

Sistem Fertigasi Otomatis Nirdaya Berbasis Desain Lingko untuk Budidaya Kangkung Darat (*Ipomoea reptans*)

Rizan Abas^{*1)}, Musofa²⁾, Hariadi³⁾, Syamsu Akuba⁴⁾

^{1,2,3,4)}Mesin Peralatan Pertanian, Politeknik Gorontalo, Indonesia

*e-mail: rizanabas22@gmail.com

Received: 30-10-2025

Accepted: 03-01-2026

Published: 05-01-2026

ABSTRACT

Indonesian agriculture faces challenges such as water limitations, climate change, and demands for increased production efficiency. Fertigation technology is one solution that can improve the precise utilization of water and nutrients. This study aims to design and evaluate the performance of a powerless automated fertigation system based on a lingko design that utilizes gravity without the need for electrical energy. The system was designed using an 80 L storage drum, various sizes of PVC pipes, and an automatic water level control mechanism. The test plant was water spinach (*Ipomoea reptans*), with growth parameters including plant height, stem length, leaf length, and number of leaves over a 32-day period. The results showed that the powerless fertigation design in the form of a lingko was able to distribute water and nutrients relatively evenly throughout the ring. The average plant height was in the range of 17.9-18.1 cm, stem length 12.5-12.8 cm, leaf length 6.5-6.8 cm, and the number of leaves 9-11. Ring 1 showed superiority in leaf formation, Ring 2 in stem elongation, while Ring 3 provided stable growth. Variations between rings are influenced by distribution distance, differences in flow pressure, and environmental factors such as light intensity and growing medium conditions. These findings demonstrate that the lingko-designed, powerless, automated fertigation system is effective, energy-efficient, and has the potential to be an appropriate technology for sustainable agriculture, particularly in areas with limited access to electricity. Further scale-up and testing on other commodities are recommended to enhance its potential application in modern cultivation systems.

Keywords: *lingko design, automatic fertigation, gravity irrigation, land kale, powerless system*

ABSTRAK

Pertanian Indonesia menghadapi tantangan berupa keterbatasan air, perubahan iklim, dan tuntutan peningkatan efisiensi produksi. Teknologi fertigasi menjadi salah satu solusi yang mampu meningkatkan pemanfaatan air dan nutrisi secara presisi. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi kinerja sistem fertigasi otomatis nirdaya berbasis desain lingko yang memanfaatkan gaya gravitasi tanpa kebutuhan energi listrik. Sistem dirancang menggunakan drum penampung berkapasitas 80 L, pipa PVC berbagai ukuran, serta mekanisme pengontrol ketinggian air otomatis. Tanaman uji adalah kangkung darat (*Ipomoea reptans*), dengan parameter pertumbuhan meliputi tinggi tanaman, panjang batang, panjang helai daun, dan jumlah daun selama periode 32 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain fertigasi nirdaya berbentuk lingko mampu mendistribusikan air dan nutrisi secara relatif merata ke seluruh ring. Rata-rata tinggi tanaman berada pada kisaran 17,9-18,1 cm, panjang batang 12,5-12,8 cm, panjang helai daun 6,5-6,8 cm, serta jumlah daun 9-11 helai. Ring 1 menunjukkan keunggulan pada pembentukan daun, Ring 2 pada pemanjangan batang, sementara Ring 3 memberikan pertumbuhan yang stabil. Variasi antar ring dipengaruhi oleh jarak distribusi, perbedaan tekanan aliran, serta faktor lingkungan seperti intensitas cahaya dan kondisi media tanam. Temuan ini membuktikan bahwa sistem fertigasi otomatis nirdaya berbasis desain lingko efektif, hemat energi, dan berpotensi menjadi teknologi tepat guna untuk pertanian berkelanjutan, khususnya pada daerah dengan keterbatasan akses energi listrik. Pengembangan skala lebih luas dan pengujian pada komoditas lain direkomendasikan untuk meningkatkan potensi penerapannya dalam sistem budidaya modern.

Kata Kunci: *desain lingko, fertigasi otomatis, irigasi gravitasi, kangkung darat, sistem nirdaya*

I. PENDAHULUAN

Sistem pertanian di Indonesia menghadapi tekanan dari keterbatasan air, perubahan iklim, dan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi input sehingga produksi tetap berkelanjutan. Peralihan ke teknik irigasi dan fertigasi yang lebih efisien menjadi strategi penting untuk mengurangi penggunaan air sekaligus mempertahankan atau meningkatkan hasil tanaman. Pengembangan sistem irigasi modern yang mengurangi pemborosan air telah banyak dilaporkan akhir-akhir ini, termasuk studi kajian dan pengembangan teknologi yang berfokus pada efisiensi air dan keberlanjutan produksi (Askaraliev, Musabaeva, Koshmatov, Omurzakov, & Dzhakshylykova, 2024). Selain aspek teknis, adopsi teknologi juga dipengaruhi oleh faktor sosial dan organisasi pengelolaan sumber daya air pada level komunitas (Golfinopoulos & Koumparou, 2024). Oleh karena itu, desain teknologi yang sederhana, murah, dan mudah diadopsi menjadi prioritas untuk daerah dengan keterbatasan energi dan infrastruktur. Pernyataan kebutuhan ini menjadi landasan untuk penelitian sistem fertigasi yang ditujukan pada peningkatan efisiensi air dan kemudahan adopsi.

