

Plantyclean: Environmentally Friendly Rainwater-Based Drip Irrigation Technology for Water Conservation in Kendari

Zulfaidil^{1,3}, Wa Ode Tuti Asndari^{2,3}, Shavana Mujahidah Deseree³, Clarisa Michelle Pongliling^{4,3}, Keysha Tahta Reisindriya^{5,3}, Oryzasativa Padan'na Ramba^{6,3}

¹Institut Teknologi Bandung, Kota Bandung, Indonesia

²Universitas Halu Oleo, Kota Kendari, Indonesia

³SMAN 1 Kendari, Kota Kendari, Indonesia

Email: zulfaidil01@gmail.com

Received 30 Maret 2026 | Revised 5 April 2026 | Accepted 10 April 2026

ABSTRAK

Air merupakan sumber daya vital yang semakin terancam akibat distribusi tidak merata, pencemaran, dan kerusakan infrastruktur irigasi. Di Kendari, masyarakat masih bergantung pada air hujan dan penyiraman manual, sehingga diperlukan solusi irigasi yang lebih efisien. Penelitian ini memperkenalkan Plantyclean, sistem irigasi tetes berbasis air hujan yang memanfaatkan ember bekas berkapasitas 10 liter, selang plastik berdiameter ½ inci, dan penyangga bambu, yang bekerja menggunakan gaya gravitasi tanpa listrik maupun pompa. Dengan metode eksperimen deskriptif-komparatif, Plantyclean dibandingkan dengan penyiraman manual pada enam tanaman di kebun percobaan SMAN 1 Kendari. Hasil menunjukkan penghematan air hingga ±47% (158 mL/tanaman) dibanding metode konvensional (300 mL/tanaman), dengan debit tetesan rata-rata 0,53 mL/detik (≈1,91 L/jam). Distribusi kelembapan tanah lebih merata, run-off berkurang, dan struktur tanah lebih terjaga. Sebagai sistem pasif, Plantyclean juga berfungsi sebagai media edukatif konservasi air, terbukti efektif, ramah lingkungan, dan berpotensi diterapkan di skala rumah tangga maupun sekolah.

Kata kunci: Plantyclean, irigasi tetes, konservasi air, air hujan, teknologi ramah lingkungan.

ABSTRACT

Water is a vital resource increasingly threatened by uneven distribution, pollution, and damaged irrigation infrastructure. In Kendari, communities still rely heavily on rainwater and manual watering, necessitating more efficient irrigation solutions. This study introduces Plantyclean, a simple rainwater-based drip irrigation system utilizing a 10-liter recycled bucket, ½-inch plastic tubing, and bamboo supports, operating purely by gravity without electricity or pumps. Using a descriptive-comparative experimental method, Plantyclean was compared against manual watering on six plants at SMAN 1 Kendari's experimental garden. Results showed Plantyclean reduced water consumption by approximately 47% (158 mL/plant) compared to conventional watering (300 mL/plant), with an average drip rate of 0.53 mL/s (≈1.91 L/hour). Soil moisture distribution was more uniform, runoff was minimized, and soil structure was better preserved. As a passive system requiring no manual labor, Plantyclean also serves as an educational tool for water conservation awareness, proving effective, eco-friendly, and scalable for household and school settings.

Keywords: Plantyclean, drip irrigation, water conservation, rainwater, environmentally friendly technology

1. PENDAHULUAN

Air adalah nadi kehidupan. Ia mengalir bukan hanya di sungai, sawah, dan laut, tetapi juga menentukan keberlangsungan ekosistem, stabilitas produksi pangan, dan arah perkembangan peradaban manusia. Namun, di balik peran fundamental tersebut, air kini justru menjadi sumber krisis yang semakin nyata. Ironisnya, Indonesia—negara dengan iklim tropis dan curah hujan yang melimpah—menghadapi persoalan serius berupa krisis air bersih yang kian meluas [1]. Fakta ini menunjukkan adanya paradoks pengelolaan air: ketersediaan alamiah yang tinggi tidak serta-merta menjamin kecukupan air bagi masyarakat apabila tidak diiringi dengan sistem pengelolaan yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

Masalah utama yang dihadapi Indonesia bukan sekadar kekurangan air, melainkan ketidakmampuan sistem yang ada dalam mengelola air secara efektif. Distribusi sumber daya air yang timpang antarwilayah, pencemaran yang terus meningkat, serta kerusakan infrastruktur irigasi yang berlangsung dalam jangka panjang telah menciptakan kondisi di mana air hadir sebagai ancaman sekaligus kebutuhan yang tidak terpenuhi. UN-Water (2024) menegaskan bahwa pencapaian *Sustainable Development Goal* (SDG) 6—akses universal terhadap air bersih dan sanitasi layak pada tahun 2030—masih jauh dari target. Pernyataan ini mengindikasikan bahwa pendekatan pengelolaan air yang selama ini diterapkan belum cukup menjawab kompleksitas persoalan yang dihadapi, terutama pada level lokal.

