

TEKNOLOGI IRIGASI CERDAS PADA SISTEM IRIGASI DRIP DENGAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION

Abdul Haris^{*1}, Nabila Anggraini², Hengki Sikumbang³

^{1,2,3}Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat

Email: ¹harismwakang@itpln.ac.id, ²nebill102@gmail.com, ³hengki@itpln.ac.id

^{*}Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 25 November 2021, diterima untuk diterbitkan: 16 Desember 2022)

Abstrak

Rendahnya penggunaan sistem irigasi modern di Indonesia menyebabkan produktivitas lahan yang rendah, terlebih di musim kemarau hal ini dapat menyebabkan banyak lahan yang tidak produktif. Sementara di sisi lain, perkembangan teknologi komputasi sudah masuk dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk pertanian. Contoh penerapan teknologi di bidang pertanian adalah diperkenalkannya sistem irigasi *drip*. Banyak peneliti yang telah melakukan kajian dan inovasi di bidang ini untuk menghasilkan irigasi yang baik dan optimal, antara lain dengan mengimplementasikan gabungan *Internet of Things* (IoT) sebagai infrastruktur, *Fuzzy Logic* dan *Artificial Neural Network* (ANN) sebagai algoritma untuk menentukan waktu buka tutup dari *Solenoid Valve* dalam pengaturan distribusi air. Penelitian yang ada hanya berfokus pada *Open/Close solenoid valve*. Penelitian ini menggunakan algoritma *Ant Colony Optimisation* (ACO) untuk mengendalikan katup tersebut, sekaligus melakukan *tracking* lokasi lahan yang menjadi prioritas irigasi. Algoritma ini dapat bekerja secara dinamis dan adaptif, sehingga mampu menyesuaikan dengan kondisi lahan yang ada dan dapat dimonitor secara *realtime*. Uji coba dilakukan dengan menggunakan 3 sensor, sebagai representasi 3 kondisi lahan yakni lahan basah, lahan normal dan lahan kering. Hal ini dilakukan untuk memastikan model yang dibuat dapat bekerja sesuai dengan kondisi lahan yang ada. Dari hasil pengujian yang dilakukan selama 10 hari, tingkat persentasi *error* model mencapai 26% dan nilai akurasi model adalah 74%. Dari hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini bekerja dengan baik untuk sistem irigasi *drip* skala kecil yang dinamis.

Kata kunci: Irigasi Drip, *Ant Colony Optimisation*, Irigasi Cerdas.

SMART IRRIGATION TECHNOLOGY ON DRIP IRRIGATION SYSTEM WITH ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM

Abstract

The low use of modern irrigation systems in Indonesia leads to low land productivity, especially in the dry season this can result to many areas of unproductive land. At the same time, the development of computing technology has entered various areas of life, including agriculture. An example of the application of technology in agriculture is the introduction of drip irrigation systems. Many researchers have conducted studies and innovations in this matter to produce a better and more optimal irrigation, for example, by implementing a combination of *Internet of Things* (IoT) for the infrastructure, *Fuzzy Logic* and *Artificial Neural Network* (ANN) as algorithms to determine when the lid of the *Solenoid Valve* is open or closed. Existing research only focuses on the *Open / Close solenoid valve*, meanwhile this research uses the *Ant Colony Optimisation* (ACO) algorithm to control the valve and provide the tracking ability to determine the area that needs irrigation the most. This algorithm can work dynamically and adaptively, so it is able to adjust to the land conditions and can be monitored in real time. The testing is conducted using 3 sensors, as a representation of 3 land conditions, namely wetlands, normal land, and dry land. This is done to ensure the prototype can work in accordance with existing land conditions. From the results of the test conducted for 10 days, the model *error* percentage rate reached 26% and the model accuracy value was 74%. Thus, it can be concluded that the result of this study work well for dynamic small-scale *drip* irrigation systems.

