menyerap gelombang cahaya matahari berbahaya sebelum mencapai permukaan bumi dan beberapa tahun terakhir telah menjadi perhatian ilmuwan terhadap dampak yang ditimbulkan pada tanaman terutama pada pertanian (Bernhard et al., 2020; Dawood et al., 2022). Selain itu perubahan iklim, urbanisasi dan desertifikasi yang diperkirakan terjadi sebesar 1,8% dan 4,6% dari lahan global pada tahun 2100 yang mengakibatkan semakin berkurangnya lahan subur, sehingga mengancam pertanian konvensional (Spinoni et al., 2021).

Fenomena tersebut pada akhirnya akan berakibat pada penurunan hasil panen petani sebesar 10% bahkan dapat mencapai 50% pada tahun 2030, sehingga diperlukan inovasi dan pengoptimalan model pertanian baru (Zougmore et al., 2021). Inovasi pertanian di dalam ruangan semakin populer terutama di wilayah perkotaan padat penduduk. Pertanian dalam ruangan tersebut memiliki kelebihan seperti meminimalkan penggunaan pestisida, lahan, air dan pupuk serta berpotensi mencapai produktivitas tanaman yang tinggi sepanjang tahun karena hanya sedikit menerima pengaruh dari cuaca (Kozai & Niu, 2019). *Indoor farming* secara umum terbagi menjadi dua yaitu *vertical farming* dan *green house*. Di dalam pertanian dalam ruangan, tanaman dibudidayakan di dalam ruangan khusus dengan sebegini besar atau sepenuhnya terlindungi dari perubahan cuaca. Komponen-komponen lingkungan dapat diatur untuk menyesuaikan kebutuhan tanaman budidaya (Fasciolo et al., 2023). Di dalam perkembangannya, sistem pertanian vertikal menjadi teknologi rumah kaca canggih yang memiliki kondisi sepenuhnya terkontrol dan mengandalkan lampu buatan sebagai satu-satunya sumber cahaya (Avgoustaki & Xydis, 2020).

Sayuran daun dipanen yang sebagai *baby leafes vegetable* atau sayuran daun muda (tahap juvenil) merupakan jenis sayuran yang banyak dibudidayakan pada pertanian dalam ruangan. Jenis sayuran ini umumnya memiliki budidaya yang lebih mudah dan manfaat kesehatan yang lebih banyak. Oleh karena itu, pasar sayuran daun muda berkembang pesat (Martínez-Sánchez, et al., 2012; Takahama et al., 2019). Pemanfaatan LED (*Light Emitting Diode*) pada budidaya sayuran segar menunjukkan banyak aspek positif dalam menghasilkan sifat antioksidan lebih tinggi termasuk karotenoid, flavonoid, glukosinat dan asam fenolik (Yeo et al., 2021) pada berbagai macam tanaman seperti kecambah kacang polong, bayam, selada dan komatsuna (Samuoliene et al., 2012),.

Tanaman dengan spesies yang berbeda dapat memiliki respon berbeda terhadap panjang gelombang cahaya. Tanaman selada dan tanaman pakcoy dapat menghasilkan respon yang berbeda terhadap kualitas cahaya yang ditampilkan melalui morfologi daun, SPAD index, kadar air daun dan akar dan lainnya (Kong et al., 2023). Hal ini dapat juga terjadi pada tanaman dengan varietas berbeda seperti pada penelitian Alrajhi et al., (2023), menunjukkan bahwa dua varietas selada yang berbeda yaitu selada hijau dan merah memberikan respon berbeda terhadap berbagai spektrum cahaya dari penyiaran LED. Selain varietas, tanaman dengan kultivar berbeda dapat menghasilkan respon yang berbeda terhadap spektra LED (Son & Oh, 2013; Frąszczak, B., & Kula-Maximenko, 2020).

