



Efisiensi Irigasi Kapiler Berbasis *Capillary Mat* pada Berbagai Jenis Sayuran Daun dengan Media Substrat Cocopeat dan Arang Sekam

Water Use Efficiency of Capillary Mat-Based Irrigation System on Various Leafy Vegetables Grown in Cocopeat and Rice Husk Charcoal Substrate

Widya Andani¹, Ahmad Tusi^{1*}, Elhamida Rezkia Amien¹, Sugeng Triyono¹

¹Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

*Corresponding Author: ahmad.tusip@fp.unila.ac.id

Abstract. *Water scarcity and low surface irrigation efficiency are major constraints to leafy vegetable productivity in dryland farming. Capillary mat-based irrigation offers a solution through efficient water distribution to the root zone. This study aimed to analyze capillary irrigation efficiency using a cocopeat and rice husk charcoal mixture (1:1) on three leafy vegetables (pakcoy, lettuce, caisim), and to compare the effects of capillary mat lengths of 50% (M1) and 100% (M2) on water use efficiency and plant productivity. The experiment employed a Split-Plot Design within a Completely Randomized Design with three replications (18 experimental units). Measured parameters included environmental conditions (temperature, RH, VPD), nutrient quality (pH, EC, TDS), plant growth (height, leaf number, canopy area, root length, root fresh weight), yield (shoot fresh weight), water consumption, and water productivity. The results showed that M2 provided a larger water supply than M1 but did not show a significant difference in water use efficiency. Average water productivity for M1 and M2 was 48.69 g/L and 49.86 g/L, respectively. Plant type influenced yield, with caisim producing the highest shoot fresh weight (92.3 g) under M2K3, while lettuce produced the lowest (38 g) under M1K2. Root parameters did not show a consistent interaction pattern between mat treatment and plant type. Economically, M1 was more efficient, with costs Rp10,640.00 lower per bed unit compared to M2. This study recommends using a 50% capillary mat (M1) for pakcoy and lettuce cultivation. Future research can be improved by selecting plants with uniform harvest periods, applying an automated microclimate control system, and utilizing high-precision water level sensors.*

Keywords: *Capillary Mat, Irrigation Efficiency, Leafy Vegetables, Substrate Hydroponics, Water Productivity.*

1. Pendahuluan

Ketersediaan air yang terbatas dan rendahnya efisiensi irigasi permukaan menjadi kendala utama produktivitas pertanian, terutama pada budidaya sayuran daun di lahan kering (Pangestu & Wasposito, 2019). Sistem irigasi tradisional yang masih dominan digunakan petani tidak mempertimbangkan kebutuhan air tanaman secara presisi, sehingga sering menyebabkan kelebihan air, pembusukan akar, dan pemborosan air (Mustawa *et al.*, 2017). Kondisi ini diperparah pada musim kemarau yang mengakibatkan penurunan produktivitas tanaman secara signifikan (Hidayati *et al.*, 2017).

Salah satu teknologi yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah irigasi kapiler, yaitu sistem irigasi bawah permukaan yang memanfaatkan daya kapilaritas media tanam untuk mendistribusikan air dari reservoir ke zona akar tanaman (Yuswari *et al.*, 2016). Penelitian Imanudin & Prayitno (2015) menunjukkan bahwa efisiensi irigasi kapiler dapat mencapai 100%, jauh lebih tinggi dibandingkan irigasi permukaan (50-70%) maupun irigasi tetes yang memerlukan tekanan dan energi listrik.

Teknologi ini sangat sesuai untuk hidroponik substrat, yaitu metode budidaya tanpa tanah yang menggunakan media alternatif seperti cocopeat dan arang sekam sebagai tempat penyangga akar sekaligus penyuplai air, nutrisi, dan oksigen bagi tanaman (Roidah, 2014). Meskipun demikian, penelitian tentang irigasi kapiler pada hidroponik substrat masih terbatas. Sang-Sik *et al.* (2001) telah menerapkannya pada budidaya melon, namun fokusnya hanya pada kualitas buah dan tidak mengeksplorasi aspek efisiensi air. Selain itu, sebagian besar penelitian irigasi kapiler sebelumnya hanya menguji satu jenis tanaman, sehingga belum diketahui bagaimana respons berbagai jenis tanaman — terutama sayuran daun dengan karakteristik morfologi dan kebutuhan air berbeda — terhadap sistem yang sama. Padahal, dalam praktik budidaya, petani sering menanam beberapa jenis sayuran secara bersamaan. Lebih jauh, belum ada penelitian yang menguji pengaruh panjang pemasangan capillary mat (apakah perlu menutupi seluruh bed atau hanya sebagian) terhadap efisiensi air dan pertumbuhan berbagai jenis sayuran daun.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: 1) menganalisis efisiensi irigasi kapiler menggunakan media campuran cocopeat dan arang sekam pada tiga jenis sayuran daun (pakcoy, selada, caisim); 2) membandingkan pengaruh panjang pemasangan capillary mat 50% (M1) dan 100% (M2) terhadap efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman.; dan 3) menentukan rekomendasi panjang capillary mat yang paling efisien secara agronomis dan ekonomis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa: data empiris tentang efisiensi irigasi kapiler pada berbagai jenis sayuran daun; rekomendasi teknis yang aplikatif bagi petani dan praktisi hidroponik, serta pijakan bagi penelitian lanjutan tentang optimalisasi sistem irigasi kapiler.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 30 hari dari Januari hingga Februari 2025. Penanaman dan pengamatan pertumbuhan dilakukan di *Greenhouse* Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Analisis data dilakukan di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan.

Alat yang digunakan meliputi TDS dan EC Meter E-1 Portable, pH Meter *Auto Calibration* pH-02, *thermohygrometer* HTC-2, nampan semai, penggaris, timbangan digital, dan gelas ukur. Bahan yang digunakan adalah benih pakcoy, selada, dan caisim varietas Panah Merah, pestisida nabati, *styrofoam box* ukuran 37,5 cm × 24 cm × 16 cm, kain flanel ketebalan 1,9 mm, *rockwool*, AB mix Good Plant, air, arang sekam, dan *cocopeat*.

2.1 Rancangan Percobaan

Penelitian menggunakan Rancangan Petak Terbagi (RPT) dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL). Petak utama terdiri atas dua taraf panjang *mat*: 50% (M1) dan 100% (M2) dari total panjang *bed*.

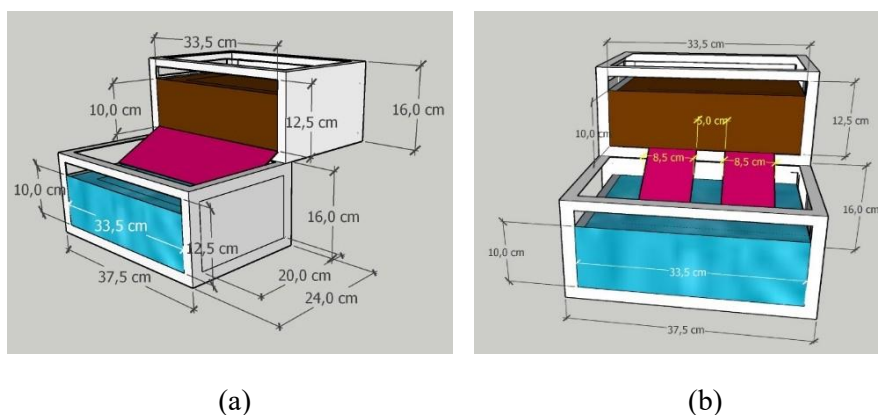
Anak petak terdiri atas tiga jenis tanaman: pakcoy (K1), selada (K2), dan caisim (K3). Setiap kombinasi perlakuan diulang tiga kali, sehingga terdapat 18 unit percobaan.

