

Growth Response, Flavonoid Content, and Antioxidant Activity of Mustard Microgreen under Reduced Water Availability

An'nisa¹, Wahyu Harso^{1*}, Orryani Lambui¹, Prismawiryanti²

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia;

²Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia;

Article History

Received : March 05th, 2026

Revised : May 01th, 2026

Accepted : May 03th, 2026

*Corresponding Author:

Wahyu Harso, Program Studi Biologi Universitas Tadulako, Palu Indonesia;

Email:

wahyu.harso@gmail.com

Abstract: Mustard (*Brassica juncea* L.) has often been cultivated as a microgreen. Investigation into the impact of water stress effects on mustard in the microgreen stage is currently limited. The objective of this study was to assess the effect of reduced water availability on growth performance, flavonoid concentration, and antioxidant potential in mustard microgreens. Samples used to assess plant growth, flavonoid content, and antioxidant activity were collected from mustard plants grown in growth media under water availability of 90%, 70%, and 50% of field capacity. All acquired data were further evaluated by applying a one-way ANOVA. Reducing water availability to 50% field capacity did not impact growth, but it did enhance flavonoid content and antioxidant capacity. Peak values occurred at 70% of field capacity, with flavonoid content positively correlated with antioxidant activity. A water availability of 70% field capacity can be recommended as the optimal condition for producing mustard microgreens, as it effectively increases flavonoid content without inhibiting plant growth. This study confirms that growth parameters do not always accurately reflect the functional quality of plants; therefore, the evaluation of horticultural crops needs to include aspects related to secondary metabolites.

Keywords: Flavonoid; Growth; Mustard; Water availability.

Pendahuluan

Tanaman sawi (*Brassica juncea*) merupakan salah satu jenis sayuran daun yang banyak dibudidayakan di Indonesia (Hermansyah et al., 2021). Tanaman ini memiliki nilai ekonomis yang tinggi karena pertumbuhannya cepat dan mudah dibudidayakan (Josua et al., 2020). Selain kaya akan nutrisi berupa vitamin dan mineral, sawi juga mengandung senyawa bioaktif berupa flavonoid dan fenolik (Tian & Deng, 2020). Flavonoid merupakan senyawa alami yang memiliki aktivitas antioksidan yang mampu menangkal radikal bebas sehingga penting untuk menjaga kesehatan manusia (Kanwar et al., 2025).

Pertanian konvensional, sawi biasanya

dipanen setelah mencapai umur \pm 45 hari (Halauddin et al., 2022; Mario et al., 2021). Dalam beberapa tahun terakhir, sawi sering dibudidayakan secara microgreen (Pescarini et al., 2023). Budidaya sayuran secara microgreen semakin berkembang karena memiliki waktu panen yang singkat dan teknik budidaya yang sederhana. Sayuran yang diproduksi secara microgreen dipanen pada tahap awal setelah perkembangan daun kotiledon (Zhang et al., 2021) umumnya pada umur 10-14 hari (Tan et al., 2020) atau sekitar 1-3 minggu (Jambor et al., 2022). Pada fase ini, aktivitas metabolisme yang tinggi menghasilkan banyak metabolit sekunder termasuk flavonoid (Johnson et al., 2020; Partap et al., 2023).

Budidaya tanaman, air merupakan salah satu faktor penting karena memengaruhi proses

fisiologis, sedangkan kekurangan air dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan biomassa (Kapoor et al., 2020). Sebaliknya, kelebihan air juga dapat mengganggu aerasi media tanam dan menurunkan efisiensi respirasi akar (Ben-Noah & Friedman, 2018). Pada sistem budidaya secara microgreen yang menggunakan media terbatas dan volume air yang relatif kecil, pengaturan ketersediaan air menjadi faktor krusial dalam keberhasilan produksi.

Selain mempengaruhi pertumbuhan, ketersediaan air juga berperan dalam pembentukan metabolit sekunder (Honorio et al., 2021). Flavonoid tergolong senyawa metabolit sekunder yang bertindak sebagai antioksidan dan membantu melindungi tanaman terhadap stres lingkungan (Kurepa et al., 2023). Kondisi cekaman air ringan hingga sedang sering dilaporkan mampu meningkatkan akumulasi flavonoid sebagai respon adaptif tanaman terhadap stres oksidatif (Kubra et al., 2021; Xu et al., 2024).

Sejumlah penelitian telah mengkaji pengaruh cekaman air terhadap tanaman hortikultura (Parkash & Singh, 2020; Toscano et al., 2023). Namun, informasi respons sawi microgreen terhadap variasi ketersediaan air masih terbatas, sehingga pemahaman hubungan ketersediaan air, pertumbuhan, dan kandungan flavonoid penting untuk optimasi produksi dan kualitas nutrisi. Mengacu pada uraian sebelumnya, penelitian ini difokuskan untuk mengevaluasi dampak penurunan kadar ketersediaan air terhadap, pertumbuhan, konsentrasi flavonoid dan potensi aktivitas antioksidan microgreen sawi sehingga diperoleh strategi budidaya yang efisien dan mampu meningkatkan nilai fungsional dari produk yang dihasilkan.

