

Analisis Konsep Fisika dalam Teknologi Irigasi Tetes: pada Tembakau dan Jagung

Muhammad Muhiyidin Firdaus¹, Rina Dwi Rahayu²

^{1,2} Pendidikan Fisika, Universitas Jember

e-mail: didindidin062@gmail.com¹, rdwirahayu999@gmail.com²

Abstrak

Teknologi irigasi tetes merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman, khususnya tembakau dan jagung, di tengah tantangan perubahan iklim yang semakin ekstrem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsep-konsep fisika yang diterapkan dalam sistem irigasi tetes serta mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi air dan hasil panen. Metode yang digunakan adalah studi literatur dari berbagai jurnal ilmiah terakreditasi dengan fokus pada penerapan prinsip fisika seperti hukum kontinuitas, hukum Bernoulli, tekanan hidrostatis, dan kapilaritas tanah. Hasil kajian menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes mampu menghemat air hingga 90% dan meningkatkan hasil panen sebesar 30–50% dibanding metode konvensional. Selain itu, integrasi teknologi modern seperti Internet of Things (IoT), tenaga surya, dan perhitungan evapotranspirasi aktual memperkuat efektivitas sistem ini. Dengan demikian, teknologi irigasi tetes merupakan solusi yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan bagi sektor pertanian, khususnya pada lahan dengan ketersediaan air terbatas.

Kata kunci: *Fisika, Irigasi Tetes, Efisiensi Air, Kapilaritas, dan Hasil Panen.*

Abstract

Drip irrigation technology is one of the promising innovations in improving water use efficiency and crop productivity, especially tobacco and maize, amid the challenges of extreme climate change. This study aims to analyze the physical concepts applied in drip irrigation systems and evaluate their impact on water efficiency and crop yields. The method used was a literature study from various accredited scientific journals with a focus on the application of physics principles such as the law of continuity, Bernoulli's law, hydrostatic pressure, and soil capillarity. The results of the study show that the drip irrigation system can save water up to 90% and increase crop yields by 30-50% compared to conventional methods. In addition, the integration of modern technologies such as the Internet of Things (IoT), solar power, and actual evapotranspiration calculation strengthens the effectiveness of this system. Thus, drip irrigation technology is an efficient, adaptive, and sustainable solution for the agricultural sector, especially on land with limited water availability.

Keywords : *Physics, Drip Irrigation, Water Efficiency, Capillarity, and Yield.*

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor utama dalam struktur ekonomi nasional Indonesia, dengan kontribusi besar terhadap penyediaan pangan, penyerapan tenaga kerja, dan pendapatan masyarakat perdesaan. Salah satu komoditas unggulan dalam sektor ini adalah tembakau (*Nicotiana tabacum* L.), terutama di wilayah Kabupaten Jember, Jawa Timur,

yang dikenal sebagai sentra utama produksi tembakau nasional. Menurut Wahyudi *et al.*, 2023, sekitar ±74.000 buruh tani di Jember menggantungkan hidupnya pada usaha tani tembakau. Namun, keberlangsungan produksi tembakau di daerah ini tengah menghadapi tekanan besar akibat perubahan iklim, seperti peningkatan suhu ekstrem, curah hujan yang tidak menentu, serta kekeringan musiman, yang berdampak langsung pada kualitas dan kuantitas hasil panen. Situasi serupa juga terjadi pada tanaman jagung.

Menghadapi kondisi tersebut, teknologi irigasi tetes berkembang sebagai salah satu solusi unggulan dalam efisiensi penggunaan air di bidang pertanian. Teknologi ini bekerja dengan cara mengalirkan air secara perlahan dan terfokus langsung ke daerah perakaran tanaman, sehingga dapat meminimalkan kehilangan air akibat evaporasi dan limpasan permukaan. Sulistyono *et al.*, 2022 menunjukkan bahwa irigasi tetes tanpa penggunaan mulsa dapat menghasilkan bobot daun tembakau kering mencapai 5,505 ton per hektar, serta efisiensi pemakaian air sebesar 3,4 gram daun kering per kilogram air, jauh lebih tinggi dibandingkan sistem irigasi konvensional. Selain itu, sistem ini juga mampu menekan konsumsi air hingga 30–45%, menjadikannya sangat cocok untuk lahan dengan keterbatasan air.