Pada penelitian ini, menggunakan dua varietas pakcoy berbeda yaitu pakcoy hijau dan pakcoy merah. Pakcoy merupakan salah satu sayuran yang populer (Monareh et al., 2023). Pakcoy terdiri dari beberapa kultivar antara lain pakcoy merah dan pakcoy hijau. Pakcoy atau Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*) adalah salah satu jenis tanaman (*leave green*) yang dikembangkan dalam pertanian dalam ruangan. Pakcoy mengandung banyak senyawa aktif yang baik bagi kesehatan seperti antosianin, karotenoid, klorofil, flavonoid, *hydroxycinnamic acid derivatives*, *isorhamnetin*, kaempferol, fenolik, quercetin, vitamin dan mineral (Jeon et al., 2018), serta menjadi sumber senyawa *glucosinolates* utama (Barba et al., 2016; Prieto et al., 2019). Asupan dan konsentrasi karotenoid dalam tubuh berkorelasi dengan berkurangnya kasus penyakit kronis seperti diabetes tipe 2, penyakit kardiovaskular dan lainnya (Böhm et al., 2021). Flavonoid merupakan salah satu kandungan fenolik utama pada tanaman *Brassica*, sebagai antioksidan kuat yang bermanfaat sebagai anti-inflamasi dan

sistem kekebalan tubuh (Seigler, et al., 2021). Di Indonesia, umumnya petani membudidayakan pakcoy hijau, sedangkan pakcoy merah masih jarang dibudidayakan. Akan tetapi, pakcoy merah memiliki keunggulan lain yaitu memiliki kandungan antosianin yang tinggi, antioksidan yang sangat baik untuk dikonsumsi (Neugart et al., 2018; Ullah et al., 2019).

Penggunaan LED (*Light Emitting Diode*) pada pertanian di dalam ruangan bertindak sebagai cahaya buatan bagi tanaman. Cahaya adalah salah satu faktor penting yang berperan dalam fotosintesis (Claypool & Lieth, 2020). Fotosintesis sangat bergantung pada intensitas cahaya, spektrum cahaya dan lama penyinaran (Meas et al., 2020). Foton cahaya mendorong aktivitas fotosintesis, mengatur adaptasi morfologi dan modulasi metabolisme sekunder yang disebut dengan *photosynthesis active radiation* (PAR) dengan rentang panjang gelombang dibagi menjadi empat yaitu biru (400-499 nm), hijau (500-599 nm), merah (600-699 nm) dan merah jauh (700-750 nm) (Liu & Van Iersel, 2021; Zhen et al., 2019). Panjang gelombang cahaya tersebut diserap oleh fotoreseptor yang berbeda-beda, yaitu *phytochromes* yang mempersepsikan cahaya merah atau merah jauh (600-750 nm), *cryptochromes*, *phototropins*, F-boc yang memiliki *Flavin binding proteins* untuk cahaya biru atau UV-A (320-500 nm) dan UVR8 untuk cahaya UV-B (280-320 nm) (Paik & Hug, 2019). Oleh karena itu, sistem produksi tanaman dan penerapan pencahayaan buatan menggunakan LEDs sangat esensial untuk pertanian di masa depan.

Lampu LED merupakan jenis lampu yang memiliki efisiensi tinggi dibandingkan jenis lampu *fluorescent or high-pressure sodium* (HPS) (Serôdio et al., 2018). Panjang gelombang yang sempit pada lampu LED menjadi kelebihan untuk dapat divariasikan dan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman (Dutta & Agarwal, 2017). Salah satu jenis LED yang banyak digunakan dalam pertanian vertikal maupun pertanian dalam ruangan yaitu LED putih karena memiliki spektrum yang luas, biaya rendah karena penggunaan teknologi konversi fosfor yang mudah untuk diproduksi (Yang et al., 2020; Lee & Nam, 2023). Selain itu juga memiliki bahan bohlam yang kompak, umur panjang, panjang gelombang spesifik, dan kemudahan pengaturan (Yeo et al., 2018). Beberapa parameter yang menjadi acuan dalam pemilihan LED putih untuk produksi tanaman pada pertanian vertikal meliputi distribusi fluks foton spektral, fluks foton fotosintesis, suhu warna dan rendering warna cahaya (Han et al., 2017; Kárász & Kopják, 2020; Fujiwara, 2022). Tipe warna LED putih dibedakan berdasarkan suhu warna atau nilai CCT (*Correlated Color Temperature*) (Durmus, 2022; Abubakar et al., 2022).

