

Optimalisasi Kinerja Irigasi Bawah Permukaan Berpori pada Budidaya Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

*Optimization of Porous Subsurface Irrigation Performance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivation*

Arjuna Neni Triana*, Mursidi, Primayoga Harsana Setyaaji, Jaya Mega Kartika, Farah Aprillia Andini

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir 30862, Indonesia

*E-mail: arjunanenitriana@fp.unsri.ac.id

Diterima: 6 Mei 2025; Disetujui: 28 Oktober 2025

ABSTRAK

Irigasi bawah permukaan berpori adalah inovasi terkini dalam pengairan, yang memungkinkan penyaluran air di sekitar akar tanaman tanpa mengalami evaporasi, aliran permukaan, maupun infiltrasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan air dengan menggunakan irigasi berpori, sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Metode penelitian yang digunakan dalam adalah metode deskriptif dan studi pustaka yang menyajikan data dalam bentuk tabel dan grafik. Parameter penelitian pada penelitian ini yaitu suhu dan kelembaban udara, sifat fisik tanah, konduktivitas hidrolis, pola sebaran, evapotranspirasi aktual (ET_c), koefisien tanaman (K_c), total kebutuhan air tanaman, efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman. Hasil pengukuran evapotranspirasi aktual tanaman pada setiap fase pertumbuhan tanaman berturut-turut yaitu 2,45 mm/hari, 3,4 mm/hari dan 1,25 mm/hari. Rerata nilai evapotranspirasi potensial tanaman (ET_o) adalah sebesar 2,49 mm/hari. Nilai koefisien tanaman (K_c) pada masa vegetatif adalah 0,9, generatif sebesar 1,3 dan generatif akhir sebesar 0,5. Total kebutuhan air tanaman tomat selama masa vegetatif yaitu 4 liter, generatif sebanyak 8,4 liter dan generatif akhir (panen) sebanyak 1,2 liter. Pola sebaran air tertinggi yaitu 3,9 cm (B8), sedangkan yang terendah nya yaitu B2 dihari pertama dengan 3,0 cm. Pada pola sebaran air yang didapatkan sebaran yg menyebarkan airnya dengan baik yaitu pada M1. Produksi tanaman tertinggi pada Q₁N₂M₂ yaitu penyiraman 2 menit dengan penambahan nutrisi 200 ppm perminggu serta media tanam campuran tanah ultisol dan cocopeat. Jumlah daun terbanyak pada sampel Q₁N₂M₂ yaitu 198 helai dan Q₂N₂M₂. Berat buah tertinggi terdapat pada sampel Q₁N₂M₂ dengan rerata berat sebesar 103,55 gram.

Kata Kunci: Evapotranspirasi; irigasi berpori; kebutuhan air; koefisien tanaman; pola sebaran

ABSTRACT

The porous subsurface irrigation is the latest innovation in irrigation, which allows the delivery of water around plant roots without evaporation, surface flow, or infiltration. This research aims to optimize the use of water by using porous irrigation, so as to increase crop productivity. The research method used in this research is descriptive method and literature study that presents data in the form of tables and graphs. The research parameters in this study are air temperature and humidity, soil physical properties, hydraulic conductivity, distribution pattern, actual evapotranspiration (ET_c), crop coefficient (K_c), total crop water requirement, water use efficiency and crop productivity. The measurement results of actual evapotranspiration of plants in each plant growth phase were 2.45 mm/day, 3.4 mm/day and 1.25 mm/day, respectively. The average value of plant potential evapotranspiration (ET_o) is 2.49 mm/day. The value of the plant coefficient (K_c) in the vegetative period is 0.9, generative of 1.3 and late generative of 0.5. The total water requirement of tomato plants during the vegetative period is 4 liters, generative as much as 8.4 liters and late generative (harvest) as much as 1.2 liters. The highest water distribution pattern is 3.9 cm (B8), while the lowest is B2 on the first day with 3.0 cm. In the water distribution pattern obtained, the distribution that spreads the water well is M1. The highest plant production was in Q₁N₂M₂, which is a 2-minute watering with 200 ppm nutrient addition per week and a mixture of ultisol soil and cocopeat planting media. The highest number of leaves was found in Q₁N₂M₂ sample with 198 leaves and Q₂N₂M₂. The highest fruit weight was found in sample Q₁N₂M₂ with an average weight of 103.55 grams.

Keywords: Evapotranspiration; porous irrigation; water demand; crop coefficient; distribution pattern

PENDAHULUAN

Teknologi dan manajemen irigasi mikro terus dikembangkan di Indonesia dalam rangka mengatasi masalah kelangkaan air serta pemanfaatan lahan rawa pada musim kemarau. Metode ini bertujuan untuk mendistribusikan air secara merata ke seluruh area perakaran tanaman, sehingga dapat memaksimalkan efisiensi penggunaan air. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa teknologi sederhana dan hemat biaya dapat diimplementasikan, dikembangkan, dan diuji oleh petani, baik yang berskala kecil maupun besar. Namun, saat ini terdapat penurunan penggunaan sistem irigasi mikro,

seperti irigasi tetes, yang disebabkan oleh tingginya biaya modal untuk pipa dan pompa bertekanan, serta biaya energi yang diperlukan untuk operasionalnya (Sokol et al., 2019). Pemberian air dalam irigasi mikro dapat dilakukan baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Sistem irigasi yang diterapkan di atas permukaan tanah termasuk dalam kategori yang sederhana, biaya rendah dan praktis untuk meningkatkan produksi tanaman di daerah kering (Mohammed et al., 2020). Namun, sistem irigasi mikro yang dipasang di bawah tanah telah terbukti lebih efektif dalam menghemat air daripada metode irigasi tetes permukaan di atas (Aydinsakir et al., 2021). Pada irigasi tetes bawah permukaan, air dikirim langsung ke area perakaran tanaman

melalui emiter, yang dapat mengoptimalkan pertumbuhan tanaman (Wang et al., 2022). Penggunaan emiter, debit aliran yang tepat, serta frekuensi irigasi yang tinggi dalam sistem ini dapat mengurangi konsumsi air dan meminimalkan penguapan dari permukaan tanah (Zinkernagel et al., 2020). Namun, sistem irigasi ini memerlukan investasi awal yang cukup besar dan pengawasan terhadap kualitas air.

Penyediaan air yang cukup dan berkualitas sangat penting untuk pertumbuhan tanaman, terutama bagi tanaman hortikultura seperti tomat (*Solanum lycopersicum* L.). Tanaman tomat dikenal sebagai tanaman yang membutuhkan banyak air untuk tumbuh dengan baik. Tingkat produksi tomat sangat bergantung pada kebutuhan air yang sesuai agar tanaman dapat berkembang optimal (Sajuri et al., 2022). Faktor iklim di Indonesia dapat menjadi hambatan dalam menghasilkan tomat berkualitas tinggi. Daerah tropis umumnya memiliki curah hujan, suhu, kelembaban udara, dan intensitas cahaya yang tinggi. Kebutuhan air yang tinggi pada tanaman tomat sering kali membuat petani melakukan penyiraman berlebihan. Dalam praktiknya, petani konvensional sering kali menyiram tanaman tomat dengan jumlah air hingga 40% lebih banyak daripada yang diperlukan (Ghifari et al., 2024).

Kebutuhan air tanaman dapat diukur melalui langkah evapotranspirasi dan evapotranspirasi dari lingkungan sekitar, yang merupakan faktor penting bagi pertumbuhan tanaman. Nilai evapotranspirasi tanaman bervariasi tergantung pada koefisien tanaman (K_c) yang berfluktuasi seiring dengan tahapan pertumbuhan. Koefisien ini sering digunakan untuk memperkirakan nilai evapotranspirasi aktual (E_{Ta}) dengan menjadikannya sebagai faktor pengali atas nilai evapotranspirasi potensial (E_{To}). Koefisien tanaman (K_c) harus diukur secara empiris untuk setiap jenis tanaman berdasarkan kegiatan budidaya dan kondisi iklim lokal. Menurut (Triana et al., 2021), nilai koefisien tanaman (K_c) dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu masa pertumbuhan tanaman dan ketersediaan air di lahan, serta sistem irigasi yang diterapkan. Koefisien tanaman padi sangat penting untuk menentukan jumlah air yang tepat yang perlu disuplai ke lahan budidaya.