Bahan dan Metode

Waktu dan tempat penelitian

Pelaksanaan penelitian berlangsung dalam rentang waktu Oktober-November 2025 di Laboratorium Anatomi dan Fisiologi Tumbuhan, Program Studi Biologi FMIPA Universitas Tadulako. Pengujian kadar flavonoid serta nilai aktivitas antioksidan (IC₅₀) dilaksanakan di Laboratorium Penelitian Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Tadulako.

Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan terdiri atas nampan semai, rak penyimpanan, lampu LED, timbangan analitik, penggaris, sprayer, wadah berlubang, gelas ukur, labu ukur, pipet, spektrofotometer UV-Vis, kuvet, shaker, alat penyaring, serta peralatan gelas laboratorium lain. Bahan yang digunakan terdiri dari biji sawi (*Brassica juncea* L.), tanah topsoil, cocopeat, air, pupuk NPK 16:16:16, etanol 95%, kuersetin standar, aluminium klorida (AlCl₃), kalium asetat (KH₃COO), aquades, dan larutan DPPH.

Jenis penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara experimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap degan satu faktor, yaitu kadar air dalam media tanam. Kadar air ditentukan pada tingkat 90%, 70% dan 50% dari kapasitas lapang. Setiap perlakuan dilakukan 3 kali pengulangan.

Populasi dan Unit Eksperimen

Seluruh tanaman sawi yang ditanam pada media campuran tanah dan cocopeat dengan perlakuan kadar air berbeda dijadikan sebagai populasi. Unit eksperimen dalam penelitian ini adalah nampan semai yang berisi media tanam dan tanaman sawi yang diberi perlakuan kadar air (90%, 70%, dan 50% kapasitas lapang) dengan tiga ulangan.

Variabel penelitian

Kadar air media tanam dijadikan sebagai variabel bebas dengan tiga variasi, yaitu 90%, 70% dan 50% kapasitas lapang. Variabel terikat meliputi tinggi tanaman (cm), berat segar tanaman (g), kadar flavonoid (mgQE/100 g), aktivitas antioksidan (IC₅₀ ppm). Variabel kontrol meliputi jenis tanaman, komposisi media tanam, jumlah media per nampan, dosis pupuk, jumlah tanaman, kondisi pencahayaan, lama penyinaran, metode penyiraman, waktu panen, serta kondisi lingkungan penelitian yang dibuat seragam pada semua perlakuan.

Prosedur penelitian

Persiapan media tanam

Media tanam terdiri atas campuran homogen tanah dan cocopeat yang telah dikeringkan di bawah sinar matahari selama tiga hari dengan rasio 1:1 (v/v). Tanah yang digunakan merupakan lapisan atas (*topsoil*) dari

kedalaman 0-20 cm yang diaduk secara homogen. Cocopeat yang digunakan diperoleh dari sumber komersial. Sebanyak 450 g media tanam dimasukkan ke dalam nampan semai dengan ukuran 32,5 x 25 x 5 cm. Nampan-nampan yang telah diisi oleh media tanam diberi air dengan kapasitas lapang yang telah ditentukan dan kemudian ditempatkan secara acak pada rak ukuran 100 x 50 x 50 cm dalam suatu ruangan. Masing-masing rak berisi 3 nampan.

Penentuan kapasitas lapang

Kapasitas lapang media tanam ditentukan dengan menggunakan metode drainase bebas. Sampel media tanam ditimbang dengan berat tertentu (disebut berat kering tanah) kemudian diletakkan pada wadah berlubang pada bagian alasnya, selanjutnya disiram dengan air hingga jenuh dan air menetes ke bawah. Setelah itu didiamkan selama 24 jam sampai air tidak lagi menetes. Media yang sudah didiamkan ditimbang (disebut dengan berat basah tanah). Kadar air kapasitas lapang dihitung dengan persamaan berikut: Kadar air kapasitas lapang (%) = [(berat basah tanah – berat kering tanah)/berat kering tanah] x 100%.

Pemberian pupuk

Pupuk NPK 16:16:16 diberikan pada media tanam dengan dosis 4 g/nampan. Pemberian 4 g merupakan ½ dari dosis yang terbaik (Karim et al., 2020). Pemberian pupuk dilakukan melalui pelarutan pupuk dalam air, diikuti dengan penyemprotan larutan secara homogen pada seluruh permukaan nampan.