Teknologi fertigasi berkembang sebagai inovasi penting dalam irigasi modern karena mampu meningkatkan efisiensi air dan distribusi hara, sebagaimana ditunjukkan oleh instalasi fertigasi berbasis irigasi tetes yang secara signifikan menghemat penggunaan air di tingkat petani (Jabbar & Purnaningsih, 2022). Perkembangan mutakhir menunjukkan bahwa fertigasi semakin terotomasi, termasuk melalui pemanfaatan nanobubble yang meningkatkan penyerapan nutrisi dan produktivitas tanaman hortikultura (Zahra, et al., 2025). Sistem fertigasi berbasis IoT yang memanfaatkan sensor EC, kelembaban, dan temperatur telah terbukti meningkatkan konsistensi pemupukan dan mengurangi kesalahan manusia melalui pemantauan dan kendali jarak jauh (Idris, Latiff, Buntat, Lecthmanan, & Berahim, 2024). Modernisasi irigasi berbasis otomasi juga dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan hasil panen hingga lebih dari 30%, sekaligus mengoptimalkan operasional pertanian melalui integrasi Internet of Things (Askaraliev, Musabaeva, Koshmatov, Omurzakov, & Dzhakshylykova, 2024). Di sisi lain, studi irigasi komunal menunjukkan bahwa keberlanjutan sistem irigasi sangat bergantung pada rancangan berbasis gravitasi dan pengelolaan kolektif yang efektif,

yang menjadi inspirasi bagi pengembangan teknologi fertigasi sederhana namun efisien dalam konteks lokal (Golfinopoulos & Koumparou, 2024). Selain itu, penelitian terbaru menunjukkan bahwa drip fertigation dengan manajemen nitrogen yang tepat mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air (WUE) dan nitrogen (NUE) secara signifikan, sehingga memperkuat urgensi pengembangan sistem fertigasi yang hemat energi dan responsif terhadap kebutuhan tanaman (Tong, et al., 2025).

Sistem fertigasi nirdaya dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi energi dengan memanfaatkan mekanisme evapotranspirasi sehingga suplai air dapat berlangsung otomatis tanpa listrik (Arif, et al., 2021). Pendekatan ini terbukti mampu menjaga kelembapan media tanam secara stabil dan mendukung pertumbuhan sayuran (Muharomah, Setiawan, & Suwardi, 2024). Sistem nirdaya juga efektif meningkatkan efisiensi air dan mempertahankan pasokan pada zona perakaran (Syafriyandi, Setiawan, Arif, & Suwardi, 2023). Teknologi ini bekerja menggunakan prinsip bejana berhubungan dan aliran gravitasi sehingga cocok diterapkan di wilayah dengan keterbatasan energi, sebagaimana dijelaskan dalam penerapan FONi di Tasikmalaya (Muharomah, Setiawan, & Suwardi, 2024). Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa fertigasi nirdaya berpotensi menjadi solusi tepat guna untuk menyediakan pasokan air dan nutrisi secara berkelanjutan dengan pemeliharaan minimal.

Distribusi air pada sistem irigasi berbasis gravitasi sering terkendala rendahnya uniformitas akibat variasi head dan panjang jalur, sebagaimana ditunjukkan oleh studi gravity-fed drip irrigation yang mencatat penurunan kinerja pada tekanan rendah (Elshikha, 2025). Selain itu, koefisien uniformitas dan emission uniformity menurun seiring berkurangnya ketinggian head dan meningkatnya kemiringan lahan sehingga perlu desain hidraulik yang tepat (Patle, 2024). Tantangan teknis tersebut menjadi penting ketika diterapkan pada pola distribusi radial seperti lingkaran, karena jarak dan orientasi terhadap sumber air memengaruhi keseragaman aliran. Kearifan lokal lingkaran di Manggarai yang memiliki pola radial terstruktur memberikan inspirasi untuk distribusi air dan nutrisi yang lebih merata dalam sistem fertigasi modern (Andari, et al., 2023).