Kondisi tersebut terlihat secara nyata di Sulawesi Tenggara, khususnya di Kota Kendari. Berdasarkan data BMKG, Kota Kendari memiliki curah hujan tahunan rata-rata berkisar antara 1.800–2.400 mm/tahun, dengan jumlah hari hujan mencapai 140–180 hari per tahun. Potensi curah hujan yang tinggi ini menjadikan air hujan sebagai sumber daya yang sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai sumber irigasi, terutama selama musim hujan yang berlangsung antara Oktober hingga Maret. Namun, meskipun wilayah ini menerima curah hujan yang relatif tinggi, air hujan belum dikelola secara optimal sebagai sumber daya yang berkelanjutan. Sebagian masyarakat masih bergantung pada sumur dangkal dan pasokan terbatas dari PDAM, yang sangat rentan terhadap fluktuasi musim. Pada musim kemarau, debit air menurun drastis dan kebutuhan air sulit terpenuhi. Sebaliknya, pada musim hujan, air yang melimpah tidak dimanfaatkan secara efektif, melainkan berubah menjadi limpasan permukaan (*run-off*) yang memicu erosi tanah dan degradasi lingkungan. Situasi ini menegaskan adanya kegagalan dalam memutus mata rantai pemborosan air: air berlimpah tidak tersimpan, sementara saat dibutuhkan justru tidak tersedia.

Masalah semakin kompleks ketika ditinjau dari sektor pertanian sebagai pengguna air terbesar. Berdasarkan data FAO AQUASTAT yang ditampilkan oleh World Bank, sekitar 85% total pengambilan air tawar nasional dialokasikan untuk sektor pertanian. Namun, ironisnya, penggunaan air dalam sektor ini masih didominasi oleh sistem penyiraman konvensional yang boros, tidak terkontrol, dan kurang memperhatikan kebutuhan aktual tanaman. Air disiram dalam volume besar dan waktu singkat, tanpa mempertimbangkan kapasitas infiltrasi tanah maupun zona perakaran. Praktik ini tidak hanya menyebabkan pemborosan air, tetapi juga mempercepat kerusakan lahan melalui erosi, pemadatan tanah, dan hilangnya unsur hara penting. Kondisi tersebut diperparah oleh fakta bahwa hampir separuh infrastruktur irigasi nasional berada dalam kondisi rusak atau tidak berfungsi optimal, sehingga distribusi air menjadi semakin tidak efisien dan timpang.

Akibat dari sistem irigasi yang tidak efisien tersebut, air yang seharusnya mendukung produktivitas justru menjadi faktor degradasi lingkungan. Limpasan air yang berlebihan mengikis lapisan tanah atas yang subur, sementara perkolasi yang terlalu cepat membawa air dan nutrisi ke lapisan tanah yang tidak dapat dijangkau oleh akar tanaman. Dalam jangka panjang, kondisi ini menurunkan produktivitas lahan

dan meningkatkan ketergantungan pada pupuk kimia, yang pada akhirnya memperburuk kualitas lingkungan. Permasalahan ini menunjukkan bahwa krisis air tidak berdiri sendiri, melainkan berkelindan dengan krisis tanah, pangan, dan keberlanjutan ekosistem.

Padahal, berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa irigasi tetes merupakan metode yang jauh lebih efisien dalam penggunaan air dibandingkan metode konvensional. Pada skala domestik dan sekolah, irigasi tetes terbukti mampu menghemat air hingga 30–60% dibandingkan penyiraman dengan selang atau gayung [2], [3]. Secara umum, sistem ini mampu menghemat air hingga 50–70%, meningkatkan efisiensi penyerapan air oleh tanaman, serta menekan pertumbuhan gulma [4], [5], [6], [7]. Dengan menyalurkan air secara perlahan dan langsung ke zona akar, irigasi tetes mampu meminimalkan kehilangan air akibat penguapan dan peresapan berlebih [8]. Namun, permasalahan mendasar muncul pada tahap implementasi. Teknologi irigasi tetes yang ada umumnya dirancang untuk skala pertanian menengah hingga besar, membutuhkan biaya relatif tinggi, serta bergantung pada infrastruktur dan energi tertentu. Akibatnya, teknologi ini sulit diakses dan jarang diterapkan pada skala kecil, seperti kebun sekolah dan pekarangan rumah, padahal justru pada skala inilah pembentukan budaya hemat air dapat dimulai.

Ketiadaan solusi irigasi yang sederhana, murah, dan aplikatif pada skala kecil menciptakan celah yang signifikan antara pengetahuan ilmiah dan praktik di lapangan. Di lingkungan sekolah, khususnya, kegiatan penyiraman tanaman masih dilakukan secara manual dengan cara konvensional yang boros air. Hal ini bukan hanya mencerminkan inefisiensi teknis, tetapi juga menunjukkan hilangnya peluang edukatif untuk menanamkan kesadaran konservasi air sejak dini. Dengan kata lain, krisis air tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga bersifat edukatif dan kultural.

Berangkat dari permasalahan tersebut, lahirlah PlantyClean sebagai upaya menjawab kebutuhan akan teknologi irigasi yang efisien, sederhana, dan ramah lingkungan. PlantyClean dirancang sebagai sistem irigasi tetes berbasis air hujan dengan memanfaatkan bahan-bahan sederhana dan daur ulang, seperti ember bekas, selang plastik berdiameter ½ inci, dan tongkat pramuka sebagai penyangga. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan gaya gravitasi, sehingga tidak memerlukan listrik maupun pompa tambahan. Dengan desain yang sederhana, PlantyClean diharapkan mampu menjembatani kesenjangan antara konsep irigasi hemat air dan praktik nyata di lapangan.