Keywords: Drip Irrigation, *Ant Colony Optimisation*, Smart Irrigation

1. PENDAHULUAN

Sistem irigasi yang umum digunakan oleh para petani di Indonesia adalah irigasi permukaan, irigasi ini banyak dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi sehingga lahan yang lebih rendah akan terpenyusut terlebih dahulu baru lahan yang lebih tinggi mendapatkan air irigasi, hal ini menyebabkan kebutuhan air untuk irigasi sangat tinggi dampaknya kebutuhan air untuk suatu lahan akan tinggi dan menyebabkan terjadi pemborosan (Haris et al., 2020a). Hal ini sangat berdampak untuk wilayah Indonesia yang memiliki iklim tropis dengan 2 musim. Pada musim hujan, air sangat melimpah dan segala macam tanaman bisa tumbuh subur karena kebutuhan air tercukupi. Sementara pada musim kemarau, sebagian besar wilayah Indonesia sangat bergantung pada ketersediaan air irigasi dari bendungan atau DAM (Aziza et al., 2020; Setiadi et al., 2018), sedangkan jumlah bendungan atau DAM di beberapa wilayah belum memadai (Achyadi et al., 2019). Kondisi ini menjadi salah satu faktor kegagalan hasil pertanian, yang dapat berujung pada menurunnya pendapatan masyarakat Indonesia, yang sebagian besar adalah petani. Di sisi lain, perkembangan teknologi di Indonesia sudah cukup baik dan merata hampir di semua wilayah (Pousa et al., 2019). Hal ini menjadi peluang, sekaligus menjadi tantangan, bagi pemerintah selaku penentu kebijakan dan peneliti untuk memanfaatkan teknologi tersebut dan menerapkannya bagi kepentingan masyarakat (Haris et al., 2020b, 2019).

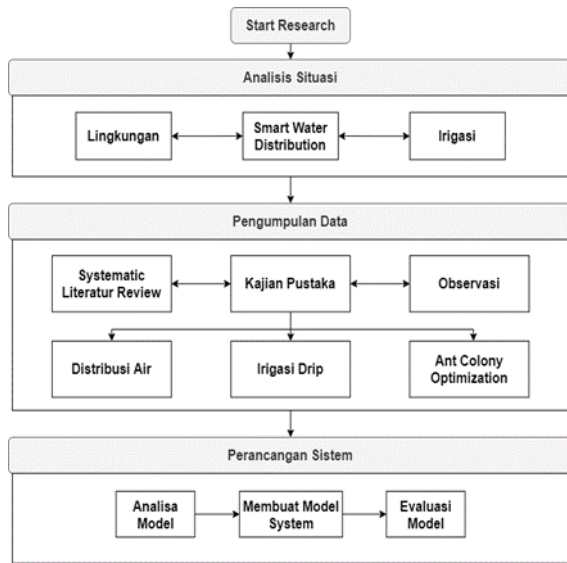
Sistem komputasi, seperti *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT) sudah tidak asing lagi bagi masyarakat. Kedua teknologi ini sudah banyak diimplementasikan di berbagai bidang, baik di dalam maupun di luar negeri (Sirait et al., 2015). Beberapa kajian mengenai penerapan *Artificial Intelligence* dan *Internet of Things* dalam bidang pertanian, khususnya di bidang irigasi, telah dilakukan dengan penekanan di lingkungan *Greenhouse* (Nasiakou et al., 2016; Syafiqoh et al., 2017). Pada penelitian yang dilakukan Cambra mengenai penerapan irigasi cerdas untuk budidaya buah strowberry yang menggunakan *internet of things* dan sensor kelembaban tanah untuk mengendalikan ketup solenoid air irigasi yang digunakan pada *green house* sehingga air dapat didistribusi ke tanaman secara merata (Cambra, 2018). Dalam penelitian tersebut masih belum ada algoritma komputasi yang baik. Pada penelitian tersebut distribusi air masih diatur berdasarkan waktu sehingga belum mampu beradaptasi dengan lingkungan. Selain itu kelemahan dari penelitian tersebut adalah masih terbatas pada penggunaan nilai dari sensor untuk kendali buka tutup katup Solenoid. Pada penelitian lain menyatakan bahwa Algoritma *Fuzzy* merupakan salah satu algoritma yang paling umum digunakan pada sistem irigasi cerdas sehingga algoritma ini dapat menjadi solusi yang tepat digunakan untuk sistem irigasi (Munir,