Penelitian terkait penggunaan LED putih pada tanaman telah dilakukan dengan berupaya membandingkan hasil pertumbuhan tanaman menurut CCT dan CRI (*Color Rendering Index*) dari beberapa perlakuan LED putih. Perlakuan LED putih pada tanaman kale menghasilkan ekspresi gen BoPDS yang lebih baik merupakan salah satu gen dalam biosintesis karotenoid dibandingkan pada perlakuan cahaya merah dan biru (Lee et al., 2023b). Penelitian Yang et al. (2020) melaporkan bahwa spektrum cahaya LED putih dengan nilai CCT yang lebih rendah dan CRI yang lebih tinggi meningkatkan pertumbuhan pakcoy. Kemudian, peningkatan nilai CCT dan CRI pada LED putih terbukti dapat meningkatkan tingkat produksi transplantasi stroberi (Lee et al., 2023a).

Penelitian terkait pengaruh CCT berbeda dari lampu LED putih terhadap barley dan gandum menunjukkan efek yang signifikan terhadap karakter pertumbuhan terhadap kedua tanaman tersebut. Pengaruh yang ditimbulkan dari tingkat CCT LED putih terhadap kedua tanaman tersebut berbeda. Warna LED putih dengan CCT 6000°K menghasilkan berat basah dan kadar pigmen lebih tinggi dibandingkan CCT 2000°K dan 3000°K. Warna LED putih dengan CCT 2000°K menyebabkan kebocoran elektronik yang tinggi dibandingkan kedua tingkat CCT lain. Aktivitas enzim pada barley dan gandum juga berbeda di bawah paparan CCT cahaya LED putih yang berbeda. Selain itu, perlakuan CCT berbeda juga mempengaruhi tingkat penyerapan mineral dari media tanam, terutama Mg yang rendah pada CCT 2000°K. Suhu warna serta panjang gelombang memiliki efek signifikan terhadap tanaman, nilai CCT dapat berbanding lurus dengan produktivitas tanaman (Sahin et al., 2022). Tanaman selada di bawah paparan LED putih (430, 582 nm) secara signifikan menghasilkan daun yang lebih banyak, menghasilkan kandungan karotenoid lebih tinggi dibandingkan cahaya hijau, kuning dan merah (Ahmed et al., 2021).

Penelitian terkait pengaruh jenis lampu LED yang berbeda telah banyak dilakukan. Namun, pengaruh dari tipe warna lampu LED putih dengan nilai CCT berbeda pada tanaman pakcoy relatif sedikit. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada tipe warna lampu LED putih dengan CCT berbeda pada varietas pakcoy berbeda terhadap pertumbuhan dan kualitas pakcoy dalam lingkungan terkontrol.

1.2 Landasan Teori

1.2.1 LED Putih

Pengujian cahaya yang dihasilkan dari dioda atau dikenal dengan LED (*Light Emitting Diode*) sebagai sumber pencahayaan inovatif dalam budidaya tanaman bunga, buah-buahan maupun sayuran daun telah banyak dilakukan. Pengujian tersebut bertujuan untuk meningkatkan sintesis senyawa bioaktif, melalui rekayasa respon fotomorfogenik tanaman, meningkatkan fotosintesis dan produktivitas tanaman (Bantis et al. 2018). Penggunaan LED sebagai pencahayaan tersebut sangat penting untuk perkembangan pertanian di dalam ruangan atau ruangan terkontrol. Penerapan LED pada budidaya tanaman dilakukan melalui pengontrolan karakteristik spektral cahaya alami, sehingga spektral cahaya yang dihasilkan sesuai dengan regulasi pertumbuhan tanaman dan fotosintesis.

