

Sistem Irigasi Semi-Otomatis Berbasis Graf Pohon Biner untuk Efisiensi Penyiraman Tanaman di Desa Batang-Batang Daya

Ilman Firmansa^{1*}, Aditya Dandy Firatama², M. Abu Kamal³

¹Program Studi Matematika, Universitas Annuqayah, Sumenep, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Annuqayah, Sumenep, Indonesia

³Program Studi Teknik Informasi, Universitas Annuqayah, Sumenep, Indonesia

Email:

Article History:

Received : 28 April 2025

Review : 3 Mei 2025

Revised : 19 Mei 2025

Accepted : 31 Mei 2025

Keywords: *Irigasi semi-otomatis, graf pohon biner, efisiensi pertanian, teknologi irigasi sederhana.*

Abstract: *Praktik penyiraman manual di lahan pertanian Desa Batang-batang Daya, Sumenep, memakan waktu 5–6 jam per hari dan menurunkan produktivitas petani. Penelitian ini mengembangkan sistem irigasi semi-otomatis berbasis graf pohon biner, dengan tandon air sebagai simpul akar, cabang sebagai jalur distribusi, dan daun sebagai titik penyiraman. Implementasi meliputi pemetaan lahan 754 m², instalasi pompa, pipa, katup, sprinkler, dan pelatihan petani. Hasil uji coba menunjukkan sistem ini mampu mengurangi waktu penyiraman lebih dari 66,67%, meningkatkan distribusi air, dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Pendekatan ini menunjukkan bahwa penerapan konsep graf dalam irigasi sederhana dapat meningkatkan efisiensi kerja, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, serta memperkuat kapasitas petani melalui transfer teknologi aplikatif.*

A. Pendahuluan

Penelitian yang dilakukan Reith et al. Pada tahun 2017 menekankan pentingnya efisiensi waktu dalam praktik pertanian dengan merevisi klasifikasi waktu kerja untuk mengoptimalkan proses kerja, mengurangi waktu yang dibutuhkan, dan meningkatkan keekonomisan sistem melalui pengaturan tugas, tenaga kerja, dan peralatan yang tepat. Efisiensi waktu dalam praktik pertanian, melalui optimalisasi pemanfaatan sumber daya dan penerapan teknologi modern, terbukti mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menekan biaya produksi (Kryvetskyi, 2022). Studi kasus di Asia, seperti penggunaan smart farming di Jepang dan China, menunjukkan bagaimana inovasi digital mempercepat transformasi ini

(Nanseki, 2013; Liu et al., 2020).

Irigasi pertanian didefinisikan sebagai pemberian air secara artifisial pada lahan, tanah, atau media tanam lainnya untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan produktivitas pertanian (Morgan, 2022). Praktik ini melibatkan pasokan air yang disengaja untuk tanaman selama periode curah hujan yang tidak mencukupi atau untuk mempertahankan tingkat kelembaban tanah yang optimal, memastikan produksi tanaman yang konsisten dan dapat diandalkan (Ray dan Bhattacharyya, 2015; Motebennur, 2013).

Irigasi sangat diperlukan untuk memastikan ketahanan pangan, terutama seiring dengan pertumbuhan populasi

global. Diperkirakan bahwa pertanian beririgasi berkontribusi terhadap sekitar 40% produksi pangan global, meskipun hanya menyumbang sekitar 20% dari lahan yang dibudidayakan (Morgan, 2022; Borin, 2024; Ringler et al., 2020). Hal ini menyoroti peran penting irigasi dalam memenuhi kebutuhan pangan penduduk yang terus meningkat.

Praktik irigasi modern menekankan efisiensi penggunaan air untuk mengatasi tantangan kelangkaan air. Teknik-teknik seperti irigasi tetes, sistem sprinkler, dan manajemen irigasi presisi mengurangi pemborosan air dan mengoptimalkan penggunaan air, sehingga menjadikan irigasi sebagai praktik yang berkelanjutan (Prasad, 2023; Kalyanapu et al., 2023; Bwambale et al., 2022).