Selain itu, praktik pengelolaan air berbasis komunitas di Manggarai menunjukkan bahwa tata kelola lokal yang kuat dapat mendukung

keberlanjutan sistem irigasi gravitasi pada tingkat masyarakat (Steni, Kartodihardjo, Adiwibowo, & Djakapermana, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem Fertigasi Otomatis Nirdaya berbasis desain lingko sebagai pendekatan yang menggabungkan efisiensi hidraulik dan kearifan lokal untuk mencapai distribusi air dan nutrisi yang lebih beragam dalam budidaya kangkung darat.

II. METODE PENELITIAN

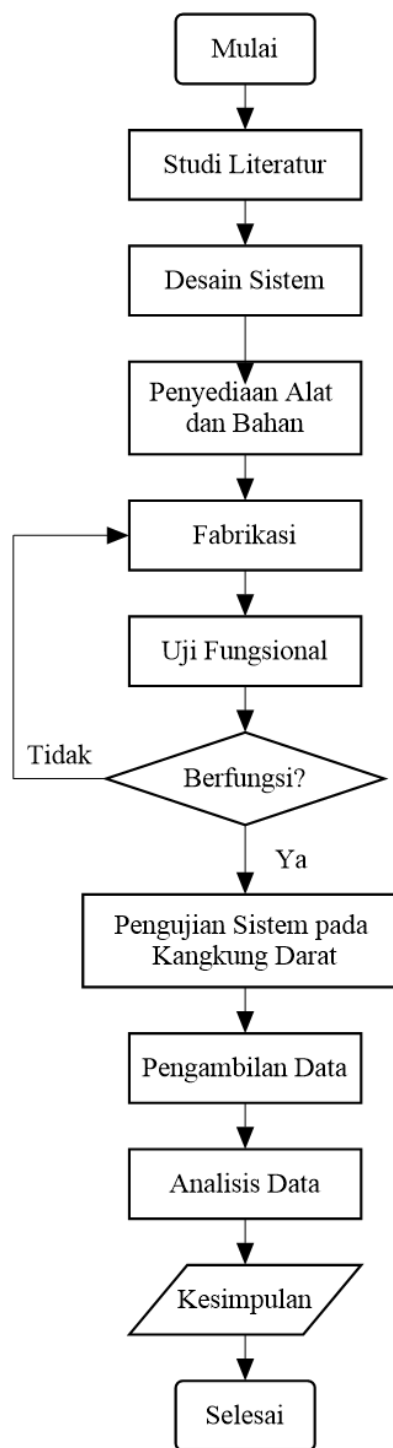
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada lahan budidaya skala pekarangan di Lahan Percobaan Pertanian, Politeknik Gorontalo. Kegiatan penelitian dimulai dari persiapan instalasi hingga pengukuran parameter pertumbuhan tanaman. Seluruh kegiatan dilakukan pada kondisi lingkungan terbuka dengan intensitas cahaya alami dan tanpa penambahan sumber energi listrik eksternal, sesuai tujuan pengujian sistem fertigasi nirdaya.

2.2 Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti diagram alir sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Diagram alir penelitian ini menggambarkan tahapan kerja yang sistematis, diawali dengan studi literatur sebagai landasan konseptual dalam perancangan sistem fertigasi otomatis nirdaya berbasis desain lingko. Tahap selanjutnya meliputi perancangan sistem dan penyediaan alat serta bahan yang kemudian dirakit pada tahap fabrikasi sesuai spesifikasi desain. Sistem yang telah difabrikasi diuji melalui uji fungsional untuk memastikan kinerja aliran, kestabilan distribusi air, dan fungsi otomatis berbasis gravitasi; apabila belum memenuhi kriteria operasional, dilakukan perbaikan hingga sistem berfungsi optimal.

Setelah sistem dinyatakan layak operasi, pengujian diterapkan pada budidaya kangkung darat sebagai tanaman uji. Selama periode pengujian, data pertumbuhan tanaman dikumpulkan secara terukur melalui parameter vegetatif yang telah ditetapkan. Data tersebut kemudian dianalisis untuk menilai performa sistem, dan hasil analisis digunakan sebagai dasar penarikan kesimpulan penelitian.