Penyemaian biji sawi

Biji sawi langsung disemai pada media tanam yang sudah diberi air dengan kapasitas lapang yang telah ditentukan. Pemberian air dilakukan melalui penyemprotan air secara merata ke media tanam menggunakan sprayer. Sebelum disemai, biji sawi diseleksi dengan cara merendam biji selama 15 menit. Biji yang digunakan adalah biji yang tenggelam dan memiliki permukaan biji yang utuh. Kemudian sebanyak 2 biji diletakan pada 165 titik (15 x 11 titik) pada nampan berukuran 32,5 x 25 cm dengan jarak antar titik sebesar 1,7 cm. Setelah 3 hari disemai, masing-masing titik disisakan 1 semai yang mempunyai ukuran yang relatif

seragam terhadap semai yang lain.

Perawatan

Tanaman disinari dengan lampu LED putih 9 watt sebanyak 2 buah pada masing-masing rak selama 12 jam (06.00-18.00) setiap hari dari mulai penyemaian sampai pemanenan. Setiap dua hari sekali air yang hilang dari media tanam ditambahkan secara gravimetrik yaitu dengan menambahkan sejumlah berat air yang hilang sehingga sama dengan berat semula sesuai dengan kapasitas lapang. Air diberikan secara merata dengan menggunakan sprayer. Pemberian air dengan menggunakan sprayer juga berfungsi untuk menghindari kerusakan semai.

Parameter pengamatan

Variabel pertumbuhan tanaman yang diamati meliputi tinggi dan berat segar tanaman yang diukur pada umur 17 hari setelah biji disemai. Tinggi tanaman diukur pada 10 tanaman yang diambil secara acak dari setiap nampan, dengan mempertimbangkan distribusi posisi agar mewakili seluruh area nampan. Tinggi tanaman diperoleh dengan mengukur dari pangkal batang sampai bagian pucuk tertinggi memakai penggaris. Sementara untuk berat segar tanaman ditentukan dengan menimbang seluruh tanaman pada masing-masing nampan dengan menghilangkan bagian akar tanamannya kemudian dibagi dengan jumlah tanaman setiap nampan.

Analisis kandungan flavonoid tanaman pada setiap nampan dilakukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis mengacu pada prosedur Chang et al. (2002) dan Ahmad et al. (2015). Pembuatan larutan standar kuersetin dilakukan dengan menimbang 10 mg kuersetin, kemudian dilarutkan dalam 10 mL etanol menggunakan labu ukur untuk memperoleh larutan induk berkonsentrasi 100 mg/L. Selanjutnya, larutan standar disiapkan pada berbagai konsentrasi yaitu 5, 10, 15, 20 dan 25 mg/L. Masing-masing larutan kemudian direaksikan dengan penambahan 1,5 ml etanol 95%, 0,1 mL aluminium klorida ($AlCl_3$) 10%, 0,1 mL kalium asetat (KCH_3COO) 1 M, serta 2,8 mL akuades, selanjutnya diinkubasi selama 30 menit. Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang 517 nm dengan spektrofotometer UV-Vis, kemudian data yang dihasilkan digunakan untuk membuat kurva kalibrasi.

Analisis sampel dilakukan dengan menimbang sejumlah bahan uji, selanjutnya dilakukan ekstraksi secara maserasi dengan pelarut etanol sambil digojok (shaker) selama 1 jam, dilanjutkan dengan proses penyaringan. Filtrat dipipet sebanyak 1 mL, kemudian direaksikan dengan 1,5 mL etanol 95%, 0,1 mL $AlCl_3$ 10%, 0,1 ml kalium asetat 1 M, dan 2,8 mL akuades, lalu diinkubasi selama 30 menit. Absorbansi larutan uji diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang telah ditentukan. Kadar flavonoid dihitung berdasarkan persamaan $F = (c \times V \times 100)/m$, dimana F menyatakan kadar flavonoid (mg/100g), c sebagai konsentrasi ekuivalen kuersetin, V sebagai volume larutan (L) dan m sebagai massa sampel (g).

Analisis aktivitas antioksidan tanaman pada setiap nampan dilakukan dengan metode spektrofotometri menggunakan pereaksi DPPH. Sebanyak 10 mg ekstrak sampel ditimbang, kemudian dilarutkan dalam 10 mL etanol menggunakan labu ukur untuk memperoleh larutan stok berkonsentrasi 1000 ppm. Selanjutnya, dilakukan pengenceran bertingkat untuk menghasilkan variasi konsentrasi 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm. Masing-masing larutan uji dipipet sebanyak 1 mL dan direaksikan dengan 3 mL larutan DPPH 50 mM, kemudian dihomogenkan dan diinkubasi selama 30 menit dalam kondisi gelap. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 517 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran juga dilakukan terhadap larutan kontrol DPPH. Hasil pengukuran absorbansi digunakan sebagai dasar untuk menghitung presentase inhibisi berdasarkan persamaan % inhibisi = $[(Abs. DPPH - Abs. sampel)/Abs. DPPH] \times 100\%$. Selanjutnya, kurva hubungan antara persentase inhibisi dan konsentrasi dibuat untuk menentukan nilai IC_{50} melalui persamaan regresi.