Pola pembasahan tanah berperan penting dalam menentukan waktu lamanya air yang diserap tanah akibat irigasi. Untuk menciptakan kondisi optimal, jumlah air yang diberikan harus cukup untuk membasahi tanah di area perakaran hingga mencapai kondisi lapang. Penyebaran air yang efektif dalam sistem irigasi sangat menentukan keseragaman pasokan air di seluruh lahan pertanian, yang pada akhirnya mendukung pertumbuhan tanaman (Arianti et al., 2016). Sebaran air dari sistem irigasi memengaruhi seberapa banyak air yang dapat masuk ke dalam tanah. Kemampuan air untuk menembus tanah dalam keadaan jenuh dikenal sebagai konduktivitas hidrolik. Semakin tinggi nilai konduktivitas hidrolik suatu media tanam, semakin mudah air menembus tanah. Konduktivitas hidrolik juga mencerminkan kemampuan gas, cairan, dan akar tanaman untuk melewati massa dan lapisan tanah (Rasnan et al., 2021). Faktor ini berperan dalam memperbaiki sifat fisik tanah yang sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selain itu, jumlah air yang tersebar di sekitar perakaran tanaman juga dipengaruhi oleh sifat fisik tanah, seperti porositas dan infiltrasi.

Porositas menggambarkan kemudahan serta kecepatan air mengalir melalui tanah. Salah satu indikator sederhana untuk menilai kualitas struktur tanah adalah porositas total (Nuraida et al., 2021). Peningkatan laju infiltrasi sangat dipengaruhi oleh porositas tanah, di mana porositas memiliki pengaruh signifikan terhadap laju infiltrasi pada setiap jenis penggunaan lahan (Sonora et al., 2022). Produksi pertanian dapat meningkat secara signifikan berkat pengolahan tanah

yang baik. Metode pengolahan yang tepat akan membuat tanah lebih mudah diproses, sehingga meningkatkan kapasitasnya dalam menahan air dan menjaga sirkulasi udara (Karimah et al., 2020).

Metode untuk memaksimalkan konsumsi air telah diciptakan melalui pengembangan irigasi berpori bawah permukaan. Sistem ini mendistribusikan air di sekitar perakaran tanaman secara langsung, menggunakan emiter berpori yang mengatur aliran air tanpa mengalami kehilangan akibat evaporasi, limpasan, infiltrasi, atau perkolasi. Material emiter yang digunakan dirancang untuk meminimalkan kehilangan air dan menjaga kelembaban tanah (Triana et al., 2023). Emiter berpori menghasilkan aliran air yang relatif kecil, sehingga dapat menjaga keseimbangan kelembaban tanah. Pemberian air melalui sistem ini juga dioptimalkan hingga kedalaman perakaran tanaman yang bervariasi tergantung pada panjang akar dan fase pertumbuhannya (Negara et al., 2020). Salah satu cara efisien untuk menghemat air adalah penggunaan sistem irigasi bawah permukaan (Arif et al., 2021). Sistem irigasi berpori juga menjadi alternatif yang baik dalam memenuhi kebutuhan air tanaman secara optimal selama masa pertumbuhannya. Selain efisien dalam penggunaan air, irigasi berpori dapat mengurangi cekaman air dalam tanah, yang sering kali menyebabkan salinitas. Emiter yang terbuat dari material tekstil dengan konduktivitas hidrolik yang baik dapat membantu menjaga rembesan air dan kelembaban tanah.

Oleh karena itu, sistem irigasi berpori bawah permukaan sangat menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman hortikultura, khususnya tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.). Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja irigasi berpori di bawah permukaan dengan mempertimbangkan berbagai parameter, seperti kebutuhan air tanaman, koefisien tanaman, pola penyebaran air, sifat fisik tanah, serta efisiensi penggunaan air. Berdasarkan hal tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana sistem irigasi berpori bawah permukaan dapat dioptimalkan untuk mendukung pertumbuhan tanaman tomat secara efisien, dengan memperhatikan karakteristik kebutuhan air tanaman, nilai koefisien tanaman (K_c), pola distribusi air di zona perakaran, serta sifat fisik tanah yang memengaruhi infiltrasi dan kelembaban tanah.

METODOLOGI

Lokasi dan Waktu

Penelitian dilaksanakan pada Desember 2024 hingga Mei 2025 di rumah tanaman dan Laboratorium Teknik Tanah dan Air, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Penelitian menggunakan metode deskriptif analitik dengan pendekatan observasional dan pengamatan.

Alat dan Bahan

Peralatan utama meliputi sistem irigasi berpori, tensometer, thermohygrometer, ring sampel, TDS meter, timbangan digital, gelas ukur, dan stopwatch. Bahan yang digunakan mencakup benih tomat Servo F1, media tanam (arang sekam dan cocopeat), pipa PVC, selang transparan, pot tabung Marriott (kapasitas 4 liter), reservoir air (60 liter), dan bok air (10 liter).

Instalasi Irigasi Berpori

Persiapan alat dan bahan dimulai dengan menyiapkan reservoir air berkapasitas 60 liter, pipa PVC sebagai pipa utama, pipa lateral, katup penghubung, media tanam pot,

dan emiter. Pipa utama disambungkan dengan pipa lateral, lalu dihubungkan ke reservoir air guna memungkinkan aliran air menuju pipa lateral. Air mengisi emiter melalui lubang pemasukan berdiameter 4 mm dan keluar melalui lubang pengeluaran berdiameter 2 mm. Emiter berpori dipasang di bawah permukaan tanah di sekitar akar tanaman, sehingga air dapat mengalir langsung ke area perakaran dan meresap melalui bahan berpori di sekitarnya.

Suhu dan Kelembaban Udara

Pengukuran suhu dan kelembaban dilakukan di dalam rumah tanaman (greenhouse), menggunakan thermohyrometer, dimulai sejak tanaman berumur 1 Hari Setelah Tanam (HST) hingga masa panen.

Pengukuran sifat fisik tanah

Meliputi debit, kadar air, infiltrasi, perkolasi, densitas isi (bulk density), dan ruang pori. Debit aliran air dalam tanah (Q) merupakan hasil pembagian antara volume air (V) dengan waktu (t) pengaliran (Gil et al., 2008)

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Keterangan:

Q = Debit air (m³/detik)
V = volume air (liter)
t = waktu (detik)

Konduktivitas Hidrolik Tanah

Metode falling head digunakan untuk menentukan nilai konduktivitas hidrolik bahan berpori dengan mencatat penurunan muka air dalam waktu tertentu (Rosyidah et al., 2013).

$$K_{\text{bahan}} = 2.3 \times \frac{a \times l}{A \times t} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (2)$$

Keterangan:

K_{bahan} = Konduktivitas hidrolik bahan porous (cm/detik)
a = Luas permukaan buret (cm²)
l = Ketebalan sampel material (cm)
A = Luas permukaan material porous (cm²)
t = Waktu (detik)
h₁ = Tinggi awal (cm)
h₂ = Tinggi saat waktu tertentu (cm)

Pola Sebaran

Distribusi air dari emiter ke media tanam diamati secara visual dan kuantitatif menggunakan gelas ukur. Waktu pengisian dicatat untuk menggambarkan pola sebaran air secara grafik.