2018), namun kelemahan penerapan algoritma ini belum sampai pada penyesuaian dengan dengan kondisi lingkungan yang ada. Hal ini menyebabkan model sistem irigasi yang dibangun masih belum optimal. Algoritma *Artificial Intelligent* yang lain adalah *Artificial Neural Networks*. Algoritma ini dipandang cukup baik dalam mengatur penjadwalan irigasi (Umair, 2010), namun algoritma ini memiliki kelemahan yaitu memerlukan banyak parameter agar dapat optimal dan masih terfokus pada waktu distribusi.

Penelitian ini akan membahas tentang optimasi komputasi cerdas dengan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) pada sistem irigasi *drip* cerdas yang adaptif, mampu melakukan *tracking*, dan mengidentifikasi lahan yang menjadi prioritas sistem irigasi. *Drip* merupakan sistem irigasi yang presisi dan hemat air karena air akan dialirkan langsung pada permukaan akar tanaman. Model yang dirancang ini memanfaatkan tiga sensor sebagai representasi 3 kondisi lahan, yaitu lahan basah, lahan normal, dan lahan kering. *Solenoid Valve* digunakan sebagai kran distribusi air ke arah sensor dan mikrokontroler untuk mendukung algoritma ACO untuk komputasinya (Haris et al., 2020a). Tujuan utama pada penelitian ini adalah menghasilkan prototipe dan model sistem irigasi yang mampu mengatur air irigasi untuk menjaga kelembaban lahan, yang disesuaikan dengan kondisi lahan dan kebutuhan tanaman. Adapun indikator yang digunakan untuk pengukuran distribusi air adalah tingkat kelembaban tanah dan jarak tempuh yang dilalui air melalui pipa (Dasgupta, 2019; Rabadiya Kinjal et al., 2018). Pada penelitian ini tidak dimasukan kondisi komoditas tanaman karena masing-masing tanaman memiliki nilai koefisien yang berbeda, penelitian ini juga tidak dimasukan tekanan air dalam pipa sehingga kondisi ini dapat dikembangkan oleh peneliti berikutnya untuk dapat mengoptimalkan sistem distribusi air nya. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah menjadi solusi pada sistem irigasi yang hemat air untuk kebutuhan pertanian khusus nya daerah yang sulit air dan lahan yang belum memiliki DAM (Bhowmick, 2019; Hadi, 2020).

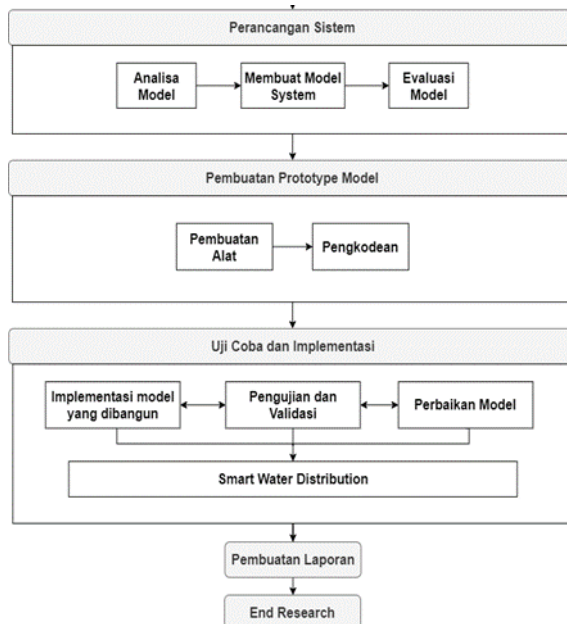
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini ada beberapa Langkah yang dilakukan. Langkah pertama, yang dilakukan adalah melakukan kajian teknologi yang telah digunakan sebelumnya melalui kajian lapangan dan studi literatur. Hal ini dilakukan untuk melihat perkembangan penggunaan teknologi pada sistem irigasi di dunia termasuk yang saat ini digunakan di Indonesia. Kemudian tahapan berikutnya membangun desain teknologi yang akan digunakan. Berikut adalah tahapan yang dilakukan pada penelitian



