

KARAKTERISASI STRES TANAMAN HORTIKULTURA PADA PERTANIAN RUANGAN TERTUTUP DENGAN CAHAYA BUATAN UNTUK PENGEMBANGAN PERTANIAN PERKOTAAN DI WILAYAH TROPIS

ABSTRAK

Perubahan suhu daun dan warna hijau daun merupakan karakter fenotip yang dapat menjadi indikator stres tanaman. Tanaman hortikultura yang dikultivasi dalam *indoor farming*, seperti Tatsoi (*Brassica rapa subsp. narinosa*), dapat mengalami stres akibat kurang optimalnya distribusi cahaya artifisial. Penelitian sebelumnya mencoba meningkatkan distribusi cahaya tanpa menambah jumlah lampu dengan menggunakan sistem pencahayaan dinamis, tetapi tidak melakukan kajian mendalam tentang respon tanamannya. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba mengaplikasikan sumber cahaya artifisial yang dinamis meniru gerak semu harian matahari, sekaligus melakukan identifikasi stres tanaman berdasarkan karakter fenotip suhu daun dan warna hijau daun (berbasis indeks RGB). Penelitian ini terdiri dari tiga tahap; tahap pertama dan kedua dilakukan dalam *greenhouse* untuk mengevaluasi stres pada kondisi alami, sedangkan tahap ketiga dalam *indoor farming* untuk mengevaluasi stres karena perubahan sudut datang cahaya artifisial dinamis. Tanaman Tatsoi pada modul hidroponik *nutrient film technique* (NFT) penelitian tahap pertama diperlakukan dengan variasi naungan (tanpa naungan, naungan 1 lapis paranet, naungan 2 lapis paranet) dan tahap kedua dengan variasi konsentrasi larutan nutrisi (tanpa stres nutrisi, stres nutrisi sedang, stres nutrisi ekstrim), masing-masing dengan waktu pengairan yang berbeda (24 jam, 12 jam, dan 6 jam). Pada penelitian tahap ketiga tanaman Tatsoi diperlakukan dengan variasi sudut datang cahaya artifisial yang statis (L0) dan dinamis (L1, L2, L3) dengan total waktu penyinaran 15 jam serta waktu pengairan dan nutrisi optimal sesuai hasil penelitian tahap sebelumnya. Parameter yang diamati pada setiap tahap adalah pertumbuhan tanaman (jumlah daun, luas kanopi daun, tinggi tanaman, panjang akar, berat segar) dan fisiologi tanaman (laju fotosintesis, laju transpirasi, konduktivitas stomata). Penurunan ketinggian air pada bak nutrisi (konsumsi air) dan beda suhu daun dengan lingkungan adalah parameter yang secara khusus diamati pada tahap pertama. Pengukuran tingkat kehijauan daun dengan SPAD-meter, kandungan klorofil daun, dan indeks warna RGB (*red, green, blue*) daun dilakukan pada tahap kedua. Stomata daun tanaman diamati pada tahap ketiga. Parameter iklim mikro setiap tahap penelitian diukur secara otomatis menggunakan sensor yang terhubung dengan mikrokontroler. Data hasil pengamatan selanjutnya diuji secara statistik. Hasil penelitian tahap pertama mengkonfirmasi bahwa tanaman yang stres akibat intensitas cahaya rendah cenderung memiliki suhu daun lebih tinggi dibandingkan tanaman dengan intensitas cahaya tinggi. Analisa

korelogram menegaskan bahwa intensitas cahaya memiliki korelasi yang kuat dengan parameter pertumbuhan ($r \geq 0,90$) serta terdapat perbedaan yang signifikan pada tiap perlakuan ($p\text{-value} < 0,05$). Penelitian tahap kedua mengkonfirmasi bahwa stres akibat rendahnya nutrisi lebih berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman Tatsoi dibandingkan stres akibat berkurangnya waktu pengairan. Stres nutrisi tersebut dapat diidentifikasi dari perubahan indeks warna daun dan diprediksi dengan model regresi linier berganda menggunakan tiga variabel indeks warna RGB ($R^2 = 0,991$ untuk SPAD dan $R^2 = 0,969$ untuk klorofil daun). Hasil penelitian tahap ketiga mengkonfirmasi bahwa stres akibat perubahan sudut datang cahaya artifisial dalam *indoor farming* berpengaruh signifikan pada parameter pertumbuhan tanaman ($p\text{-value} < 0,05$), kecuali panjang akar ($p\text{-value} > 0,05_{(0,802)}$). Analisa korelogram menegaskan bahwa perubahan sudut datang cahaya memiliki korelasi positif terhadap RH dan klorofil serta berkorelasi negatif untuk parameter lain termasuk intensitas cahaya ($r = -0,68$) dan tinggi tanaman ($r = -0,86$). Secara umum dapat disimpulkan bahwa pencahayaan statis dari arah atas (tegak lurus) lebih optimal dalam mendukung fotosintesis tanaman Tatsoi dalam *indoor farming*. Selain itu, persamaan matematis prediksi klorofil pada penelitian ini memiliki validitas tinggi, tetapi untuk model prediksi evapotranspirasi perlu dikembangkan lebih lanjut dengan memasukkan variabel lain, seperti kelembaban udara dan intensitas cahaya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perancangan desain sistem pencahayaan dan pemantauan stres tanaman hortikultur, pada *indoor farming* vertikal, untuk menjaga produktivitas dan kualitas tanaman sesuai yang ditargetkan.