Dengan demikian, masalah utama yang menjadi dasar penelitian ini bukan hanya terbatas pada pemborosan air, tetapi mencakup inefisiensi sistem irigasi, degradasi lahan, keterbatasan akses terhadap teknologi tepat guna, serta rendahnya internalisasi nilai konservasi air di lingkungan pendidikan. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk menguji sejauh mana PlantyClean mampu menjadi solusi alternatif yang efektif dalam menghemat air irigasi, memperbaiki distribusi kelembapan tanah, serta berperan sebagai media edukatif dalam menumbuhkan budaya hemat air di kalangan siswa SMAN 1 Kendari.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan deskriptif-komparatif. Metode ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk membandingkan secara langsung efektivitas sistem irigasi tetes PlantyClean dengan metode penyiraman konvensional. Eksperimen menjadi pilihan utama sebab memberikan bukti empiris yang terukur, sehingga setiap klaim terkait efisiensi penggunaan air, pemerataan distribusi, maupun dampak lingkungan dapat diuji secara nyata.

Tahapan penelitian dimulai dengan perancangan dan pembuatan sistem PlantyClean. Bahan yang digunakan berupa ember bekas berkapasitas 10 liter sebagai wadah penampung air hujan, selang plastik berdiameter $\frac{1}{2}$ inci ($\approx 12,7$ mm) sebagai saluran distribusi, dan tongkat pramuka setinggi 80 cm sebagai penopang agar aliran air stabil pada ketinggian optimal. Lubang *emitter* dibuat dengan paku berdiameter ± 1 mm pada ujung selang untuk menghasilkan debit tetesan yang terkontrol. Pada kondisi ember terisi penuh (ketinggian air 25 cm dari dasar), sistem menghasilkan debit tetesan rata-rata $\pm 0,53$ mL/detik atau setara $\pm 1,91$ liter/jam per tanaman, yang tergolong dalam kategori irigasi tetes *low-flow* sesuai untuk tanaman skala kebun kecil. Rancangan ini dibuat untuk bekerja secara gravitasi: air hujan ditampung lalu dialirkan perlahan langsung ke zona akar tanaman. Sistem tersebut kemudian dipasang pada salah satu kelompok tanaman, sementara kelompok pembanding tetap menggunakan penyiraman manual dengan gayung/selang. Kedua kelompok disiapkan dengan kondisi media tanam, jenis tanaman, dan intensitas cahaya yang relatif sama, sehingga perbedaan hasil dapat ditelusuri sebagai akibat perlakuan. Proses pengambilan data dilakukan secara sistematis melalui tiga indikator utama. Pertama, efisiensi penggunaan air, yaitu dengan mencatat volume air yang dikeluarkan oleh masing-masing metode setiap kali penyiraman. Kedua, pemerataan distribusi air, yang diukur melalui pengamatan kelembapan tanah pada beberapa titik di sekitar perakaran tanaman menggunakan metode sederhana berupa penancapan batang kayu kering atau sensor kelembapan manual. Ketiga, dampak terhadap lahan, yakni mengamati kemungkinan terjadinya erosi, genangan, atau pemadatan setelah perlakuan.

Selanjutnya, dilakukan pengujian efektivitas berdasarkan perbandingan hasil kedua kelompok. Efisiensi air dihitung dari selisih volume yang digunakan antara metode konvensional dan PlantyClean, kemudian dianalisis dalam bentuk persentase penghematan. Pemerataan distribusi dievaluasi dari konsistensi kelembapan tanah, apakah tersebar merata di sekitar akar atau hanya terkonsentrasi pada satu titik. Respon tanaman diamati secara kualitatif, terutama pada kondisi daun (warna, kesegaran) serta pertumbuhan awal batang dan akar. Dengan pengujian ini, efektivitas PlantyClean dapat dinilai secara lebih menyeluruh, mencakup aspek kuantitatif maupun kualitatif.

Data yang terkumpul dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif-komparatif. Analisis ini menekankan pada perbandingan langsung hasil kedua kelompok: apakah PlantyClean lebih hemat air, lebih merata dalam penyaluran, dan lebih ramah terhadap tanah dibanding penyiraman manual. Untuk memperkaya perspektif, penelitian juga melibatkan siswa dalam proses observasi partisipatif, sehingga hasil analisis tidak hanya menunjukkan performa teknis, tetapi juga nilai praktis dan potensi edukatif PlantyClean sebagai media pembelajaran konservasi air di sekolah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

PlantyClean dirancang sebagai inovasi irigasi tetes sederhana berbasis air hujan. Alat ini menggunakan ember bekas berkapasitas 10 liter sebagai penampung air, selang plastik berdiameter $\frac{1}{2}$ inci ($\approx 12,7$ mm) sebagai saluran, serta rangka bambu atau tongkat pramuka setinggi 80 cm sebagai penyangga. Lubang *emitter* berdiameter ± 1 mm dibuat pada ujung selang, menghasilkan debit tetesan rata-rata 0,53 mL/detik ($\pm 1,91$ L/jam) pada tekanan hidrostatik normal. Sistem ini memanfaatkan gaya gravitasi sehingga air dapat menetes perlahan dan langsung menuju zona akar tanaman. Dengan rancangan sederhana tersebut, PlantyClean terbukti mampu menghemat penggunaan air sekaligus menjaga kelembapan tanah secara merata.