Efisiensi sistem irigasi tetes tidak lepas dari penerapan prinsip mekanika fluida, khususnya ‘Hukum Kontinuitas’ dan ‘Hukum Bernoulli’. Hukum Kontinuitas memastikan air terdistribusi merata ke semua titik tetes meskipun tekanan bervariasi, sementara Hukum Bernoulli menjaga tekanan aliran tetap efisien di sepanjang jaringan pipa (Amatullah *et al.*, 2021). Selain itu, sistem ini memanfaatkan fenomena kapilaritas tanah untuk distribusi air yang stabil ke akar tanaman, serta memperhitungkan evapotranspirasi untuk menentukan volume dan frekuensi irigasi yang tepat. Dengan demikian, teknologi irigasi tetes merupakan integrasi antara pendekatan teknologis dan prinsip-prinsip ilmiah fisika, yang aplikasinya sangat relevan dalam adaptasi pertanian terhadap perubahan iklim, yang akan dibahas secara eksplisit dalam artikel ini.

Artikel ini menggunakan penelitian dari hasil review artikel-artikel yang sudah ada. Artikel yang penelitian ini gunakan adalah 25 rujukan yang bersumber dari *google scholar* dengan minimal tahun terbit jurnal 5 tahun terakhir. Artikel ini memuat materi mengenai fisika tepatnya fluida yang terdapat dalam sebuah teknologi irigasi tetes untuk tanaman jagung dan tembakau. Sumber rujukan yang digunakan dalam artikel ini yaitu menggunakan APA style.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dengan teknik literature mapping untuk menelaah artikel-artikel ilmiah terkini mengenai irigasi tetes pada tanaman tembakau dan jagung. Literatur dipilih dari jurnal terakreditasi lima tahun terakhir, lalu dianalisis berdasarkan tema, parameter teknis, dan kontribusi ilmiah. Fokus kajian meliputi efisiensi air, penerapan konsep fisika (hukum kontinuitas, hukum Bernoulli, kapilaritas tanah), serta integrasi teknologi seperti IoT, tenaga surya, dan pemodelan hidrolik. Hasil telaah digunakan untuk membangun kerangka berpikir dan pembahasan artikel secara ilmiah dan kontekstual.

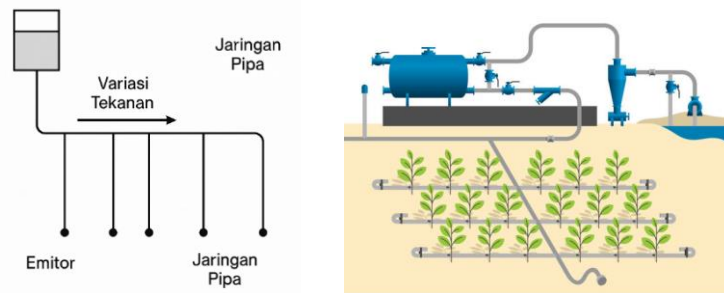
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan teknologi irigasi tetes pada tanaman tembakau dan jagung terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air dan produktivitas tanaman, terutama menghadapi tantangan perubahan iklim. Sulistyono *et al.* (2022) melaporkan bahwa irigasi tetes tanpa mulsa pada tembakau menghasilkan bobot daun kering tertinggi sebesar 5,505 ton/ha dengan efisiensi air 3,4 g/kg air, menghemat air 30–45% dibanding metode konvensional. Kharrou *et al.* (2018) menunjukkan efisiensi air hingga 90% serta peningkatan hasil jagung dan tomat sebesar 30–50%. Temuan ini menegaskan bahwa irigasi tetes tidak hanya mengoptimalkan suplai air secara kuantitatif, tetapi juga meningkatkan kualitas hasil pertanian.

