Received: 10 Oktober 2025 Revised: 27 Oktober 2025 Accepted: 26 November 2025
DOI:

ORIGINAL RESEARCH

Pengaruh Metode Fertigasi Curah dengan Berbagai Jumlah Pipa Pembibitan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq.*)

Ressy Angli Permatasari[1*] | Arjuna Neni Triana[1] | Tamaria Panggabean[1] | Drisky Afrizaldi Rosentra[1]

[1]Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Indralaya 30862, Sumatera Selatan, Indonesia

Correspondence
Ressy Angli Permatasari
Email: ressyangli710@fp.unsri.ac.id

Abstract

Sprinkler irrigation is a method of applying water from above the plant surface, simulating natural rainfall. The sprinkler irrigation system saves both water and time, increasing water-use efficiency by minimizing surface runoff. When combined with fertigation, it allows fertilization and irrigation to be carried out simultaneously, providing sufficient water and nutrients for oil palm seedlings during the pre-nursery stage. This study aims to determine the effect of irrigation pressure and the number of lateral pipes on the performance of a sprinkler fertigation system for oil palm nurseries. A descriptive experimental approach was employed by designing and testing the irrigation system, with the results presented in the form of graphs, data tables, and figures. The sprinkler fertigation system was designed based on variations in the number of lateral pipes and irrigation duration, operated at a pressure of 0.25 bar. The results show that the number of lateral pipes significantly affects the wetting pattern. The highest uniformity of water distribution was achieved with four rows of lateral pipes, providing even coverage from the center to the edge of the wetted area. Watering duration also influenced discharge rate: irrigation treatment two (P_2) produced the highest average discharge of 1.25 mL/s, while treatment one (P_1) yielded 1.00 mL/s. These variations were influenced not only by irrigation duration but also by the pipe pressure, which affected the flow rate of water discharged from the sprinkler.

KEYWORDS

Coefficient of uniformity, Discharge, Fertigation, Sprinkler irrigation, Oil palm nursery

1. PENDAHULUAN

Tanaman kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) merupakan komoditas perkebunan bernilai ekonomi tinggi di Indonesia. Sektor ini berperan penting dalam meningkatkan devisa negara, menyediakan lapangan kerja, dan meningkatkan pendapatan masyarakat (Fauzi et al., 2023). Tingginya kebutuhan global akan minyak sawit menuntut peningkatan kualitas dan kuantitas produksi, termasuk melalui pengelolaan pembibitan secara optimal. Pembibitan yang baik, terutama dengan penggunaan bibit unggul, menjadi tahap fundamental dalam menentukan produktivitas tanaman kelapa sawit di masa produksi (Halid et al., 2015).

Dalam praktiknya, pembibitan kelapa sawit umumnya dilakukan melalui dua metode, yakni pembibitan satu tahap (*single stage*) dan dua tahap (*double stage*). Metode dua tahap lebih banyak digunakan karena memungkinkan pengelolaan awal (*pre-nursery*) dan utama (*main nursery*) dilakukan secara lebih terarah (Muhammad *et al.,* 2021). Salah satu aspek penting dalam pembibitan adalah pemenuhan kebutuhan air dan hara. Pemupukan dapat diberikan dalam bentuk padat maupun cair, dan pupuk cair lebih mudah diserap karena tidak memerlukan proses perombakan (Sandy *et al*., 2022).

Irigasi curah merupakan salah satu metode pengairan yang umum digunakan pada pembibitan

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
© 2025 published by *Agritechnospher Engineering Journal*

kelapa sawit. Dengan mekanisme penyemprotan air menyerupai hujan, sistem ini mampu meningkatkan efisiensi penyiraman, mengurangi kehilangan air akibat run off, serta menghemat waktu dan tenaga (Kholilah *et al*., 2021; Malkan *et al*., 2023). Efektivitas irigasi curah sangat dipengaruhi oleh kinerja pompa dan tekanan air yang dihasilkan, karena tekanan menentukan seberapa merata air terdistribusi melalui *nozzle* atau *sprinkler* (Julia *et al*., 2021). Perbedaan tekanan juga berdampak pada kekuatan dorongan air sehingga memengaruhi luas jangkauan siraman (Triana dan Mega, 2023). Selain itu, jumlah pipa irigasi yang digunakan turut menentukan cakupan distribusi air ke setiap tanaman. Kombinasi tekanan dan jumlah pipa menjadi faktor teknis penting yang perlu dioptimalkan dalam sistem irigasi curah.

Pengelolaan air dan hara secara simultan dapat dilakukan melalui sistem fertigasi, yaitu metode yang mengintegrasikan pemupukan dan pengairan dalam satu aliran (Muhammad et al., 2018). Fertigasi menawarkan keunggulan berupa penghematan waktu, penggunaan pupuk yang lebih efisien, serta distribusi unsur hara yang lebih merata dan kontinu. Salah satu bentuk irigasi yang sesuai untuk penerapan fertigasi curah adalah irigasi pipa bertekanan (*rain pipe*) (Kurniawan et al., 2020). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh tekanan dan jumlah pipa pada sistem fertigasi curah terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*.), sehingga dapat diperoleh kombinasi teknis yang optimal untuk mendukung efisiensi penggunaan air, hara, dan peningkatan kualitas pembibitan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat-alat yang digunakan diantaranya : 1) Baskom Air, 2) Gelas ukur, 3) Hygrometer, 4) Jangka Sorong, 5) Katup Regulator, 6) Kran Pipa, 7) Penggaris, 8) pH meter, 9) Pipa PVC, 10) Pompa air, 11) Manometer, 12) TDS meter, 13) Termometer, 14) Water Reservoir Tank.

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya: 1) Air, 2) Arang Sekam, 3) Bibit Kelapa Sawit, 4) Polybag, 5) Pupuk Hayati Cair, 6) Tanah Topsoil.

2.2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Agustus hingga Oktober tahun 2024 di Lahan dan Laboratorium Teknik Tanah dan Air Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Metode pada penelitian menggunakan metode deskriptif dengan cara perancangan dan pengujian alat ditampilkan berupa grafik, data dan tabel. Penelitian menggunakan rancangan percobaan faktorial sederhana dengan dua perlakuan jumlah pipa (P_1 = 2 pipa, P_2 = 4 pipa) dan dua durasi waktu irigasi (T_1 = 5 menit, T_2 = 6 menit) pada tekanan tetap 0,25 bar.

2.3 Cara Kerja

Cara kerja yang dilakukan penelitian ini mencakup beberapa tahapan sebagai berikut: perancangan sistem irigasi, pengujian alat, persiapan tanam, pengukuran suhu dan kelembaban, pengujian sistem fertigasi, dan analisis data.