Prinsip kerjanya adalah *head pressure* atau tekanan hidrostatik, di mana ketinggian air dalam ember menciptakan tekanan yang mendorong air keluar melalui selang [8]. Dengan lubang kecil yang berfungsi

sebagai *emitter*, air tidak mengalir deras, melainkan menetes secara perlahan dan konstan ke area perakaran. Aliran lambat ini merupakan karakteristik utama irigasi tetes, yang berbeda signifikan dengan metode konvensional. Alat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain (kiri) dan Alat Plantyclean (kanan)

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara penyiraman dengan metode konvensional dan Plantyclean. Pada metode konvensional, setiap tanaman disiram secara manual dengan menuangkan air menggunakan gayung. Berdasarkan pengukuran stopwatch, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menyiram satu tanaman adalah 9,13 detik, dengan total kebutuhan air sebesar 1.800 mL untuk enam tanaman. Artinya, setiap tanaman menerima sekitar 300 mL air dengan debit penyiraman relatif besar, yaitu sekitar 32,86 mL per detik. Debit yang tinggi ini memicu fenomena *run-off* (aliran permukaan) dan perkolasi cepat ke lapisan tanah bawah, yang menurut teori infiltrasi Horton dan dapat menyebabkan sebagian air menggenang di permukaan tanah, sehingga berisiko hilang sebagai limpasan atau meresap terlalu cepat ke lapisan bawah tanpa sempat diserap optimal oleh akar.



Gambar 2. Pengujian Plantyclean

Sebaliknya, pada Plantyclean, jumlah air yang dialirkan lebih sedikit, yakni hanya sekitar 950 mL untuk enam tanaman, atau rata-rata 158 mL per tanaman. Meski volume lebih rendah hampir setengah dari metode konvensional, distribusi air berlangsung perlahan melalui tetesan yang konstan. Hal ini sesuai

dengan konsep *soil moisture availability* sehingga dapat membuat kelembapan tanah di sekitar akar lebih stabil, tidak menimbulkan genangan, serta menekan potensi penguapan permukaan [9], [10]. Dengan demikian, efisiensi penggunaan air meningkat secara nyata. Perbandingan kuantitatif antara kedua metode dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Metode Konvensional dan PlantyClean

Aspek	Konvensional (Manual)	PlantyClean (Irigasi Tetes)	Keterangan
Jumlah tanaman	6	6	Sama-sama diuji pada kondisi serupa
Total air terpakai	1.800 mL	950 mL	PlantyClean hemat $\pm 47\%$ air
Air per tanaman	300 mL	158 mL	Hemat 142 mL/tanaman
Waktu penyiraman per tanaman	9,13 detik (aktif)	± 5 menit (pasif)	PlantyClean lebih lama, tetapi tanpa tenaga manual
Debit rata-rata	32,86 mL/detik	$\pm 0,53$ mL/detik	Debit PlantyClean jauh lebih kecil dan terkendali
Distribusi kelembapan	Tidak merata, mudah menggenang	Merata di zona akar, stabil	PlantyClean menjaga kelembapan tanah lebih konsisten

Berdasarkan Tabel 1, perbedaan antara metode penyiraman konvensional (manual) dan sistem PlantyClean berbasis irigasi tetes sederhana terlihat secara jelas dan konsisten pada hampir seluruh parameter pengamatan. Kedua metode diuji pada jumlah tanaman yang sama, yaitu enam tanaman, dengan jenis tanaman, media tanam, intensitas cahaya, serta kondisi lingkungan yang dibuat relatif seragam. Penyetaraan kondisi ini menjadi aspek metodologis yang krusial, karena memastikan bahwa variasi hasil yang muncul dapat dikaitkan secara langsung dengan perbedaan metode penyiraman, bukan dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti perbedaan karakteristik tanah, jumlah tanaman, atau kondisi iklim di sekitar area tanam.

Dalam kondisi penyiraman konvensional, air diberikan secara manual dengan menuangkan air langsung ke permukaan tanah menggunakan gayung atau selang. Cara ini menghasilkan debit air yang relatif besar dalam waktu singkat, sehingga setiap tanaman menerima volume air yang cukup tinggi. Namun, pemberian air yang cepat dan tidak terkontrol ini menyebabkan air terkonsentrasi pada satu titik siraman, sehingga sebagian air tidak sempat diinfiltrasikan secara optimal oleh tanah. Akibatnya, terjadi ketidakseimbangan antara laju pemberian air dan kemampuan tanah dalam menyerap air, yang berpotensi menimbulkan limpasan permukaan maupun perkolasi ke lapisan tanah yang lebih dalam.

Sebaliknya, pada sistem PlantyClean, air dialirkan secara perlahan dan kontinu melalui mekanisme tetesan yang memanfaatkan gaya gravitasi. Meskipun jumlah air yang diberikan per tanaman lebih sedikit dibandingkan metode konvensional, aliran yang lambat memungkinkan air meresap secara bertahap ke dalam tanah dan terkonsentrasi di zona perakaran. Kondisi ini menciptakan keseimbangan yang lebih baik antara suplai air dan kapasitas infiltrasi tanah, sehingga air yang digunakan dapat dimanfaatkan secara lebih efisien oleh tanaman. Perbedaan mekanisme inilah yang menjadi dasar utama terjadinya penghematan air tanpa menurunkan tingkat kecukupan air bagi tanaman.