Evapotranspirasi Aktual (ET_c)

Evapotranspirasi aktual (ET_c) diperoleh dengan mengalikan nilai koefisien tanaman (K_c) terhadap evapotranspirasi acuan (ET_o), (Negash et al., 2024) menggunakan rumus:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (3)$$

Keterangan:

ET_c = Evapotranspirasi Aktual (mm/hari)
K_c = Faktor koefisien tanaman
ET_o = Evapotranspirasi Acuan (mm/hari)

Evapotranspirasi Acuan (ET_o)

Nilai ET_o menggunakan metode Penman-Monteith, untuk menduga laju evapotranspirasi standar berdasarkan data meteorologi.

$$ET_o = c [W.R_n + (1-W).f(u).(ea-ed)] \quad (4)$$

Keterangan:

ET_o = Evapotranspirasi acuan (mm/hari)

C = Faktor koreksi
W = Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (Tabel Penman)
R_n = Radiasi penyinaran matahari (mm/hari)
F(u) = Fungsi angin
E_a = Tekanan uap air jenuh (mbar)
E_d = Tekanan uap air nyata (mbar)
(ea-ed) = Perbedaan tekanan uap air (mbar)

Koefisien Tanaman (K_c)

Koefisien tanaman (K_c) didefinisikan sebagai rasio antara evapotranspirasi aktual (ET_c) dan evapotranspirasi acuan (ET_o) (Hanson et al., 2006). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (5)$$

Keterangan:

K_c = Koefisien Tanaman
ET_c = Evapotranspirasi Aktual (mm/hari)
ET_o = Evapotranspirasi Acuan (mm/hari)

Efisiensi Penggunaan Air

Efisiensi irigasi didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah air yang diserap tanaman dengan jumlah air yang diberikan menggunakan persamaan (Kooij et al., 2013). Persamaan efisiensi penggunaan air:

$$E_a = W_s / W_f \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

E_a = Efisiensi Penggunaan Air
W_s = Jumlah air perakaran (ml/hari)
W_f = Total jumlah air tanaman (ml/hari)

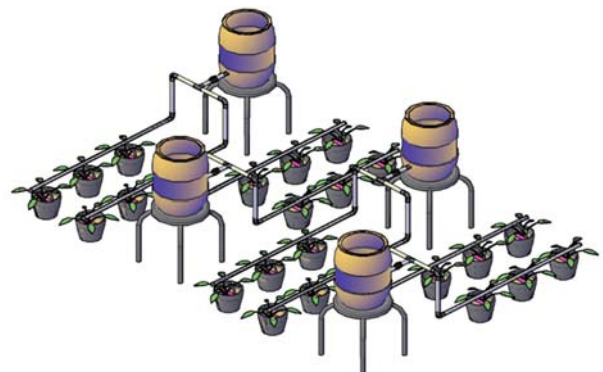
Produksi Tanaman Tomat

Pengukuran hasil produksi tanaman tomat dilakukan setiap minggu hingga mencapai panen. Hasil produksi yang dicatat mencakup beberapa aspek, yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah buah, dan berat total buah.

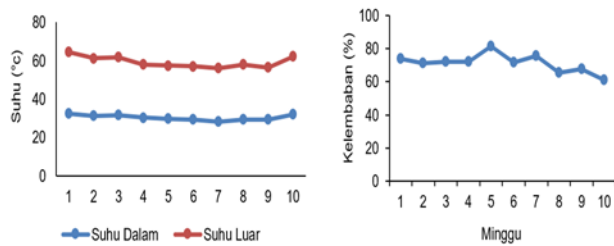
HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu dan Kelembaban

Berdasarkan pengukuran suhu di rumah tanaman selama 70 Hari Setelah Tanam (HST), yang mencakup masa vegetatif, generatif, dan generatif akhir (panen), ditemukan bahwa suhu di dalam dan di luar rumah tanaman menunjukkan perbedaan yang signifikan. Suhu di luar rumah tanaman cenderung lebih rendah dibandingkan dengan suhu di dalam. Perbedaan ini berpotensi memengaruhi pertumbuhan tanaman, karena suhu udara memainkan peran penting dalam proses transpirasi, respirasi, fotosintesis, pembuahan, dan pembusukan buah. Besarnya pengaruh suhu ini juga dipengaruhi oleh faktor lain, seperti ketersediaan air dan jenis tanaman (Nusantara et al., 2021).



Gambar 1. Rangkaian irigasi berpori bawah permukaan



Gambar 2. Suhu dan kelembaban lingkungan

Rata-rata pengukuran suhu udara di dalam rumah tanaman setiap minggu menunjukkan bahwa minggu pertama mencatat suhu tertinggi sebesar 32,5°C, sementara minggu ketujuh mencatat suhu terendah di angka 28,4°C. Di luar rumah tanaman, suhu tertinggi juga terjadi pada minggu pertama, yaitu 32,1°C, dan suhu terendah tercatat pada minggu kesembilan dengan angka 27,1°C. Secara keseluruhan, suhu terendah terjadi di luar rumah tanaman, sedangkan suhu tertinggi terdapat di dalamnya. Fenomena ini disebabkan oleh akumulasi panas yang dihasilkan dari sinar matahari yang diterima dalam ruangan tanaman.

Menurut (Amin et al., 2024), tanaman tomat varietas Servo dapat tumbuh optimal pada suhu antara 24-28°C. Oleh karena itu, apabila suhu udara dalam rumah tanaman terlalu tinggi, buah tomat yang dihasilkan cenderung memiliki warna kuning, dan jika suhu udara tidak konsisten, warna buah tomat pun menjadi tidak merata. Kelembaban udara di dalam rumah tanaman sangat berpengaruh terhadap kelembaban tanah, karena kandungan air di udara yang tinggi dapat menjadikan tanah lebih lembab. Kondisi ini mendukung pertumbuhan tanaman agar dapat berkembang secara optimal. Kelembaban udara dan tanah yang ideal untuk pertumbuhan tanaman tomat berkisar antara 60-80% (Putra et al., 2021)

Selama pengamatan 70 hari setelah tanam (HST), kelembaban rumah tanaman yang diukur setiap hari menunjukkan rata-rata maksimum sebesar 81,42% pada minggu kelima, dan rata-rata minimum sebesar 61% pada minggu terakhir. Kelembaban udara yang tinggi pada minggu kelima disebabkan oleh masuknya musim hujan yang mengurangi intensitas sinar matahari. Sebaliknya, kelembaban terendah terjadi pada saat cuaca panas dengan suhu udara yang tinggi akibat sinar matahari yang masuk ke dalam rumah tanaman. Kelembaban udara rendah meningkatkan suhu dan mempercepat transpirasi, sehingga tanaman menyerap lebih banyak air dan mineral dari tanah. Sebaliknya, kelembaban tinggi menurunkan suhu dan laju transpirasi. Rumah tanaman memerlukan kelembaban udara yang optimal untuk mencegah penguapan yang berlebihan, sehingga tanaman dapat mempertahankan kadar air di dalam organ-organ tanamannya. Penguapan dapat terjadi melalui permukaan daun dan tanah, yang berpotensi menyebabkan tanaman mengalami kekurangan air hingga akhirnya layu dan mati.

Sifat Fisik Tanah

Pengukuran sifat fisik tanah berfungsi sebagai indikator kesuburan tanah, yang mencakup beberapa aspek penting, seperti laju infiltrasi, perkolasi, berat isi tanah, ruang porositas, dan konduktivitas hidrolik. Berikut adalah hasil dari pengukuran sifat fisik tanah yang telah dilakukan:

Infiltrasi dan Perkolasi

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tingkat infiltrasi tertinggi terjadi pada media tanam tanah ultisol dan cocopeat (m3) dengan laju 5 cm/menit dalam waktu 3 menit. Sementara itu, tingkat infiltrasi terendah tercatat pada media

tanam tanah ultisol (m1), yang mencapai 3 cm/menit dalam waktu 2 menit.

Berdasarkan tabel 1, perkolasi tertinggi tercatat pada waktu 2 menit untuk M1, sementara M3 menunjukkan perkolasi terendah. Pada waktu 3 menit, M2 mencatat perkolasi tertinggi dan M3 kembali menjadi yang terendah. Hal ini menunjukkan bahwa M1, yang merupakan tanah ultisol tanpa campuran, memiliki daya serap yang baik. Di sisi lain, rendahnya perkolasi pada M3 disebabkan oleh campuran cocopeat, yang memiliki kemampuan menyerap air tinggi, sehingga mengakibatkan sedikitnya air tanah yang tersedia. Sementara itu, M2 dan M4 menunjukkan berat air tanah yang setara. Pengukuran infiltrasi dilakukan untuk memahami proses penyerapan air oleh tanah. Saat proses pembasahan berlangsung, air akan terus meresap ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman maksimal. Ketersediaan air di dalam tanah sangat penting karena akan diserap oleh akar tanaman. Beberapa faktor yang memengaruhi kecepatan infiltrasi meliputi jenis tanah, Tekstur, kedalaman lapisan, dan tingkat kelembaban sebelumnya. Infiltrasi memiliki peran penting dalam mengurangi erosi tanah, meminimalkan limpasan air, dan menjaga kadar air tanah (Hidayat et al., 2021). Laju infiltrasi terukur berkisar antara 3 cm/menit hingga 5 cm/menit, yang menandakan bahwa laju dan kapasitas infiltrasi masih berada dalam kondisi normal. Menurut (Henny et al., 2024), jika air masuk ke dalam tanah pada kedalaman antara 2,27 hingga 6,68 cm, hal itu dianggap sebagai laju infiltrasi yang cepat dalam konteks konduktivitas hidrolik tanah yang jenuh.