Tabel 1. Kombinasi perlakuan

Petak Utama (<i>Mat</i>)	Anak Petak 1	Anak Petak 2	Anak Petak 3	Ulangan
M2 (100%)	Pakcoy (K1)	Caisim (K3)	Selada (K2)	U1
M1 (50%)	Caisim (K3)	Selada (K2)	Pakcoy (K1)	U1
M1 (50%)	Selada (K2)	Pakcoy (K1)	Caisim (K3)	U2
M2 (100%)	Selada (K2)	Caisim (K3)	Pakcoy (K1)	U2
M2 (100%)	Pakcoy (K1)	Caisim (K3)	Selada (K2)	U3
M1 (50%)	Caisim (K3)	Selada (K2)	Pakcoy (K1)	U3

2.2 Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan sistem dan media tanam: *Cocopeat* dicuci dan dijemur untuk menghilangkan tanin, kemudian dicampur dengan arang sekam (perbandingan massa 1:1). Media dimasukkan ke dalam *styrofoam box* yang diletakkan di atas *capillary mat* dengan panjang 50% atau 100% dari panjang *bed* (Gambar 1).
2. Penyemaian dan penanaman: Benih disortasi dengan perendaman; benih tenggelam disemai pada *rockwool* ukuran 2,5×2,5 cm. Bibit dipindahkan pada umur 14 HSS atau saat memiliki 3–4 helai daun.
3. Pemeliharaan: Nilai TDS, EC, pH, dan tinggi larutan nutrisi dipantau setiap hari. Rentang TDS dijaga 1000–1400 ppm, pH 6–7. Penyulaman dan pengendalian hama dilakukan secara manual atau dengan pestisida nabati.
4. Pemanenan: Dilakukan serentak pada umur 30 HST untuk semua tanaman karena sistem perakaran menempel pada kain flanel.



Gambar 1. Rancangan sistem irigasi kapiler (a) mat 100% dan (b) mat 50%

2.3 Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan harian meliputi suhu dan RH (menghitung vapor pressure deficit, VPD), pH, TDS, EC, dan konsumsi air.

- a. Pengukuran suhu udara dan RH dilakukan dengan mengamati thermohygrometer yang diletakkan di dalam *greenhouse* ketika pagi, siang, dan sore hari.
- b. Pengamatan VPD dilakukan dengan menghitung defisit, antara jumlah uap air di udara dan berapa banyak uap air yang dapat ditahan oleh udara ketika jenuh. Tekanan uap jenuh (SVP)

ditentukan melalui suhu udara (T) (Noh & Lee, 2022). Nilai SVP pada suhu udara dapat dihitung dengan Persamaan 1:

$$SVP = 0.6108 \exp \left(\frac{17.27T}{T+237.3} \right) \quad (1)$$

Jumlah uap air aktual yang ditahan pada suhu saat ini disebut tekanan uap aktif (AVP). Nilai AVP untuk kelembaban relatif (RH) tertentu (RH) ditentukan oleh Persamaan 2:

$$AVP = SVP \frac{RH}{100} \quad (2)$$

VPD dapat diperoleh hanya dengan menggunakan SVP dan AVP pada Persamaan 3:

$$VPD = SVP - AVP \quad (3)$$

- c. Pengukuran nilai pH pada nutrisi tanaman menggunakan alat pH meter dengan mencelupkan alat tersebut ke dalam larutan nutrisi yang akan diukur. Sebelum digunakan pH meter dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan *buffer* standar, kemudian dibilas menggunakan cairan aquades.
- d. Pengukuran nilai TDS dan EC pada nutrisi menggunakan TDS (*Total Dissolves Solids*) meter. Celupkan ujung sensor TDS meter ke dalam larutan nutrisi yang diukur dan nilai TDS akan muncul dalam satuan ppm ppm (*Parts per million*) atau untuk nilai EC dalam satuan ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- e. Pengukuran konsumsi air yang digunakan dapat diketahui dengan mengukur ketinggian air. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung penggunaan air dalam irigasi kapiler:

$$DWC = \Delta H \times A \quad (4)$$

dimana: *DWC*: konsumsi air harian (cm^3) = ...ml; ΔH : Selisih ketinggian air (cm); dan *A*: Luas permukaan penanaman (cm^2).

Pengamatan mingguan dilakukan setiap 5 hari sekali, tujuannya untuk mengetahui parameter jumlah daun dan tinggi tanaman. Adapun untuk pengamatan akhir meliputi pengukuran luas kanopi tanaman, perhitungan bobot segar tanaman, panjang akar tanaman, dan bobot basah akar tanaman.

- a. Luas kanopi diukur menggunakan aplikasi Canopy Cover Free. Data yang diperoleh dari aplikasi berbentuk persentase (%) akan dikonversi ke dalam satuan luas (cm^2) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Luas kanopi (cm}^2\text{)} = \frac{PLK}{100} \times L \quad (5)$$

dimana: *PLK* = Persentase Luas Kanopi yang terbaca pada aplikasi (%); dan *L* = Luas Bingkai (cm^2)

- b. Panjang akar diukur dengan penggaris. Akar direntangkan di permukaan datar, lalu diukur dari pangkal hingga ujung terpanjang.
- c. Bobot basah akar diukur dengan menggantung akar tanaman pakcoy, lalu menimbanginya menggunakan timbangan digital.
- d. Produktivitas air (kg/m^3) dihitung dari hasil panen dibagi total air yang digunakan selama masa tanam untuk mengetahui efisiensi penggunaan air pada irigasi kapiler.