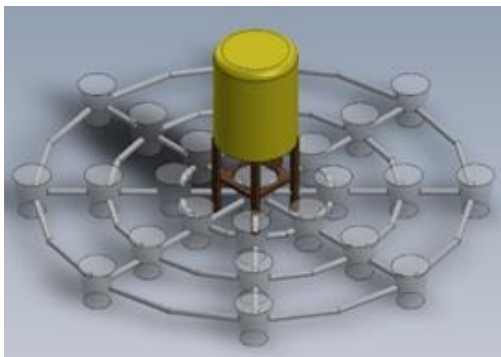


Gambar 1. Diagram Alir

2.3 Desain Sistem Fertigasi Nirdaya

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti desain jaring laba-laba sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan rancangan sistem fertigasi otomatis nirdaya berbasis desain lingko dengan pola distribusi radial menyerupai jaring laba-laba. Pada bagian pusat sistem terdapat tabung silindris berwarna kuning yang berfungsi sebagai penampungan utama air dan larutan nutrisi,

ditempatkan pada posisi lebih tinggi untuk menghasilkan tekanan hidrostatik sebagai penggerak aliran berbasis gravitasi. Tabung utama ini terhubung dengan jaringan pipa distribusi yang tersusun secara radial dan melingkar.



Gambar 2. Desain Rancangan Sistem Fertigasi Nirdaya berbentuk Jaring Laba-laba

Tabung-tabung kecil berwarna abu-abu yang tersebar di sepanjang jaringan pipa berfungsi sebagai wadah tanam (ember/pot) tempat budidaya kangkung darat. Setiap wadah diisi dengan media tanam berupa campuran tanah, pupuk kandang, dan sekam padi, yang berperan sebagai penyangga tanaman sekaligus media retensi air dan nutrisi. Penempatan wadah tanam mengikuti pola lingkaran konsentris (ring) sehingga jarak antar tanaman relatif seragam.

Jaringan pipa distribusi yang membentuk pola jaring laba-laba berfungsi menyalurkan air dari tabung utama menuju setiap wadah tanam secara merata. Konfigurasi ini memungkinkan distribusi air berlangsung bertahap dari pusat ke arah luar dengan memanfaatkan gaya gravitasi, tanpa memerlukan pompa atau sumber energi listrik. Desain lingkko ini mengintegrasikan prinsip hidraulik sederhana dengan kearifan lokal berbentuk radial untuk menghasilkan sistem fertigasi yang efisien, hemat energi, dan sesuai diterapkan pada skala pekarangan.

2.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan kebutuhan perancangan, fabrikasi, dan pengujian sistem fertigasi otomatis nirdaya berbasis desain lingkko. Seluruh komponen dipilih untuk mendukung prinsip kerja sistem berbasis gravitasi, kemudahan perakitan, serta kesesuaian dengan kondisi budidaya kangkung darat pada skala pekarangan.

Beberapa alat dan bahan penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan yang Digunakan

No	Nama	Gambar
1	Pipa PVC	
2	Drum air plastik	
3	Kran pelampung	
4	Sambungan pipa	
5	Lem pipa	
6	Ember	
7	Polybag	
8	Pupuk AB Mix	
13	Stop Kran	
14	Sambungan Pipa T	

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan

Instalasi sistem fertigasi pada penelitian ini dirancang dengan pola distribusi radial menyerupai jaring laba-laba (lingko) yang terpusat pada drum penampung air berkapasitas 80 liter (Gambar 3).

Drum penampung ditempatkan pada kedudukan kayu setinggi 60 cm untuk menghasilkan tekanan hidrostatik sebagai penggerak aliran air berbasis gravitasi (Gambar 4). Air dari penampung utama dialirkan melalui pipa PVC berdiameter 1 inci menuju bak pengontrol yang terletak tepat di bawah drum. Pada jalur pipa tersebut dipasang kran pelampung mekanis yang berfungsi membuka dan menutup aliran air secara otomatis tanpa menggunakan energi listrik (Gambar 5). Keberadaan kran pelampung ini bertujuan menjaga kestabilan tinggi muka air di dalam bak pengontrol selama sistem beroperasi.



Gambar 3. Sistem Fertigas Nirdaya berbasis Lingkko



Gambar 4. Drum Penampung Air



Gambar 5. Kran Otomatis pada Drum Penampung

Ketinggian air di dalam bak pengontrol dipertahankan pada 4 cm, sedangkan tinggi muka air pada pot tanaman berada pada kisaran 5 cm sehingga tercipta selisih tinggi sebesar 1 cm. Selisih tinggi ini menghasilkan tekanan air yang cukup untuk mempercepat aliran dan memastikan

distribusi air ke seluruh pot berlangsung secara optimal. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mengisi seluruh pot dari Ring 1 hingga Ring 3 adalah sekitar 5 menit 37 detik. Waktu pengisian tersebut mengindikasikan bahwa sistem mampu bekerja secara efisien dalam mendistribusikan air ke seluruh unit tanam. Kondisi ini menunjukkan bahwa pemanfaatan tekanan gravitasi pada sistem lingkko dapat mendukung suplai air yang cepat dan stabil.