Pengukuran perkolasi bertujuan untuk menentukan luas area peresapan yang dibutuhkan untuk jenis tanah tertentu di lokasi percobaan, setelah air mengalir secara gravitasi dari lapisan tanah ke lapisan yang terisi air. Variasi jenis tanah di setiap wilayah menyebabkan perbedaan daya serap tanah. Ruang peresapan yang dibutuhkan untuk jumlah air tertentu berkorelasi negatif dengan daya serap tanah. Infiltrasi merujuk pada proses masuknya air ke permukaan tanah, sedangkan perkolasi adalah proses di mana air bergerak melalui profil tanah akibat gravitasi. Air bergerak ke dalam tanah melalui celah dan pori-pori pada batuan dan tanah hingga mencapai muka air tanah. Pergerakan air ini dapat terjadi secara kapiler, baik horizontal maupun vertikal di bawah permukaan tanah, sebelum akhirnya kembali ke sistem air permukaan (Aryani et al., 2023).

Berat isi tanah , Ruang Porositas, Konduktivitas Hidrolik

Pengamatan terhadap berat isi tanah bertujuan untuk menentukan nilai kepadatan tanah. Berat isi tanah adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan volume tanah, yang termasuk juga pori-pori di dalamnya. Indikator kepadatan tanah ini menunjukkan bahwa semakin padat suatu tanah, semakin tinggi pula nilai berat isinya. Hal ini berarti air akan lebih sulit mengalir dan akar tanaman lebih sulit menembus tanah tersebut. Menurut (Harahap et al., 2021), tanah mineral pada lapisan atas umumnya memiliki berat isi tanah yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah di bawahnya. Tanah yang lebih padat memiliki nilai berat isi tanah yang lebih tinggi. Nilai berat isi tanah untuk tanah mineral berkisar antara 1-0,7 gr/cm³, sedangkan tanah organik biasanya memiliki nilai berat isi tanah antara 0,1-0,9 gr/cm³.

Berdasarkan pengukuran, nilai berat isi tanah terendah tercatat pada M2 dan M4, dengan angka masing-masing sebesar 0,45 dan 0,49 gr/cm³. Sebaliknya, nilai berat isi tanah tertinggi ditemukan pada M3 dan M1, masing-masing sebesar 0,59 dan 0,58 gr/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa kepadatan berat isi tanah dalam penelitian ini tergolong rendah, terutama pada lapisan pertama yang dipengaruhi oleh tingginya kadar bahan organik. Rendahnya kandungan

bahan organik pada tanah ultisol terjadi karena sedikitnya pasir, yang menyebabkan tanah masih dapat menyerap pasir selama proses penyaringan. Tanah yang kaya akan bahan organik cenderung memiliki nilai berat isi tanah yang rendah, sedangkan sebaliknya, tanah dengan sedikit bahan organik memiliki nilai berat isi tanah yang lebih tinggi. Pada tanah ultisol di lahan terbatas, nilai berat isi tanah mencapai 0,52 gr/cm³. Ini menunjukkan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi kepadatan partikel tanah, seperti tekstur dan struktur tanah, berhubungan erat dengan kandungan bahan organik.

Rasio porositas tanah juga memberikan gambaran tentang tingkat kerapatan dan ruang pori yang tersedia. Penelitian menunjukkan bahwa nilai porositas tertinggi mencapai 88% (M3, campuran tanah ultisol dan cocopeat), sedangkan nilai terendah adalah 77% (M1, tanah ultisol). Kedua nilai ini masuk dalam kategori tinggi, menandakan kemampuan media tanam tersebut untuk menyerap air dan nutrisi secara optimal, tanpa mengalami kepadatan pada ruang porinya. Menurut (Banunaek et al., 2025), tanah dengan porositas rendah seringkali memiliki keterbatasan dalam menyerap air dan nutrisi. Ketika tanah terlalu padat dan minim pori, akar tanaman menghadapi kesulitan dalam memperoleh air dan unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Oleh karena itu, nilai porositas yang tinggi pada semua media tanam dalam penelitian ini memberikan keuntungan, karena sistem irigasi berpori dapat menyimpan dan mendistribusikan air di sekitar akar tanaman, menjaga kelembapan tanah tetap optimal.

Pengukuran konduktivitas hidrolik tanah dengan sistem irigasi berpori bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan tanah dalam menyerap air dengan metode tinggi muka air. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai konduktivitas

hidrolik tertinggi ditemukan pada M2 dan M4, yakni 6,35 cm/jam dan 6,37 cm/jam, sedangkan nilai terendah pada M1 dan M3 masing-masing sebesar 5,30 cm/jam dan 5,32 cm/jam. Pemilihan material poris didasarkan pada kedekatannya dengan nilai konduktivitas hidrolik tanah.

Analisis konduktivitas hidrolik pada irigasi berpori dengan media material flannel menunjukkan nilai 4,68 cm/jam (Triana et al., 2023). Nilai ini mencerminkan pola pembasahan tanah yang berkaitan dengan penyerapan air oleh akar, di mana konduktivitas hidrolik tanah lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas hidrolik material tekstil. Tanah dengan konduktivitas hidrolik yang tinggi memungkinkan air meresap dengan cepat, sehingga sangat sesuai untuk tanaman yang memerlukan kelembapan tanah yang merata tanpa terjebak dalam genangan yang terlalu lama (Putranto et al., 2019).

Evapotranspirasi Aktual (ETc)

Pengukuran nilai evapotranspirasi aktual tanaman (ETc) dilaksanakan untuk menentukan kebutuhan air tanaman tomat di setiap fase pertumbuhannya, sehingga hasil panen dapat dioptimalkan. Hasil pengukuran nilai evapotranspirasi aktual tanaman (ETc) diukur setiap satu minggu sekali dan telah dirata-ratakan secara berturut-turut pada masa vegetatif, generatif dan generatif akhir (panen) yaitu 2,45 mm/hari, 3,4 mm/hari dan 1,25 mm/hari. Nilai ETc pada masa generatif merupakan nilai terbesar dalam fase pertumbuhan tanaman. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan air tanaman yang meningkat untuk memenuhi metabolisme dan energi tanaman saat memasuki fase pembungaan dan pembuahan serta fotosintesis tanaman agar produktivitas tanaman optimal.

Tabel 1. Infiltrasi dan perkolasi

Waktu (Menit)	Laju Infiltrasi (cm/menit)				Perkolasi (gr)			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
2	3	3,5	3,4	3,6	1,575	1,625	1,3	1,575
3	3,8	3,9	5	5	2,525	2,575	2,25	2,525

M1= tanah ultisol; M2 = tanah ultisol dan arang sekam; M3 = tanah ultisol dan cocopeat; M4 = tanah ultisol, arang sekam dan cocopeat

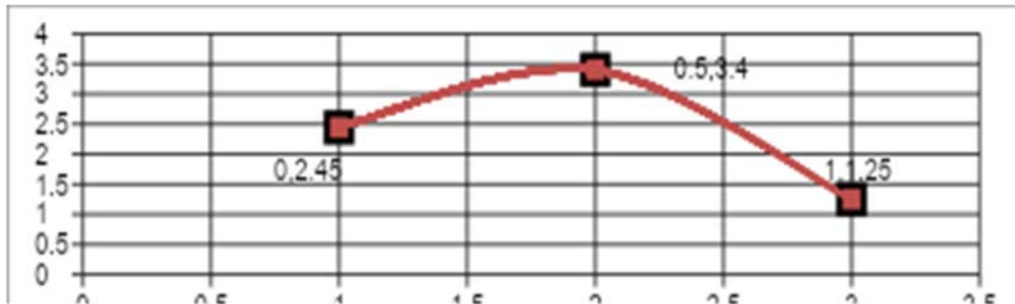
Tabel 2. Berat isi tanah, porositas, konduktivitas hidrolik