Selain dari sisi volume dan mekanisme aliran, perbedaan kedua metode juga tercermin pada pola distribusi kelembapan tanah. Penyiraman manual cenderung menghasilkan kelembapan yang tidak merata, dengan tingkat kejenuhan tinggi pada titik siraman dan kelembapan yang lebih rendah di area sekitarnya. Kondisi ini berpotensi menyebabkan stres pada sistem perakaran, karena sebagian akar berada pada lingkungan yang terlalu basah sementara bagian lainnya relatif kering. Sebaliknya, sistem PlantyClean menghasilkan distribusi kelembapan yang lebih homogen di sekitar akar tanaman. Tetesan

air yang berlangsung secara kontinu memungkinkan air menyebar secara lateral di dalam tanah sebelum diserap oleh akar, sehingga menciptakan kondisi kelembapan yang lebih stabil dan mendukung proses penyerapan air serta unsur hara secara optimal.

Dari aspek konsumsi air, metode konvensional membutuhkan total air sebesar 1.800 mL, sedangkan Plantyclean hanya memerlukan 950 mL untuk jumlah tanaman yang sama. Artinya, Plantyclean mampu menghemat air hingga sekitar 47%. Jika ditinjau per tanaman, metode manual memerlukan sekitar 300 mL air, sementara Plantyclean hanya menggunakan sekitar 158 mL per tanaman, sehingga terjadi penghematan sebesar 142 mL untuk setiap tanaman. Penghematan ini menjadi sangat signifikan apabila diterapkan dalam skala yang lebih besar, seperti pada kebun sekolah, pekarangan rumah, atau lahan pertanian kecil.

Perbedaan mencolok juga terlihat pada karakteristik waktu penyiraman dan debit air. Penyiraman konvensional dilakukan secara aktif oleh manusia dengan waktu rata-rata sekitar 9,13 detik per tanaman, namun dengan debit air yang relatif besar, yakni sekitar 32,86 mL per detik. Sebaliknya, Plantyclean bekerja dengan sistem tetesan pasif selama kurang lebih lima menit per tanaman, tetapi dengan debit yang jauh lebih kecil dan stabil, yaitu sekitar 0,53 mL per detik. Meskipun durasi penyiraman Plantyclean lebih lama, sistem ini tidak memerlukan tenaga manual karena dapat dibiarkan bekerja secara otomatis. Hal ini menjadi keunggulan penting, terutama dalam konteks keterbatasan waktu dan tenaga.

Dari sisi distribusi kelembapan tanah, metode penyiraman manual cenderung menghasilkan pola kelembapan yang tidak merata karena air diberikan dalam jumlah besar dan terfokus pada satu titik dalam waktu singkat. Kondisi ini meningkatkan risiko terjadinya genangan di permukaan tanah, terutama ketika laju pemberian air melebihi kemampuan tanah dalam menyerap air. Genangan tersebut tidak hanya menyebabkan pemborosan air akibat limpasan, tetapi juga mengganggu aerasi tanah dengan mengisi pori-pori tanah yang seharusnya berfungsi sebagai jalur pertukaran gas. Terhambatnya difusi oksigen ke dalam tanah dapat menciptakan kondisi hipoksia di zona perakaran, yang pada gilirannya menghambat respirasi akar dan meningkatkan risiko pembusukan akar serta gangguan kesehatan tanaman secara keseluruhan [11], [12], [13]. Sebaliknya, sistem Plantyclean mendistribusikan air secara perlahan dan merata langsung ke zona perakaran melalui mekanisme tetesan kontinu, sehingga kelembapan tanah dapat dipertahankan dalam kondisi yang lebih stabil dan terkendali. Kelembapan yang konsisten ini menciptakan lingkungan perakaran yang optimal, mendukung aktivitas fisiologis tanaman, khususnya proses penyerapan air dan unsur hara, serta memungkinkan akar berfungsi secara lebih efisien tanpa mengalami stres akibat fluktuasi kelembapan yang ekstrem [14].

Secara mekanistik, efisiensi kinerja Plantyclean dapat dijelaskan melalui keterkaitan antara laju infiltrasi tanah, dinamika pergerakan air di dalam profil tanah, dan kemampuan sistem perakaran dalam menyerap air. Pada penyiraman manual dengan debit yang besar, air sering kali diaplikasikan dalam waktu yang sangat singkat, sehingga laju pemberian air melampaui kapasitas infiltrasi sesaat tanah [15]. Ketidaksihesuaian ini menyebabkan sebagian air tidak sempat masuk ke dalam pori-pori tanah, melainkan mengalir di permukaan sebagai limpasan (*run-off*) atau bergerak secara vertikal ke lapisan tanah yang lebih dalam melalui perkolasi cepat (*deep percolation*), hingga berada di luar zona jangkauan akar tanaman. Akibatnya, meskipun volume air yang digunakan relatif besar, fraksi air yang benar-benar tersedia dan dapat diserap oleh tanaman menjadi rendah, sehingga efisiensi penggunaan air menurun. Plantyclean mengatasi permasalahan tersebut dengan menerapkan mekanisme tetesan air yang lambat dan kontinu, di mana laju aliran air disesuaikan dengan kemampuan tanah untuk menyerap air. Pola

pemberian air ini memperpanjang waktu kontak antara air dan zona perakaran, memungkinkan air menyebar secara lateral di dalam tanah sebelum diserap oleh akar. Dengan demikian, air yang diberikan dapat dimanfaatkan secara lebih efektif oleh tanaman, sehingga tingkat serapan tetap optimal meskipun volume air yang digunakan lebih sedikit.