Distribusi air dari bak pengontrol ke pot tanaman dilakukan melalui jaringan pipa PVC berdiameter $\frac{1}{2}$ inci yang tersusun membentuk lingkaran konsentris menyerupai jaring laba-laba. Jarak pipa dari pusat distribusi menuju pot pada Ring 1, Ring 2, dan Ring 3 masing-masing sekitar 30 cm, dengan diameter keseluruhan instalasi mencapai 405 cm. Total jumlah pot yang digunakan dalam penelitian ini adalah 24 unit, yang terdiri atas 8 pot pada Ring 1, 8 pot pada Ring 2, 7 pot pada Ring 3, serta 1 pot tambahan yang difungsikan sebagai saluran drainase. Susunan pot dalam pola lingkko memungkinkan distribusi air berlangsung merata ke seluruh titik tanam. Secara keseluruhan, rancangan sistem ini menunjukkan efisiensi energi yang tinggi serta mampu menjaga kestabilan suplai air bagi tanaman tanpa memerlukan sumber listrik tambahan.

3.2 Pengamatan pada Tanaman Kangkung

Pengujian sistem fertigasi otomatis nirdaya berbasis desain lingkko dilakukan dengan menggunakan tanaman uji kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir) sebagai indikator kinerja sistem. Sebelum penanaman, bibit kangkung direndam dalam air selama 2 jam (Gambar 6) untuk mempercepat proses imbibisi, kemudian ditanam pada pot kecil selama 5 hari sebagai tahap aklimatisasi awal. Pada tahap ini, tanaman memiliki tinggi rata-rata 2-5 cm dengan 2-4 helai daun kotiledon sebelum dipindahkan ke polybag (Gambar 7) dan ditempatkan pada sistem fertigasi otomatis nirdaya. Selama periode pengujian selama 32 hari, dilakukan pengambilan data pertumbuhan tanaman yang meliputi tinggi total tanaman, panjang batang, panjang helai daun, dan jumlah daun. Rancangan sistem terdiri atas tiga ring distribusi yang merepresentasikan jarak radial berbeda dari sumber air utama, sehingga memungkinkan evaluasi keseragaman suplai air dan nutrisi berdasarkan respons pertumbuhan tanaman.



Gambar 6. Perendaman Bibit Kangkung



Gambar 7. Pertumbuhan Kangkung selama 5 (lima) Hari Penyemaian

3.2.1 Pengamatan Hasil Pengujian Tanaman Kangkung Ring 1

Hasil pengamatan pada Ring 1 (Tabel 2) menunjukkan bahwa tanaman kangkung darat yang berada pada ring terdekat dengan sumber air utama mengalami pertumbuhan vegetatif yang relatif baik dan cukup seragam. Berdasarkan data pada Tabel Ring 1, tinggi keseluruhan tanaman berada pada kisaran 15-20 cm, dengan sebagian besar tanaman mencapai tinggi di atas 18 cm, yang mengindikasikan kecukupan suplai air dan nutrisi selama masa pengujian. Panjang batang tercatat berkisar antara 10-14 cm, menunjukkan variasi pertumbuhan yang masih dalam batas normal dan tidak mengindikasikan stres air. Panjang helai daun pada Ring 1 berada pada rentang 6-8 cm, sementara jumlah daun berkisar antara 9-11 helai, yang mencerminkan kondisi vegetatif yang sehat dan aktif melakukan fotosintesis. Kedekatan posisi Ring 1 dengan tabung penampungan utama memungkinkan tekanan hidrostatik yang relatif lebih besar dibanding ring lainnya, sehingga distribusi air berlangsung lebih cepat dan stabil. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem fertigasi otomatis nirdaya berbasis desain lingko mampu menyediakan suplai air dan nutrisi yang memadai pada area terdekat dari pusat distribusi, sekaligus

menjadi acuan awal untuk membandingkan performa distribusi pada ring berikutnya.

Tabel 2. Hasil Pengamatan Tanaman Kangkung pada Ring 1

Pot	Tinggi Keseluruhan (cm)	Panjang Batang (cm)	Panjang Daun (cm)	Jumlah Daun
1	20	14	7	9
2	15	10	7	9
3	20	12	6	10
4	20	14	7	9
5	15	13	7	11
6	19	12	8	10
7	18	12	6	10
8	18	13	6	9

3.2.2 Pengamatan Hasil Pengujian Tanaman Kangkung Ring 2

Hasil pengamatan pada Ring 2 (Tabel 3) menunjukkan bahwa tanaman kangkung darat yang berada pada posisi jarak menengah dari sumber air utama tetap mengalami pertumbuhan vegetatif yang baik dan relatif seragam. Berdasarkan data pada tabel hasil pengamatan Ring 2, tinggi keseluruhan tanaman berada pada kisaran 15-20 cm, dengan sebagian besar tanaman mencapai tinggi 18-20 cm. Panjang batang tercatat berkisar antara 11-15 cm, yang menunjukkan perkembangan batang yang stabil dan sebanding dengan tinggi total tanaman. Panjang helai daun berada pada rentang 5-8 cm, sedangkan jumlah daun berkisar antara 9-11 helai, mengindikasikan aktivitas pertumbuhan vegetatif yang normal tanpa gejala kekurangan air atau nutrisi.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Tanaman Kangkung pada Ring 2