Indeks Aktivitas Antioksidan (Antioxidant Activity Index/AAI) dihitung menurut persamaan: $AAI = konsentrasi\ akhir\ DPPH\ dalam\ reaksi/IC_{50}$ (Takao et al., 2015) dimana konsentrasi akhir DPPH adalah 59,15 ppm. Indeks Aktivitas Antioksidan kemudian digunakan untuk mencari korelasi dengan kandungan flavonoid.

Analisis data

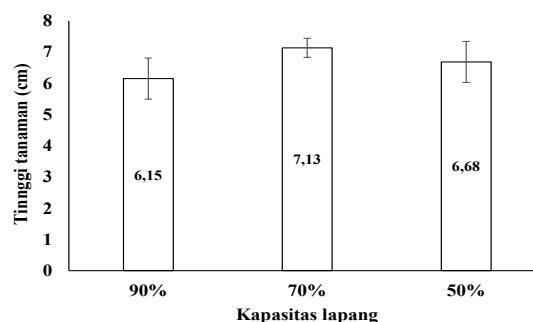
Analisis data dilakukan melalui one-way

ANOVA dengan tingkat signifikansi 0,05, dan jika hasilnya signifikan ($P < 0,05$), maka dilanjutkan dengan uji Tukey untuk mengidentifikasi perbedaan antarperlakuan. Seluruh data dianalisis dengan menggunakan Microsoft Excel 2021 dengan bantuan add-in Real Statistics.

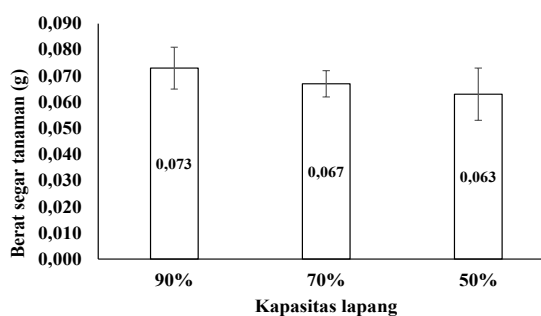
Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan tinggi tanaman

Tinggi tanaman digunakan sebagai salah satu parameter pertumbuhan. Tinggi tanaman tidak dipengaruhi secara signifikan oleh perbedaan ketersediaan air dalam media tanam (Gambar 1). Dengan demikian, variasi perlakuan kadar air dalam penelitian ini belum mampu memengaruhi pertumbuhan tinggi microgreen sawi.



Gambar 1. Tinggi tanaman microgreen sawi. Data disajikan dalam bentuk rata-rata \pm simpangan baku.



Gambar 2. Berat segar microgreen sawi. Data disajikan dalam bentuk rata-rata \pm simpangan baku.

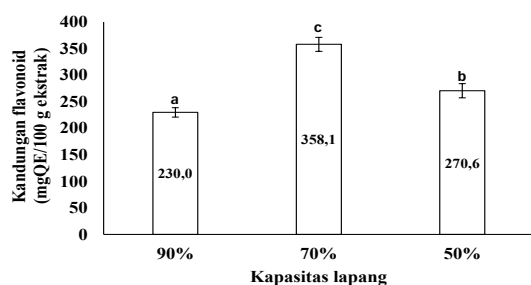
Hasil pengamatan berat segar tanaman

Selain tinggi tanaman, berat segar juga diamati sebagai parameter pertumbuhan microgreen sawi. Hasil analisis tingkat ketersediaan air dalam media tanam tidak

berdampak nyata pada berat segar tanaman. (Gambar 2). Hasil ini mengindikasikan bahwa variasi kadar air yang diterapkan belum menyebabkan perubahan nyata pada akumulasi biomassa segar microgreen sawi.

Hasil pengamat kandungan flavonoid

Kandungan flavonoid pada microgreen sawi dipengaruhi oleh perbedaan kadar air pada media tanam yang digunakan. Variasi ketersediaan air menyebabkan perbedaan kandungan senyawa flavonoid pada tanaman. Temuan penelitian mengindikasikan bahwa kadar flavonoid tertinggi terdapat pada perlakuan 70% kapasitas lapang, sedangkan kandungan terendah terdapat pada perlakuan 90% kapasitas lapang (Gambar 3). Hal ini mengindikasikan kondisi kadar air tertentu dapat mengoptimalkan sintesis flavonoid pada microgreen sawi.



Gambar 3. Kandungan flavonoid microgreen sawi. Data disajikan dalam bentuk rata-rata \pm simpangan baku, dan perbedaan huruf pada batang grafik menunjukkan perbedaan yang nyata.