Pengukuran	Berat Isi Tanah (gr/cm ³)	Porositas (%)	Konduktivitas Hidrolik Tanah (cm/jam)
M1	0,58	77	5,30
M2	0,45	83	6,35
M3	0,59	78	5,32
M4	0,49	81	6,37

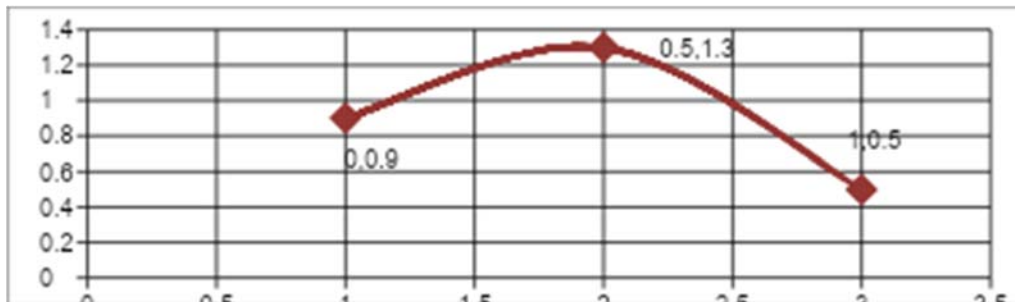
M1= tanah ultisol; M2 = tanah ultisol dan arang sekam; M3 = tanah ultisol dan cocopeat; M4 = tanah ultisol, arang sekam dan cocopeat

Tabel 3. Total kebutuhan air tanaman

Fase Tanaman	ETo (mm/hari)	ETC (mm/hari)	Kc	Kebutuhan Air (ml/hari)	Total Kebutuhan Air (liter)
Vegetatif (28 hari)	2,49	2,45	0,9	173	4,8
Generatif (35 hari)	2,49	3,40	1,3	240	8,4
Panen (14 hari)	2,49	1,25	0,5	88	1,2
Massa tanam 70 hari				Total Kebutuhan Air	14,4 liter



Gambar 3. Nilai evapotranspirasi aktual (ETc)



Gambar 4. Nilai koefisien tanaman (Kc)

Evapotranspirasi tanaman aktual (ETc) untuk tanaman tomat menggunakan sistem fertigasi autopot dengan berbagai media tanam untuk seluruh fase pertumbuhan tanaman memiliki nilai sebesar 284,55 mm/hari dengan tinggi media tanam 6 cm, 272,55 mm/hari dengan tinggi media tanam 10 cm dan dengan tinggi media tanam 15 cm adalah sebesar 269,73 mm/hari. Perbedaan nilai ini dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti sistem irigasi yang menyalurkan air ke tanaman, media tanam, nilai ETc dan juga nilai ET_o (Bafdal et al., 2021)

Koefisien Tanaman

Nilai koefisien tanaman merupakan perbandingan antara nilai evapotranspirasi aktual (ETc) dengan evapotranspirasi potensial (ET_o) yang telah didapatkan sebelumnya. Koefisien tanaman (Kc) pada setiap fase pertumbuhan menunjukkan nilai yang beragam. Pada fase vegetatif, nilai Kc tercatat sebesar 0,9, kemudian meningkat menjadi 1,3 saat memasuki fase generatif. Namun, menjelang fase generatif akhir atau saat panen, nilai Kc kembali menurun menjadi 0,5. Nilai koefisien tanaman tertinggi ditemukan pada fase generatif, sementara nilai terendah ada pada fase generatif akhir. Peningkatan nilai Kc selama fase generatif disebabkan oleh kebutuhan air tanaman tomat yang meningkat untuk mendukung proses pembungaan, pembentukan buah, dan pengisian buah. Setelah proses pembentukan buah selesai pada fase generatif akhir, kebutuhan air tanaman pun berkurang, sehingga nilai Kc juga menurun.

Penelitian oleh (Soerya et al., 2020), nilai Kc tanaman tomat yang diterapkan dengan sistem fertigasi autopot menunjukkan hasil yang berbeda: pada fase vegetatif, nilai Kc berkisar antara 0,7-0,8, meningkat menjadi 1,15 pada fase generatif, dan kemudian turun menjadi 0,9 pada fase generatif akhir. Perbedaan nilai Kc ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk media tanam yang digunakan, jenis irigasi, serta kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban udara yang lebih tinggi di dalam ruangan tanam.

Total Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air tanaman dipengaruhi oleh evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi aktual yang

dihasilkan oleh tanaman, yang pada gilirannya menghasilkan nilai koefisien tanaman. Total kebutuhan air untuk tanaman pada setiap fase pertumbuhan dihitung berdasarkan ET_o sebesar 2,49.

Pada fase vegetatif, nilai ETc tercatat sebesar 2,45 dengan Kc sebesar 0,9. Kondisi fase ini, tanaman memerlukan air sebanyak 173 ml per hari, sehingga total kebutuhan air selama 28 hari mencapai 4,8 liter. Saat memasuki fase generatif, kebutuhan air tanaman meningkat menjadi 240 ml per hari, dengan total kebutuhan selama 35 hari mencapai 8,4 liter dengan nilai ETc adalah 3,4 dan Kc sebesar 1,3. Namun, pada akhir fase generatif, nilai ETc dan Kc mengalami penurunan menjadi 1,25 dan 0,5. Kebutuhan air juga menurun menjadi 88 ml per hari, dengan total kebutuhan 14 hari sebesar 1,2 liter.

Penggunaan sistem irigasi berpori menunjukkan kebutuhan air yang lebih efisien dibandingkan metode irigasi lainnya. Menurut (Ghifari et al., 2024), kebutuhan air tanaman tomat dengan penyiraman 100% ETc pada fase vegetatif adalah 480 ml per hari, sedangkan pada fase generatif sampai panen mencapai 1100 ml per hari.

Penelitian oleh (Imanudin et al., 2021) menunjukkan bahwa dengan sistem irigasi cube, perkiraan kebutuhan air tanaman adalah 730 ml yang diberikan setiap tiga hari, yang berarti kebutuhan harian menjadi sekitar 243 ml. Sistem irigasi porous lebih hemat air karena dapat menyalurkan air langsung ke daerah perakaran tanaman secara perlahan, menjaga kelembapan tanah disekitar perakaran.

Efisiensi Penggunaan Air

Efisiensi penggunaan air diperoleh dari perbandingan antara jumlah air yang disalurkan dan jumlah air yang diterima serta disimpan oleh tanaman. Efisiensi penggunaan air pada masing-masing sampel menunjukkan hasil yang bervariasi, yaitu 89,50%, 90,66%, 86,50%, 87,57%, 80,00%, 90,95%, 85,80%, dan 86,62%. Sampel Q1N2M2 mencatat efisiensi tertinggi, mencapai 90,95%, sementara sampel Q2N2M1 mencatat efisiensi terendah yaitu 85,80%.

Sampel Q1N2M2 berhasil menjaga kebutuhan air untuk tanaman tomat tetap terpenuhi di setiap fase pertumbuhan, sehingga produktivitas hasil panen dapat meningkat. Pemberian air selama dua menit dengan media tanam tanah

ultisol dan cocopeat terbukti lebih efisien dan optimal, mengurangi risiko kelebihan air yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Sebaliknya, sampel Q2N2M1 dengan nilai efisiensi terendah menunjukkan bahwa penyiraman selama tiga menit menggunakan media tanam tanah ultisol dan arang sekam cenderung kurang efisien, berpotensi menyebabkan tanaman kelebihan air. Hal ini dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, menyebabkan busuk akar dan daun menguning. Oleh karena itu, pemilihan media tanam dan waktu penyiraman menjadi faktor penentu yang signifikan dalam efisiensi penggunaan air.