Jenis LED yang pertama kali diciptakan adalah LED monokromatik yaitu seperti LED biru. Perkembangan LED lebih lanjut menghasilkan LED putih dari dua metode konvensional, yaitu chip LED biru (InGaN) yang dikombinasikan dengan fosfor kuning $\text{Ce}^{3+}\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ dan menggabungkan tiga LED warna di bawah eksitasi UV yang menghasilkan LED putih *cold* dan LED putih *warm* (Monisha et al., 2023), sedangkan LED yang menggunakan bahan *metal halide perovskites* akan menghasilkan tampilan cahaya *natural* (*neutral*) (Zhu et al., 2019). Pengendalian rasio cahaya pada LED bertujuan untuk memberikan kenyamanan pada penglihatan, namun tetap mendukung pertumbuhan tanaman. Rekayasa pencahayaan tanaman menggunakan LED putih menyebabkan respon yang beragam terhadap tanaman, sesuai dengan metode pembuatan LED putih (Cope et al., 2014).

LED putih yang digunakan untuk tanaman dan untuk kegiatan sehari-hari memiliki presentase cahaya yang berbeda. Umumnya LED putih memiliki persentase cahaya biru 25%, 45 % cahaya hijau dan 30% cahaya merah, sehingga pada mata manusia cahaya yang dihasilkan berwarna putih (Kozai, 2018). Karakteristik spektral pada LED putih dibedakan berdasarkan perbedaan panjang gelombang cahaya biru, merah dan hijau, sehingga, LED putih dibedakan menjadi LED putih tipe *warm*, *natural* dan *cool* atau *cold* (Lee & Nam, 2023).

Karakteristik spektral atau tipe warna lampu LED putih disebut dengan CCT (*Correlated Color Temperature*). Berdasarkan CCT, warna lampu LED putih dibedakan menjadi *warm white* (WW) yang memiliki nilai CCT 3000°K atau kurang. *Warm white* menghasilkan sumber cahaya berbasis kuning dan rasio panjang gelombang (tidak termasuk cahaya biru) relatif tinggi, sedangkan sumber cahaya di atas 4000°K seperti lampu fluoresen termasuk *cool white* (CW) dengan rasio cahaya biru yang tinggi. *Cool white* dengan nilai CCT melebihi 8000°K akan menghasilkan warna biru jernih. Rasio 3500-4500°K termasuk dalam *natural white* (NW) (Sahin et al., 2022). Selain CCT, LED putih juga memiliki CRI (*Color Rendering Index*) yang berbeda. Nilai CRI sinar matahari alami adalah 100, dan CRI sumber cahaya yang tinggi menunjukkan bahwa cahaya dari sumber tersebut mendekati cahaya alami (Nam, 2002).

Hubungan warna lampu LED putih atau CCT dengan presentasi foton biru (400-500 nm) secara umum mengikuti Wien's Displacement Law bahwa panjang gelombang akan semakin menurun dan CCT akan semakin meningkat, sehingga pada LED 6500k (*cold/daylight*) yang memiliki sekitar 30% foton biru dapat memiliki 95% dari foton yang dihasilkan dari LED biru non-fosfor yang sejenis. Ketika foton biru mencapai 10% maka nilai optik LED akan menurun menjadi 80-95%, akan menghasilkan LED putih *warm* (hangat). Oleh karena itu, ketika nilai optik LED putih meningkat, maka efisiensi fosfor akan menurun karena energi dan optik yang hilang dalam proses konversi fosfor (Kusuma et al, 2020). Pencahayaan LED putih dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman sayuran dibandingkan kombinasi cahaya biru dan merah karena LED putih memiliki spektrum yang luas dan menghasilkan distribusi cahaya yang alami mirip sinar matahari (Qiao et al., 2025).

Penelitian Mickens et al. (2019), menunjukkan interval panjang gelombang yang dimiliki oleh LED putih seperti spektrum merah dari 650 hingga 700 nm yang tidak sama dengan interval lampu *red-blue* dan ASRM. Panjang gelombang yang hilang atau kurang dalam spektrum LED putih dapat memengaruhi pertumbuhan. Perbedaan tersebut berkaitan dengan jenis temperatur atau CCT dari warna LED putih.