2.4 Analisis Data

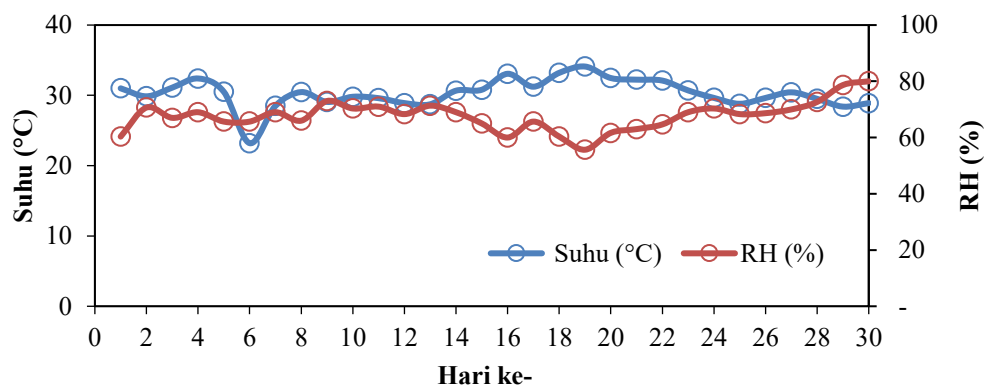
Data hasil penelitian yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap parameter yang diamati. Jika hasil analisis menunjukkan perbedaan yang nyata, maka dilakukan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf keakuratan 5% guna menentukan perbedaan antar perlakuan lebih spesifik

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Lingkungan Pertumbuhan

3.1.1 Suhu dan Kelembaban

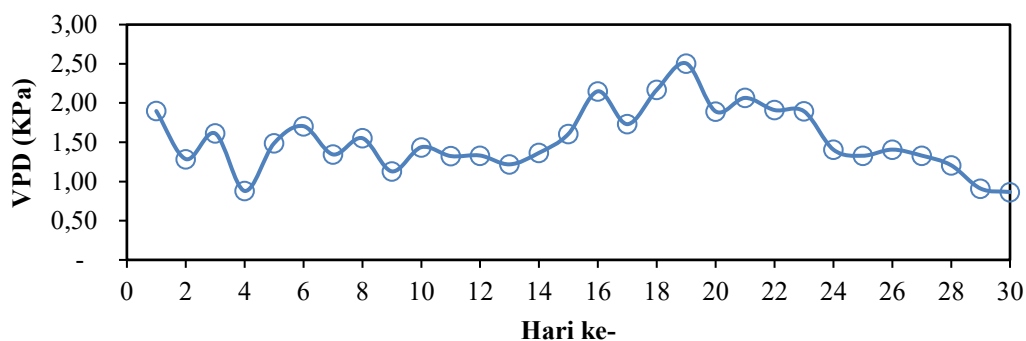
Rata-rata suhu udara di dalam *greenhouse* berkisar 23–34°C, dengan kelembaban relatif 56–80% (Gambar 2). Suhu meningkat pada siang hari, menurunkan kelembaban, dan meningkatkan risiko kelayuan akibat transpirasi tinggi. Menurut Sina *et al.* (2018), caisim tumbuh optimal pada suhu 15,6–21,1°C dan RH 80–90%. Selada membutuhkan suhu 15–25°C dan RH 81–90% (Wijaya & Fajriani, 2022). Pakcoy tumbuh pada suhu 15–30°C, namun idealnya 19–21°C dengan RH 80–90% (Cahyono, 2003). Perbedaan ini menunjukkan pentingnya menyesuaikan lingkungan tumbuh untuk setiap jenis tanaman.



Gambar 2. Suhu dan kelembaban *greenhouse*

3.1.2 Vapor Pressure Deficit (VPD)

Nilai VPD berfluktuasi dan cenderung menurun hingga 0,87 kPa pada hari ke-30 (Gambar 3), mengindikasikan peningkatan kelembaban atau penurunan suhu. Nilai tertinggi VPD (2,51 kPa) tercatat pada hari ke-19, yang dapat menurunkan konduktivitas stomata dan menghambat difusi CO₂, sehingga menurunkan efisiensi fotosintesis (Darmosarkoro *et al.*, 2001). Kisaran VPD ideal untuk pertumbuhan umumnya 0,8–1,2 kPa (Koverda, 2020).

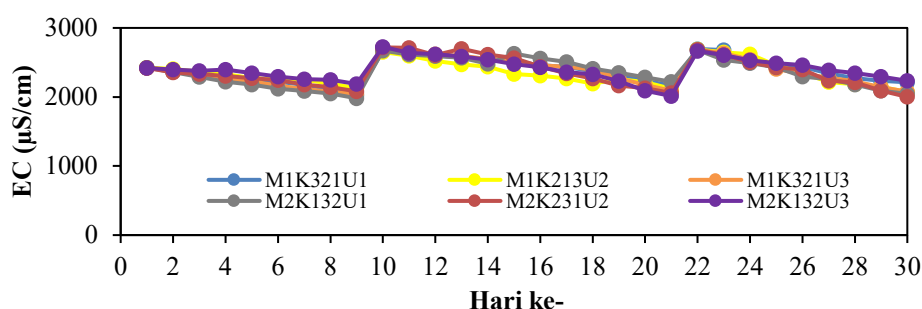


Gambar 3. Vapor pressure deficit (VPD)

3.2 Kondisi Nutrisi Tanaman

Selama 30 hari pengamatan, pH larutan nutrisi berfluktuasi antara 6,0–6,9 yang masih optimal untuk penyerapan nutrisi. Rentang ini sesuai kebutuhan selada nilai pH antara 6,0-7,0 (Muriyatmoko *et al.*, 2023), tanaman pakcoy berkisar 6,0-7,5 (Sesanti & Sismanto, 2016), dan tanaman caisim berkisar 6,0–7,0 (Winarsih *et al.*, 2012). Penurunan pH terjadi karena serapan ion oleh akar dan fotosintesis, kemudian dikoreksi dengan pH UP.

Adapun kondisi nilai EC (*electrical conductivity*) dan TDS (*total dissolves solids*) menunjukkan pola fluktuatif yang relatif seragam di semua perlakuan, dengan kisaran antara 1981 $\mu\text{S/cm}$ hingga 2695 $\mu\text{S/cm}$. Perubahan nilai EC (Gambar 4) dipengaruhi oleh interaksi antara penyerapan nutrisi oleh tanaman dan faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban. Suhu tinggi dapat meningkatkan nilai EC karena meningkatnya transpirasi yang menyebabkan konsentrasi ion dalam larutan meningkat (Rastono & Nirmala, 2019), sedangkan penurunan EC terjadi akibat penyerapan unsur hara oleh tanaman untuk mendukung pertumbuhannya. Lonjakan nilai EC yang signifikan terjadi pada hari ke-10 dan ke-22 sebagai respons terhadap penurunan nilai EC hingga batas minimum, yang diatasi dengan penambahan larutan nutrisi (AB mix). Penyesuaian ini bertujuan menjaga ketersediaan unsur hara sesuai kebutuhan tanaman agar pertumbuhan tetap optimal dan terhindar dari stres nutrisi. Kisaran EC selama pengamatan berada dalam rentang ideal bagi tanaman daun seperti caisim, selada, dan pakcoy, yang masing-masing optimal pada nilai EC sekitar 2,0–3,0 mS/cm, tergantung pada jenis tanaman dan sistem hidroponik yang digunakan.