Dari sudut pandang fisika, efisiensi sistem dijelaskan melalui ‘Hukum Kontinuitas’ dan ‘Hukum Bernoulli’. Hukum Kontinuitas memastikan debit air konstan di seluruh jaringan, memungkinkan distribusi seragam meski terjadi perubahan tekanan, sementara Hukum Bernoulli menjelaskan bagaimana peningkatan kecepatan aliran menurunkan tekanan statis untuk menjaga kestabilan tekanan dalam jaringan irigasi. Sistem ini memanfaatkan gravitasi tanpa memerlukan tambahan energi eksternal, membuatnya hemat energi dan biaya. Fenomena kapilaritas tanah juga berperan penting, di mana air bergerak melalui pori tanah secara alami ke zona akar, menjaga kelembaban optimal. Irawan *et al.* (2023) menemukan bahwa kombinasi irigasi tetes dan biochar meningkatkan retensi air tanah 31% dan hasil daun kering 25%, memperkuat bukti bahwa efisiensi juga bergantung pada karakteristik media tanam.

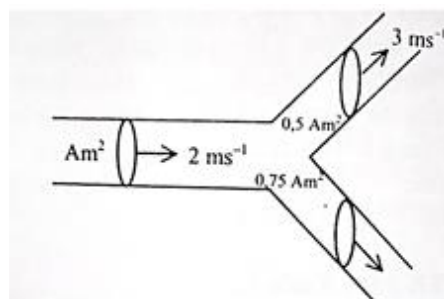
Efektivitas sistem sangat bergantung pada pemahaman dinamika lingkungan dan parameter teknis. Perhitungan ‘evapotranspirasi aktual’, sebagaimana ditekankan Negara *et al.*

(2024), memastikan irigasi presisi mempertimbangkan suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan angin untuk mencegah kelebihan atau kekurangan air. Aspek hidrolis juga krusial; desain pipa yang memperhatikan ‘tekanan hidrostatik’ dan meminimalkan head loss terbukti menjaga kestabilan tekanan. Rizal et al. (2022) melalui simulasi EPANET menunjukkan bahwa distribusi tekanan 200–300 kPa meningkatkan efisiensi distribusi air 30% lebih tinggi dari desain konvensional, memastikan distribusi air merata hingga ujung saluran dengan head loss maksimal hanya 15%.



Gambar. Skema Sederhana Irigasi Tetes (Sumber, istockphoto)

Gambar skema sistem irigasi tetes menunjukkan aliran air dari tangki penampung melalui pipa utama ke pipa lateral yang dilengkapi emitor, meneteskan air langsung ke zona akar tanaman. Tekanan air menurun seiring jarak akibat head loss, sehingga desain pipa harus mempertimbangkan diameter, panjang, dan distribusi titik tetes agar tekanan tetap stabil dan distribusi air merata. Skema ini menerapkan hukum kontinuitas dan Bernoulli untuk menjaga debit dan tekanan aliran, serta memanfaatkan tekanan hidrostatik agar air dapat didistribusikan tanpa pompa. Sistem ini terbukti hemat air, hemat energi, dan efektif di lahan kering maupun berbukit, karena mampu menyesuaikan distribusi air secara tepat berdasarkan prinsip fisika fluida yang dianalisis lebih lanjut dalam penelitian ini.



Gambar. Pipa Bercabang (Sumber, Roboguru)

Irigasi tetes merupakan sistem irigasi yang memberikan air langsung ke zona akar tanaman dalam. Sistem irigasi tetes memiliki pipa utama yang menjadikan sumber aliran yang paling besar sehingga dalam pipa utama tersebut memiliki tekanan dan kecepatan aliran yang tinggi, kemudian dari pipa utama tersebut akan dialirkan ke cabang-cabang pipa yang lebih kecil. Pada pipa cabang tekanan yang awalnya sangat tinggi akan menurun dan juga kecepatan berubah karena adanya perbedaan diameter. Hal ini sesuai dengan hukum Bernoulli dimana besarnya tekanan antara pipa utama (diameter besar) berbanding terbalik dengan tekanan pada pipa cabang (diameter kecil), secara matematis dirumuskan:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Namun jika sistem irigasi tetes yang digunakan adalah sistem datar sehingga ketinggiannya sama ($h_1 = h_2$), maka:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Tekanan pada kedua pipa berbanding terbalik karena adanya perbedaan diameter, hal ini juga dijelaskan pada persamaan kontinuitas dimana luas penampang dari pipa itu berbanding terbalik dengan kecepatan aliran. Secara matematis dituliskan:

$$Q = A \cdot v$$

Hubungan antara kecepatan dan tekanan adalah berbanding terbalik, dimana ketika kecepatan aliran sangat tinggi maka tekanan aliran akan sangat rendah. Berdasarkan pernyataan tersebut maka dapat dihubungkan dengan Hukum Bernoulli yang menyatakan bahwa besarnya kecepatan aliran berbanding terbalik dengan tekanan, sehingga pada pipa bercabang dengan diameter yang lebih kecil akan secara langsung menyebabkan luas penampang (A) lebih kecil dibandingkan pipa utama. Karena luas penampang (A) berbanding terbalik dengan kecepatan maka pada pipa cabang kecepatan alirannya lebih tinggi. Jika dihubungkan kembali ke persamaan Bernoulli maka pada pipa bercabang yang memiliki kecepatan tinggi akan memiliki tekanan yang lebih rendah.

Efisiensi irigasi tetes terbukti melalui peningkatan hasil panen dan penghematan air. Tembakau dan jagung menunjukkan respons signifikan, terutama dengan penerapan prinsip Bernoulli, biochar, teknologi IoT, dan perhitungan evapotranspirasi. Rincian efektivitasnya disajikan pada tabel berikut:

Tabel. Efektivitas Sistem Irigasi Tetes pada Tembakau dan Jagung

No	Peneliti	Tanaman	Sistem Irigasi	Efisiensi Air (%)	Dampak terhadap Hasil Panen
1	Sulistyono et al., 2022.	Tembakau	Tetes tanpa mulsa	30–45	Bobot daun kering tertinggi: 5,505 ton/ha
2	Kharrou et al., 2018.	Jagung	Tetes konvensional	Hingga 90	Peningkatan hasil jagung 30–50%
3	Irawan et al., 2023.	Tembakau	Tetes + biochar	+31 retensi air	Hasil daun kering naik 25%
4	Negara et al., 2024.	Jagung	Tetes presisi (berbasis ETa)	Tidak disebutkan	Distribusi air sesuai kebutuhan mikroklimat

Data menunjukkan bahwa irigasi tetes berdampak signifikan pada efisiensi air dan hasil panen tembakau dan jagung. Sistem tanpa mulsa menghasilkan bobot daun tembakau kering 5,505 ton/ha dengan efisiensi air 30–45%, sementara pada jagung hasil naik hingga 50% dengan efisiensi 90%. Inovasi seperti biochar dan pendekatan evapotranspirasi meningkatkan retensi air dan adaptasi terhadap cuaca. Secara keseluruhan, integrasi prinsip fisika seperti hukum Bernoulli, hukum kontinuitas, dan kapilaritas tanah mendukung efisiensi air dan produktivitas tanaman.

Sistem ini juga adaptif terhadap perubahan iklim berkat penggunaan data evapotranspirasi dan teknologi IoT yang memungkinkan monitoring real-time. Hasil studi menegaskan pentingnya desain hidrolik presisi, karakteristik media tanam, serta kontrol sistem yang baik. Irigasi tetes terbukti sebagai solusi strategis untuk pertanian berkelanjutan dan tangguh menghadapi tantangan iklim masa depan.