1.2.2 Pakcoy

Pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis*) merupakan sayuran dari genus *Brassica*, genus terbesar dalam famili *Brassicaceae*. Selain pakcoy, juga termasuk lobak, kubis, kale, kohlrabi dan lainnya yang kaya akan fitokimia dan serat terlarut yang baik untuk tubuh (Jahangir et al., 2009; Cartea et al., 2010; Park et al., 2012; Jeon et al., 2018). Pakcoy awalnya banyak dibudidayakan di wilayah Asia dan Eropa Utara, yang dikonsumsi sebagai sayuran muda sebagai salad, lalapan maupun dikukus. Tanaman ini juga dikenal dengan nama “bok choy, pak choy and buk choy”. (Jeon et al., 2018). Karakteristik morfologi pakcoy yaitu memiliki daun yang halus, tidak berbulu, tidak membentuk crop, memiliki tangkai daun yang mirip dengan tanaman sawi, akan tetapi pakcoy memiliki tangkai daun dan daun yang lebih tebal dan kokoh (Mardilla & Pratiwi, 2021).

Pakcoy mulai banyak dibudidayakan di kawasan Filipina, Malaysia, Thailand hingga Indonesia lebih luas. Di Indonesia, pakcoy juga termasuk sayuran yang digemari oleh masyarakat (Nurhasanah et al., 2021). Pakcoy terdiri dari pakcoy hijau dan pakcoy merah. Pakcoy merah atau pakcoy ungu memiliki warna daun yang unik yaitu ungu kemerah-merahan. Varietas pakcoy ini lebih banyak dibudidayakan di wilayah dingin. Di Indonesia, budidaya pakcoy merah masih sedikit. Pakcoy memiliki kandungan metabolit sekunder seperti senyawa fenolik yaitu flavonoid, asam hidroksisinamat (HCA) dan antosianin (Heinze et al., 2018).

Berdasarkan beberapa penelitian, menunjukkan bahwa pakcoy hijau dan pakcoy merah memiliki respon yang berbeda terhadap lingkungannya, seperti cahaya. Respon yang berbeda antara pakcoy hijau dan merah terlihat pada pencahayaan dengan spektra yang berbeda yaitu LED putih, merah dan biru dengan beragam proposi panjang gelombang. Perbedaan respon terlihat pada perbedaan pertumbuhan dan perkembangan tanaman antara lain perbedaan tinggi dan diameter tanaman, jumlah dan luas daun (Kassim et al., 2024). Kemudian, pada penelitian Anum et al. (2025), menunjukkan bahwa antara pakcoy hijau dan pakcoy merah yang diberi perlakuan yang sama terkait penyinaran LED dengan panjang gelombang yang berbeda, menghasilkan pertumbuhan tanaman yang berbeda karena laju fotosintesis (P_n) antara dua jenis varietas pakcoy tersebut berbeda. P_n pakcoy hijau dibawah penyinaran LED biru dan merah lebih tinggi dibandingkan pakcoy merah.

1.3 Hipotesis

1. Terdapat interaksi antara tipe warna lampu LED putih dan varietas yang memberi hasil terbaik pada pertumbuhan dan kualitas pakcoy
2. Terdapat satu atau lebih varietas pakcoy yang memberi hasil terbaik pada pertumbuhan dan kualitas pakcoy
3. Terdapat satu tipe warna lampu LED putih yang memberi hasil terbaik pada pertumbuhan dan kualitas pakcoy

1.4 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh tipe warna lampu LED putih dan varietas pakcoy terhadap pertumbuhan dan kualitas pakcoy.

Manfaat penelitian ini yaitu sebagai informasi untuk penelitian selanjutnya mengenai pengaruh tipe warna lampu LED putih dan varietas pakcoy terhadap pertumbuhan dan kualitas pakcoy.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium *Plant Factory, Teaching Industry*, Universitas Hasanuddin pada bulan Juli-November 2025.

2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu benih labu dua varietas, yaitu Pakcoy Merah dan Pakcoy Hijau, sekam bakar, aseton, etanol, AlCl_3 , quersetin, natrium asetat, Gandasil-D, aquades, dan air.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu lampu LED putih T5 Himawari *Cool Day Light (cold)*; 6500°K, *Warm White*; 3000°K dan *Natural Light*; 4000°K, pot plastik berukuran 8 cm x 5 cm x 8 cm, kain kasa, timbangan analitik, penggaris, kaca preparat, selotip, kuteks bening, *spectrophotometer*, kain hitam, rak kultur, perangkat lunak Petiol Pro, *digital timer stop* kontak, *RHS Color Chart* dan mikroskop.