Selain meningkatkan efisiensi penggunaan air, Plantyclean juga memberikan kontribusi signifikan dalam menjaga kualitas fisik tanah melalui mekanisme aliran air yang lebih ramah terhadap struktur tanah. Pada penyiraman manual, air diberikan dengan debit yang relatif besar dan dalam waktu singkat, sehingga energi kinetik aliran air yang menghantam permukaan tanah dapat merusak agregat tanah di lapisan atas. Kerusakan agregat ini memicu terjadinya pemadatan tanah, pembentukan kerak permukaan (*soil crust*), serta erosi mikro yang secara bertahap mengurangi stabilitas struktur tanah. Kondisi tersebut berdampak langsung pada penurunan porositas tanah, terutama pori makro yang berperan penting dalam sirkulasi udara dan drainase, sehingga pertukaran gas di dalam tanah menjadi terhambat dan ketersediaan oksigen bagi akar menurun [16], [17], [18]. Sebaliknya, sistem Plantyclean menyalurkan air dengan debit kecil dan stabil melalui tetesan perlahan, sehingga energi aliran yang mengenai permukaan tanah sangat rendah dan tidak menimbulkan gangguan mekanik yang signifikan. Pola aliran ini memungkinkan air meresap secara bertahap tanpa merusak agregat tanah, menjaga porositas tetap optimal, serta menciptakan lingkungan perakaran yang lebih aerasi. Kondisi tanah yang tetap gembur dan kaya oksigen tersebut mendukung aktivitas respirasi akar dan mikroorganisme tanah secara berkelanjutan, sehingga berperan penting dalam menjaga kesehatan tanah dan menunjang pertumbuhan tanaman dalam jangka panjang.

Selain data efisiensi air, pengamatan pertumbuhan tanaman juga dilakukan selama 14 hari periode uji. Data tinggi tanaman dan jumlah daun dicatat setiap tujuh hari untuk membandingkan respons pertumbuhan antara kelompok Plantyclean dan kelompok kontrol (penyiraman manual). Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Pertumbuhan Tanaman Kelompok Kontrol dan Plantyclean

Parameter	Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-14	Keterangan
Tinggi tanaman – Kontrol (cm)	12,3	14,8	17,1	Rata-rata 6 tanaman
Tinggi tanaman – Plantyclean (cm)	12,5	15,7	18,9	Rata-rata 6 tanaman
Jumlah daun – Kontrol	5,2	6,8	8,3	Rata-rata helai/tanaman
Jumlah daun – Plantyclean	5,3	7,5	9,7	Rata-rata helai/tanaman

Berdasarkan Tabel 2, kelompok tanaman yang diirigasi dengan Plantyclean menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan kelompok kontrol pada kedua parameter yang diamati. Rata-rata tinggi tanaman kelompok Plantyclean pada hari ke-14 mencapai 18,9 cm, lebih tinggi 1,8 cm dibandingkan kelompok kontrol (17,1 cm). Jumlah daun rata-rata pada kelompok Plantyclean juga lebih banyak, yaitu 9,7 helai/tanaman dibandingkan 8,3 helai/tanaman pada kelompok kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa kelembapan tanah yang lebih stabil dan merata dari sistem tetesan Plantyclean mendukung aktivitas fisiologis tanaman secara lebih optimal, meskipun volume air yang diberikan lebih sedikit. Catatan: data pertumbuhan ini bersifat indikatif dan perlu dikonfirmasi melalui uji lanjutan berskala lebih besar dengan pengulangan yang memadai untuk validasi statistik.

Dari sisi pemeliharaan sistem, salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh sistem irigasi tetes sederhana berbasis air hujan adalah risiko penyumbatan (*clogging*) pada lubang *emitter* akibat partikel sedimen, lumut, atau debris organik yang terbawa bersama air hujan. Selama periode pengujian 14 hari, terjadi satu kejadian penyumbatan parsial pada hari ke-9, yang menyebabkan debit tetesan berkurang sekitar 30% dari debit awal. Solusi teknis yang diterapkan adalah pembersihan sederhana dengan cara melepas ujung selang dan meniup lubang *emitter*, diikuti pencucian dengan air bersih. Proses ini hanya memerlukan waktu kurang dari 5 menit dan dapat dilakukan oleh siswa tanpa membutuhkan keahlian teknis khusus. Untuk mencegah penyumbatan berulang, disarankan agar air hujan yang ditampung terlebih dahulu dilewatkan melalui saringan kain muslin atau lapisan busa tipis pada lubang masuk ember sebelum mengalir ke selang distribusi. Penggunaan saringan sederhana ini terbukti efektif menekan frekuensi penyumbatan pada sistem irigasi tetes berskala kecil [15], [16]. Dengan demikian, pemeliharaan sistem Plantyclean dapat dilakukan secara mandiri dan berkala oleh pengguna tanpa memerlukan biaya perawatan yang berarti.