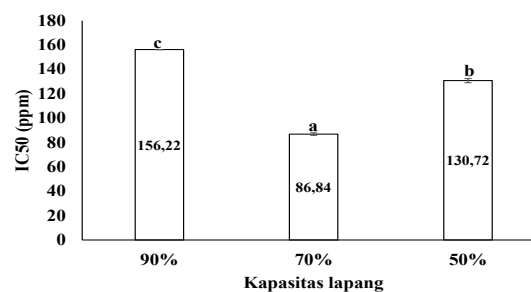
Hasil pengamatan aktivitas antioksidan

Aktivitas antioksidan microgreen sawi dinyatakan sebagai nilai IC_{50} dipengaruhi oleh perbedaan ketersediaan air pada media tanam. Variasi kadar air menyebabkan perbedaan kemampuan tanaman dalam meredam radikal bebas. Hasil penelitian ini, perlakuan 70% kapasitas lapang menghasilkan nilai IC_{50} terendah, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada perlakuan 90% kapasitas lapang (Gambar 4). Penurunan nilai IC_{50} menunjukkan peningkatan aktivitas antioksidan, sehingga perlakuan 70% kapasitas lapang memiliki kemampuan antioksidan terbaik.

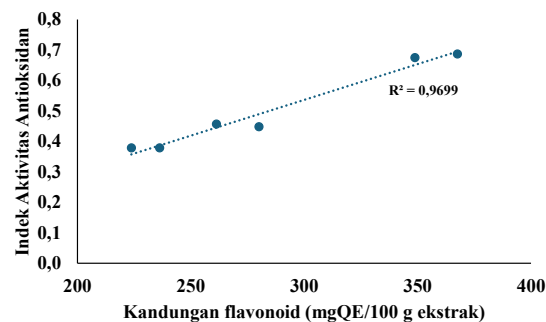
Hasil pengamatan korelasi kandungan flavonoid dengan aktivitas antioksidan

Analisis data mengindikasikan adanya korelasi antara kadar flavonoid dan aktivitas

antioksidan pada microgreen sawi. Diperoleh korelasi positif dengan kekuatan sangat tinggi, ditunjukkan oleh nilai $R = 0,9407$ (Gambar 5). Temuan ini menunjukkan bahwa kenaikan kadar flavonoid sejalan dengan peningkatan aktivitas antioksidan yang diekspresikan sebagai Indeks Aktivitas Antioksidan (AAI). Dengan demikian, flavonoid berperan penting dalam menentukan kemampuan antioksidan pada microgreen sawi.



Gambar 4. Aktivitas antioksidan (IC_{50}) microgreen sawi. Data disajikan dalam bentuk rata-rata \pm simpangan baku, dan perbedaan huruf pada batang grafik menunjukkan perbedaan yang nyata.



Gambar 5. Korelasi antara kandungan flavonoid dengan aktivitas antioksidan.

Pembahasan

Tinggi dan berat segar tanaman

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketersediaan air yang diberikan pada tiga tingkat kapasitas lapang yaitu 90%, 70% dan 50% tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan berat segar microgreen sawi. Hal ini konsisten dengan penelitian Tavan et al. (2021) bahwa variasi ketersediaan air dalam rentang optimal tidak memengaruhi berat segar secara signifikan microgreen kale (*Brassica olearace var. acephala*). Namun demikian, hasil ini berbeda dengan apa yang didapat oleh Sidabutar &

Hilman (2025) yang menunjukkan bahwa kelembaban dalam media tanam berpengaruh signifikan terhadap tinggi batang microgreen kacang hijau (*Vigna radiata*). Ini menunjukkan bahwa dalam rentang kapasitas lapang tersebut, microgreen sawi masih mampu beradaptasi terhadap variasi ketersediaan air yang diberikan. Fenomena ini diduga berkaitan dengan dengan sistem perakaran microgreen yang belum berkembang kompleks, yang memungkinkan penyerapan air berlangsung relatif efisien (Tasca et al., 2025) atau media tumbuh microgreen dirancang dengan ketebalan media yang tipis, porositas yang tinggi, aerasi yang baik dan kapasitas menahan air yang besar (Seth et al., 2025). Selain itu fase pertumbuhan microgreen yang singkat menyebabkan kebutuhan air total belum terlalu besar (Amitrano et al., 2023; Ebert, 2022) sehingga variasi kadar air belum cukup ekstrem untuk mempengaruhi parameter morfologi secara signifikan.

Kandungan flavonoid

Microgreen sawi yang ditumbuhkan pada 70% kapasitas lapang memiliki nilai tertinggi pada kandungan flavonoid dan aktivitas antioksidan. Flavonoid merupakan sekelompok metabolit sekunder polifenol yang berkontribusi sebagai senyawa antioksidan alami (Parashar et al., 2023). Produksi flavonoid sering meningkat ketika terjadi cekaman air ringan (Ridwan et al., 2023) dimana cekaman air akan menyebabkan terbentuknya radikal bebas (Shareen et al., 2023).