Pot	Tinggi Keseluruhan (cm)	Panjang Batang (cm)	Panjang Daun (cm)	Jumlah Daun
1	20	15	8	9
2	15	11	6	9
3	20	13	7	11
4	19	13	6	9
5	15	13	6	9
6	19	12	7	10
7	18	12	5	10
8	18	13	7	9

3.2.3 Pengamatan Hasil Pengujian Tanaman Kangkung Ring 3

Hasil pengamatan pada Ring 3 menunjukkan bahwa tanaman kangkung darat yang berada pada ring terluar tetap mampu tumbuh dengan baik meskipun berada pada jarak distribusi terjauh dari sumber air utama. Berdasarkan data pada tabel hasil pengamatan Ring 3, tinggi keseluruhan tanaman berada pada kisaran 15-20 cm, dengan sebagian besar tanaman mencapai tinggi antara 18-20 cm. Panjang batang tercatat berkisar antara 11-15 cm, yang menunjukkan perkembangan batang yang relatif stabil dan tidak jauh berbeda dibandingkan ring sebelumnya. Panjang helai daun berada pada rentang 6-8 cm, sedangkan jumlah daun berkisar antara 9-11 helai, mengindikasikan bahwa aktivitas pertumbuhan vegetatif tetap berlangsung secara normal.

Tabel 4. Hasil Pengamatan Tanaman Kangkung pada Ring 2

Pot	Tinggi Keseluruhan (cm)	Panjang Batang (cm)	Panjang Daun (cm)	Jumlah Daun
1	20	15	8	10
2	16	11	6	9
3	20	12	7	10
4	18	13	6	9
5	18	13	6	11
6	15	12	7	9
7	18	12	6	9

Dibandingkan dengan Ring 1, Ring 2 menunjukkan pola pertumbuhan vegetatif yang relatif seimbang meskipun berada pada jarak distribusi yang lebih jauh dari tabung penampungan utama, yang mengindikasikan bahwa sistem distribusi air berbasis gravitasi masih mampu mempertahankan aliran dan tekanan yang memadai hingga jarak radial menengah, sebagaimana juga dilaporkan pada sistem irigasi tetes gravitasi skala kecil di Indonesia (Saefuddin & Sirajuddin, 2023; Rahman et al., 2024). Variasi kecil antar tanaman pada Ring 2 diduga dipengaruhi oleh faktor mikro-lingkungan, seperti perbedaan intensitas cahaya dan kondisi media tanam, yang umum terjadi pada sistem irigasi bertekanan rendah dengan distribusi pasif (Askaraliev et al., 2024). Pada Ring 3, variasi pertumbuhan terlihat sedikit lebih besar pada parameter tinggi tanaman dan panjang batang, yang kemungkinan berkaitan dengan penurunan tekanan hidrostatik akibat jarak distribusi dan bertambahnya

panjang jalur aliran pada sistem berbasis gravitasi (Elshikha, 2025). Meskipun demikian, tidak ditemukan gejala stres air yang signifikan selama periode pengujian, yang menunjukkan bahwa suplai air dan nutrisi tetap tercukupi hingga ring terluar. Kondisi ini sejalan dengan temuan pada sistem irigasi gravitasi komunitas yang menunjukkan bahwa desain distribusi yang tepat mampu menjaga kinerja aliran meskipun tanpa energi eksternal (Golfopoulos & Koumparou, 2024). Secara keseluruhan, hasil pengamatan pada Ring 2 dan Ring 3 menegaskan bahwa sistem fertigasi otomatis nirdaya berbasis desain lingkaran mampu mendistribusikan air dan nutrisi secara cukup merata dan layak diterapkan pada budidaya sayuran daun skala kecil hingga menengah.

a. Tinggi tanaman

Tinggi keseluruhan tanaman berada pada kisaran 17,9-18,1 cm, dengan Ring 1 memiliki rata-rata tertinggi (18,1 cm), diikuti Ring 2 (18,0 cm) dan Ring 3 (17,9 cm). Perbedaan yang sangat kecil antar ring menunjukkan bahwa sistem fertigasi nirdaya berbasis distribusi radial mampu menyediakan suplai air dan nutrisi yang relatif merata. Kondisi ini sejalan dengan temuan Saefuddin dan Sirajuddin (2023) serta Rahman et al. (2024) yang melaporkan bahwa sistem irigasi tetes berbasis gravitasi dengan desain distribusi yang tepat dapat menghasilkan pertumbuhan tinggi tanaman yang homogen pada seluruh titik tanam. Selain itu, Elshikha (2025) menegaskan bahwa keseragaman tinggi tanaman merupakan indikator langsung dari distribusi air yang stabil pada sistem bertekanan rendah.