2.3 Metode dan Penelitian

Penelitian ini disusun dalam bentuk percobaan Rancangan Petak Terpisah.

Sebagai petak utama yaitu tipe warna lampu LED putih (W) yang terdiri atas 3 taraf yaitu:

w1: *Natural White* LED

w2: *Cold White* LED

w3: *Warm White* LED

Anak petak yaitu varietas pakcoy (V) yang terdiri dari 2 taraf, yaitu:

v1: Pakcoy Hijau

v2: Pakcoy Merah

Berdasarkan jumlah perlakuan masing-masing diperoleh kombinasi perlakuan sebagai berikut:

w1v1 w2v1 w3v1

w1v2 w2v2 w3v2

Dengan demikian maka diperoleh 6 kombinasi perlakuan. Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 18 petak percobaan, setiap kombinasi perlakuan terdiri atas 6 tanaman, sehingga diperoleh 108 tanaman.

2.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahap yang meliputi persiapan media tanam, persiapan dan penyemaian benih, persiapan rak tanam, penanaman, penyinaran LED, pemeliharaan, pemanenan, pengamatan dan pengolahan data.

2.4.1 Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan yaitu sekam bakar. Sekam bakar diisi pada pot plastik sesuai *volume*.

2.4.2 Persiapan Benih dan Penanaman

Pakcoy Merah dan Pakcoy Hijau, masing-masing 1 gram direndam dalam aquades selama 30 menit lalu diletakkan pada wadah plastik hingga radikula muncul. Setelah itu, benih kemudian ditanam pada pot plastik.

2.4.3 Persiapan Rak Tanam

Rak tanam menggunakan rak kultur. Untuk menghindari cahaya luar, rak ditutup kain hitam. Tabung lampu LED dipasang dengan jarak 35 cm dari pot (Huang et al., 2022).

2.4.4 Penanaman

Setiap pot berisikan 2 tanaman. Kondisi ruang penanaman diatur menggunakan AC pada suhu 21-23 derajat celcius (Chen et al., 2019). Lama penyinaran yang digunakan, yaitu 10/14 jam (*light/dark*) pada jam 07.00-17.00 WITA.

2.4.5 Pemeliharaan

1. Penyiraman

Tanaman disiram setiap 2 hari sekali.

2. Pemupukan

Pemupukan menggunakan pupuk daun Gandasil-D dengan konsentrasi 1 g/L. Pemupukan dilakukan dengan menyemprotkan pupuk yang telah dilarutkan pada tanaman. Pemupukan dilakukan 1 kali setiap 4 hari, setelah tanaman berumur 14 HST.

2.4.6 Pemanenan

Pakcoy dipanen pada umur 30 HST (*baby leaves*) setelah dilakukan pengambilan sampel stomata, pengukuran tinggi tanaman dan jumlah daun. Kriteria panen pakcoy yaitu pertumbuhan merata, bagian pertulangan daunnya sudah melebar dan 80% dari populasi siap panen. Pemanenan dilakukan dengan mencabut seluruh bagian tanaman. Kemudian, bagian akar dipotong (Delphi, 2021).

2.5 Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan diukur dan dihitung dengan cara sebagai berikut:

2.5.1 Karakteristik Pertumbuhan

Pengamatan pertumbuhan tanaman dilakukan ketika pakcoy telah berumur 30 HST. Pengukuran dilakukan dengan memilih 1 tanaman dari setiap perlakuan yang dipilih secara acak. Berikut adalah parameter pengamatan karakteristik pertumbuhan pakcoy serta metode yang digunakan dalam pengamatan.

1. Jumlah Daun (Helai)

Jumlah daun dihitung secara manual berdasarkan banyaknya daun yang mengembang sempurna dan dilakukan saat tanaman berumur 30 HST (sebelum panen).