2.3.1 Perencanaan Sistem Irigasi

Dalam perancangan sistem irigasi curah pada penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Peralatan dan bahan yang diperlukan dipersiapkan.
2. Pompa air disambungkan ke pipa berukuran 1 inch.
3. Katup regulator dan manometer dipasang pada pipa.
4. Pipa berukuran 1 inch kemudian disambungkan kembali sehingga aliran terbagi menjadi dua, ke arah kanan dan kiri, menggunakan sambungan pipa tee ukuran 1 inch.
5. Pada setiap arah aliran dipasang keran air untuk mengatur aliran.
6. Pada setiap cabang, pipa 1 inch disambungkan kembali pada bagian kanan dan kiri dengan jarak 2 meter, kemudian pada setiap ujung cabang dipasang sambungan pipa ukuran 1 inch ke 3/4 inch.
7. Pada pipa 3/4 inch, setiap jarak 1 meter dipasang sambungan pipa tee 3/4 inch ke arah kanan dan kiri.
8. Pipa 3/4 inch kemudian disambungkan ke pipa 1/2 inch, dan selanjutnya dipasang pipa lateral 1/2 inch.

2.3.2 Pengujian Alat

Pengujian alat dimaksudkan untuk menguji sistem irigasi sehingga diketahui nilai debit dan tekanan air yang tercapai selama waktu pengujian. Manometer digunakan sebagai alat mengukur besarnya tekanan (bar) dalam sistem dan metode volumetric digunakan dalam pengukuran debit (ml/s) curahan.

2.3.2.1 Pengukuran Tekanan

Berikut beberapa tahapan pengukuran tekanan pada sistem irigasi curah menggunakan alat ukur manometer dilakukan sebagai berikut:

1) Alat dan bahan disiapkan.
2) Pompa air dihidupkan dan dihubungkan ke sistem.
3) Tutup atas katup regulator dibuka, kemudian tekanan diatur dengan memutar baut pada bagian atas katup regulator; apabila baut diputar ke kanan, tekanan diturunkan, sedangkan apabila baut diputar ke kiri, tekanan ditingkatkan.
4) Baut pada regulator diputar hingga tekanan yang diinginkan tercapai sambil diperhatikan pergerakan jarum manometer sehingga tekanan air sesuai dengan curahan yang digunakan.

2.3.2.2 Pengukuran Debit

Berikut beberapa tahapan pengukuran debit pada sistem irigasi curah menggunakan metode *volumetric* dilakukan sebagai berikut:

1) Alat dan bahan disiapkan.
2) Pompa air dihidupkan dan dihubungkan ke sistem.
3) Keran air dibuka hanya satu sistem irigasi saja dan sistem lainnya dibiarkan tertutup.
4) Air yang keluar ditampung menggunakan gelas ukur, sampai mencapai kebutuhan air dan mencatat waktunya disetiap sistem irigasi.
5) Rata-rata waktu setiap sistem irigasi dihitung, kemudian debit pada sistem dapat diketah.

2.3.3 Pengujian Alat

Berikut ini tahapan-tahapan persiapan tanam yang akan digunakan dalam penelitian yaitu sebagai berikut:

1) Alat dan bahan disiapkan.
2) Sistem irigasi dipersiapkan.
3) Kecambah kelapa sawit disemaikan hingga umur 1 bulan menggunakan polybag berukuran 10 cm × 10 cm.
4) Setelah berumur satu bulan, kecambah dipindahtanamkan ke polybag yang lebih besar berukuran 25 cm × 25 cm.
5) Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan, yakni dari fase *pre-nursery* pada umur 2 bulan hingga umur 4 bulan atau fase awal *main-nursery*.

2.3.4 Pengujian Alat

Suhu dan kelembapan dalam penelitian ini diukur dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

2.3.4.1 Pengukuran Suhu

1) Termometer yang akan digunakan dipersiapkan
2) Lokasi pengukuran dipilih, kemudian termometer ditempatkan pada area yang akan diukur suhunya.
3) Termometer dibiarkan berada di tempatnya selama beberapa menit hingga mencapai keseimbangan termal agar diperoleh pembacaan yang akurat.
4) Skala pada termometer dibaca dan hasil pengukuran dicatat.

2.3.4.2 Pengukuran Kelembapan

1) *Hygrometer* yang akan digunakan dipersiapkan.
2) Lokasi pengukuran dipilih, kemudian hygrometer ditempatkan pada area yang akan diukur kelembapannya.
3) *Hygrometer* dibiarkan berada di tempatnya selama beberapa menit hingga mencapai keseimbangan termal.
4) Skala pada hygrometer dibaca dan hasil pengukuran dicatat.

2.3.5 Pengujian Sistem Fertigasi

Pengujian sistem fertigasi yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi tahapan-tahapan berikut:

2.3.5.1 Pengukuran Debit Air

Pengukuran debit air dilakukan untuk menentukan durasi irigasi berdasarkan volume air yang diperlukan oleh tanaman kelapa sawit, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1) Alat dan bahan disiapkan.
2) Keran pada satu sistem irigasi dibuka, sedangkan keran pada sistem irigasi lainnya dibiarkan tertutup.
3) Pompa air dihidupkan dan dioperasikan pada sistem selama waktu yang telah ditentukan.
4) Tekanan air diatur sesuai kebutuhan.
5) Air curahan yang keluar dari pipa berlubang ditampung dalam baskom, kemudian dipindahkan ke dalam gelas ukur untuk diukur volume air curahan dari pipa berlubang.
6) Volume air dicatat, dan pengukuran dilakukan secara bergantian pada sistem irigasi 2.
7) Pengukuran volume air curahan pada setiap sistem irigasi diulang sebanyak tiga kali.

Dalam menganalisis debit air yang dihasilkan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = V/t \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan :

Q = Debit air (ml/s)

V = Volume (ml)

T = Waktu (s)

2.3.5.2 Pengukuran Pola Pembahasan

Pengukuran pola pembasahan dilakukan dengan mengamati sistem irigasi berdasarkan ketebalan curahan air. Prosedur pengambilan data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1) Alat dan bahan disiapkan.
2) Keran pada satu sistem irigasi dibuka, sedangkan keran pada sistem irigasi lainnya dibiarkan tertutup.
3) Nampan berisi pasir disiapkan dan diletakkan di sekitar pipa berlubang pada area keluarnya air.
4) Pompa air dihidupkan dan dioperasikan pada sistem selama waktu yang telah ditentukan.
5) Tekanan air diatur sesuai kebutuhan.
6) Pola curahan air yang terbentuk pada permukaan pasir diberi tanda di sekeliling batas pembasahan.
7) Jarak dari setiap tanda curahan ke pipa berlubang diukur.
8) Jarak pada setiap titik dicatat dalam satuan cm, dan pengukuran dilakukan secara bergantian pada sistem irigasi 2.