Dari perspektif konservasi lingkungan, Plantyclean memiliki nilai tambah yang signifikan karena dirancang dengan memanfaatkan bahan-bahan sederhana yang sebagian besar berasal dari barang daur ulang, seperti ember bekas, selang plastik, dan rangka bambu. Pemilihan material tersebut secara langsung menekan biaya produksi, sehingga sistem ini dapat diakses oleh berbagai kalangan tanpa memerlukan investasi teknologi yang mahal. Pada saat yang sama, penggunaan barang daur ulang berkontribusi dalam mengurangi volume limbah plastik dan material sekali pakai yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip keberlanjutan dan ekonomi sirkular, di mana sumber daya yang ada dimanfaatkan kembali untuk fungsi yang lebih bernilai guna. Lebih jauh, penerapan Plantyclean tidak hanya memberikan manfaat teknis berupa penghematan air, tetapi juga memiliki dimensi edukatif yang kuat. Keterlibatan siswa dalam proses perakitan, penggunaan, dan pemeliharaan alat menjadikan Plantyclean sebagai media pembelajaran kontekstual yang efektif untuk menanamkan kesadaran lingkungan, memperkuat pemahaman tentang konservasi air, serta membangun sikap tanggung jawab terhadap pengelolaan sumber daya alam sejak dini.

Dengan tingkat penghematan air hingga $\pm 47\%$, distribusi kelembapan tanah yang lebih merata, kemudahan perawatan, serta penggunaan bahan ramah lingkungan, Plantyclean terbukti sebagai solusi tepat guna yang relevan untuk menghadapi tantangan keterbatasan air di wilayah tropis seperti Kendari. Lebih jauh lagi, inovasi ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai model pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*) yang mengintegrasikan konsep sains, lingkungan, dan kreativitas, sehingga mampu menumbuhkan kesadaran konservasi air sejak dini.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa persoalan keterbatasan air bersih dan sistem irigasi sederhana di lingkungan sekitar dapat diatasi melalui penerapan teknologi konservasi berbasis Plantyclean. Inovasi ini membuktikan bahwa teknologi sederhana dengan memanfaatkan air hujan dan bahan daur ulang mampu menjadi alternatif yang efektif untuk mengurangi pemborosan air sekaligus menjaga kualitas tanah. Plantyclean terbukti lebih efektif dibandingkan metode konvensional, dengan penghematan air mencapai $\pm 47\%$ serta distribusi kelembapan tanah yang lebih merata di zona akar. Debit tetesan yang lambat dan konstan membuat air lebih terserap optimal oleh tanaman, mengurangi limpasan (*run-off*), dan menjaga struktur tanah tetap gembur.

Dengan hasil tersebut, PlantyClean dapat dinyatakan sebagai alternatif solusi hemat air yang ramah lingkungan, mudah diterapkan, dan relevan baik untuk skala rumah tangga maupun sekolah. Selain memberi manfaat praktis, sistem ini juga bernilai edukatif karena menanamkan budaya konservasi air sejak dini melalui media pembelajaran berbasis proyek. Dari sisi analisis ekonomi sederhana, penerapan PlantyClean juga menunjukkan potensi penghematan biaya yang signifikan. Biaya produksi satu unit PlantyClean diperkirakan berkisar Rp15.000–20.000 (ember bekas: Rp5.000–8.000; selang plastik 2 meter: Rp5.000–6.000; tongkat pramuka: Rp3.000–5.000), dengan usia pakai minimal satu musim tanam atau ± 4 bulan. Jika diasumsikan SMAN 1 Kendari memiliki 30 tanaman di kebun sekolah, total investasi hanya sebesar Rp450.000–600.000. Dengan penghematan air sebesar 47%, atau sekitar 142 mL per tanaman per hari, total penghematan air untuk 30 tanaman selama 120 hari mencapai ± 511 liter. Berdasarkan tarif air PDAM Kota Kendari golongan niaga (Rp8.000–8.500/m³), penghematan biaya air dapat mencapai Rp4.000–4.300 per musim. Meskipun nilai ini relatif kecil untuk skala sekolah, manfaat nyata terletak pada pengurangan ketergantungan terhadap sumber air berbayar dan pemanfaatan air hujan sebagai sumber daya lokal yang gratis. Apabila sistem dikembangkan ke skala yang lebih besar, misalnya untuk 300 tanaman atau diterapkan di rumah tangga secara kolektif, potensi penghematan air dan biaya menjadi jauh lebih bermakna secara ekonomi dan lingkungan. Adapun saran dari penelitian ini adalah perlunya uji lanjutan pada skala lebih besar dengan variasi jenis tanaman untuk menilai konsistensi efektivitas PlantyClean. Selain itu, pengembangan desain emitter dan penggunaan sensor kelembapan digital dapat meningkatkan presisi serta mendukung integrasi dengan konsep pertanian cerdas (*smart farming*). Dengan demikian, PlantyClean tidak hanya relevan sebagai solusi tepat guna lokal, tetapi juga berpotensi berkontribusi pada pencapaian target SDG 6 terkait air bersih dan pengelolaan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif, C., Saptomo, S. K., Setiawan, B. I., Taufik, M., Suwarno, W. B., Nugroho, B. D. A., & Mizoguchi, M. (2024). Water saving rice cultivation using sheet-pipe subsurface irrigation. *Heliyon*, 10(10), e30799. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30799>
- [2] Awad, A. E., Abuarab, M. E., Abdelraouf, R. E., Bakeer, G. A., El-Shawadfy, M. A., & Ragab, R. (2025). Improving yield and irrigation water productivity of green beans under water stress with agricultural solid waste-based material of compacted rice straw as a sustainable organic soil mulch. *Irrigation Science*, 43(3), 465–490. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00973-z>
- [3] Doušová, B., Bedrnová, E., Maxová, K., Lhotka, M., Pilař, L., Koloušek, D., Moško, J., & Pohořelý, M. (2025). Biochar Control of Water Regime and Adsorption Rate in Soils. *Applied Sciences*, 15(17), 9392. <https://doi.org/10.3390/app15179392>
- [4] Guo, H., & Li, S. (2024). A Review of Drip Irrigation's Effect on Water, Carbon Fluxes, and Crop Growth in Farmland. *Water*, 16(15), 2206. <https://doi.org/10.3390/w16152206>
- [5] Kim, Y., Park, H., Kimball, J. S., Colliander, A., & McCabe, M. F. (2023). Global estimates of daily evapotranspiration using SMAP surface and root-zone soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 298, 113803. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113803>
- [6] Lakhiar, I. A., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., He, B., Hao, B., Han, Y., Wang, B., Bao, R., Syed, T. N., Chauhdary, J. N., & Rakibuzzaman, Md. (2024). A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate for Enhancing Water Use Efficiency, Crop Yield, and Environmental Footprints. *Agriculture*, 14(7), 1141. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071141>
- [7] Mallareddy, M., Thirumalaikumar, R., Balasubramanian, P., Naseeruddin, R., Nithya, N., Mariadoss, A., Eazhilkrishna, N., Choudhary, A. K., Deiveegan, M., Subramanian, E., Padmaja,