2. Panjang Daun Tanaman (cm)

Panjang tanaman diukur secara manual menggunakan penggaris mulai dari pangkal daun hingga ujung daun. Pengamatan dilakukan ketika tanaman berumur 30 HST.

3. Luas Daun (cm²)

Pengukuran luas daun dilakukan pada daun atas, tengah dan bawah (dari titik tumbuh). Pengukuran luas daun per tanaman menggunakan perangkat lunak Petiole Pro. Selanjutnya, data yang diperoleh dihitung dengan menjumlahkan luas daun sampel per tanaman, menghitung rerata dan dikalikan dengan jumlah daun dari masing-masing sampel per tanaman. Pengukuran ini dilakukan setelah panen.

4. Berat Basah Tajuk (g)

Pengukuran berat basah tajuk dilakukan menggunakan timbangan analitik. Pengukuran ini dilakukan pada saat panen (30 HST).

5. Berat Basah Akar (g)

Akar yang telah dipisahkan dari bagian tajuk tanaman, kemudian diukur menggunakan timbangan analitik dan dilakukan pendataan. Berat basah akar dilakukan saat tanaman berumur 30 HST (pada saat panen).

2.5.2 Fisiologi Tanaman

1. Kerapatan Stomata dan Luas Bukaan Stomata

1) Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel stomata dilakukan ketika tanaman berumur 28 HST. Pengambilan sampel pada daun atas, tengah dan bawah dari titik tumbuh menggunakan kuteks bening dan selotip. Bagian permukaan daun diolesi kuteks, lalu didiamkan selama 3-5 menit hingga kering. Setelah itu, merekatkan selotip bening pada bagian yang telah kering, kemudian ditarik secara perlahan dan ditempelkan pada kaca preparat. Selanjutnya dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop.

2) Pengamatan pada Mikroskop

Untuk mendapatkan data kerapatan dan luas bukaan stomata maka dilakukan pengamatan sampel yang telah diambil menggunakan mikroskop. Pengukuran kerapatan stomata

menggunakan perbesaran 100 kali dengan diameter bidang pandang 0,52 mm². Kemudian, menghitung rata-rata panjang dan lebar bukaan stomata dan rata-rata jumlah stomata pada bidang pandang mikroskop.

Kerapatan stomata dan luas bukaan stomata diukur menggunakan rumus, yaitu:

$$\text{Kerapatan Stomata} = \frac{\text{Rata-Rata Jumlah Stomata pada Bidang Pandang}}{\text{Luas Bidang Pandang (cm}^2\text{)}}$$

$$\text{Luas Bukaan Stomata (LBS)} = \pi \times a \times b$$

Keterangan:

$$\pi = 3,14$$

a = Jari-jari panjang stomata (r1)

b = Jari-jari lebar stomata (r2)

2. Kadar Pigmen Klorofil a, b, Total dan Karotenoid (mg g⁻¹)

Satu tanaman dari setiap perlakuan dipilih secara acak untuk parameter kadar pigmen. Daun atas, tengah dan bawah dari titik tumbuh diambil sebagai sampel. Pigmen fotosintesis diukur melalui metode ekstraksi dengan etanol dan aseton (Gratani, 1992). Sebanyak 0,5 g jaringan daun direndam dalam 25 mL etanol absolut dan aseton (v/v 1:1) hingga jaringan daun berubah menjadi putih, kemudian dilakukan penyaringan pada tabung reaksi 25 mL. Filtrat kemudian diukur dengan spektrofotometer. Kadar klorofil diukur pada nilai absorbansi 645 nm (OD645), 663 nm (OD663) dan 440 nm (OD440) menggunakan spektrofotometer UV-VIS dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Klorofil a (mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{)} = (12.7 \times \text{OD663} - 2.69 \times \text{OD645}) \times V \cdot W^{-1} \times 1000$$

$$\text{Klorofil b (mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{)} = (22.9 \times \text{OD645} - 4.86 \times \text{OD663}) \times V \cdot W^{-1} \times 1000$$

$$\text{Klorofil Total (mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{)} = (8.02 \times \text{OD663} + 20.20 \times \text{OD645}) \times V \cdot W^{-1} \times 1000$$

$$\text{Karotenoid (mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{)} = (4.7 \times \text{OD440} - 0.27 \times \text{Total Chlorophyll}) \times V \cdot W^{-1} \times 1000$$