2.3.5.3 Koefisien Keseragaman

Pengukuran tingkat keseragaman curahan air atau koefisien keseragaman dilakukan dengan menampung air dalam jangkauan pembasahan, kemudian volume air yang tertampung selama waktu tertentu diukur. Berikut ini adalah tahapan prosedur pengambilan data keseragaman curahan air sistem irigasi curah yang digunakan pada penelitian:

1) Alat dan bahan disiapkan.
2) Keran pada satu sistem irigasi dibuka, sedangkan keran pada sistem irigasi lainnya dibiarkan tertutup.
3) Wadah diletakkan pada area curahan air dengan jarak 13 cm dari pipa lateral.
4) Pompa air dihidupkan dan dioperasikan pada sistem selama waktu yang telah ditentukan.
5) Tekanan air diatur sesuai kebutuhan.
6) Volume air yang tertampung dalam wadah diukur menggunakan gelas ukur dengan satuan mL.
7) Volume air dari gelas ukur dicatat, dan pengukuran dilakukan secara bergantian pada sistem irigasi 2.
8) Pengukuran keseragaman curahan pada setiap sistem irigasi dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

2.3.5.4 Lebar Sebaran

Pengukuran lebar sebaran irigasi curah dilakukan dengan mengukur lebar percikan air terjauh ke tempat keluarnya curahan air selama proses penyiraman. Prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan nilai lebar sebaran masing-masing sistem irigasi melalui tahapan-tahapan berikut ini:

1) Alat dan bahan disiapkan.
2) Keran pada satu sistem irigasi dibuka, sedangkan keran pada sistem irigasi lainnya dibiarkan tertutup.
3) Pompa air dihidupkan dan dioperasikan pada sistem selama waktu yang telah ditentukan.
4) Tekanan air diatur sesuai kebutuhan.
5) Tanda diberikan pada titik lemparan curahan air yang terjauh.
6) Jarak dari tanda lemparan curahan ke pusat curahan diukur menggunakan penggaris dengan satuan cm.

7) Pengukuran dilakukan pula pada sistem irigasi 2, dan pengukuran lebar sebaran pada setiap sistem irigasi diulang sebanyak tiga kali.

2.3.5.5 Tingkat Kepekatan Larutan

Pengukuran tingkat kepekatan larutan ditandai dengan satuan konsentrasi PPM (parts per million) konsentrasi diartikan dengan besarnya kandungan zat terlarut yang terlarut pada pelarut, artinya ppm merupakan besaran konsentrasi padatan yang terlarut. Berikut ini adalah tahapan pengukuran tingkat kepekatan larutan dengan menggunakan alat TDS meter jenis sensor yang berfungsi untuk mengukur kadar TDS (total dissolved solids) total padatan terlarut dalam air:

1) Alat yang dibutuhkan disiapkan.
2) Air diambil dari water *reservoir tank*.
3) TDS meter dihidupkan.
4) TDS meter kemudian dicelupkan hingga batas maksimal.
5) Nilai pada tampilan layar dibiarkan hingga stabil.
6) Tombol *hold* ditekan dan hasil pengukuran dicatat.
7) Setelah selesai, alat dibilas menggunakan air bersih.

Rumus yang dapat digunakan untuk menentukan berapa nilai kadar total padatan terlarut yang diinginkan sebagai berikut:

$$ppm = \frac{massa\ zat\ terlarut\ (mg)}{volume\ larutan\ (L)} \quad \text{.....(2)}$$

2.3.5.6 pH Larutan

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Setiap tumbuhan membutuhkan nilai pH yang berbeda tergantung jenis tanamannya, umumnya tanaman membutuhkan pH antara 5.5 hingga 6.5 (Mufida *et al*., 2020). Alat bantu untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan dengan menggunakan pH meter yang prinsip kerjanya terletak pada sensor probe yang berupa elektroda kaca (*glass electrode*). Menurut Sopian *et al*., (2017), tingkat pH yang tinggi atau rendah sangat memengaruhi kelarutan unsur hara sehingga berdampak pada kemudahan penyerapan oleh akar. Tahapan-tahapan pengukuran pH larutan dengan alat pH meter dilakukan sebagai berikut:

1) Alat yang dibutuhkan disiapkan.
2) Air diambil dari water *reservoir tank*.
3) pH meter dihidupkan.
4) pH meter kemudian dicelupkan hingga batas maksimal.
5) Nilai pada tampilan layar dibiarkan hingga stabil.
6) Hasil yang ditampilkan pada layar dicatat.
7) Setelah selesai, alat dibilas menggunakan air bersih.

2.3.5.7 Produksi

Hubungan interaksi antara jumlah pipa yang digunakan dan lamanya waktu penyiraman pada penelitian ini akan saling mempengaruhi dengan melakukan pengamatan bibit kelapa sawit pada tahap *pre-nursery* selama 2 bulan. Aspek yang diukur dan dicatat setiap minggunya seperti: tinggi tanaman, lebar daun, jumlah daun, dan diameter batang.

2.3.6 Analisa Data

Data-data yang sudah terkumpul dalam penelitian ini dianalisis menggunakan *microsoft excel* kemudian hasilnya akan ditampilkan berupa

data dalam tabel dan tampilan grafik, serta disajikan secara deskriptif.

2.4 Parameter Peneltian

Adapun parameter yang akan diamati pada penelitian pembibitan kelapa sawit fase pre-nursery mengunakan metode fertigasi dengan sistem irigasi curah, diantaranya sebagai berikut:

1) Suhu dan kelembaban
2) Debit air
3) Pola pembasahan
4) Keseragaman curahan
5) Lebar sebaran
6) Tingkat kepekatan larutan
7) pH larutan
8) Produksi

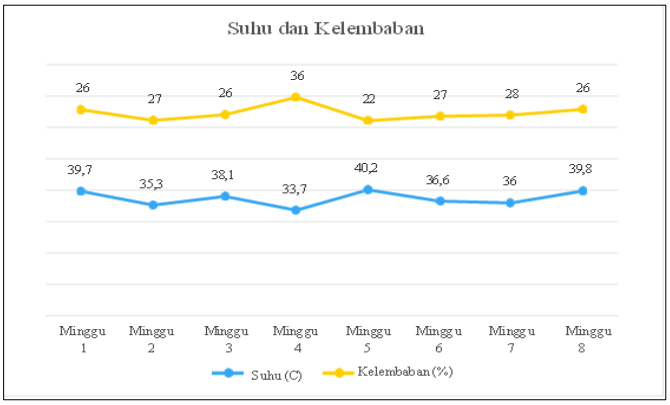
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Suhu dan Kelembapan

Pengukuran suhu dan kelembaban pada pembibitan kelapa sawit dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan penanaman. Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan alat thermohygrometer yang mengukur suhu dan kelembaban secara bersamaan.

Tabel 1. Suhu dan Kelembaban mingguan di lokasi penelitian

Tanggal	Suhu (C)	Rh (%)
1 September - 7 September 2024	39,7	26%
8 September - 14 September 2024	35,3	27%
15 September - 21 September 2024	38,1	26%
22 September - 28 September 2024	33,7	36%
29 September - 5 Oktober 2024	40,2	22%
6 Oktober - 12 Oktober 2024	36,6	27%
13 Oktober - 19 Oktober 2024	36	28%
20 Oktober - 26 Oktober 2024	39,8	26%



Gambar 1. Suhu dan Kelembapan

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 1, suhu terendah dalam rumah tanaman selama penelitian mencapai 33,7°C dengan kelembaban 36%, sementara suhu tertinggi mencapai 40,2°C dengan kelembaban minimum 22%. Kondisi ini perlu dianalisis lebih jauh dengan membandingkannya terhadap standar agronomis untuk fase pembibitan awal (*pre-nursery*) kelapa sawit.