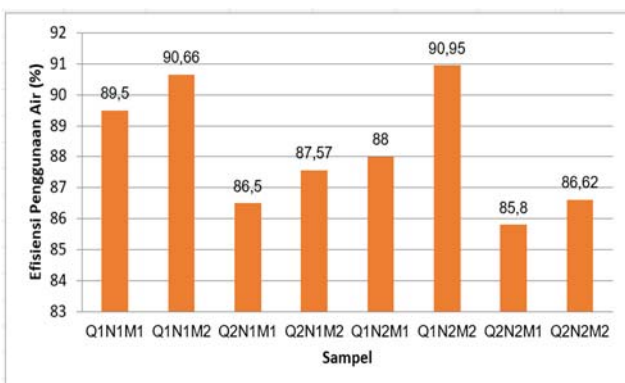
Rata-rata efisiensi penggunaan air pada sampel M1 (tanah ultisol dan arang sekam) tercatat lebih rendah dibandingkan dengan sampel M2 (tanah ultisol dan cocopeat). Cocopeat, yang memiliki bobot ringan dan kemampuan menyerap tinggi, dapat menyimpan air serta nutrisi yang mengandung unsur hara. Selain itu, struktur pori-porinya memfasilitasi pertukaran udara dan masuknya sinar matahari. Cocopeat juga memiliki tekstur halus yang tidak melukai akar tanaman dan mampu mengikat akar dengan baik. Sementara itu, arang sekam, meskipun mampu mengikat air, tidak seefisien cocopeat karena strukturnya yang kurang stabil, sehingga meningkatkan risiko kehilangan air dan hara melalui drainase berlebih dan penguapan (Ezperanza et al., 2023).

Pola Sebaran Air

Pengukuran pola sebaran air dilakukan untuk memahami proses distribusi air dalam sistem irigasi berpori. Dengan mempelajari pola sebaran ini, kita dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi pemborosan, serta meminimalkan kerusakan pada tanaman akibat kelebihan atau kekurangan air. Sistem irigasi bawah permukaan mampu memberikan penyebaran air yang lebih terkontrol dan merata, karena air disalurkan langsung ke akar tanaman (Putra & Saptomo., 2022).



Gambar 5. Pertumbuhan tanaman tomat dengan irigasi berpori bawah permukaan



Gambar 6. Efisiensi penggunaan air

Pengukuran sebaran air dilakukan dengan menggunakan koordinat titik x dan y, yang diambil berdasarkan sebaran air yang dialirkan oleh pipa lateral. Hasil pengukuran ini menunjukkan pada titik M1, sebaran air tertinggi tercatat pada koordinat (2, 8, 48) dan titik terendah pada (-4, 3, 2). Hal ini disebabkan oleh jenis tanah pada M1 yang merupakan ultisol tanpa campuran, sehingga sebaran air di M1 lebih tinggi dengan media tanam lainnya. Sementara itu, pada M2, titik sebaran tertinggi berada pada koordinat (17, 45) dan titik terendah di (9, 10). Pada M2, sebaran air dipengaruhi oleh campuran arang sekam dengan tanah ultisol, sehingga sebaran air di M2 lebih rendah dibandingkan dengan M1. Pada M3, titik dengan sebaran air tertinggi berada di koordinat (-10, 32), sedangkan titik terendah berada di (-2, 2, 2). Hal ini disebabkan oleh jenis tanah pada M3 yang merupakan ultisol yang dicampur dengan cocopeat. Kombinasi cocopeat dengan tanah ultisol mampu menyerap air dengan baik (Triana et al., 2018). Sebaran air pada titik terendah di M3 lebih kecil dibandingkan dengan M1 dan M2. Selanjutnya, pada M4, titik sebaran air tertinggi tercatat di (7, 5, 34), dengan titik terendah di (4, 7).

Sebaran air pada M4 berasal dari tanah ultisol yang dicampur dengan dua media tanam, yaitu cocopeat dan arang sekam, dengan perbandingan 4:2:2. Oleh karena itu, sebaran air di M4 lebih tinggi dibandingkan dengan M3. Menurut penelitian (Hutabarat et al., 2020), pola sebaran air dipengaruhi oleh keberadaan air tanah yang berasal dari permukaan.

Produksi

Rata-rata pertumbuhan tinggi tanaman tomat dalam penelitian ini berkisar antara 74,1 cm hingga 81,1 cm. Sampel Q1N1M1 mencatat rerata pertumbuhan terendah dengan tinggi tanaman mencapai 74,1 cm, sedangkan sampel Q1N2M2 menunjukkan pertumbuhan tertinggi dengan rata-rata mencapai 81,1 cm.

Percobaan menunjukkan hasil pertumbuhan terbaik pada tanaman dengan perlakuan penyiraman selama 2 menit setiap hari, ditambah nutrisi sebanyak 200 ppm per minggu, yang dimulai dari kadar 700 ppm. Media tanam yang digunakan adalah campuran tanah ultisol dan cocopeat. Sampel Q1N2M2, yang memanfaatkan kombinasi tanah ultisol dan cocopeat, menunjukkan rerata pertumbuhan yang paling tinggi. Hal ini disebabkan campuran tersebut mampu mendorong pertumbuhan tinggi tanaman tomat secara optimal. Penggunaan cocopeat membantu menyerap air secara maksimal sehingga air dan nutrisi dapat langsung diserap oleh akar tanaman, tanpa terbuang sia-sia. Cocopeat diketahui dapat menyerap dan menyimpan air hingga sepuluh kali lipat dari berat keringnya (Siloinyanan et al., 2024).

Jumlah daun pada tanaman tomat dihitung setiap minggu sejak 1 HST (hari setelah tanam) hingga masa panen. Proses penghitungan dilakukan dengan menghitung setiap helai daun pada tanaman dalam setiap sampel percobaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rerata jumlah daun pada tanaman tomat selama 70 hari adalah yang terbanyak pada sampel Q1N2M2 dengan 198 helai, sedangkan sampel Q2N2M2 memiliki jumlah terendah yakni 124 helai. Kedua sampel tersebut menggunakan waktu penyiraman yang bervariasi, yaitu dua dan tiga menit, dengan pemberian nutrisi yang serupa serta media tanam yang terdiri dari campuran tanah ultisol dan cocopeat. Peran cocopeat sangat signifikan dalam mendukung pertumbuhan tanaman tomat karena kandungan unsur hara yang terdapat di dalamnya sangat mendukung perkembangan tanaman (Kalsumy dan Nihayati., 2018). Meskipun cocopeat sangat baik dalam menyerap dan menyimpan air, penyiraman

selama tiga menit ternyata menjadi tidak efisien dan efektif. Hal ini disebabkan media tanam menjadi jenuh dengan air akibat kelebihan pasokan, yang mengakibatkan pertumbuhan tanaman tidak optimal. Sesuai dengan penjelasan dari (Zulkarnain et al., 2017), tanaman tomat memerlukan media tanam dengan aerasi yang baik untuk memastikan produktivitasnya dapat maksimal.

Mengenai berat buah, sampel Q1N2M2 mencapai rerata tertinggi sebesar 103,55 gram, sementara berat terendah terdapat pada sampel Q2N2M1 dengan rerata 58,44 gram. Rerata berat buah yang optimal diperoleh dari penggunaan media tanam campuran tanah ultisol dan cocopeat dengan nutrisi yang dimulai dari 700 ppm dan penyiraman selama dua menit. (Wulansari et al., 2022) menegaskan bahwa cocopeat memiliki kapasitas luar biasa dalam menyimpan air, dapat menyimpan air hingga sembilan kali lipat lebih banyak dari volume awalnya.