Keterangan:

V = ekstrak

W = berat sampel

2.5.3 Biokimia Tanaman

1. Flavonoid Total

Kandungan flavonoid total ditentukan menggunakan metode aluminium nitrat (Xie et al., 2015) dengan beberapa modifikasi, yaitu:

1) Pembuatan Larutan Standar Quersetin

Dilakukan penimbangan sebanyak 10 mg quercetin dilarutkan dalam 10 mL metanol p.a (pro analisis) (1000 ppm). Kemudian, dari larutan stok, memipet 2 mL dari larutan 1000 ppm kemudian diencerkan ke dalam 20 mL metanol p.a (100 ppm).

2) Pembuatan Seri Larutan Quersetin

Dari konsentrasi quercetin 100 ppm dibuat beberapa konsentrasi berbeda yaitu 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm dan 50 ppm dengan memipet larutan stok 1 mL, 2 mL, 3 mL, 4 mL dan 5 mL secara berturut-turut, kemudian diencerkan ke dalam metanol p.a hingga mencapai 10 mL. Kemudian memipet masing-masing konsentrasi sebanyak 0,5 mL lalu diencerkan dengan 1,5 mL etanol + 0,1 mL AlCl₃ 10% + 0,1 mL Natrium Asetat 1M dan 2,8 mL aquades, lalu didiamkan 30 menit. Optimasi panjang gelombang diukur pada panjang 400-450 nm. Kemudian membuat kurva kalibrasi quersetin.

3) Larutan Blanko

Mencampurkan 1,5 mL metanol + 0,1 mL AlCl₃ 10%, 0,1 mL Natrium Asetat 1 M + 2,8 mL aquadest

4) Penetapan Kadar Flavonoid

Daun diekstraksi menggunakan metanol, yaitu 10 mg daun/10 mL metanol (1000 ppm) (didiamkan dalam tempat gelap selama 12 jam). Kemudian memipet 0,1 mL (ekstrak) + 1,5 mL metanol + 0,1 mL AlCl₃ 10% + 0,1 mL Natrium Asetat 1 M dan 2,8 mL aquades. Larutan kemudian didiamkan dalam suhu ruang selama *operating time* (30 menit). Absorbansi larutan dibaca pada panjang gelombang maksimum yang telah didapatkan sebelumnya

5) Perhitungan Kadar Flavonoid

Perhitungan kadar flavonoid total data yang diperoleh dari hasil pengukuran absorbansi standar pada panjang gelombang maksimum selanjutnya dibuat kurva kalibrasi larutan standar flavonoid dan dihitung dengan menggunakan persamaan garis linear yaitu:

$$y = ax + b$$

Keterangan:

X = Konsentrasi mg/L

Y = Absorbansi (A)

a dan b = Koefisien

Kemudian dilakukan perhitungan kadar flavonoid menggunakan rumus metode Chang, et al. (2002);

$$\text{Kandungan Flavonoid total (mg)} = \frac{C \times V \times Fp \times 10^{-3}}{m}$$

Keterangan:

C = Kesetaraan quercetin (mg/L)

V = Volume total ekstrak metanol (mL)

Fp = Faktor Pengenceran

M = Berat sampel (mg)

2.5.4 Analisis Kualitatif Pakcoy

Tipe warna (K) LED dapat mengakibatkan penurunan kualitas penampilan (*appearance*) tanaman salah satunya yaitu, perubahan warna (*discoloration*) (Kozai, 2018), yaitu kondisi warna daun pakcoy apakah mengalami *discoloration* (perubahan warna daun). Analisis dilakukan menggunakan RHS *Color Chart* pada daun ketiga dari titik tumbuh pada saat panen (30 HST).

2.6 Analisis Statistik

Hasil disajikan sebagai nilai rata-rata $\pm$ kesalahan standar (S.E.). Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan sidik ragam. Apabila perlakuan berpengaruh nyata atau berpengaruh sangat nyata, maka dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).