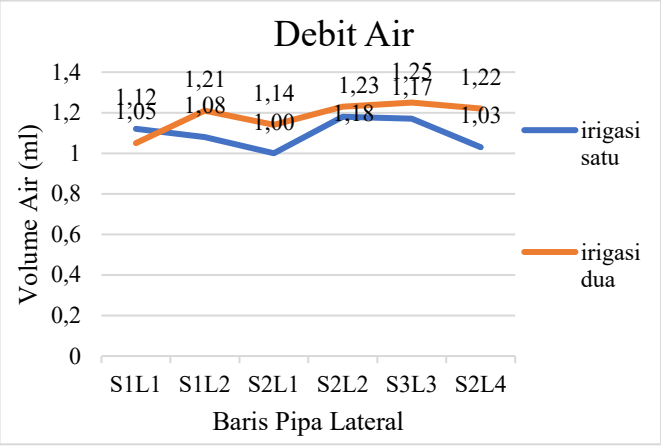
Secara agronomis, kisaran suhu optimal untuk pembibitan kelapa sawit berada pada 28–32°C, dengan kelembaban relatif ideal berada pada rentang 60–80% untuk menjaga metabolisme bibit dan mencegah stres fisiologis (Hadi *et al*., 2020; Corley & Tinker, 2016). Jika dibandingkan dengan kisaran tersebut, hasil pengukuran di lokasi penelitian menunjukkan bahwa seluruh nilai suhu mingguan berada di atas suhu optimum, bahkan beberapa minggu mencapai kondisi panas ekstrem (>38°C). Kelembaban yang terukur (22–36%) juga berada jauh di bawah standar ideal, sehingga bibit berada pada kondisi udara kering yang dapat meningkatkan laju transpirasi dan menyebabkan bibit mudah mengalami layu fisiologis.

Pada fase *pre-nursery*, bibit kelapa sawit membutuhkan kelembaban yang cukup untuk mencegah penguapan berlebihan dari daun dan media tanam. Kelembaban rendah (<40%) secara

konsisten dapat menyebabkan media cepat mengering sehingga bibit bergantung penuh pada frekuensi penyiraman. Selain itu, kombinasi suhu tinggi dan kelembaban rendah meningkatkan risiko serangan organisme penyebab stres non-patogen seperti physiological drought. Sebaliknya, kelembaban yang terlalu tinggi (>80%) berpotensi menyebabkan serangan penyakit bercak daun ataupun pertumbuhan jamur patogen (Cameron *et al*., 2024). Oleh karena itu diperlukan upaya perbaikan kondisi lingkungan pembibitan agar mendekati standar agronomis yang optimal bagi pertumbuhan bibit kelapa sawit.

3.2 Debit Air

Pengukuran debit curahan air dilakukan dengan menampung air yang keluar pada setiap pipa lateral menggunakan wadah ukur, kemudian waktu yang diperlukan dicatat dengan *stopwatch* untuk masing-masing aliran irigasi. Aliran irigasi satu (P_1) dioperasikan selama 300 detik, sedangkan irigasi dua (P_2) selama 360 detik, dan hasilnya disajikan pada Gambar 2.

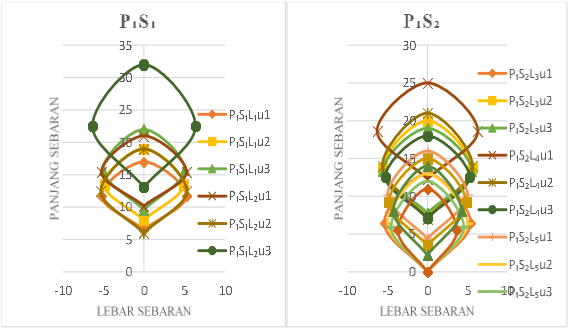


Gambar 2. Debit air pada sistem irigasi curah

Dari Gambar 2 menunjukkan irigasi dua (P_2) memperoleh nilai rata-rata tertinggi sebesar 1,25 ml/detik, sedangkan debit rata-rata terendah terdapat pada irigasi satu (P_1) yaitu 1,00 ml/detik. Perbedaan debit ini sejalan dengan karakteristik hidraulik sistem. Berdasarkan pengukuran tekanan pada pipa utama dan lateral, tekanan operasi pada P_2 tercatat lebih tinggi dibanding P_1, sehingga kecepatan aliran fluida dan debit keluaran di setiap curahan juga meningkat. Selain itu, konfigurasi jaringan pipa menunjukkan bahwa irigasi satu (P_1) menggunakan jumlah baris pipa lateral lebih sedikit (S_1) dibanding irigasi dua (P_2) yang memiliki empat baris lateral (S_2), sehingga distribusi tekanan pada P_2 lebih merata dan kehilangan energi per satuan panjang pipa relatif lebih kecil. Kondisi ini menjelaskan dua baris pipa lateral (S_1) cenderung menghasilkan debit yang lebih rendah dibanding empat baris pipa lateral (S_2). Perbedaan waktu penyiraman antara P_1 (300 detik) dan P_2 (360 detik) juga memperkuat selisih volume air total yang diterima tiap baris lateral, sehingga hubungan sebab akibat antara konfigurasi pipa, tekanan operasi, dan debit yang dihasilkan menjadi lebih meyakinkan (Qurniawan & Ahmad, 2024).

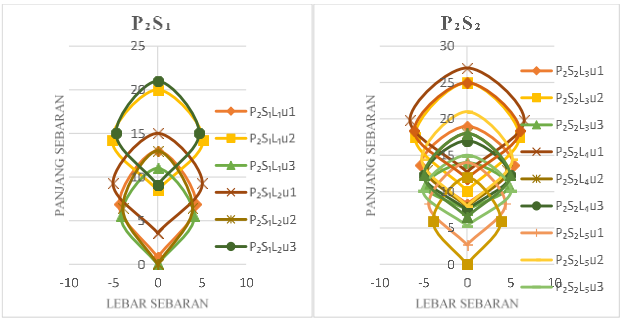
3.3 Pola Pembasahan

Pola pembasahan merupakan kumpulan dari masing-masing curahan air yang diberikan tanda pada ujung curahan pada area lemparan air, sehingga akan membentuk pola-pola. Pada pengamatan sebaran curahan air diukur panjang dan lebarnya. Hasil dari pengukuran tersebut disajikan dalam bentuk gambar pola pembasahan aliran irigasi satu dan irigasi dua seperti yang disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Pola pembasahan curahan air pada irigasi satu

Berdasarkan Gambar 3, pola pembasahan irigasi satu menunjukkan bahwa kombinasi P_1S_2 menghasilkan sebaran yang paling merata, dengan bentuk pola yang simetris dari pusat curahan hingga ke ujung lemparan air. Sementara itu, P_1S_1 memperlihatkan adanya area kosong (*dry spot*) di beberapa titik, menunjukkan ketidakseragaman distribusi air. Berdasarkan hasil pengukuran panjang dan lebar sebaran, sistem dua (S_2) pada irigasi satu menghasilkan luas area basah efektif rata-rata ± 270–290 cm², sedangkan sistem satu (S_1) hanya mencapai sekitar 230–250 cm². Perbedaan ±15–20% ini memperkuat bahwa penambahan jumlah pipa lateral (dari 2 menjadi 4) memberikan peningkatan nyata pada luas pembasahan.