Penjadwalan irigasi memainkan peran penting dalam pemanfaatan air yang efisien untuk mendapatkan hasil panen yang optimal (Verma et al., 2024). Sejalan dengan Purwantini dan Suhaeti (2017) yang mengatakan bahwa pengelolaan irigasi yang efisien merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung keberhasilan kegiatan pertanian, terutama di daerah dengan sumber daya air yang terbatas. Di Desa Batang-batang Daya, Kabupaten Sumenep, petani menghadapi tantangan signifikan terkait waktu yang dihabiskan untuk menyiram tanaman, khususnya pohon kelor. Proses penyiraman manual pada 1500 pohon kelor yang baru ditanam memakan waktu sekitar 5 hingga 6 jam per hari, yang mengurangi kesempatan petani untuk melakukan aktivitas pertanian lainnya. Kondisi ini menuntut solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi waktu dalam kegiatan irigasi.

Sistem irigasi semi-otomatis hadir sebagai solusi yang dapat membantu mengatasi permasalahan tersebut. Semi-

otomatis mengacu pada sistem atau perangkat yang memerlukan beberapa tingkat campur tangan manusia saat mengotomatiskan proses tertentu. Sistem ini menggabungkan prinsip kerja manual dengan komponen otomatisasi untuk mengatur distribusi air ke tanaman secara lebih efisien. Secara umum, sistem semi-otomatis dirancang untuk mengurangi intervensi manusia dengan memanfaatkan teknologi sederhana seperti katup pengontrol aliran, sistem sprinkler. Oleh sebab itu, petani dapat menghemat waktu dan tenaga yang sebelumnya dihabiskan untuk melakukan penyiraman secara manual.

Berbagai penelitian telah mengkaji penerapan sistem irigasi untuk meningkatkan efisiensi dalam praktik pertanian. Penelitian-penelitian seperti sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai (menggunakan sensor kelembaban tanah dan kontroler Arduino) atau irigasi pipa otomatis berbasis tenaga surya (dengan mikrokontroler ATmega328P) menunjukkan dominasi pendekatan teknologi sensor dan kontrol digital untuk efisiensi air (Firdaus dan Hadyanto, 2024; Sirait et al., 2015). Namun, penggunaan model graf, khususnya graf pohon biner, dalam desain sistem irigasi masih jarang ditemukan.

Graf pohon biner menawarkan struktur hierarkis yang dapat mengoptimalkan distribusi aliran air, sehingga berpotensi mengurangi waktu yang diperlukan untuk penyiraman. Pendekatan ini berbeda dengan metode tradisional yang sering kali kurang efisien dalam hal distribusi dan kontrol aliran air. Hal ini didukung oleh hasil penelitian yang menggunakan model hirarkis multi-objektif,

penelitian ini mencapai pengurangan konsumsi air sebesar 26% dan meningkatkan efisiensi penyaluran air dari 0,566 menjadi 0,687 (Guo et al., 2018).

Pembuatan sistem irigasi semi-otomatis ini memanfaatkan pendekatan berbasis graf pohon biner. Graf pohon biner, dalam teori graf adalah pohon berakar di mana setiap induk memiliki paling banyak dua anak. Setiap anak dalam pohon biner ditentukan sebagai anak kiri atau anak kanan (tetapi tidak keduanya), dan setiap induk memiliki paling banyak satu anak kiri dan satu anak kanan (Epp, 2019).

Berdasarkan permasalahan yang dialami petani, dibutuhkan inovasi sederhana yang dapat diimplementasikan langsung oleh masyarakat. Salah satu pendekatan efektif adalah sistem irigasi semi-otomatis berbasis graf pohon biner.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, menerapkan, dan mengevaluasi sistem irigasi semi-otomatis berbasis graf pohon biner guna meningkatkan efisiensi waktu penyiraman tanaman di lahan pertanian. Manfaat yang diharapkan dari kegiatan ini adalah: (1) membantu petani menghemat waktu dalam penyiraman tanaman, dan (2) memberikan alternatif solusi teknis yang sederhana, murah, dan aplikatif bagi masyarakat desa.

Dengan adanya sistem ini, diharapkan proses penyiraman tanaman tidak lagi menjadi hambatan utama, melainkan menjadi proses yang efisien, terukur, dan mendukung aktivitas pertanian secara menyeluruh.

B. Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 14 September 2024, bertempat di Dusun Tenggara, Desa Batang-batang Daya, Kecamatan Batang-batang, Kabupaten

Sumenep. Kegiatan dirancang secara sistematis dengan tujuan untuk mengembangkan sistem irigasi semi-otomatis berbasis graf pohon biner guna meningkatkan efisiensi waktu penyiraman di lahan pertanian masyarakat. Adapun tahapan pelaksanaan seperti pada gambar 1.

Metode pelaksanaan kegiatan ini melibatkan pendekatan partisipatif dan edukatif, yang dilaksanakan melalui beberapa tahapan seperti berikut:

1. Perencanaan Sistem Irigasi

Tim pelaksana melakukan identifikasi kebutuhan mitra, pengukuran lahan, serta penyusunan rancangan sistem irigasi semi-otomatis yang disesuaikan dengan kondisi lapangan dan struktur jaringan tanaman. Pada tahap ini pula dilakukan pemodelan sistem menggunakan graf pohon biner untuk optimalisasi distribusi air.

2. Persiapan Alat dan Bahan

Menyediakan seluruh kebutuhan teknis, seperti pipa PVC, valve, tangki air, konektor, timer, serta perangkat tambahan untuk sensor otomatis (jika diperlukan). Proses ini dilakukan bersama mitra agar terjadi alih pengetahuan sejak awal.

3. Instalasi Sistem

Pelaksanaan instalasi sistem irigasi di lokasi pertanian mitra secara kolaboratif, dimulai dari pemasangan pipa utama dan cabang, hingga koneksi akhir dengan sumber air. Instalasi disesuaikan dengan hasil pemetaan graf pohon biner.

4. Penyuluhan dan Pelatihan

Diberikan penyuluhan kepada petani mengenai manfaat dan cara kerja sistem, dilanjutkan dengan pelatihan langsung untuk mengoperasikan sistem irigasi semi-otomatis, serta prosedur perawatan dan troubleshooting dasar.

5. Pengujian dan Evaluasi

Sistem diuji selama beberapa siklus penyiraman untuk memastikan kinerja, distribusi air merata, serta efektivitas waktu. Evaluasi dilakukan melalui observasi langsung, wawancara dengan mitra, dan pencatatan data waktu serta volume penyiraman.

6. Umpan Balik dan Revisi

Jika ditemukan kendala atau ketidaksesuaian sistem, dilakukan perbaikan instalasi berdasarkan hasil evaluasi sebelumnya. Proses ini bersifat iteratif hingga sistem bekerja optimal.

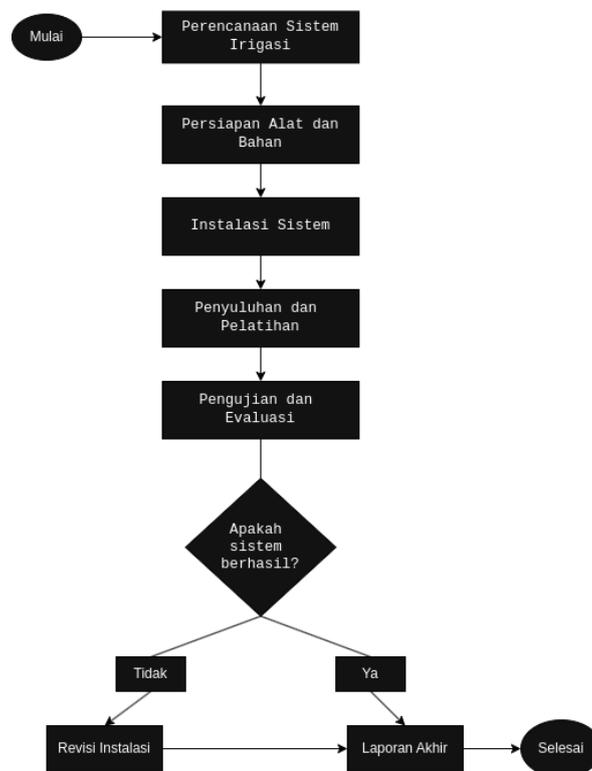
7. Laporan Akhir dan Penyerahan Sistem

Setelah sistem berfungsi dengan baik, tim menyusun laporan kegiatan dan menyerahkan dokumentasi serta perangkat yang telah terpasang kepada mitra. Penutupan kegiatan dilakukan secara formal dengan diskusi keberlanjutan sistem.