Ketersediaan air pada 70% kapasitas lapang memungkinkan tanaman mengalami cekaman moderat yang cukup untuk merangsang sintesis metabolit sekunder namun cekaman tersebut belum sampai menghambat pertumbuhan secara nyata. Pada 50% kapasitas lapang, cekaman mungkin lebih tinggi sehingga energi tanaman lebih difokuskan pada pemeliharaan hidup yang berakibat produksi metabolit sekunder tidak setinggi pada kondisi cekaman ringan. Hasil kajian ini menunjukkan kesesuaian dengan penelitian Ridwan et al. (2023) yang menyatakan bahwa kandungan flavonoid meningkat saat kekeringan ringan tanpa diikuti penurunan biomassa yang signifikan dan menurun saat kekeringan parah. Meskipun pada penelitian lain menyatakan bahwa pembentukan flavonoid akan meningkat dengan meningkatnya cekaman air (Ahmed et

al., 2021).

Pada 90% kapasitas lapang, kandungan flavonoid pada microgreen sawi memiliki nilai terendah. Hasil yang diperoleh mendukung laporan penelitian sebelumnya oleh Hessini et al. (2022). Mereka mendapatkan bahwa kandungan flavonoid ekstrak daun mawar damaskus (*Rosa damascena*) pada tanaman yang ditumbuhkan pada 100% kapasitas lapang lebih rendah dibandingkan dengan yang ditumbuhkan pada 50% dan 25% kapasitas lapang. Tanaman yang mendapatkan sangat cukup air tidak mengalami cekaman sehingga radikal bebas yang terbentuk rendah sehingga jalur biosintesis metabolit sekunder tidak teraktivasi secara optimal (Shah & Smith, 2020).

Korelasi antara kandungan flavonoid dengan aktivitas antioksidan

Hasil analisis mengindikasikan hubungan positif antara kadar flavonoid dan aktivitas antioksidan pada microgreen sawi, dimana peningkatan kandungan flavonoid diikuti oleh peningkatan aktivitas antioksidan. Flavonoid memiliki peran penting dalam meredam radikal bebas melalui transfer elektron atau hidrogen. Semakin tinggi kandungan flavonoid dalam jaringan tanaman semakin besar kapasitasnya dalam menekan reaksi oksidatif melalui aktivitas penetralan radikal bebas. Oleh karena itu, peningkatan kandungan flavonoid biasanya diikuti oleh peningkatan aktivitas antioksidan (Wang et al., 2024).

Kesimpulan

Variasi ketersediaan air pada kisaran 50-90% kapasitas lapang tidak berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan (tinggi dan berat segar) microgreen sawi. Namun, ketersediaan air berpengaruh nyata terhadap kandungan flavonoid dan aktivitas antioksidan. Kondisi 70% kapasitas lapang mengoptimalkan sintesis flavonoid tanpa menghambat pertumbuhan. Kondisi 50% kapasitas lapang cenderung menekan produksi flavonoid, dan kondisi 90% kapasitas lapang tidak cukup merangsang pembentukan flavonoid. Dengan demikian, pengaturan ketersediaan air pada 70% kapasitas lapang direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas fungsional microgreen sawi secara optimal tanpa menghambat

pertumbuhan. Penelitian ini menegaskan bahwa parameter pertumbuhan tidak selalu mempresentasikan kualitas fungsional tanaman, sehingga evaluasi tanaman hortikultura perlu mencakup aspek metabolit sekunder.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengapresiasi kontribusi Program Studi Biologi dan Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Tadulako, dalam bentuk dukungan dan fasilitas yang diberikan.