- B., & Vijayakumar, S. (2023). Maximizing Water Use Efficiency in Rice Farming: A Comprehensive Review of Innovative Irrigation Management Technologies. *Water*, 15(10), 1802. <https://doi.org/10.3390/w15101802>
- [8] Martens, B., Miralles, D. G., Lievens, H., van der Schalie, R., de Jeu, R. A. M., Fernández-Prieto, D., Beck, H. E., Dorigo, W. A., & Verhoest, N. E. C. (2017). GLEAM v3: satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture. *Geoscientific Model Development*, 10(5), 1903–1925. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-1903-2017>
- [9] Martínez, I., Stettler, M., Lorenz, M., Brunotte, J., Weisskopf, P., Sommer, M., & Keller, T. (2024). Immediate effects of wheeling with agricultural machinery on topsoil gas transport properties and their anisotropy. *Soil and Tillage Research*, 241, 106126. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106126>
- [10] Mwimba, M., Karapetyan, S., Liu, L., Marqués, J., McGinnis, E. M., Buchler, N. E., & Dong, X. (2018). Daily humidity oscillation regulates the circadian clock to influence plant physiology. *Nature Communications*, 9(1), 4290. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06692-2>
- [11] Nazari, M., Eteghadipour, M., Zarebanadkouki, M., Ghorbani, M., Dippold, M. A., Bilyera, N., & Zamanian, K. (2021). Impacts of Logging-Associated Compaction on Forest Soils: A Meta-Analysis. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.780074>
- [12] Pulido-Moncada, M., Schjønning, P., Labouriau, R., & Munkholm, L. J. (2020). Residual effects of compaction on the subsoil pore system—A functional perspective. *Soil Science Society of America Journal*, 84(3), 717–730. <https://doi.org/10.1002/saj2.20061>
- [13] Sofo, A., Dichio, B., Elshafie, H. S., Camele, I., Calabritto, M., Tomasi, I., Mastroleo, M., Xylogiannis, E., D'Ippolito, I., & Mininni, A. N. (2024). Enhancing soil properties through sustainable agronomic practices reduced the occurrence of kiwifruit vine decline syndrome. *Soil Use and Management*, 40(2). <https://doi.org/10.1111/sum.13052>
- [14] Umami, A., Sukmana, H., Wikurendra, E. A., & Paulik, E. (2022). A review on water management issues: potential and challenges in Indonesia. *Sustainable Water Resources Management*, 8(3), 63. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00648-7>
- [15] Wang, C., Li, S., Huang, S., & Feng, X. (2024). A Review of the Application and Impact of Drip Irrigation under Plastic Mulch in Agricultural Ecosystems. *Agronomy*, 14(8), 1752. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081752>
- [16] Wang, Z., Gao, N., Li, Y., Song, C., Kang, E., Wang, Shuanma, Zhou, Y., Wang, Shaonan, Shi, J., & Shang, Z. (2025). A soil aeration system improved the growth of tomato plants and inhibited the occurrence of Fusarium root rot. *Scientia Horticulturae*, 349, 114235. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114235>
- [17] Yamauchi, T., Colmer, T. D., Pedersen, O., & Nakazono, M. (2018). Regulation of Root Traits for Internal Aeration and Tolerance to Soil Waterlogging-Flooding Stress. *Plant Physiology*, 176(2), 1118–1130. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01157>
- [18] Yang, P., Wu, L., Cheng, M., Fan, J., Li, S., Wang, H., & Qian, L. (2023). Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. *Water*, 15(9), 1733. <https://doi.org/10.3390/w15091733>