Metode evaluasi keberhasilan kegiatan meliputi:

1. Kuantitatif: Perbandingan waktu penyiraman sebelum dan sesudah sistem diterapkan.
2. Kualitatif: Kepuasan mitra terhadap sistem, berdasarkan wawancara dan diskusi kelompok.
3. Teknis: Efektivitas sistem dalam menyuplai air secara merata di 30 titik penyiraman.

Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini tidak hanya berfokus pada transfer teknologi, tetapi juga pada peningkatan kapasitas mitra untuk mandiri dalam pemeliharaan sistem irigasi yang telah dikembangkan.

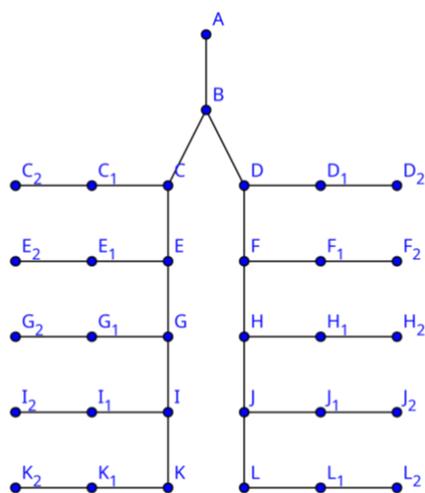


Gambar 1 Tahapan Kegiatan

C. Hasil dan Pembahasan

Hasil

Pada tahap implementasi perencanaan sistem irigasi, telah dilakukan pengukuran lahan yang ditanami pohon kelor dengan luas 754 m². Data ini selanjutnya digunakan untuk memodelkan graf pohon biner sebagai berikut:



Gambar 2 Model graf pohon biner

Simpul A merupakan tandon air, dan B adalah pipa dengan diameter 1 inci yang nantinya akan menyalurkan air pada setiap sprinkler yaitu semua simpul selain A dan B. Jarak untuk setiap sprinkler 5 m.

Implementasi sistem irigasi dilakukan dengan dukungan berbagai alat dan bahan yang telah dipilih berdasarkan fungsinya dalam sistem. Adapun alat yang digunakan meliputi:

1. Pompa air listril: Untuk mengalirkan air dari sumber utama ke tandon air.
2. Tandon air: Digunakan untuk menampung air dari sumber air utama yang nantinya akan disalurkan ke setiap titik semprotan.
3. Pipa PVC dan konektor: Sebagai media utama distribusi air, disusun sesuai dengan konfigurasi graf pohon biner.
4. Katup pengontrol aliran: Untuk mengatur air yang dialirkan pada masing-masing cabang sistem.
5. Sprinkler Rotari 360°: Digunakan pada

semua simpul kecuali A dan B.

6. Peralatan Pengukuran: Alat ukur tanah untuk memastikan penyesuaian sistem yang tepat.

Bahan pendukung lainnya antara lain adalah sealant untuk sambungan pipa dan seal tape yang digunakan sambungan Sprinkler rotari dengan pipa. Pemilihan alat dan bahan dilakukan dengan mempertimbangkan daya tahan dan kesesuaian teknis dalam mendukung aliran air yang optimal.

Tahap yang ke tiga yaitu instalasi sistem. Untuk membangun sistem irigasi, langkah-langkah esensial meliputi pemasangan pompa air di sumber air yang kemudian dihubungkan dengan tandon melalui jalur pipa utama yang telah dipetakan. Selanjutnya, dilakukan instalasi pipa cabang dan sambungan menggunakan konektor yang sesuai dengan struktur graf jaringan irigasi. Terakhir, pemasangan katup pengontrol dan sprinkler pada setiap titik distribusi akan memastikan pengaturan aliran dan penyemprotan air yang optimal.