Referensi

- Ahmad, A. R., Juwita, Ratulangi, S. A. D., & Malik, A. (2015). Penetapan Kadar Fenolik dan Flavonoid Total Ekstrak Metanol Buah dan Daun Patikala (*Etlintera elatior* (Jack) R.M.SM). *Parmaecological Sciences and Research (PSR)*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.7454/psr.v2i1.3481>
- Ahmed, U., Rao, M. J., Qi, C., Xie, Q., Noushahi, H. A., Yaseen, M., Shi, X., & Zheng, B. (2021). Expression Profiling of Flavonoid Biosynthesis Genes and Secondary Metabolites Accumulation in *Populus* under Drought Stress. *Molecules*, 26(5546), 1–17. <https://doi.org/10.3390/molecules26185546>
- Amitrano, C., Paglialunga, G., Battistelli, A., Micco, V. De, Bianco, M. Del, Liuzzi, G., Moscatello, S., Paradiso, R., Proietti, S., Roupheal, Y., & Pascale, S. De. (2023). Defining Growth Requirements of Microgreens in Space Cultivation via Biomass Production, Morpho-Anatomical and Nutritional Traits Analysis. *Frontiers in Plant Science*, 14(1190945), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1190945>
- Ben-Noah, I., & Friedman, S. P. (2018). Review and Evaluation of Root Respiration and of Natural and Agricultural Processes of Soil Aeration. *Vadose Zone*, 17(170119), 1–47. <https://doi.org/10.2136/vzj2017.06.0119>
- Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. (2002). Estimation of Total Flavonoid Content in Propolis by Two Complementary Colorimetric Methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178–182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Ebert, A. W. (2022). Sprouts and Microgreens—Novel Food Sources for Healthy Diets. *Plants*, 11(571), 1–35. <https://doi.org/10.3390/plants11040571>
- Halauddin, Syarifuddin, M., Suhendra, Sugianto, N., & Supriyati. (2022). Budidaya Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea* L.) Menggunakan Teknologi Irigasi Kapilaritas bagi Kelompok PKK Desa Talang Pauh, Kabupaten Bengkulu Tengah. *Indonesian Journal of Community Empowerment and Service*, 2(1), 31–35. <https://doi.org/10.33369/icom.es.v2i1.20921>
- Hermansyah, D., Patiung, M., & Wisnujati, N. S. (2021). Analisis Trend dan Prediksi Produksi dan Konsumsi Komoditas Sayuran Sawi. *Jurnal Ilmiah Sosio Agribisnis*, 21(2), 34–46. <https://doi.org/10.30742/jisa21220211383>
- Hessini, K., Wasli, H., Al-Yasi, H. M., Ali, E. F., Issa, A. A., Hassan, F. A. S., & Siddique, K. H. M. (2022). Graded Moisture Deficit Effect on Secondary Metabolites, Antioxidant, and Inhibitory Enzyme Activities in Leaf Extracts of *Rosa damascena* Mill. var. *trigintipetala*. *Horticulturae*, 8(177), 1–13. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020177>
- Honorio, A. B. M., De-la-Cruz-Chacon, I., Mariano, M.-V., da Silva, C. S., Campos, F. G., Martin, B. C., da Silva, G. C., Boaro, C. S. F., & Ferreira, G. (2021). Impact of Drought and Flooding on Alkaloid Production in *Annona crassiflora* Mart. *Horticulturae*, 7(414), 1–14. <https://www.mdpi.com/23117524/7/10/414>
- Jambor, T., Knizatova, N., Valkova, V., Tirpak, F., Greifova, H., Kovacik, A., & Lukac, N. (2022). Microgreens as a Functional Component of the Human Diet : A Review. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(1 e5870), 1–5. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5870>
- Johnson, S. A., Prenni, J. E., Heuberger, A. L., Isweiri, H., Chaparro, J. M., Newman, S. E., Uchanski, M. E., Omerigic, H. M., Michell, K. A., Bunning, M., Foster, M. T., Thompson, H. J., & Weir, T. L. (2020).

- Comprehensive Evaluation of Metabolites and Minerals in 6 Microgreen Species and the Influence of Maturity. *Current Developments in Nutrition*, 5(2), 1–12. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa180>
- Josua, B., Sunaryati, R., & Maasliani. (2020). Analisis Pendapatan Usahatani Sayuran Sawi (*Brassica rapa var. parachinensis* L.) di Kelurahan Kalampangan Kecamatan Sabangau Kota Palangka Raya. *J-SEA (Journal Socio Economics Agricultural)*, 15(2), 85–96. <https://e-journal.upr.ac.id/index.php/j-sea/article/view/3374/2677%0A>
- Kanwar, S. K., Kumar, A., Prasad, G., Bais, P. K., & Laxmikant. (2025). The Role of Flavonoids in Human Health and Disease Prevention. *High Technology Letters*, 31(4), 200–212. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15698324>
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The Impact of Drought in Plant Metabolism: How to Exploit Tolerance Mechanisms to Increase Crop Production. *Applied Sciences*, 10(5692), 1–19. <https://doi.org/doi:10.3390/app10165692>
- Karim, H. A., Fitrianti, & Yakub. (2020). Peningkatan Produktivitas Tanaman Sawi Melalui Penambahan Pupuk Kandang Ayam Dan NPK 16 : 16 : 16. *Jurnal Ahli Muda Indonesia*, 1(1), 65–72. <https://doi.org/10.46510/jami.v1i1.19>
- Kubra, G., Khan, M., Munir, F., Gul, A., Shah, T., Hussain, A., Capparros-Ruiz, D., & Amir, R. (2021). Expression Characterization of Flavonoid Biosynthetic Pathway Genes and Transcription Factors in Peanut under Water Deficit Conditions. *Frontiers in Plant Science*, 12(680368), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.680368>
- Kurepa, J., Shull, T. E., & Smalle, J. A. (2023). Friends in Arms : Flavonoids and the Auxin /Cytokinin Balance in Terrestrialization. *Plants*, 12(517), 1–16. <https://doi.org/10.3390/plants12030517>
- Mario, Maemunah, & Lapanjang, I. M. (2021). Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.) pada Pemberian Pupuk Organik Limbah Sawit. *E.J. Agrotekbis*, 9(2), 406–416. <https://jurnal.faperta.untad.ac.id/index.php/agrotekbis/en/article/view/924>
- Parashar, D., Meena, A. K., & Sharma, M. (2023). Flavonoids - A Review on Natural Antioxidants. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 16(10), 4952–4958. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00802>
- Parkash, V., & Singh, S. (2020). A Review on Potential Plant-Based Water Stress Indicators for Vegetable Crops. *Sustainability*, 12(3945), 1–28. <https://doi.org/doi:10.3390/su12103945>
- Partap, M., Sharma, D., Hn, D., Thakur, M., Verma, V., & Bhargava, B. (2023). Microgreen : A Tiny Plant with Superfood Potential. *Journal of Functional Foods*, 107(105697), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105697>
- Pescarini, H. B., da Silva, V. G., da Costa Mello, S., Purquerio, L. F. V., Sala, F. C., Cesar, T. Q., & Zorzeto. (2023). Updates on Microgreens Grown under Artificial Lighting : Scientific Advances in the Last Two Decades. *Horticulturae*, 9(864), 1–16. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080864>
- Ridwan, Hamim, Suhaesono, & Hidayati, N. (2023). Drought Stress Induced the Flavonoid Content in Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) Leaves. *Sains Malaysiana*, 52(1), 57–69. <http://doi.org/10.17576/jsm-2023-5201-05> Drought
- Seth, T., Mishra, G. P., Chattopadhyay, A., Roy, P. D., Devi, M., Sahu, A., Sarangi, S. K., Mhatre, C. S., Lyngdoh, Y. A., Chandra, V., Dikshit, H. K., & Nair, R. M. (2025). Microgreens : Functional Food for Nutrition and Dietary Diversification. *Plant*, 14(526), 1–29. <https://doi.org/10.3390/plants14040526>
- Shah, A., & Smith, D. L. (2020). Flavonoids in Agriculture : Chemistry and Roles in Biotic and Abiotic Stress Responses, and Microbial Associations. *Agronomy*, 10(1209), 1–26. <https://doi.org/doi:10.3390/agronomy10081209>
- Shareen, Faraz, A., & Faizan, M. (2023). Physiological Impact of Reactive Oxygen Species on leaf. In M. Faizan, S. Hayat, & S. M. Ahmed (Eds.), *Reactive Oxygen*