Gambar 4. Pola pembasahan curahan air pada irigasi dua

Pada Gambar 4 terlihat bahwa pola pembasahan pada irigasi dua juga menunjukkan pola terbaik pada sistem dua (P_2S_2). Secara kuantitatif, P_2S_2 menghasilkan luas area basah efektif sebesar 260–280 cm², sedangkan P_2S_1 hanya berkisar 210–235 cm². Selain itu, pola tumpang tindih antar curahan antar baris lateral juga lebih optimal pada sistem dua. Berdasarkan hasil pengukuran jarak antar pusat curahan dan radius sebaran, persentase tumpang tindih antar curahan pada P_2S_2 mencapai 50–65%, memastikan tidak ada bagian tanah yang tidak terkena air. Pada P_2S_1 persentase tumpang tindih hanya sekitar 25–35%, sehingga masih dijumpai area kering yang berpotensi menyebabkan ketidakmerataan kelembaban tanah.

Analisis kuantitatif menunjukkan bahwa jumlah pipa lateral merupakan faktor dominan dalam membentuk pola sebaran air yang merata. Sistem dua (S_2) pada irigasi satu maupun irigasi dua konsisten menghasilkan luas pembasahan lebih besar, tumpang tindih lebih tinggi, serta pola sebaran yang lebih rapat dan simetris dibandingkan sistem satu (S_1). Penelitian ini sejalan dengan Suparman & Pragito (2020), bahwa distribusi sebaran air paling banyak terjadi di sekitar *sprinkler* dan menurun secara bertahap menuju area terjauh, sehingga konfigurasi pipa yang lebih banyak mampu memperbaiki kontinuitas aliran di area tersebut.

3.4 Koefisien Keseragaman

Keseragaman curahan diukur dengan menempatkan wadah penampung air berdiameter 8 cm diletakan sejauh 15 cm dari pusat curahan air, dengan waktu pengamatan yang diatur bergantian pada masing-masing irigasi. Data hasil pengukuran disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata volume air yang tertampung pada irigasi satu (P_1) sebesar 67 ml, sedangkan pada irigasi dua (P_2) sebesar 110 ml.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa lama waktu penyiraman (300 detik pada P_1 dan 360 detik pada P_2) berpengaruh nyata terhadap volume curahan, sedangkan perbedaan jumlah pipa lateral antara dua dan empat baris tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap volume rata-rata yang tertampung. Menurut Kusaly et al. (2021), butiran air hasil curahan memiliki jarak jatuh yang berbeda tergantung ukurannya; butiran yang lebih kecil cenderung jatuh di area yang lebih dekat dengan sprinkler, sedangkan butiran yang lebih besar dapat mencapai jarak yang lebih jauh. Butiran yang terlalu halus mudah terbawa angin sehingga tidak seluruh air mencapai permukaan tanah, dan hal ini dapat menurunkan efisiensi irigasi.

Tabel 2. Keseragaman curahan pada sistem irigasi satu dan irigasi dua

Sampel	P_1 (300 detik)		P_2 (360 detik)	
	Xi	|xi-x|	xi	|xi-x|
	71	4	123	13
S_1L_1	69	2	133	23
	59	8	91	19
	66	1	130	20
S_1L_2	66	1	122	12
	58	9	109	1
	100	33	97	13
S_2L_1	65	2	84	26
	83	16	119	9
	49	18	113	3
S_2L_2	63	4	104	6
	70	3	115	5
	68	1	129	19
S_2L_3	73	6	92	18
	82	15	118	8
	47	20	79	31
S_2L_4	66	1	130	20
	68	1	92	18
rata-rata ($\bar{x}$)			67	110
Deviasi Absolut $\sum\|xi - \bar{x}\|$			147	273
$\bar{x}$.n			1203	1980
Koefisien Keseragaman			88%	86%

Hasil perhitungan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa koefisien keseragaman (*Coefficient of Uniformity*/CU) irigasi satu (P_1) sebesar 88%, sedangkan irigasi dua (P_2) sebesar 86%. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa kedua sistem irigasi memiliki tingkat keseragaman yang baik, karena efisiensi irigasi curah dikategorikan tinggi apabila CU berada di atas 80% (Endrayanti *et al*., 2018). Dengan mengasumsikan bahwa bagian air yang termanfaatkan efektif sebanding dengan nilai CU, maka efisiensi penggunaan air pada P_1 dapat diperkirakan sekitar 88% dengan kehilangan air (*loss*) sekitar 12%, sedangkan pada P_2 efisiensinya sekitar 86% dengan *loss* sekitar 14%. Meskipun P_2 memberikan volume curahan yang lebih besar, sebagian tambahan volume tersebut berpotensi menjadi air berlebih yang tidak seluruhnya dimanfaatkan oleh bibit. Oleh karena itu, masih terdapat ruang perbaikan untuk mengurangi kehilangan air, misalnya melalui penyesuaian waktu penyiraman, pengaturan posisi sprinkler, serta optimasi diameter dan jumlah pipa lateral agar volume curahan yang diberikan lebih mendekati kebutuhan air efektif di zona perakaran.

3.5 Lebar Sebaran

Lebar sebaran curahan diukur menggunakan alat ukur penggaris atau meteran dengan memberikan tanda pada curahan terjauh dari pipa lateral. Maka didapatkan data pengukuran lebar sebaran yang tersaji dalam bentuk Tabel 3.