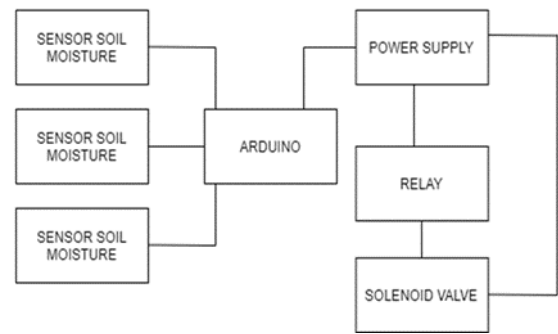
Gambar 1 Tahapan Penelitian 1

Pada tahapan penelitian 1, seperti ditunjukkan pada gambar 1, dilakukan analisis situasi yang bertujuan untuk melihat kondisi yang sesungguhnya di lapangan jika dilakukan implementasi teknologi. Kemudian disusul dengan pengumpulan data melalui studi literatur dan observasi, yang menjadi dasar untuk melakukan perancangan sistem dan teknologi. Kemudian dilakukan tahapan berikutnya



Gambar 2 Tahapan Penelitian 2

Berdasarkan tahapan penelitian pada gambar 2, langkah selanjutnya adalah membuat rancangan perangkat teknologi untuk sistem komputasinya. Adapun konsep rancangan yang dibuat ditunjukkan pada gambar 3 berikut.



Gambar 3 Konsep Sistem Komputasi

Berdasarkan gambar 3 di atas, sensor digunakan untuk mendapatkan tingkat kelembaban tanah yang disimulasikan dalam 3 lokasi titik pasang sensor yang berbeda dalam percobaan jarak ditentukan masing-masing sensor juga berbeda untuk sensor pertama di tentukan jarak dari sumber air sejauh 4 meter, sensor ke dua ditentukan dengan jarak 3 meter dari sumber air dan titik sensor ketiga ditentukan dengan jarak 1,5 meter dari sumber air. Sensor-sensor tersebut akan terhubung dengan Arduino Uno sebagai mikrokontroler yang berfungsi sebagai pengendali aktuatur yang dipasang pada masing-masing pipa yang terhubung dengan sumber air. Mikrokontroler ini yang menjadi otak dari sistem komputasi dimana Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) digunakan. Namun sebelum dibuat dan diuji algoritma tersebut, terlebih dahulu data diperoleh dengan menggunakan perangkat yang sudah dipasang tanpa ada proses komputasi dengan menentukan skala data dan *pheromone* berdasarkan kategori terlebih dahulu seperti yang tersaji pada tabel dibawah ini:

Tabel 1 Skala Data dan Pheromone

Kategori	Skala	Pheromone
Basah	0-19	0,1
Sedang	19-54	0,2
Kering	54-73	0,3
Kering Ekstrim	73-100	0,4

Dari tabel 1 di atas digunakan untuk menentukan rentang nilai masing-masing kategori agar dapat menentukan *solenoid valve* (aktuatur) mana yang harus terbuka. Selain itu, parameter yang digunakan untuk menentukan aktuatur terbuka atau tertutup adalah jarak. Ini dilakukan apabila semua kondisi data yang diperoleh dari sensor masuk dalam kategori yang sama, maka air akan mengalir atau didistribusikan ke lokasi yang lebih jauh terlebih dahulu. Kemudian untuk menentukan rangkaian sistem menjadi cerdas, maka digunakan *Ant Colony Optimization* untuk menentukan arah distribusi air dengan menggunakan persamaan berikut :

$$p(i,j) = \frac{\tau(i,j)^{\alpha} \eta(i,j)^{\beta}}{\sum \tau(i,j)^{\alpha} \eta(i,j)^{\beta}} \quad (1)$$