- Species* (pp. 95–114). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-9794-5>
- Sidabutar, J. L., & Hilman, M. I. (2025). Pengaruh Media Tanam dan Tingkat Kelembapan terhadap Pertumbuhan Microgreen Kacang Hijau (*Vigna radiata*). *Journal of Electronics and Instrumentation*, 2(2), 62–73. <https://doi.org/10.19184/jei.v2i2.1655>
- Takao, L. K., Imatomi, M., & Gualtieri, S. C. J. (2015). Antioxidant Activity and Phenolic Content of Leaf Infusions of *Myrtaceae* Species from Cerrado (Brazilian Savanna). *Brazilian Journal of Biology*, 75(4), 984–952. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.03314>
- Tan, L., Nuffer, H., Feng, J., Kwan, S. H., Chen, H., Tong, X., & Kong, L. (2020). Antioxidant Properties and Sensory Evaluation of Microgreen from Commercial and Local Farms. *Food Sciences and Human Wellness*, 9(1), 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.12.002>
- Tasca, A., Alcock, T. D., & Bienert, G. P. (2025). The Role of Maize (*Zea mays*) Radicle Root Hairs in Seedling Establishment under Adverse Phosphorus and Water Seedbed Conditions. *Annals of Botany*, 136, 1115–1130. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaf142>
- Tavan, M., Wee, B., Brodie, G., Fuentes, S., & Pang, A. (2021). Optimizing Sensor-Based Irrigation Management in a Soilless Vertical Farm for Growing Microgreens. *Frontier in Sustainable Food System*, 4(January), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.622720>
- Tian, Y., & Deng, F. (2020). Phytochemistry and Biological Activity of Mustard (*Brassica juncea*): A Review. *CyTA - Journal of Food*, 18(1), 704–718. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1833988>
- Toscano, S., Franzoni, G., & Alvarez, S. (2023). Drought Stress in Horticultural Plants. *Horticulturae*, 9(7), 7–10. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010007>
- Wang, C.-Y., Li, X.-M., Du, H.-X., Yan, Y., Chen, Z.-Z., Zhang, C.-X., Yan, X.-B., Hao, S., & Gou, J. (2024). Change of Flavonoid Content in Wheatgrass in a Historic Collection of Wheat Cultivars. *Antioxidants*, 13(8), 899, 1–14. <https://doi.org/10.3390/antiox13080899>
- Xu, Y., Meng, H., Song, D., Wu, H., Wang, S., Tong, X., Jiang, Y., & Wang, S. (2024). Mild Water Deficit at Seed Filling Stage Promotes Drought-Tolerant Soybean Production Formation and Flavonoids Accumulation. *Agricultural Water Management*, 304(109076), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109076>
- Zhang, Y., Xiao, Z., Ager, E., Kong, L., & Tan, L. (2021). Future Foods of Future Nutritional Quality and Health Benefits of Microgreens, a Crop of Modern Agriculture. *Journal of Future Foods*, 1(1), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.07.001>