Kata kunci: hidroponik NFT; sudut datang cahaya; suhu daun; indeks warna RGB; tanaman Tatsoi

CHARACTERIZATION OF HORTICULTURAL CROP STRESS IN INDOOR FARMING WITH ARTIFICIAL LIGHTING FOR URBAN FARMING DEVELOPMENT IN TROPICAL REGIONS

ABSTRACT

Changes in leaf temperature and green color are phenotypic characteristics that can indicate plant stress. Horticultural plants cultivated in *indoor farming*, such as Tatsoi (*Brassica rapa subsp. narinosa*), can experience stress due to less optimal distribution of artificial light. Previous studies have tried to increase light distribution without increasing the number of lamps using a dynamic lighting system but have not conducted an in-depth study of the plant's response. Therefore, this study tries to apply dynamic artificial lighting that imitates the apparent daily movement of the sun while identifying plant stress based on the phenotypic characteristics of leaf temperature and leaf green color (based on the RGB index). This study consists of three stages. The first and second stages were carried out in a *greenhouse* to emit stress under natural conditions, while the third stage was in *indoor farming* to evaluate stress due to changes in the angle of incidence of dynamic artificial lighting. Tatsoi plants in the hydroponic nutrient film technique (NFT) module in the first stage of the study were treated with variations of shading using paranet (no shading, one-layer shading, two-layer shading), and the second stage with variations in nutrient solution concentration (no nutrient stress, moderate nutrient stress, extreme nutrient stress), each with different irrigation times (24 hours, 12 hours, and 6 hours). In the third stage of the study, Tatsoi plants were treated with static (L0) and dynamic (L1, L2, L3) variations in the angle of artificial light incidence with a total of 15 hours photoperiods and optimal irrigation and nutrient times according to the previous stage results. The parameters observed at each stage were plant growth (number of leaves, leaf canopy area, plant height, root length, fresh weight) and plant physiology (photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductivity). The decrease in water level in the nutrient tank (water consumption) and the difference in leaf temperature with the environment were parameters that were observed explicitly in the first stage. Measurement of the leaf greenness level with a SPAD-meter, leaf chlorophyll content, and RGB (red, green, blue) leaf color index were conducted in the second stage. Plant leaf stomata were observed in the third stage. Microclimate parameters at each study stage were measured automatically using sensors connected to a microcontroller. The observation data were then tested statistically. The results of the first stage of the study confirmed that plants that were stressed due to low light intensity tended to have higher leaf temperatures than plants with high light intensity. Correlogram analysis showed that light intensity had a strong correlation with growth parameters

($r \geq 0.90$), and there were significant differences in each treatment (p -value < 0.05). The second stage of research confirmed that stress due to low nutrients had a more significant effect on the growth and productivity of Tatsoi plants than stress due to less irrigation time. This nutrient stress can be identified from changes in leaf color index and predicted by a multiple linear regression model using three RGB color index variables ($R^2 = 0.991$ for SPAD and $R^2 = 0.969$ for leaf chlorophyll). The results of the third stage of research confirmed that stress due to changes in the artificial light incidence angle in *indoor farming* had a significant effect on plant growth parameters (p -value < 0.05), except for root length (p -value > 0.05 (0.802)). Correlogram analysis showed that changes in the light incidence angle positively correlated with RH and chlorophyll and were negative for other parameters, including light intensity ($r = -0.68$) and plant height ($r = -0.86$). In general, it can be concluded that static lighting from above (perpendicular) is more optimal in supporting the photosynthesis of Tatsoi plants in indoor farming. In addition, the mathematical equation of chlorophyll prediction in this study has high validity, but the evapotranspiration prediction model needs to be further developed by including other variables, such as air humidity and light intensity. The results of this study are expected to be a reference in designing lighting systems and plant stress monitoring in vertical indoor farming, to maintain plants' productivity and quality as targeted.

Keywords: NFT hydroponics; light incidence angle; leaf temperature; RGB color index; Tatsoi plant