Penyiraman yang dilakukan selama dua menit pada media tanam ultisol dan cocopeat merupakan kombinasi yang efektif untuk meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Sebaliknya, arang sekam meskipun baik dalam aerasi dan drainase, memiliki kandungan nutrisi yang rendah, khususnya NPK. Hal ini membuatnya kurang efektif sebagai media tanam, terutama pada fase generatif di mana tanaman memerlukan lebih banyak nutrisi untuk tumbuh optimal (Sitinjak et al., 2022). Sampel Q1N2M2

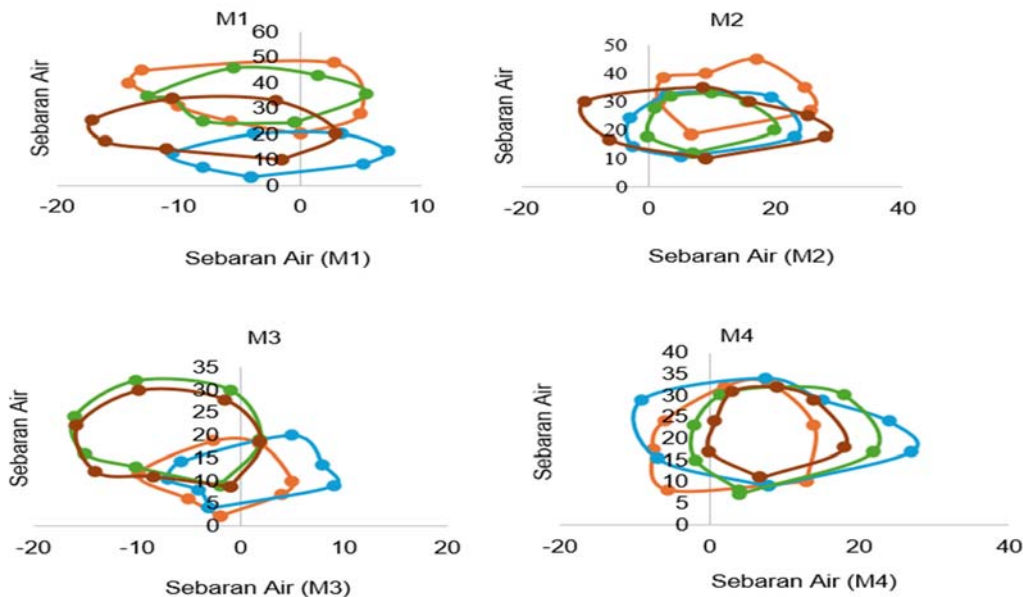
mencatat jumlah buah terbanyak dengan rata-rata mencapai 11 buah. Sebaliknya, sampel Q2N1M2 memiliki jumlah buah paling sedikit, yaitu rata-rata 6 buah setelah tiga kali panen. Tanaman tomat yang menunjukkan hasil terbaik tersebut mendapat perlakuan penyiraman selama dua menit, serta ditanam pada media ultisol dan cocopeat. Selain faktor tersebut, varietas Servo F1 juga berperan penting dalam jumlah buah yang dihasilkan. Menurut penelitian (Sari et al., 2023), tomat varietas Servo F1 dapat beradaptasi dengan baik di daerah dataran rendah dan dapat menghasilkan antara 31 hingga 35 buah per tanaman.

KESIMPULAN

Sistem irigasi berpori bawah permukaan terbukti efektif dalam memenuhi kebutuhan air tanaman tomat secara presisi pada setiap fase pertumbuhan. Nilai ETc dan Kc menunjukkan pola fluktuatif yang selaras dengan dinamika fisiologis tanaman. Efisiensi penggunaan air tertinggi (90,95%) tercapai pada kombinasi media ultisol dan cocopeat dengan durasi penyiraman 2 menit. Pola sebaran air yang merata dan hasil pertumbuhan terbaik pada perlakuan tersebut menunjukkan bahwa sistem ini mampu meningkatkan efisiensi irigasi sekaligus mendukung produktivitas tanaman secara optimal.

Tabel 4. Tinggi tanaman, jumlah daun, berat buah dan jumlah buah

Pengukuran	Tinggi Tanaman (cm)	Jumlah Daun (helai)	Berat Buah (cm/jam)	Jumlah Buah
Q1N1M1	74,1	159	87	8
Q1N1M2	78	139	88	7
Q2N1M1	80.4	163	79	9
Q2N1M2	80,4	180	84	6
Q1N2M1	77,3	138	99	10
Q1N2M2	81,1	198	104	11
Q2N2M1	77,6	149	58	8
Q2N2M2	76,9	124	66	9



Gambar 7. Pola sebaran air irigasi berpori

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. A. A., Rismawan, T., & Nirmala, I. (2024). Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Untuk Pertanian Tanaman Tomat Menggunakan Metode Pulse Width Modulation (PWM). *Jurnal Komputer Dan Aplikasi*, 12(02), 134–145. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26418/coding.v12i2.86327>
- Arif, C., Setiawan, B. I., Saptomo, S. K., Matsuda, H., Tamura, K., Inoue, Y., Hikmah, Z. M., Nugroho, N., Agustiani, N., & Suwarno, W. B. et al. (2021). Performances of sheet-pipe typed subsurface drainage on land and water productivity of paddy fields in Indonesia. *Water (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/w13010048>
- Aryani, D., Jusriadi, J., & Ildal, F. (2023). Rancang Bangun Alat Uji Perkolasi Tanah Berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi Elektroika*, 20(1), 44. <https://doi.org/10.31963/elektroika.v20i1.4299>
- Arianti, V., Suhardi., Prawitosari, T. 2016. Pola Pembasahan Oleh Tetesan Pada Beberapa Tekstur Tanah. *Jurnal Agritechno*. 9 (1): 70-77.
- Bafdal, N. (2021). Pengaruh Nilai Koefisien Tanaman (Kc) Pada Tanaman Tomat Cherry (Solanum L.Var. Cerasiforme) Dengan Sistem Fertigasi Menggunakan Autopot Pada Beberapa Tinggi Media Tanam. *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi Dan Ilmu Pertanian*, 5(2), 164–171. <https://doi.org/10.31289/agr.v5i2.5456>
- Ezperanza, P., Suryadi, E., & Amaru, K. (2023). Penggunaan Komposisi Media Tanam Arang Sekam, Cocopeat Dan Zeolit Pada Sistem Irigasi Tetes Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Melon. *Journal of Integrated Agricultural Socio-Economics and Entrepreneurial Research*, 1(2), 19-24. <https://doi.org/10.26714/jiasee.1.2.2023>
- Ghifari, M. A., Kusumiyati, K., & Hamdani, J. S. (2024). Pengaruh perbedaan jenis bangunan pertanian dan volume penyiraman terhadap pertumbuhan, hasil, dan kualitas tomat ceri (Solanum lycopersicum var. cerasiforme). *Journal of Agricultural Sciences*, 22(1), 55–74. <https://doi.org/10.32528/agritrop.v22i1.1852>
- Gil, M., Rodríguez-Sinobas, L., Juana, L., Sánchez, R., & Losada, A. (2008). Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application. *Irrigation Science*, 26(6), 451-458. <https://agris.fao.org/search/en/providers/125087/records/674890287625988a371d954c>
- Harahap, F.S., Oesman, R., Fadhillah, W., Nasution, A.P. 2021. Penentuan Berat isi tanah Ultisol Di Lahan.
- Hanson, B. R., & May, D. M. (2006). Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural Water Management*, 81(3), 381-399. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377405002027>
- Praktek Terbuka Universitas Labuhanbatu. *Jurnal ilmu pertanian*. 6 (2): 56-59.
- Hidayat, A., Agung Wibowo, M., Utomo Dwi Hatmoko, J., Kistiani, F., Hermawan, F., Sentik Herman Merukh, S., & Zachari, M. (2021). Pembuatan Biopori Sebagai Upaya Peningkatan Laju Infiltrasi Dan Cadangan Air Tanah Serta Pengendalian Banjir. *Jurnal Pasopati*, 3(3), 129. <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pasopati>
- Henny, H., Dianita, R., & AR, A. (2024). Dampak Penggunaan dan Pengolahan Tanah dalam Usahatani Sayuran Terhadap Infiltrasi Tanah Andisol di Kabupaten Kerinci. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 24(1), 214. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v24i1.5024>
- Hutabarat, L. O., Fajriani, & Putra, R. A. (2020). Identifikasi Pola Sebaran Air Tanah di Gampong Lengkonng Melalui Anomali Self-Potential. *Jurnal Hadron*, 2(02), 43–48.
- Imanudin, M. S., Bakri, B., Priatna, S. J., & Kozri, B. (2021). Aplikasi Irigasi Cube Untuk Budidaya Tanaman Tomat Mendukung Smart Irigasi Daerah Perkotaan. *Seminar Nasional Hari Air Sedunia*, 3(1), 6–9. <http://conference.unsri.ac.id/index.php/seminasnas/article/view/2103>
- Kooij, S., Zwarteveen, M., Boesveld, H., & Kuper, M. (2013). The efficiency of drip irrigation unpacked. *Agricultural Water Management*, 123, 103-110. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2013.03.014>
- Kalsumy, U., & Nihayati, E. (2018). Pengaruh Interval Fertigasi dan Perbedaan Media Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tomat Cherry (Lycopersicum cerasiformae Mill.) dengan Sistem Hidroponik. *Jurnal Produksi Tanaman*, 6(11), 2903–2909.
- Karimah, N., Sugandi, W.K., Thoriq, A. 2020. Analisis Efisiensi Kinerja pada Aktivitas Pengolahan Tanah Sawah secara Manual dan Mekanis. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 8(1): 1-13. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2020.008.01.01>
- Lestari, N. M. I., Abdullah, S. H., & Priyati, A. (2019). Analisis Uji Kinerja Emitter Cincin (Ring Irrigation) Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (Brassica rapa L). *Jurnal Universitas Mataram*, 03, 345–351.
- Mohammed, M.E.A., Alhajhoj, M.R., Dinar, H.M.A., and Munir, M. Impact of a Novel Water-Saving Subsurface Irrigation.pdf," *Agronomy*, vol. 10,1265, pp. 1–17, 2020. [doi:10.3390/agronomy10091265](https://doi.org/10.3390/agronomy10091265).
- Negara, I. dewa G. J., Budianto, M. B., Supriyadi, A., & Saidah, H. (2020). Analisis Kebutuhan Air Tanaman Dengan Metode Caoli Pada Tanaman Tomat Dengan Irigasi Tetes Di Lahan Kering Lombok Utara. *GANEC SWARA*, 14(1). <https://doi.org/10.35327/gara.v14i1.116>
- Nuraida, Alim, N., Arhim, M. 2021. Analisis Kadar Air, Bobot Isi dan Porositas Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan. *Jurnal Alauddin*. 357-361.
- Nusantara, E. V., Ardiansah, I., & Bafdal, N. (2021). Desain Sistem Otomatisasi Pengendalian Suhu Rumah Kaca Berbasis Web Pada Budidaya Tanaman Tomat. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 9(1), 34–42. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2021.009.01.05>
- Negash, T. W., Tefera, A. T., Ashemi Bikila, G., Tezera Bizuneh, K., Awulachew, T. W., & Gurms Dinku, A. (2024). Determination of Evapotranspiration and Crop Coefficient for Tomato by Using Non-Weighing Lysimeter in Semiarid Region. *Air, Soil and Water Research*, 17, 11786221241291313. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/11786221241291313>
- Gustya Putra, A., & Saptomo, S. K. (2022). Water dan Carbon Footprint pada Budidaya Tanaman Padi dengan Sistem Otomatisasi Model Irigasi Bawah Permukaan. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(1), 33–48. <https://doi.org/10.29244/jsil.7.1.33-48>
- Putra, G. R. R. A., Susulawat., Adam, R I. (2022). Sistem Monitoring dan Otomatisasi Pengontrolan Kelembaban Tanah, Kelembaban Udara dan Suhu Udara pada Tanaman Tomat Berbasis Web. *Indonesian Journal of Applied Informatics*, 5(2), 136–145. <https://doi.org/10.20961/ijai.v5i2.44863>