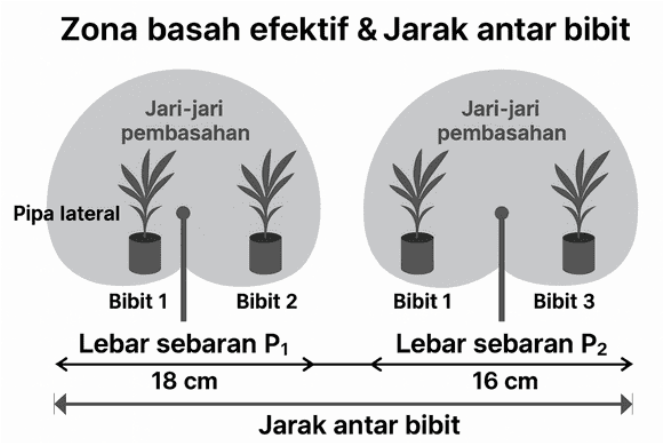
Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 5, menunjukkan hubungan antara lebar sebaran curahan, zona basah efektif, dan penempatan bibit kelapa sawit dalam sistem *pre-nursery* menggunakan irigasi curah dari pipa lateral. Pada

irigasi satu (P_1), rata-rata lebar sebaran sebesar 18 cm sehingga jari-jari pembasahan efektif sekitar 9 cm dari pipa lateral, sedangkan pada irigasi dua (P_2) rata-rata lebar sebaran 16 cm dengan jari-jari pembasahan sekitar 8 cm. Zona basah ini merupakan area dengan kelembaban tanah yang cukup untuk menopang pertumbuhan bibit secara optimal. Dengan menggunakan polibag ukuran 10 × 15 cm, satu zona curahan mampu membasahi hingga tiga bibit, asalkan bibit ditempatkan pada titik yang masih terjangkau curahan namun tidak terlalu dekat dengan pusat curah agar tidak terjadi kelebihan air (Endrayanti *et al*., 2018).

Tabel 3. Lebar sebaran pada irigasi satu dan irigasi dua

Sampel	P_1		P_2	
	l/b	L/b	l/b	L/b
S_1L_1	19	296,7	15	180,6
S_1L_2	24	477,8	16	218,5
S_2L_1	17	243,4	19	309,3
S_2L_2	21	363,7	21	351,2
S_2L_3	14	148,9	17	225,6
S_2L_4	13	141,8	18	286,0
Rata-rata	18	279	18	262

Keterangan : L : pipa lateral, l/b : lebar siraman (cm), L/b: luas siraman (cm^2)

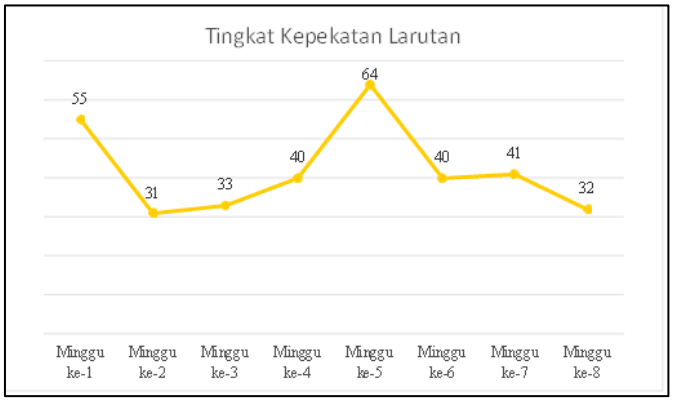


Gambar 5. Zona basah efektif dan jarak antar bibit

Jarak antar bibit diatur mengikuti lebar pembasahan P_1 dan P_2, yakni sekitar 16–18 cm, sehingga seluruh bibit tetap berada dalam zona curahan yang relatif seragam. Semakin luas sebaran curahan, semakin besar pula area yang menerima suplai air, sehingga keseragaman pembasahan meningkat. Lebar sebaran dapat meningkat seiring tingginya tekanan dan pengaturan kemiringan *nozel* yang mampu memperpanjang jarak lempar air (Kayangan *et al*., 2023). Sebaran curahan yang lebih merata akan menghasilkan kelembaban tanah yang seragam dan berdampak langsung pada keseragaman pertumbuhan bibit, terutama pada fase pembibitan awal (*pre-nursery*).

3.6 Tingkat Kepekatan Larutan

Tingkat kepekatan larutan diukur menggunakan bantuan alat TDS Meter dengan mencelupkan pada air yang digunakan untuk penyiraman yang sudah di campurkan dengan pupuk hayati cair. Data tersebut disajikan dalam bentuk Gambar 6 dan Tabel 4, dibawah ini.



Gambar 6. Tingkat kepekatan larutan

Tabel 4. Data mingguan tingkat kepekatan larutan

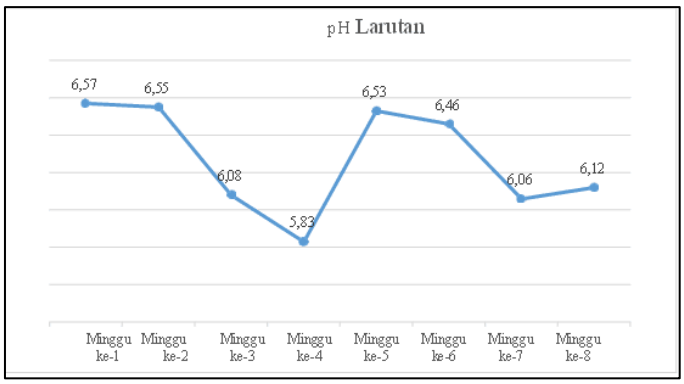
Tanggal	PPM
1 September - 7 September 2024	55
8 September - 14 September 2024	31
15 September - 21 September 2024	33
22 September - 28 September 2024	40
29 September - 5 Oktober 2024	64
6 Oktober- 12 Oktober 2024	40
13 Oktober - 19 Oktober 2024	41
20 Oktober - 26 Oktober 2024	32
Rata-rata	42

Berdasarkan beberapa penelitian hidroponik, konsentrasi larutan hara yang dinyatakan sebagai *electrical conductivity* (EC) umumnya optimal pada kisaran ±1,5–2,5 dS m^{-1} untuk berbagai sayuran daun. Lam *et al*., (2020) menunjukkan bahwa EC yang terlalu rendah menyebabkan kekurangan hara (*nutrient deficiency*), sedangkan EC yang terlalu tinggi menimbulkan stress salinitas dan ketidakseimbangan ion, sehingga pertumbuhan tanaman menurun. Penelitian lain pada kale dan collard dalam sistem NFT menemukan bahwa rentang EC sekitar 1,5–2,1 dS m^{-1} memberikan serapan mineral daun (P, K, Mn, Zn, Cu, B) dan hasil panen yang paling baik, sementara di luar kisaran tersebut kualitas dan/atau hasil mulai menurun. Menurut Yang *et al*., (2024). karena nilai TDS berbanding lurus dengan EC, kisaran EC tersebut dapat digunakan sebagai rujukan kisaran TDS optimal (larutan berada pada ratusan hingga ribuan ppm, tergantung faktor konversi dan jenis tanaman).

Jika TDS terlalu rendah seperti pada hasil pengukuran penelitian ini (31–64 ppm, rata-rata 42 ppm), konsentrasi ion hara di sekitar akar menjadi sangat encer sehingga gradien konsentrasi antara larutan dan jaringan akar kecil. Akibatnya, laju penyerapan unsur hara makro dan mikro menurun, dan tanaman berisiko mengalami defisiensi hara walaupun disiram secara rutin. Sebaliknya, bila TDS terlalu tinggi, tekanan osmotik larutan meningkat; air lebih sulit masuk ke akar dan dapat terjadi aliran balik air dari sel akar ke larutan. Kondisi ini tidak hanya menghambat penyerapan air dan hara, tetapi juga dapat memicu gejala toksisitas ion tertentu serta menurunkan aktivitas mikroba menguntungkan dalam pupuk hayati cair. Oleh karena itu, pengelolaan TDS/EC agar tetap berada dalam kisaran optimum menjadi kunci untuk memaksimalkan penyerapan unsur hara dan respons pertumbuhan tanaman.