Gambar 4. *Electrical conductivity* (EC)

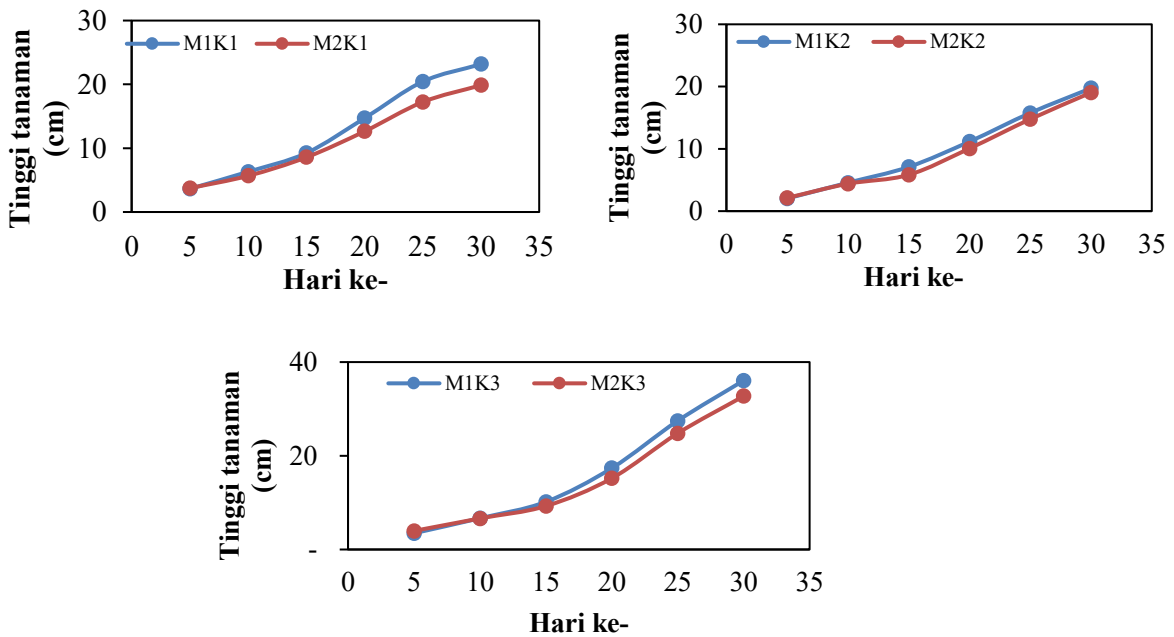
Adapun untuk nilai TDS mengikuti pola yang sama dengan Grafik nilai EC. Hal ini sesuai dengan prinsip bahwa nilai TDS merupakan representasi langsung dari nilai EC, karena keduanya mengukur kandungan zat terlarut dalam larutan nutrisi. Nilai TDS awal berada dalam kisaran 1214–1217 ppm, kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai titik terendah sebesar 982 ppm. Penurunan ini terjadi karena unsur hara digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhan akar, batang, dan daun. Untuk menjaga ketersediaan nutrisi, penambahan larutan AB mix dilakukan pada minggu kedua dan ketiga, terutama saat nilai ppm mendekati ambang batas bawah (1000 ppm). Rentang nilai TDS selama pengamatan tergolong sesuai dengan kebutuhan tanaman, nilai ppm pada tanaman pakcoy berkisar 1000-1400 ppm menghasilkan pertumbuhan yang baik (Basri & Mahmudah, 2020). Kemudian konsentrasi nutrisi pada tanaman caisim pun sama, yaitu berkisar 1000-1400 (Sriwahyuni, 2017). Sementara itu, pada tanaman selada diperoleh hasil terbaik pada konsentrasi 1200 ppm dan terefisien yaitu 1000 ppm (Perwita *et al.*, 2023).

3.3 Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman

3.3.1 Tinggi Tanaman

Pengamatan tinggi tanaman (Gambar 5) menunjukkan bahwa tinggi tanaman tertinggi diperoleh pada caisim dengan perlakuan M1K3 (16,9 cm), sedangkan tertinggi terendah tercatat pada selada dengan

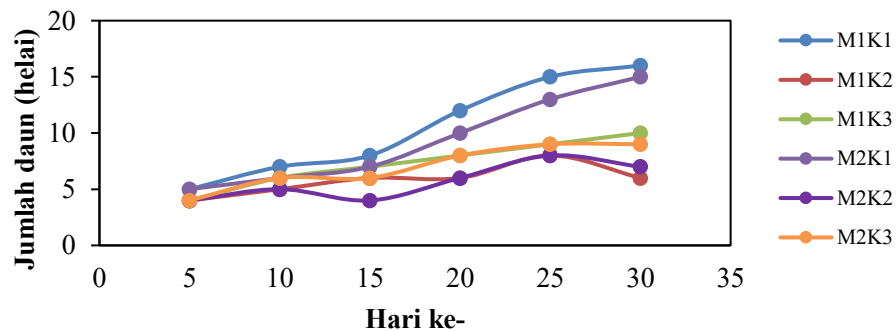
perlakuan M2K2 (9,4 cm). Pertumbuhan rendah pada M2K2 diduga akibat pencahayaan yang kurang optimal dan tingginya persaingan nutrisi. Perlakuan M1 secara umum memberikan hasil pertumbuhan lebih baik, yang menunjukkan pengaruh positif dari media dan kondisi lingkungan. Hal ini didukung oleh pernyataan A'yuningsih (2017), lingkungan yang sesuai akan dapat mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Tanah atau media tanam lainnya, kelembapan, udara, suhu, cahaya dan air merupakan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.



Gambar 5. Rata-rata tinggi tanaman

3.3.2 Jumlah Daun

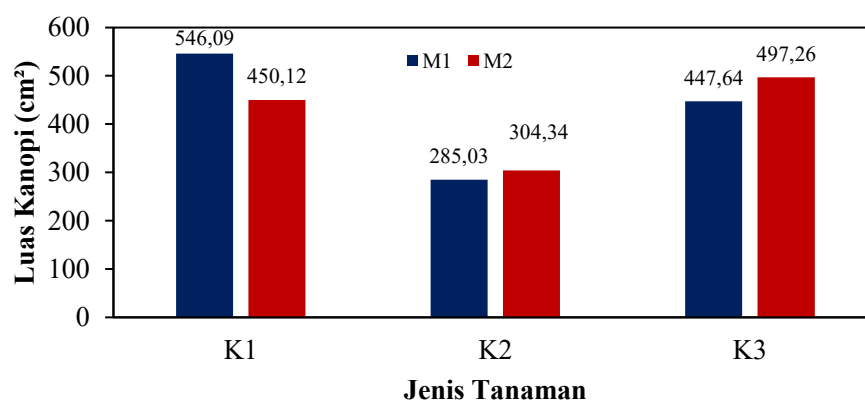
Grafik pertumbuhan jumlah daun (Gambar 6) menunjukkan bahwa seluruh perlakuan mengalami peningkatan pada awal pengamatan (5-10 HST). Namun, penurunan jumlah daun terjadi pada perlakuan M2K2 (selada) saat 15 HST akibat daun menguning dan layu. Penurunan serupa juga terjadi pada M1K2 saat HST 30 karena gejala defisiensi hara yang ditandai dengan daun berwarna kuning kecoklatan (Nugraha *et al.*, 2021). Kondisi ini disebabkan rendahnya kandungan nitrogen dan klorofil dalam tanaman. Selain itu, perubahan warna daun pada selada juga dipengaruhi oleh luas kanopi tanaman lain dalam satu bed. Tanaman pakcoy dan caisim yang memiliki kanopi lebih besar cenderung menghalangi cahaya ke tanaman selada, sehingga menghambat fotosintesis (Palimbungan *et al.*, 2006).