Sebagai bagian dari implementasi sistem irigasi, kegiatan penyuluhan kepada petani yang tergabung dalam Kelompok Tani (Poktan) Sumber Tani perlu diselenggarakan sesuai dengan tahap ke empat. Sesi ini bertujuan untuk memberikan pemahaman komprehensif mengenai prinsip kerja sistem, prosedur pemeliharaan rutin, serta teknik perbaikan sederhana. Selain itu, penyediaan dokumentasi teknis yang berfungsi sebagai panduan operasional sistem irigasi menjadi langkah penting dalam mendukung keberlanjutan dan kemandirian pengguna.

Melakukan uji coba sistem secara menyeluruh untuk memverifikasi kinerja aliran air dan efektivitas distribusi sesuai

dengan model graf.



Gambar 3 Proses instalasi sistem

Pembahasan

Hasil pengukuran dan uji coba awal menunjukkan adanya gangguan pada dua titik sprinkler yang tidak berfungsi, serta distribusi air yang belum merata di beberapa lokasi. Setelah dilakukan revisi instalasi, sistem berjalan optimal dengan pola pengaliran bergilir setiap 20 menit melalui pembukaan dan penutupan katup pada lima jalur utama.

Pengukuran efisiensi waktu menunjukkan penurunan durasi penyiraman dari rata-rata 5–6 jam menjadi sekitar 1 jam 40 menit, atau penghematan waktu lebih dari 66,67% dibandingkan metode manual sebelumnya.

Keberhasilan sistem irigasi ini secara langsung mencerminkan potensi penggunaan model graf pohon biner dalam desain jaringan distribusi air yang efisien. Struktur hierarkis pohon biner memungkinkan pengaturan aliran air yang terarah dan modular, sehingga mempermudah perawatan dan pemantauan sistem. Pembagian jalur air menjadi dua cabang di setiap simpul mencegah penurunan

tekanan yang ekstrem pada titik akhir, sebuah permasalahan umum dalam sistem bercabang bebas.

Keunggulan dari pendekatan semi-otomatis terlihat pada keseimbangan antara efisiensi dan kemudahan operasional. Sistem tidak sepenuhnya bergantung pada kendali digital atau sensor, sehingga tetap dapat dioperasikan dengan teknologi sederhana.

Efisiensi waktu yang dicapai tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga meningkatkan produktivitas petani karena waktu luang yang tersedia dapat dialihkan untuk kegiatan pertanian lainnya seperti pemupukan, penyiangan, atau panen.

Namun demikian, tantangan tetap ada, terutama pada kebutuhan sumber listrik untuk mengoperasikan pompa air. Pemadaman listrik menjadi potensi risiko dalam keberlanjutan sistem ini. Solusi jangka panjang yang disarankan adalah integrasi panel surya sebagai sumber energi alternatif.

Secara keseluruhan, sistem irigasi semi-otomatis berbasis graf pohon biner terbukti mampu menjawab permasalahan klasik pertanian, yaitu penyiraman manual yang memakan waktu. Penggabungan pendekatan teoritis (graf pohon biner) dengan praktik teknis sederhana telah menciptakan model sistem irigasi yang efisien, terjangkau, dan aplikatif untuk masyarakat desa.

D. Kesimpulan

Berdasarkan pelaksanaan dan evaluasi sistem irigasi semi-otomatis berbasis graf pohon biner di Desa Batang-batang Daya, dapat disimpulkan bahwa sistem ini efektif dalam mengurangi waktu penyiraman secara signifikan pada lahan pertanian seluas 754 m². Struktur hierarkis graf pohon biner memungkinkan distribusi air yang terarah dan konsisten, sehingga meminimalkan intervensi manual dan meningkatkan produktivitas petani.

Penelitian ini memberikan kontribusi yang berharga bagi pengembangan teknologi irigasi, khususnya dalam penerapan model matematis untuk mengoptimalkan distribusi sumber daya di sektor pertanian. Selain itu, kegiatan penyuluhan dan pelatihan yang dilaksanakan telah meningkatkan kapasitas petani dalam memahami dan mengelola teknologi irigasi modern, membuka peluang untuk pengembangan sistem serupa pada aplikasi pertanian lainnya.