SIMPULAN

Teknologi irigasi tetes merupakan solusi inovatif yang terbukti meningkatkan efisiensi air dan produktivitas tanaman tembakau dan jagung di tengah perubahan iklim. Penerapan konsep fisika seperti hukum kontinuitas, Bernoulli, tekanan hidrostatik, dan kapilaritas tanah mendukung distribusi air yang presisi dan efisiensi energi. Dukungan teknologi modern seperti IoT, tenaga surya, dan evapotranspirasi aktual, serta inovasi biochar dan desain pipa, semakin memperkuat efektivitas sistem ini sebagai fondasi pertanian cerdas yang efisien dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada seluruh anggota kelompok yang telah ikut berkontribusi dalam penyusunan artikel ini, beserta bapak ibu dosen dan koresponden yang telah membimbing dan mengarahkan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah, E., Hasbi, M., & Lukman, M.P. (2023). Penerapan sistem monitoring dan kendali pintar untuk tanaman terung berbasis internet dan teknologi dengan metode penyiraman irigasi tetes. *Jurnal Resistor*, 4(2), 669–678. doi:[10.31598/jurnalresistor.v4i2.669](https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v4i2.669)
- Anugrah, E., Hasbi, M., & Lukman, M.P. (2023). Sistem monitoring dan kendali pintar berbasis Blynk dan ThingSpeak untuk irigasi tetes otomatis. *Jurnal Resistor*, 4(2), 669–678. doi:[10.31598/jurnalresistor.v4i2.669](https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v4i2.669)
- Arifin, M.S., Utami, R.A., Orvala, I., & Nurmahadi, B. (2023). Manajemen risiko usahatani tembakau kasturi menghadapi kondisi perubahan iklim (Studi kasus kelompok tani “Surya Tani”). *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 7(4), 45–56. doi:[10.21776/ub.jepa.2023.007.04.10](https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2023.007.04.10)
- Arifin, Z.A., Al-Habib, I.M., & Rohman, A. (2023). PKM pemberdayaan petani produktif tembakau Na’us Dusun Kramat, Kecamatan Kranjingan, Kabupaten Jember. *Jurnal Aplikasi dan Pengabdian Ilmu*, 9(3), 6371. doi:[10.33366/japi.v9i3.6371](https://doi.org/10.33366/japi.v9i3.6371)
- Azizah, R., Firmansyah, A., & Zulfikar, H. (2023). Pemanfaatan irigasi tetes berbasis tenaga surya untuk lahan hortikultura di daerah terpencil. *Jurnal Teknologi Energi*, 17(2), 145–152. doi:[10.25077/jte.2023.v17n2.p145-152](https://doi.org/10.25077/jte.2023.v17n2.p145-152)
- Chawara, R.S., & Kaushish, S. (2012). Effect of drip irrigation on water-use efficiency and productivity of castor. *Agricultural Archives*, 57(2), 132–138. Available from: (<https://epubs.icar.org.in/index.php/AAZ/article/view/63451>)
- Dzikriyah, Z.A., Kusnadi, A., Marisca, R.N., Cahyani, A.R., Retnani, B.A., Firani, D.S.F., & Khoiri, S. (2022). Pendampingan implementasi teknologi irigasi sprinkler guna peningkatan produktivitas bawang merah di Desa Sana Tengah. *Jurnal Aplikasi Irigasi*, 4(4), 1165. doi:[10.53769/jai.v4i4.1165](https://doi.org/10.53769/jai.v4i4.1165)
- Hidayati, N., Suryaningtyas, I., & Pramudita, S. (2024). Integrasi data satelit untuk prediksi evapotranspirasi pada irigasi tetes presisi. *Jurnal Agroklimat*, 18(1), 45–53. doi:[10.25077/agroklimat.v18i1.4553](https://doi.org/10.25077/agroklimat.v18i1.4553)
- Irawan, B., Setiani, I., & Nugroho, W.S. (2023). Pengaruh kombinasi irigasi tetes dan biochar terhadap produktivitas tembakau dan retensi air tanah. *Jurnal Agrosains*, 29(3), 78–86. doi:[10.14710/agrosains.v29i3.7886](https://doi.org/10.14710/agrosains.v29i3.7886)
- Karyanik, K., Muanah, M., Huda, A.A., Suhairin, S., Wahyuni, I., & Farhatunnisa, F. (2023). Penyuluhan teknologi irigasi tetes pada kegiatan budidaya tanaman petani di Desa Mantar Kabupaten Sumbawa Barat. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 7(4), 19795. doi:[10.31764/jpmb.v7i4.19795](https://doi.org/10.31764/jpmb.v7i4.19795)
- Kharrou, M.T., Masmoudi, K., Bouri, M., Chaponnière, R., & Zairi, A. (2018). Drip irrigation for sustainable agriculture: Water use efficiency and crop yield response in arid regions. *Agricultural Water Management*, 208, 286–298. doi:[10.1016/j.agwat.2018.10.024](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.024)
- Kusumawati, W.I., Ayu, S.A., Musayyanah, Laksono, Y.T., & Affandi, C. (2023). Penerapan teknologi “KOPKA” pada bak penampung air drip irrigation untuk mempermudah kerja kelompok tani Banyu Urip. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 3307. doi:[10.54259/pakmas.v4i2.3307](https://doi.org/10.54259/pakmas.v4i2.3307)
- Liu, M., Liu, X., Song, Y., Hu, Y., Yang, C., Li, J., Huang, W., Su, J., & Wang, L. (2024). Tobacco production under global climate change: Combined effects of heat and drought stress and coping strategies. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1489993. doi:[10.3389/fpls.2024.1489993](https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1489993)
- Maulana, L., Nabila, F., Saputra, R.D., & Kurniawan, I. (2023). Pemanfaatan sensor berbasis internet dan teknologi untuk optimasi irigasi tetes pada tanaman hortikultura. *Jurnal Internet dan Teknologi*, 9(2), 195–247. doi:[10.31294/iimt.v9i2.19547](https://doi.org/10.31294/iimt.v9i2.19547)
- Negara, I.D.G.J., Supriyadi, A., Wirahman, L.W., Setiawan, A., & Masmudi, K. (2023). Penguatan pertanian berbasis irigasi tetes di sekitar wilayah penyangga KEK Mandalika. *Jurnal*