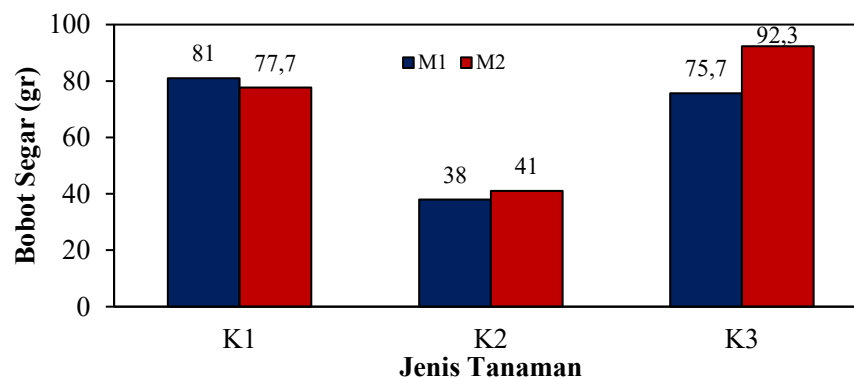
Gambar 6. Rata-rata jumlah daun

3.3.3 Luas Kanopi dan Bobot Segar Tanaman

Hasil pengamatan luas kanopi tanaman (Gambar 7) menunjukkan bahwa tanaman pakcoy (K1) pada perlakuan M1 menghasilkan luas kanopi terbesar, yaitu 546,09 cm². Sebaliknya, tanaman selada (K2) dan caisim (K3) menunjukkan luas kanopi lebih besar pada perlakuan M2, mengindikasikan bahwa respons tanaman terhadap perlakuan berbeda antar jenis. Pakcoy lebih adaptif pada M1, sedangkan selada dan caisim lebih optimal pada M2. Menurut Marginingsih *et al.* (2018), jumlah daun yang tinggi mendukung penyerapan cahaya yang lebih maksimal dan memperbesar luas kanopi melalui peningkatan fotosintat. Tanaman selada menunjukkan luas kanopi terendah, diduga akibat umur tanaman yang masih 30 HST dan tertutup oleh kanopi tanaman lain yang lebih tinggi. Kanopi yang rapat dapat menghambat penetrasi cahaya ke bagian bawah, sehingga menurunkan pertumbuhan tanaman seperti dijelaskan oleh Dharmawan & Wicaksono (2019). Dengan demikian, luas dan kepadatan kanopi berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan antar tanaman dalam sistem tanam campuran.



Gambar 7. Rata-rata luas kanopi per tanaman



Gambar 8. Pengaruh jenis tanaman terhadap bobot segar tanaman

Dalam sistem irigasi kapiler yang menggunakan media substrat, distribusi kelembaban yang merata dan ketersediaan air yang konstan sangat membantu pertumbuhan tanaman kemudian tercermin dalam berat tanaman saat panen (Gambar 8). Hasil tertinggi bobot segar diperoleh pada perlakuan M2K3 yaitu sebesar 92,3 gram. Ini menunjukkan bahwa caisim dapat memanfaatkan kelembaban dan pasokan air yang stabil dengan baik, sehingga pertumbuhan biomassa segar menjadi lebih optimal. Sebaliknya, bobot segar terendah ada pada perlakuan M1K2 sebesar 38 gram. Rendahnya hasil ini diduga karena ukuran mat yang lebih kecil menyimpan air dalam jumlah yang terbatas, sementara selada juga menunjukkan pertumbuhan yang kurang maksimal. Tanaman pakcoy (K1) menunjukkan bobot segar yang cukup tinggi dan seimbang pada kedua perlakuan, yaitu 81 gram

(M1) dan 77,7 gram (M2), yang menandakan bahwa pakcoy cukup adaptif terhadap kondisi air yang berbeda. Secara keseluruhan, pakcoy dan caisim menghasilkan bobot segar lebih tinggi dibandingkan selada. Hal ini berkaitan dengan struktur tanaman yang lebih mendukung proses fotosintesis, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, dan luas kanopi yang lebih besar. Menurut Hippy *et al.*, (2023) bobot segar sangat dipengaruhi oleh hasil fotosintesis tanaman yang bergantung pada ukuran dan jumlah daun yang dimiliki.

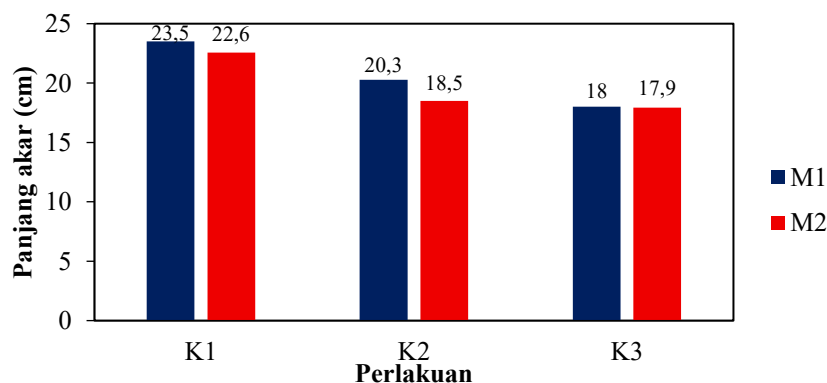
3.3.4 Panjang Akar dan Bobot Akar Tanaman

Pengamatan panjang akar bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam menyerap air dan nutrisi yang tersedia. Akar merupakan organ vegetatif utama yang memasok air, mineral dan bahan-bahan yang penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

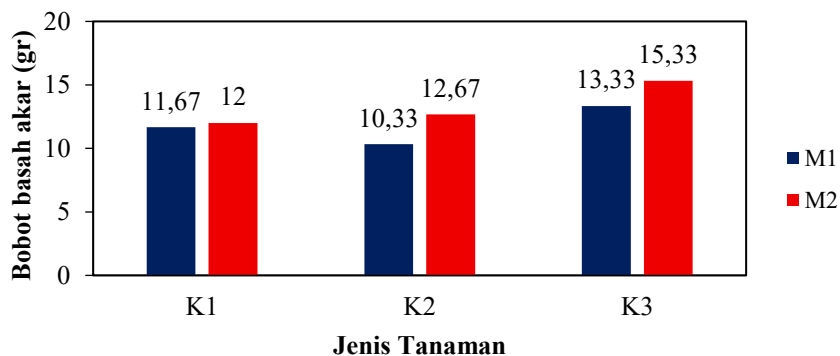
Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang akar terpanjang (Gambar 9) ditemukan pada perlakuan M1K1 (pakcoy dengan mat 50%) yaitu 23,5 cm, diikuti oleh M2K1. Sementara itu, akar terpendek tercatat pada M2K3 (caisim), yaitu 17,9 cm. Secara umum, tanaman pakcoy (K1) memiliki akar lebih panjang dibandingkan dengan selada (K2) dan caisim (K3), baik pada perlakuan M1 maupun M2. Hal ini menunjukkan bahwa pakcoy cenderung memiliki pertumbuhan akar yang lebih aktif, sebagai respons untuk menyerap air dan unsur hara yang cukup (Rahmawati *et al.*, 2019).