- Putranto, T. T. (2019). Studi Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemaran Dengan Menggunakan Metode Drastic Pada Cekungan Airtanah (Cat) Karanganyar-Boyolali, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(1), 159. <https://doi.org/10.14710/jil.17.1.159-171>
- Rasnan, G., Tanan, B., Wong, I.L.K. 2021. Pengaruh Penambahan Pasir Sungai Terhadap Permeabilitas Tanah Lempung. *Jurnal Teknik Sipil*. 3(4):622-629. <https://journal.ugm.ac.id/agritech/article/view/9557/7132>
- Rosyidah, E., & Wirosedarmo, R. (2013). Pengaruh sifat fisik tanah pada konduktivitas hidrolis jenuh di 5 penggunaan lahan (studi kasus di Kelurahan Sumbarsari Malang). *Agrotech*, 33(3):340-345. <https://journal.ugm.ac.id/agritech/article/view/9557>
- Sajuri & Yansyah, Y A.(2022). Pengaruh Aplikasi Irigasi Sistem Kapiler Dan Macam Media, . *Innofarm: Jurnal Inovasi Pertanian* Vol. 24 (2). <http://dx.doi.org/10.33061/Innofarm.V24i2.8138>, 93-102.
- Sari, W., Oksilia, & Lusmaniar. (2023). Pengaruh Konsentrasi Pupuk Organik Cair Terhadap Komponen Hasil dan Hasil Dua Varietas Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Jurnal Ilmu Pertanian Agronitas*, 15(1), 169–181.
- Siloinyanan, D. M., Supeno, & Siallagan, J. (2024). Campuran Gambut Sabut Kelapa (Cocopeat) dan Tanah Sebagai Media Tumbuh Yang Berdaya Tampung Air Tinggi Bagi Tanaman Tomat. *AVOGADRO : Jurnal Kimia*, 8(1), 13–25. <https://ejournal.uncen.ac.id/index.php/JA/article/view/4095>
- Sitirajak, Lentina, dan M. (2021). Pengaruh Aplikasi Arang Sekam Dan Pupuk Majemuk Tabur Terhadap Pertumbuhan Dan Rroduksi Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Jurnal Darma Agung*, 29(3), 441. <https://doi.org/10.46930/ojsuda.v29i3.1246>
- Soerya, S. F., Bafdal, N., & Kendarto, D. R. (2020). Kajian Kualitas Air Hujan dan Nutrisi NPK pada Budidaya Tomat Apel (*Solanum lycopersicum Lycopersicum esculentum* Mill, var.pyriforme) dengan Media Tanam Cocopeat dan Kompos. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 4(1), 231–237.
- Sonora, W.E., W.E., Harisuseno, D., Fidari, J.S. 2022. Prediksi Laju Infiltrasi Berdasarkan Porositas Tanah dan Komposisi Tanah. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air / JTRESDA*. 2 (1): 291-303. <https://www.semanticscholar.org/reader/c0af95f02790320316fa8cd41f5ab6db5dfa383d>
- Tarigan, E.S.B., Guchi, H., Marbun, P. 2015. Evaluasi Status Bahan Organik Dan Sifat Fisik Tanah (Berat isi tanah, Tekstur, Suhu Tanah) Pada Lahan Tanaman Kopi (*Coffea* Sp.) di Beberapa Kecamatan Kabupaten Dairi. *Jurnal Agroteknologi*. 3(1): 246-256. <https://www.neliti.com/id/publications/103124/>
- Triana, A. N., Purnomo, R. H., Panggabean, T., & Juwita, R. (2018). Aplikasi irigasi tetes (drip irrigation) dengan berbagai media tanam pada tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Jurnal Keteknik Pertanian*, 6(1),91-98. <https://journal.ipb.ac.id/jtep/article/view/21868/14682>
- Triana, A. N., Setiawan, B. I., Imanudin, M. S., & Hersamsi. (2023). Design and Performance of Subsurface Irrigation Using Porous Emitters for Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.). *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(4). <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.4.18061>
- Triana, A. N., Purnomo, R. H., Khalid, F. (2021). Kajian Kebutuhan Air dan Koefisienn Tanaman Padi (*Oryza sativa* L) di Lahan Rawa Lebak. *Jurnal Keteknik Pertanian*,9(1),9-16. <https://doi.org/10.19028/jtep>.
- Wang, H., Wang, N., Quan, H., Zhang, F., Fan, J., Feng, H., Cheng, M., Liao, Z., Wang, X., & Xiang, Y. (2022). Yield and Water Productivity of Crops, Vegetables, and Fruits Under Subsurface Drip Irrigation: A Global Meta-analysis. *Agricultural Water Management*, 269 (April). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107645>.
- Wulansari, N. K. L., Windriyati, R. D. H., & Kurniawati, A. (2022). Pengaruh Varietas dan Media Tanam pada Sistem Hidroponik Tetes Tomat Ceri di Dataran Rendah. *Agro Bali : Agricultural Journal*, 5(3), 477–484. <https://doi.org/10.37637/ab.v5i3.975>
- Zinkernagel, J., Maestre-Valero, J. F., Seresti, S. Y., & Intrigliolo, D. S. (2020). New Technologies and Practical Approaches to Improve Irrigation Management of Open Field Vegetable Crops. *Agricultural Water Management*, 242 (February), 106404. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106404>
- Zulkarnain, M. F., Lienjte, K. T., & Mawara, J. M. (2017). Analisis Ketersediaan Air Untuk Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill) Dan Jagung (*Zea mays* L.) Di Tonsewer. *Cocos*, 1(5), 1–20.