Pengabdian Masyarakat Pembangunan Indonesia, 8(1), 107–205.
doi:[10.29303/jpmpt.v8i1.10705](https://doi.org/10.29303/jpmpt.v8i1.10705)

- Prasetyo, R., & Wijaya, M.A. (2024). Desain irigasi tetes dengan sistem tekanan hidrostatik elevasi variabel pada lahan bertingkat. *Jurnal Teknik Pertanian*, 22(2), 113–120. doi:[10.22146/jtp.2024.v22i2.11320](https://doi.org/10.22146/jtp.2024.v22i2.11320)
- Ramadhan, D., Pratama, A., Nurhidayah, S., & Alamsyah, R. (2024). Model prediksi kebutuhan air tanaman dengan menggunakan algoritma machine learning pada sistem irigasi otomatis. *Jurnal Ilmiah Teknologi*, 13(1), 1–10. doi:[10.22216/jit.2024.v13i1.301](https://doi.org/10.22216/jit.2024.v13i1.301)
- Ramadhan, M.F., & Nurul, L. (2024). Desain dan implementasi irigasi tetes berbasis tenaga surya untuk lahan hortikultura di daerah terpencil. *Jurnal Teknologi Energi*, 17(2), 145–152. doi:[10.25077/jte.2024.v17n2.p145-152](https://doi.org/10.25077/jte.2024.v17n2.p145-152)
- Rizal, A., Maharani, D., Hidayat, Y., & Astuti, R. (2022). Simulasi sistem irigasi tetes menggunakan software EPANET untuk efisiensi distribusi air di lahan perkotaan. *Jurnal Teknologi dan Sistem*, 21(4), 354–387. doi:[10.14710/jts.v21i4.35487](https://doi.org/10.14710/jts.v21i4.35487)
- Setyoningrum, F.I., Supriyadi, & Harlianingtyas, I. (2021). Pengaruh curah hujan dan hari hujan terhadap produksi tembakau Na-Oogst di Kabupaten Jember. *Jurnal Agropross*, 203, 1–9. doi:[10.25047/agropross.2021.203](https://doi.org/10.25047/agropross.2021.203)
- Suharto, D., & Kamal, R. (2023). Pemberdayaan petani melalui pelatihan sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Pengembangan Pertanian*, 14(4), 221–230. doi:[10.31294/jpp.v14i4.22130](https://doi.org/10.31294/jpp.v14i4.22130)
- Vaghasia, P.M., Davariya, R.L., & Dobariya, K.L. (2018). Effect of drip fertigation on productivity and profitability of castor (*Ricinus communis* L.). *Jurnal Oilseeds Research*, 35(3), 137–147. doi:[10.56739/jor.v35i3.137474](https://doi.org/10.56739/jor.v35i3.137474)
- Wahyudi, M.E., Afivah, L.L., Rahmadai, N.F., Maulita, S.D.R., Iswardani, F.A., Sudarti, A., & Kendid, A.M. (2022). Analisis pengaruh cuaca terhadap kualitas berbagai jenis tembakau. *Jurnal Digital Zenodo*, 12742154. doi:[10.5281/zenodo.12742154](https://doi.org/10.5281/zenodo.12742154)