Sebagai rekomendasi, penelitian lebih lanjut perlu difokuskan pada pengembangan sistem cadangan energi yang dapat mengatasi ketergantungan pada pasokan listrik serta penyempurnaan mekanisme pemeliharaan sistem agar lebih mudah dioperasikan secara mandiri oleh petani. Dengan demikian, penerapan teknologi berbasis graf pohon biner diharapkan dapat diadopsi secara lebih

luas, mendukung pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan.

Daftar Referensi

- Borin, M. (2023). A wise irrigation to contribute to integrated water resource management. *Italian Journal of Agrometeorology*, (2), 5-19.
- Bwambale, E., Naangmenyele, Z., Iradukunda, P., Agboka, K. M., Houessou-Dossou, E. A., Akansake, D. A., ... & Chikabvumbwa, S. R. (2022). Towards precision irrigation management: A review of GIS, remote sensing and emerging technologies. *Cogent Engineering*, 9(1), 2100573.
- Epp, S. S. (2019). Discrete mathematics with applications.
- Firdaus, F., & Hadyanto, T. (2024). Irigasi pada Tanaman Cabai Menggunakan Sistem Tetes Otomatis. *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam*, 5(1).
- Guo, S., Zhang, F., Zhang, C., An, C., Wang, S., & Guo, P. (2018). A multi-objective hierarchical model for irrigation scheduling in the complex canal system. *Sustainability*, 11(1), 24.
- Kalyanapu, S., Kandula, A. R., Movva, S. R. K. D., Potharlanka, S. M. C., Yakkala, P., & Pittu, M. (2023, January). An Automatic Water Flow Management System for Agriculture. In *2023 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)* (pp. 455-461). IEEE.
- Kryvetskyi, I. (2022). Theoretical and methodological aspects of efficiency of agricultural enterprises. *Economic Scope*.
<https://doi.org/10.32782/2224-6282/182-24>
- Liu, J., Dong, C., Liu, S., Rahman, S., &

- Sriboonchitta, S. (2020). Sources of total-factor productivity and efficiency changes in China's agriculture. *Agriculture*, 10(7), 279.
- Morgan, L. (2021). *Irrigation*. CABI International
<https://doi.org/10.1079/hc.34626997.20210027310>
- Motebennur, S. S. (2013). Impact of irrigation on agricultural development in Dharward district of Karnataka state. *Int. J. Sci. Res*, 2(1), 119-121.
- Nanseki, T. (2023). *Agricultural Innovation in Asia*. Springer.
- Prasad, M. N. V. (2023). Sustainable Water Use in Agriculture—Circular Economy Approach. In *Water in Circular Economy* (pp. 51-65). Cham: Springer International Publishing.
- Purwantini, T. B., & Suhaeti, R. N. (2017). Irigasi kecil: kinerja, masalah, dan solusinya. In *Forum Penelitian Agro Ekonomi* (Vol. 35, No. 2, pp. 91-105).
- Ray, S., & Bhattacharyya, B. (2015). Availability in different source of irrigation in India: a statistical approach. *International Journal of Ecosystem*, 5(3A), 109-116.
- Reith, S., Frisch, J., & Winkler, B. (2017). Revision of the Working Time Classification to Optimize Work Processes in Modern Agriculture. *Chemical Engineering Transactions*, 58, 121–126.
- Ringler, C., Mekonnen, D. K., Xie, H., & Uhunamure, A. M. (2020). Irrigation to transform agriculture and food systems in Africa South of the Sahara.
- Sirait, S., Saptomo, S. K., & Purwanto, M. Y. J. (2015). Rancang bangun sistem otomatisasi irigasi pipa lahan sawah berbasis tenaga surya. *Jurnal Irigasi*, 10(1), 21-32.
- Verma, V. K., Choudhury, B. U., Rymbai, H., Jha, A. K., Hazarika, S., & Mishra, V. K. (2024). Irrigation scheduling for high value vegetable crops grown under protected cultivation in the hilly ecosystem of north-east India. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 94(7), 767-773.