b. Panjang batang

Pada parameter panjang batang, Ring 2 menunjukkan nilai rata-rata tertinggi (12,8 cm), disusul Ring 3 (12,6 cm) dan Ring 1 (12,5 cm). Fenomena pemanjangan batang yang lebih dominan pada Ring 2 menunjukkan adanya respons adaptif tanaman terhadap kondisi suplai nutrisi dan cahaya. Menurut Askaraliev et al. (2024), distribusi air dan nutrisi yang sedikit lebih lambat pada sistem irigasi pasif dapat mendorong tanaman meningkatkan pertumbuhan batang sebagai strategi kompetitif untuk memperoleh cahaya. Pola serupa juga dilaporkan oleh Tong et al. (2025), yang menyatakan bahwa keterbatasan relatif nutrisi pada fase awal dapat memicu alokasi biomassa ke pertumbuhan batang dibandingkan daun.

c. Panjang daun

Parameter panjang helai daun menunjukkan bahwa Ring 1 memiliki nilai rata-rata tertinggi (6,8 cm), diikuti Ring 3 (6,6 cm) dan Ring 2 (6,5 cm). Keunggulan Ring 1 mengindikasikan bahwa kedekatan dengan sumber air dan nutrisi memungkinkan suplai yang lebih cepat dan stabil, sehingga mendukung ekspansi jaringan daun secara optimal. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Rahman et al. (2024) yang menunjukkan bahwa peningkatan ketersediaan air pada sistem gravitasi berkorelasi positif dengan luas dan panjang daun. Selain itu, Elshikha (2025) menegaskan bahwa variasi kecil panjang daun pada sistem drip gravitasi mencerminkan perbedaan tekanan lokal yang masih dalam batas toleransi fisiologis tanaman.

d. Jumlah Daun

Parameter jumlah daun menunjukkan bahwa Ring 1 dan Ring 3 menghasilkan rata-rata 9,6 helai, sedangkan Ring 2 sedikit lebih rendah dengan 9,5 helai. Hasil ini menunjukkan bahwa Ring 1 memperoleh keuntungan dari suplai nutrisi yang lebih stabil, sementara Ring 3 tetap mampu mempertahankan pertumbuhan daun yang konsisten meskipun berada pada jarak terjauh dari sumber air. Kondisi Ring 2, yang memiliki batang lebih panjang namun jumlah daun lebih sedikit, mengindikasikan adanya *trade-off* antara pemanjangan batang dan pembentukan daun. Fenomena ini sejalan dengan konsep alokasi biomassa tanaman yang dijelaskan oleh Askaraliev et al. (2024) dan Tong et al. (2025), di mana tanaman menyesuaikan pertumbuhan organ vegetatif sebagai respons terhadap dinamika suplai air dan nutrisi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan perbedaan respons pertumbuhan kangkung darat pada setiap ring distribusi, di mana Ring 1 unggul dalam pembentukan dan ukuran daun, Ring 2 cenderung mengalami pemanjangan batang dengan jumlah daun lebih rendah, sedangkan Ring 3 menunjukkan pertumbuhan yang relatif seimbang antara batang dan daun. Pola ini sejalan dengan teori distribusi fertigasi berbasis gravitasi yang menyatakan bahwa tekanan aliran dan kecepatan suplai nutrisi menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber, sehingga memengaruhi alokasi pertumbuhan vegetatif tanaman (Pereira et al., 2020; Elshikha, 2025). Suplai nutrisi yang lebih cepat pada Ring 1