Jika dibandingkan dengan sistem lain, panjang akar pakcoy dalam penelitian ini hampir sama dengan hasil pada sistem aquaponik yang dilaporkan oleh Darmawan *et al.* (2023), yaitu 23,8 cm. Ini menunjukkan bahwa sistem irigasi kapiler cukup efektif dalam mendukung pertumbuhan akar pakcoy. Sebaliknya, panjang akar selada dan caisim dalam sistem ini masih lebih pendek dibandingkan dengan sistem NFT (*Nutrient Film Technique*), yang dikenal memiliki pasokan air, nutrisi, dan oksigen lebih tinggi di zona akar. Misalnya, panjang akar selada dalam sistem NFT bisa mencapai 24,2 cm (Yulita & Migusnawati, 2023), sedangkan dalam penelitian ini hanya 20,3 cm. Hal serupa terjadi pada caisim, dengan perbedaan yang cukup besar dibandingkan hasil pada sistem NFT (Isnaeni & Nasrudin, 2022).

Bobot basah akar mencerminkan kandungan air dan nutrisi di dalam jaringan akar. Oleh karena itu, pengukuran bobot basah akar bertujuan untuk mengetahui serapan air dan nutrisi. Hasil pengukuran bobot basah akar (Gambar 10) menunjukkan bahwa perlakuan M2 (mat 100% dari panjang bed) menghasilkan bobot akar lebih tinggi dibandingkan M1 (mat 50%) pada semua jenis tanaman. Hal ini mengindikasikan bahwa capillary mat yang lebih panjang mampu menyediakan air lebih merata dan stabil di zona perakaran, sehingga mendukung pertumbuhan akar yang lebih aktif. Akar yang tumbuh lebih panjang dan bercabang banyak akan memiliki volume lebih besar, sehingga meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan unsur hara (Prayogo, 2021).



Gambar 9. Rata-rata panjang akar tanaman



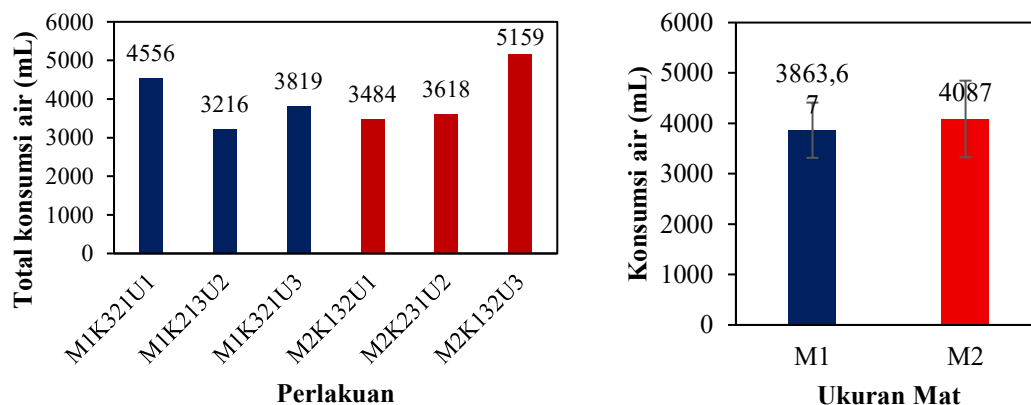
Gambar 10. Rata-rata bobot basah akar

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil bobot akar dalam studi ini menunjukkan potensi yang cukup menjanjikan. Meriaty *et al.*, (2021) melaporkan bobot akar selada sebesar 6,99 gram pada sistem hidroponik dengan arang sekam dan nutrisi AB mix. Sementara itu, Darmawan *et al.* (2023) mencatat bobot akar pakcoy sebesar 8,05 gram dalam sistem akuaponik. Isnaeni & Nasrudin (2022) bahkan mencatat bobot segar akar caisim sebesar 15,50 gram pada sistem hidroponik NFT. Meskipun sistem irigasi kapiler tidak memiliki sirkulasi nutrisi aktif seperti hidroponik atau akuaponik, hasil bobot akar pada perlakuan M1 tetap menunjukkan dukungan yang baik terhadap perkembangan akar, terutama pada pakcoy dan selada. Hal ini menandakan bahwa irigasi kapiler dengan capillary mat berukuran 50% pun masih mampu menjaga suplai air di zona akar secara efektif.

3.4 Efisiensi Penggunaan Air dan Water Productivity

3.4.1 Konsumsi Air

Konsumsi air dapat diartikan sebagai total penggunaan air yang digunakan oleh tanaman untuk proses evapotranspirasi setelah pindah tanam dan selama fase pembesaran (Wachjar & Anggayuhlin, 2013). Konsumsi air harian dihitung berdasarkan ketinggian air dalam satuan cm kemudian dikonversi ke dalam satuan ml.

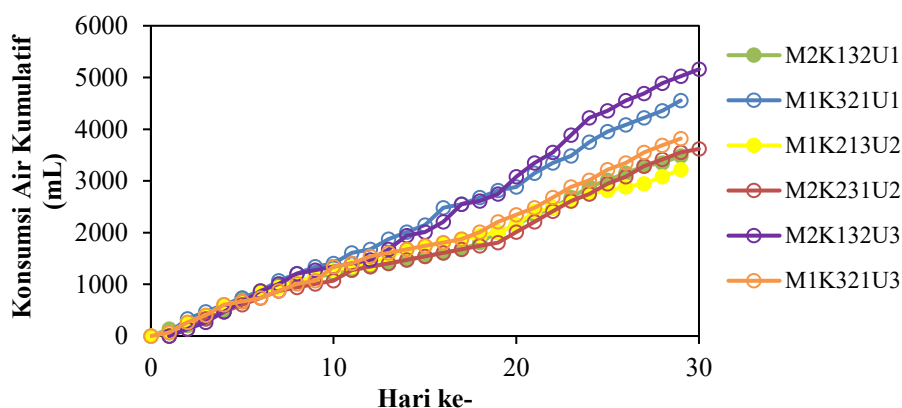


Gambar 11. (a) Total konsumsi air per box dan (b) Rata-rata konsumsi air perlakuan M1 dan M2

Pada total konsumsi air (Gambar 11a) tertinggi terlihat pada perlakuan M2K132U3 (5.159 ml) disusul dengan perlakuan M1K321U1 (4.556 ml). Hal ini diduga dipengaruhi oleh posisi bed tanam yang lebih optimal dalam menerima cahaya matahari, serta ukuran *mat* yang mampu menjaga kelembaban media secara lebih seimbang. Sementara itu, perlakuan M1K213U2 dan M2K132U1 menunjukkan konsumsi air harian yang diserap oleh tanaman lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Variasi jumlah air irigasi dan konsumsi air pada sistem irigasi kapiler bawah

permukaan mencerminkan dinamika evaporasi dan transpirasi yang dipengaruhi oleh tahap fisiologis tanaman (Syafriyandi et al., 2023). Hal ini sejalan dengan temuan Sumarni et al. (2021) bahwa kelembaban media turut menentukan laju transpirasi.