3.7 pH Larutan

Pengukuran pH larutan dibantu dengan alat yang bernama pH Meter dengan alat ini pengukuran ph larutan hanya dengan mencelupkan alat dan tunggu sampai angka stabil. Pengukuran pH air ini dilakukan perminggu data disajikan dalam bentuk Gambar 7 dan Tabel 5.



Gambar 7. pH larutan

Tabel 5. Data mingguan ph larutan

Tanggal	pH
1 September - 7 September 2024	6,57
8 September - 14 September 2024	6,55
15 September - 21 September 2024	6,08
22 September - 28 September 2024	5,83
29 September - 5 Oktober 2024	6,53
6 Oktober - 12 Oktober 2024	6,46
13 Oktober - 19 Oktober 2024	6,06
20 Oktober - 26 Oktober 2024	6,12
Rata-rata	6,28

Dari Gambar 7 dan Tabel 5 menunjukkan minggu kesatu menjadi nilai yang paling tinggi atau paling mendekati netral yaitu 6,57 sedangkan pH terendah terjadi pada minggu keempat dengan nilai 5,83, pH larutan rata -rata mingguan 6,28 maka rata-rata kondisi pH air diklasifikasikan sedikit asam. Nilai pH penting karena menggambarkan aktifitas

kimiawi maupun biologis suatu larutan, jika terlalu masam akan banyak mengandung unsur mikro yang beracun seperti (Al) alumunium unsur ini akan mengikat fosfor dan tanaman tidak dapat menyerapnya, begitu juga pH yang basa akan menyulitkan tanaman menyerap air (Mahdiannoor *et al*., 2018).

3.8 Persentase Pertumbuhan

Hasil produksi selama dua bulan dengan penyiraman sistem irigasi curah bersamaan pemberian pupuk cair (Fertigasi) pada bibit tanaman kelapa sawit, dengan perbedaan lama penyiraman dan jumlah pipa lateral ditampilakan pada Tabel 6.

Tabel 6. Persentase pertumbuhan bibit kelapa sawit pada irigasi satu dan irigasi dua

Sampel	(Tt)%		(Jd)%		(Ld)%		(Db)%	
	P_1	P_2	P_1	P_2	P_1	P_2	P_1	P_2
S_1L_1	32	35	70	70	95	76	179	66
S_1L_2	23	39	55	62	74	112	112	65
S_2L_1	27	22	78	47	110	77	92	80
S_2L_2	30	18	55	58	91	121	84	76
S_2L_3	9	20	67	57	83	81	71	108
S_2L_4	34	18	57	70	94	127	54	79
Rata-rata	26	25	64	61	91	99	99	79
Persentase pertumbuhan							279	264

Keterangan : Tt: tinggi tanaman , Jd: jumlah daun, Ld: lebar daun , Db: diameter batang

Berdasarkan data Tabel 6 irigasi satu memiliki persentase pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan irigasi dua. Nilai persentase irigasi satu (P_1) sebesar 279% rata- rata tinggi tanaman 26%, jumlah daun 64%, luas daun 91%, dan diameter batang 99%. Sedangkan nilai persentase irigasi dua (P_2) sebesar 264% rata-rata tinggi tanaman 25%, jumlah daun 61%, luas daun 99%, dan diameter batang 79%. Dengan tingginya persentase pertumbuhan menunjukan bahwa lama waktu penyiraman berpengaruh meningkatkan produksi pertumbuhan bibit sawit *pre nursery*. Sistem irigasi curah dengan pemupukan metode fertigasi memberikan nutrisi secara terus-menerus kepada tanaman dan memenuhi kebutuhan air yang menyebabkan tanaman menyerap air beserta nutrisi secara baik dalam satu waktu bersamaan. Ketersediaan air yang memadai merupakan faktor penting dalam mendukung proses fotosintesis yang berperan langsung terhadap peningkatan kualitas pertumbuhan tanaman. Meskipun demikian, pemberian air harus disesuaikan dengan kebutuhan fisiologis tanaman, karena baik kelebihan maupun kekurangan air dapat menimbulkan dampak yang merugikan. Kondisi kelebihan air dapat menyebabkan tanaman bersifat sekulen dan rentan rebah akibat rendahnya daya dukung tanah terhadap tegakan tanaman. Sebaliknya, defisiensi air dapat menghambat pertumbuhan tanaman serta menurunkan laju fotosintesis akibat berkurangnya kandungan klorofil dalam jaringan tanaman (Setiawan *et al*., 2023).

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah bahwa kondisi suhu dan kelembapan di lokasi pembibitan cukup fluktuatif, dengan suhu dan kelembaban terendah 33,7°C dan 36% serta tertinggi 40,2°C dengan kelembaban 22%. Debit air tertinggi terjadi pada waktu siram 6 menit (T_2) sebesar 0,00125 L/detik, debit terendah pada waktu siram 5 menit (T_1) sebesar 0,00100 L/detik. Pola siraman terbaik ditunjukkan oleh perlakuan empat baris pipa lateral (P_2) yang menghasilkan kerapatan curahan merata dari *sprinkler* hingga ujung curahan.

Koefisien keseragaman setiap irigasi termasuk kategori baik karena tidak lebih rendah dari 80%, yakni 88,1% pada T_1 dan 86,7% pada T_2. Luas siraman per curah rata-rata pada T_1 mencapai 279 cm^2, sedangkan pada T_2 sebesar 262 cm^2; dengan penggunaan *polybag* berdiameter 10 cm, satu zona siraman mampu mencakup tiga bibit kelapa sawit. Nilai pH air rata-rata sebesar 6,28 yang diklasifikasikan sedikit asam. Persentase pertumbuhan bibit pada T_1 menunjukkan peningkatan yang cukup tinggi, yaitu tinggi tanaman 26%, jumlah daun 64%, luas daun 91%, dan diameter batang 99%, yang secara umum mengindikasikan pertumbuhan bibit yang dapat mencapai hampir dua kali ukuran awal.

REFERENSI

Anhar, T. M., Rama, R. S., Edy, F., & Bayu, P. (2021). Respon Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit di Tahap Pre-Nursery dengan Aplikasi Pupuk Organik Cair Kulit Pisang Kepok. *Agrium*, 23(2), 94-99.

Anri, K., Saputra, T. W., & Ramadan, A. (2020). Sistem Fertigasi Rain Pipe Otomatis Pada Main Nursery Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq) Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(3), 184-190.

Ariswandi, P., Ichwana, & Susi, C. (2017). Efisiensi Keseragaman Distribusi Air dari Variasi Ketinggian Pipa pada Sistem Irigasi Curah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*, 2(2), 430-438 .