mendukung kapasitas fotosintesis yang lebih tinggi melalui perkembangan daun, sementara penurunan tekanan relatif pada Ring 2 mendorong adaptasi tanaman melalui pemanjangan batang. Meskipun berada pada jarak terluar, Ring 3 tetap menunjukkan pertumbuhan yang stabil, menandakan bahwa desain distribusi radial sistem nirdaya mampu menjaga kestabilan suplai air dan nutrisi (Saefuddin & Sirajuddin, 2023; Rahman et al., 2024). Dengan demikian, sistem fertigasi otomatis nirdaya berbentuk jaring laba-laba (lingko) dinilai efektif dalam mendukung pertumbuhan kangkung darat yang relatif merata, meskipun variasi kecil antar ring masih dipengaruhi oleh faktor teknis dan lingkungan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa sistem fertigasi otomatis nirdaya berbasis desain lingko mampu beroperasi secara stabil dan mendistribusikan air serta nutrisi secara relatif merata tanpa energi listrik. Pertumbuhan kangkung darat pada ketiga ring menunjukkan kisaran yang sangat berdekatan, dengan tinggi tanaman 17,9–18,1 cm, panjang batang 12,5–12,8 cm, panjang helai daun 6,5–6,8 cm, dan jumlah daun 9,5–9,6 helai, yang mengindikasikan keseragaman suplai air dan nutrisi. Ring 1 unggul dalam pembentukan daun, Ring 2 cenderung mengalami pemanjangan batang, sedangkan Ring 3 menunjukkan pertumbuhan yang stabil dan seimbang, sesuai karakteristik distribusi tekanan pada sistem berbasis gravitasi. Temuan ini menegaskan bahwa desain distribusi radial berbentuk jaring laba-laba efektif sebagai sistem fertigasi nirdaya yang hemat energi dan adaptif untuk budidaya sayuran daun skala pekarangan, dengan peluang pengembangan melalui optimasi desain hidraulik, evaluasi keseragaman distribusi, dan pengujian pada komoditas serta skala yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Andari, D. W., Mujiburohman, D. A., Junarto, R., Riyadi, R., Aisiyah, N., & Farid, A. H. (2023). Local Wisdom in the Land Distribution System of Manggarai Indigenous Communities of Indonesia. *ISVS e-Journal*, 10(9), 94-113.

- Arif, C., Setiawan, B. I., Saptomo, S. K., Taufik, M., Saputra, S. F., Ardiansyah, & Mizoguchi, M. (2021). Functional design of smart evaporative irrigation for mina-padi system in Indonesia. *ISCEE 2020*, 622, hal. 1-8. Yogyakarta: IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/622/1/012052
- Askaraliev, B., Musabaeva, K., Koshmatov, B., Omurzakov, K., & Dzhakshylykova, Z. (2024). Development of modern irrigation systems for improving efficiency, reducing water consumption and increasing yields. *Machinery & Energetics*, 15(3), 47-59.
- Elshikha, D. E. (2025). *Understanding Distribution Uniformity in Gravity Drip Irrigation Systems*. Arizona: The University of Arizona Cooperative Extension.
- Golfinopoulos, S. K., & Koumparou, D. (2024). Rural Environmental Governance: A Communal Irrigation System in Greece through the Social-Ecological System Framework. *Sustainability*, 16(2024), 1-29.
- Idris, F., Latiff, A. A., Buntat, M. A., Lecthmanan, Y., & Berahim, Z. (2024). IoT-based fertigation system for agriculture. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 13(3), 1574-1581.
- Jabbar, F. A., & Purnaningsih, N. (2022). Diseminasi Instalasi Fertigasi (Irigasi Tetes) Guna Menghemat Penggunaan Air untuk Pertanian di Kelurahan Beji. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 4(2), 218-225.
- Muharomah, R., Setiawan, B. I., & Suwardi. (2024). Diseminasi Fertigasi Otomatis Nirdaya untuk Budidaya Sayuran di Kota Tasikmalaya. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, 10(2), 156-165.
- Patle, G. T. (2024). Evaluation of a gravity-fed drip irrigation system under varying hydraulic head and land slope for hilly terrain. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 26(3), 1-10.
- Steni, B., Kartodihardjo, H., Adiwibowo, S., & Djakapermana, R. D. (2024). Rule-in-Use for Community-Based Springs Management Faces Land Use Pressures: Lesson Learned from Manggarai District. *The Indonesian Journal of Socio-Legal Studies (IJSLS)*, 3(2), 1-31.
- Syafriyandi, D., Setiawan, B. I., Arif, C., & Suwardi. (2023). Kinerja Irigasi Bawah Permukaan Otomatis Nirdaya pada Budidaya Kangkung, Caisim, dan Bayam. *JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian*, 11(3), 268-278.
- Tong, J., Xiong, Y., Lu, Y., Li, W., Lin, W., Xue, J., . . . Gao, Z. (2025). Drip Fertigation with Moderate Nitrogen Topdressing Rate Achieves High Nitrogen and Water Use Efficiencies for Irrigated Wheat. *Agronomy*, 15(2025), 1-20.
- Zahra, A., Fauziah, N. O., Ambarita, D. D., Fakhurroja, H., Turmuktini, T., Fitriatin, B. N., & Simarmata, T. (2025). Deep insights into drip-based nanobubble fertigation technology for enhancing nutrient availability and boosting cash crop vegetable productivity and quality. *Journal of Ecological Engineering*, 26(9), 459-471.