Oleh karena itu, perbedaan konsumsi air antar perlakuan juga dipengaruhi oleh jenis tanaman, kondisi iklim, serta fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Gambar 11b menunjukkan bahwa rata-rata konsumsi air hingga 30 HST pada perlakuan M1 sebesar 3868,67 mL, sedangkan M2 sebesar 4087 mL. Meskipun terdapat selisih 218,33 mL, tumpang tindih pada error bar menunjukkan bahwa perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik. Oleh karena itu, perlakuan M1 dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang lebih efisien dalam penggunaan air tanpa mengorbankan pertumbuhan tanaman, serta berpotensi menurunkan biaya operasional sistem irigasi.



Gambar 12. Konsumsi air kumulatif

Konsumsi air kumulatif (Gambar 12) meningkat seiring pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Perlakuan M2K132U3 tercatat sebagai konsumsi tertinggi, mengindikasikan bahwa penggunaan kain flanel 100% (M2) memberikan suplai air lebih besar dibandingkan 50% (M1), khususnya pada ulangan kedua dan ketiga. Diduga bahwa akar tanaman tampak tumbuh memanjang ke arah kain flanel dan hampir menyebar di areanya. Kondisi ini sangat memungkinkan terjadinya peningkatan serapan air karena akar berada langsung di area yang memiliki suplai air optimal, sehingga konsumsi air secara kumulatif menjadi lebih tinggi.

3.42 Water Productivity

Water productivity merupakan indikator efisiensi sistem irigasi yang menunjukkan seberapa besar hasil tanaman diperoleh dari jumlah air yang digunakan selama masa pertumbuhan (Syafriyandi et al., 2023).

Tabel 2. Produktivitas air hasil penelitian dan hasil jurnal

Keterangan	WP (kg/m ³)	Sumber	Jenis irigasi
<i>Hasil Penelitian</i>			
M1	48,69	Eksperimen	Kapiler
M2	49,86	Eksperimen	Kapiler
<i>Referensi</i>			
<i>Total</i>	45,58		
Pakcoy	4,35	Triana et al., 2018	Tetes
Selada	12,23	Arismunandar, 2019	NFT
Caisim	29,00	Syafriyandi et al., 2023	Kapiler

Nilai rata-rata produktivitas air pada perlakuan M1 adalah sebesar 48,69 kg/m³, sedangkan pada M2 sebesar 49,86 kg/m³. Selisih antara kedua perlakuan tersebut relatif kecil *dan tidak berbeda signifikan*. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan air pada kedua perlakuan cenderung setara. Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh pada hasil penelitian lebih tinggi dibandingkan referensi total (45,58 kg/m³) dan menunjukkan efisiensi irigasi kapiler yang baik.

3.5 Rekomendasi Penggunaan Capillary Mat

Berdasarkan hasil analisis, perlakuan M1 (penggunaan capillary mat 50% dari total panjang bed) dapat direkomendasikan sebagai alternatif yang layak untuk budidaya tanaman pakcoy dan selada. Meskipun pada caisim (K3) terlihat adanya perbedaan nyata pada luas kanopi dan bobot segar antara M1 dan M2, selisih hasil pada pakcoy (K1) dan selada (K2) hanya sekitar 5–8% dan tidak signifikan. Selain itu, parameter panjang dan bobot akar tidak menunjukkan perbedaan nyata antara kedua perlakuan, menandakan bahwa penggunaan mat 50% tetap mampu mendukung perkembangan akar secara optimal.

Dari sisi efisiensi air, perlakuan M1 menunjukkan penggunaan air yang lebih rendah namun tetap menghasilkan produktivitas air yang baik. Hal ini mengindikasikan bahwa suplai air dari mat 50% sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Keunggulan lain dari M1 adalah penghematan biaya, dengan total biaya sebesar Rp381.334,00 atau lebih rendah Rp10.640,00 dibandingkan M2. Selisih ini menjadi penting terutama jika diterapkan dalam skala produksi yang lebih luas. Oleh karena itu, perlakuan M1 dinilai lebih efisien dan ekonomis, serta cocok diterapkan dalam sistem irigasi kapiler berbasis capillary mat untuk mendukung pertanian yang berkelanjutan.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Irigasi kapiler dengan media cocopeat dan arang sekam menunjukkan efisiensi penggunaan air pada M1 (48,69 g/L) yang tidak berbeda nyata dengan M2 (49,86 g/L).
2. Penggunaan mat 50% dan 100% tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap pertumbuhan dan produktivitas pakcoy, selada, dan caisim.
3. Perlakuan M1 direkomendasikan untuk pakcoy dan selada karena lebih efisien secara ekonomi dan air.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Pilih jenis tanaman dengan periode tanam seragam untuk menghindari kerusakan akar saat panen.
2. Gunakan sistem kendali suhu dan RH otomatis di greenhouse untuk menjaga stabilitas iklim mikro.
3. Gunakan sensor ketinggian air dengan sensitivitas dan akurasi tinggi untuk menghindari kesalahan pengamatan untuk analisis konsumsi penggunaan air pada system irigasi bawah permukaan dengan capillary mat ini.

Daftar Pustaka

- A'yuningsih, D. (2017). Pengaruh faktor lingkungan terhadap perubahan struktur anatomi daun. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi Universitas Negeri Yogyakarta.*, (B) 103-110.