Ariyanti, Rosniawaty, M., & Utami, H. (2018). Pertumbuhan bibit kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) dengan pemberian kompos blotong disertai dengan frekuensi penyiraman yang berbeda di pembibitan utama. *Jurnal Kultivasi*, 17(3), 723-731.

Asmana, M. S., Sirajuddin, H. A., & Guyup, M. D. (2017). Analisis Keseragaman Aspek Fertigasi pada Desain Sistem Hidroponik Dengan Perlakuan Kemiringan Talang. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 5(1), 303-315.

Cameron, Randal, R., Astri, F., & Stenia, R. Y. (2024). Insidensi dan Keparahan Penyakit Bercak Daun Disebabkan oleh Curvulariasp. pada Pembibitan Kelapa Sawit di Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 12(1), 1-10.

Chisyashita, F. (2021). Kajian Budidaya Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) di Kabupaten Pulang Pisau Provinsi Kalimantan Tengah. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 2, 220-227.

Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5th ed.). Wiley-Blackwell.

Endrayanti, K., Ahmad, M., & Samsuar. (2018). Uji Kinerja Micro Sprinkler Tipe G 360 Degree Rotary. *Jurnal Agritechno*, 11(2), 121-128.

Hadi, H., Prasetyo, A., & Budiman, A. (2020). Environmental requirements and nursery management of oil palm seedlings (Elaeis guineensis Jacq.). *Journal of Plantation and Tropical Crops*, 2(1), 45–54.

Halid, E., Darmawan, & Randi, P. (2015). Respon Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq) terhadap Pupuk NPK 16-16-16. *J. Agroplantae*, 4(1), 19-24.

Harahap, D. M., Sumono, & Achwil, P. M. (2018). Kajian Fertigasi dengan Metode Tanam Hidroponik pada Tanaman Pakcoy (Brassica rapa L.). *J.Rekayasa Pangan dan Pert*, 6(4), 795-799.

Idris, I., Reni, M., & Warnita, W. (2020). Karakterisasi Morfologi Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Kebun Binaan PPKS Kabupaten Dharmasraya. *Jurnal Riset Perkebunan*, 1(1), 45-53.

Julia, V., Charles, J. T., & Agustinus, S. (2021). Perencanaan Sistem Pemberian Air Dengan Sistem Sprinkler Untuk Lahan Pertanian Desa Waiheru, Kecamatan Baguala Kota Ambon. *Jurnal Manumata*, 7(1), 42-48.

Kayangan, E. R., Ruland, A. R., & Leo, K. (2023). Perancangan Dan Uji Kinerja Sprinkler Sederhana. *Cocos*, 15(2), 1-9.

Kholilah, U., Sulaiman, P. J., Rydhora, G., & Aditya, A. F. (2021). Rancang Bangun Sistem Irigasi Sprinkle Berbasis Iot (Internet Of Things) pada Tanaman Hortikultura. *Jaber*, 2(2), 28-36.

Kusaly, M. C., Ruland, A. R., & Dedie, T. (2021). Uji Unjuk Kerja Alat Irigasi Sprinkler Tipe Gun Rain Dn-50 di Desa Tontalete Kecamatan Kema Kabupaten Minahasa Utara. *Cocos*, 5(5), 1-10.

Lam, V. P., Kim, S. J., & Park, J. S. (2020). Optimizing the electrical conductivity of a nutrient solution for plant growth and bioactive compounds of *Agastache rugosa* in a plant factory. *Agronomy, 10*(1), 76. https://doi.org/10.3390/agronomy10010076

Mahdiannoor, Nur, H., & Heru, S. (2018). Kecepatan Tumbuh Benih Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) pada Dua Tempat Pengambilan Tanah Rawa Lebak. *Jurnal Sains STIPER Amuntai*, 8(2), 60-67.

Mudzakir, A. M., Cahyoadi, B., & Petrus, A. (2023). Distribusi Kadar Air Tanah Dengan Irigasi Curah Pada Budidaya Tanaman Stevia (Stevia rebaudiana B.). *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 9(4), 689-700.

Mufida, E., Rian, S. A., Rivai, A. K., & Indri, P. R. (2020). Perancangan Alat Pengontrol pH Air Untuk Tanaman Hidroponik Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Inovasi dan Sains Teknik Elektro*, 1(1), 13-19.

Pitono, J. (2018). Prospek Fertigasi untuk Pengelolaan Hara Pada Budidaya Lada. *Perspektif*, 17(2), 117 - 128.

Purba, j. H., & Tungkot, S. (2017). Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia dalam Perspektif Pembangunan Berkelanjutan. *Masyarakat Indonesia*, 43(1), 81-94.

Purwosetyoko, N. S., Nasruddin, Muhammad, R., Faisal, & Muhammad, Y. N. (2022). Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq) Fase Pre Nursery Menggunakan Ekstraks Daun Muccuna Bracteata. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroekoteknologi*, 1(2), 34-38.

Qurniawan, A. R., & Ahmad, B. N. (2024). Analisis Pengaruh Debit Dan Kecepatan Aliran Terhadap Kapasitas Free Intake Air Baku Kabupaten Pakpak Bharat. *JTSIP*, 3(1), 50-54.

Rahman, F., Eko, N., & Azizah, R. (2019). Kinerja Alat Irigasi Curah (Sprinkler Irrigation) Berbasis Gravitasi. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 7(2), 131-140.

Rohman, D. S., Ahmad, M., & Sylvia, M. (2024). Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Irigasi pada Pembibitan Awal Kelapa Sawit. *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 15(1), 31-42.

Setiyawan, A. F., Neny, A., & Githa, N. (2023). Analisis Pengaruh Letak dan Topografi Plot Main Nursey terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) dengan Sistem Fertigasi Tetes (Drip Fertigation System). *Agro Estate*, 7(2), 30-39.

Suparman, & Pragito. (2020). Modifikasi Jaringan Irigasi Curah (Sprinkler Irrigation) dengan Menggunakan Metode Knockdown. *Prosiding Seminar Nasional Penerapan IPTEKS I*, 78-88.

Triana, A. N., & Mega, A. (2023). Perancangan Biosand Filtration untuk Kualitas Air Berdasarkan Tekanan Pompa dari Limbah Industri Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 242-249.

Usman, E., Meriyanto, & Haris. (2014). Respons Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Pre Nursery Akibat Pemberian Pupuk Melalui Daun. *Jur.Agroekotek*, 6(1), 41-47.

Wati, S., Joseph, D. I., & Yosep, A. P. (2022). Rancang Bangun Pembibitan Kelapa Sawit Berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 6(1), 145-153.

Yang, T., Samarakoon, U., Altland, J., & Ling, P. (2024). Influence of electrical conductivity on plant growth, nutritional quality, and phytochemical properties of kale (*Brassica napus*) and collard (*Brassica oleracea*) grown using hydroponics. *Agronomy, 14*(11), 2704. https://doi.org/10.3390/agronomy14112704