- Arismunandar. (2019). *Pemakaian Air Nutrisi pada Berbagai Varietas Tanaman Selada dengan Menggunakan Sistem Irigasi Nutrient Film Technique (NFT) di PT Momenta Agricultura Lambang Bandung Barat*. Politeknik Negeri Lampung.
- Basri, A. H. H., & Mahmudah, M. (2020). The effect of hydroponic nutrition levels on the growth of mustard (*Brassica sp.*) plants. *SINTA Journal (Science, Technology, and Agricultural)*. 1(1), 40-52.
- Cahyono, B. (2003). *Teknik dan strategi budidaya sawi hijau (Pai-Tsay)*. Yayasan Pustaka Nusantara. Yogyakarta.
- Darmosarkoro, W., Harahap, I. Y., & Syamsuddin, E. (2001). Pengaruh kekeringan pada tanaman kelapa sawit dan upaya penanggulangnya. *Warta PPKS*. 9(3), 83-96.
- Dharmawan, A. A., & Wicaksono, K. P. (2019). Pengaruh kepadatan kanopi kayu putih (*Eucalyptus pellita*) umur 1 dan 1,5 tahun pada komposisi gulma. *Jurnal Produksi Tanaman*, 7(7), 1339-1346.
- Hidayati, N., Hendrati, R. L., Triani, A., & Sudjino, S. (2017). Pengaruh kekeringan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman nyamplung (*Callophylum inophyllum L.*) Dan johar (*Cassia florida Vahl.*) dari provenan yang berbeda. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*. 11(2), 99-111.
- Hippy, N. A., Musa, N., & Purnomo, S. H. (2023). Respon pertumbuhan dan hasil tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) terhadap persentase naungan. *JATT*. 12(2), 43-52.
- Imanudin, M. S. & Prayitno. (2015). Pengembangan irigasi bawah tanah untuk irigasi mikro melalui metoda kapilaritas tanah. *Prosiding Seminar Nasional Swasembada Pangan*, 376-381.
- Isnaeni, S. & Nasrudin. (2022). Respon pertumbuhan dan hasil tanaman caisim (*Brassica Juncea L.*) pada sistem hidroponik berbeda. *Agro Wiralodra*, 5(2), 42-45.
- Koverda, P. (2020). *The Ultimate Vapor Pressure Deficit (VPD) Guide*. Pulse Grow. <https://pulsegrow.com/blogs/learn/vpd>
- M. Darmawan, A. Khairun Mutia, & Tuti Handayani Arifin. (2023). Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa*) dengan Sistem Hidroponik dalam Ember Pemeliharaan Ikan Lele (*Clarias*). *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 11(2), 133-141.
- Marginingsih, R. S., Nugroho, A. S., & Dzakiy, M. A. (2018). Pengaruh substitusi pupuk organik cair pada nutrisi ab mix terhadap pertumbuhan caisim (*Brassica juncea L.*) pada hidroponik drip irrigation system. *Jurnal Biologi & Pembelajarannya*. 5(1), 44-51.
- Meriaty, Sihalo, A., & Pratiwi, K. D. (2021). Pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa L.*) akibat jenis media tanam hidroponik dan konsentrasi nutrisi ab mix. *Agroprimatech*, 4(2), 75-84.
- Muriyatmoko, D., Kurnia, R., Shoffin Nahwa Utama, & Musthafa, A. (2023). Sistem monitoring jarak jauh kontrol pH tanaman selada dengan media hidroponik. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*. 11(1), 95-102.
- Mustawa, M., Abdullah, S. H., & Putra, G. M. D. (2017). Analisis efisiensi irigasi tetes pada berbagai tekstur tanah untuk tanaman sawi (*Brassica juncea*). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 5(2), 408-421.
- Noh, H., & Lee, J. (2022). The effect of vapor pressure deficit regulation on the growth of tomato plants grown in different planting environments. *Applied Sciences*. 12(7), 3667.
- Nugraha, I., Isnaeni, selvy, & Rosmala, A. (2021). Respon pertumbuhan dan hasil tanaman caisim (*Brassica juncea L.*) pada jenis dan konsentrasi POC yang berbeda. *Jurnal Agroteknologi Merdeka Pasuruan*. 5(2), 12-22.
- Palimbungan, N., Labatar, R., & Hamzah, F. (2006). Pengaruh ekstrak daun lamtoro sebagai pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman sawi. *Jurnal Agrisistem*. 2(2), 96-100.

- Pangestu, P., & Waspodo, R. S. B. (2019). Prediksi potensi cadangan air tanah menggunakan persamaan darcy di Kecamatan Dramaga, Kabupaten Bogor. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 4(1), 59-68.
- Perwita, A. W., Setyawati, E. R., & Syah, R. F. (2023). Respon tanaman selada butterhead (*Lactuca sativa* var. capitata) terhadap berbagai macam media tanam hidroponik dan dosis pupuk ab mix. *Jurnal Pertanian Agros*. 25(2), 1683-1690.
- Prayogo, J. (2021). Pengaruh kompos tanda kosong kelapa sawit dan npk 16:16:26 terhadap pertumbuhan tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di *Main Nursery* pada Media Podsolik Merah Kuning (Penelitian Lanjutan). *Skripsi*. Universitas Islam Riau. Pekanbaru.
- Rahmawati, I. D., Purwani, K. I., & Muhibuddin, A. (2019). Pengaruh konsentrasi pupuk p terhadap tinggi dan panjang akar *Tagetes erecta* L. (marigold) terinfeksi mikoriza yang ditanam secara hidroponik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 7(2), 42-46.
- Rastono, A., & Nirmala, W. K. (2019). Pengendalian nilai EC dan pH pada nutrisi selada (*Lactuca sativa* L.) hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*) di PT Hidroponik Agrofarm Bandungan. *Media Bina Ilmiah*. 13(7), 1429-1434.
- Roidah, I. S. (2014). Pemanfaatan lahan dengan menggunakan sistem hidroponik. *Jurnal Bonoworo*. 1(2), 43-50.
- Sang-Sik, N., Yong-Bee, O., Yong-Bum, K., & In-Hu, C. (2001). Development of passive nutrient supplying system and its effects on the growth of muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*. 19(3), 338-341.
- Sesanti, R. N. & Sismanto. (2016). Pertumbuhan dan hasil pakchoi (*Brassica rapa* L.) pada dua sistem hidroponik dan empat jenis nutrisi. *Jurnal Kelitbangan*. 04(01), 1-9.
- Sina, Budi, S., & Nurjani. (2018). Pertumbuhan dan hasil sawi varietas pakcoy pada kombinasi Ab-Mix dan Poc daun lamtoro secara hidroponik. *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian*. 7(3), 23-32.
- Sriwahyuni, E. (2017). Pengaruh konsentrasi nutrisi hidroponik dft terhadap pertumbuhan sayuran sawi. *Bioshell*. 6(1), 333-339.
- Sumarni, E., Hardanto, A., & Arsil, P. (2021). Effect of root zone cooling and evaporative cooling in greenhouse on the growth and yield of potato seed by aeroponics in tropical lowlands. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 23(1), 28-35.
- Syafriyandi, D., Setiawan, B. I., Arif, C., & Suwardi, S. (2023). Performance of Automatic Unpowerer Subsurface Irrigation on Water-Lettuce, Choy-Sum, and Spinach Cultivations. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*. 11(3), 268-278.
- Triana, A. N., Purnomo, R. H., Panggabean, T., & Juwita, R. (2018). Application of Drip Irrigation Using Variety of Growing Media on Pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 6(1), 1-8.
- Wachjar, A., & Anggayuhlin, R. (2013). Peningkatan produktivitas dan efisiensi konsumsi air tanaman bayam (*Amaranthus tricolor* L.) pada teknik hidroponik melalui pengaturan populasi tanaman. *Buletin Agrohorti*. 1(1), 127.
- Wijaya, A., & Fajriani, S. (2022). Pertumbuhan dan hasil selada (*Lactuca sativa* L.) pada metode hidroponik sistem sumbu dengan kerapatan naungan dan konsentrasi nutrisi yang berbeda. *Produksi Tanaman*. 10(10), 541-549.
- Winarsih, D., Prihastanti, E., & Saptiningsih, E. (2012). Kadar serat dan kadar air serta penampakan fisik produk pascapanen daun caisim (*Brassica juncea* L.) yang ditanam pada media dengan penambahan pupuk organik hayati cair dan pupuk anorganik. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*. 14(1), 25.

- Yulita & Migusnawati. (2023). Budidaya selada romaine (*Lactuca sativa* L.) dengan pemberian nutrisi Ab mix pada sistem hidroponik NFT (*Nutrien Film Technique*). *Jurnal Liefdeagro*, 1(1), 22-30.
- Yuswari, E., Kadir, M. Z., & Oktafri. (2016). Sub-irrigation application using liquid waste from crumb rubber production on tomato plants. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 5(1), 25-34.