Dari persamaan diatas nilai $p(i,j)$ merupakan probabilitas dari sumber air i kelokasi j yang merupakan titik lahan dimana sensor dipasang. Sementara $\tau(i,j)^\alpha$ persamaan yang digunakan untuk nilai kecendrungan air akan mengalir berdasar nilai yang diperoleh dari sensor, nilai ini sangat dipengaruhi oleh α yang dinotasikan sebagai nilai *pheromone*. Sementara nilai $\eta(i,j)^\beta$ merupakan nilai yang digunakan untuk distribusi air berdasarkan jarak kecendrungan air didistribusikan berdasarkan persamaan tersebut sangat bergantung pada nilai β yang merepresentasi panjang pipa yang akan dilalui oleh air. Untuk melakukan update proses pada ACO menggunakan persamaan

$$\tau_{i,j} = (1-\rho)\tau_{i,j} + \Delta\tau_{i,j} \quad (2)$$

Persamaan diatas digunakan untuk melakukan proses *update pheromone*. Untuk nilai panjang pipa yang dilalui oleh air tidak melakukan proses uupdate karena nilai yang diperoleh konstan namun nilai yang berubah adalah nilai β yang akan meningkat bergantung pada kondisi nilai α . Kemudian untuk mengukur tingkat akurasi dan persentasi error dari sistem yang dibuat menggunakan persamaan

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \times \sum \left| \frac{X_t - Ft}{X_t} \right| \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil percobaan yang dilakukan diperoleh data seperti yang tersaji pada tabel dibawah ini:

Tabel 2 Hasil Percobaan Tiap Sensor

Titik	Nilai Sensor Soil Moisture
Sensor A	17
Sensor B	53
Sensor C	95

Nilai pada tabel 2 merupakan nilai yang diperoleh setelah sensor dipasang ditanah, dari hasil sensor tersebut maka dimasukan dalam rentang kategori yang ditentukan pada tabel 1 sebagai pembandingan untuk menentukan kategori yang tepat. Kemudian nilai tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan 1 untuk menentukan kecendrungan air akan dialirkan dengan nilai hasil yang diperoleh seperti yang tersaji dalam tabel 3 berikut:

Tabel 3 Hasil Perolehan untuk *Ant Colony*

Titik	Nilai	τ	α	η	β
A	17	0,1	0,2	0,020	0,1
B	53	0,2	0,2	0,017	0,1
C	95	0,4	0,2	0,014	0,1

Dari tabel 3 di atas, nilai-nilai tersebut diproses dengan menggunakan persamaan (1) sampai menemukan nilai yang sesuai dengan kondisi

tanah dan setiap proses *pheromone*/nilai sensor selalu berubah dengan menggunakan persamaan (2). Hasil dari penerapan persamaan 1 dan persamaan 2 digunakan untuk menghitung probabilitas, dengan persamaan 4 berikut.

$$\tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta \quad (4)$$

Dari persamaan di atas pertama-tama dicari nilai dari titik A, titik ini merupakan representasi dari nilai sensor A, titik B merepresentasikan sensor B dan Titik C merepresentasikan Sensor C pada lahan dengan nilai *pheromone* dan jarak masing-masing seperti yang tersaji pada tabel 3. Kemudian hasil tersebut diproses dengan menggunakan persamaan 4 sehingga diperoleh hasil

$$= (0,1^{0,2})(0,020^{0,1}) \\ = 0,4267 \rightarrow \text{Titik A}$$

$$\text{Dan untuk Titik B} \\ = (0,2^{0,2})(0,017^{0,1}) \\ = 0,4822 \rightarrow \text{Titik B}$$

$$\text{Dan untuk titik C} \\ = (0,4^{0,2})(0,014^{0,1}) \\ = 0,5433 \rightarrow \text{Titik C}$$

Selanjutnya nilai masing masing titik dihitung probabilitasnya dengan menggunakan persamaan 1 hingga menjadi

$$P(i,j) = \frac{\tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta}{\sum \tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta} \text{ pada titik A}$$

$$= \frac{0,4267}{0,4267 + 0,4822 + 0,5433} \\ = \frac{0,4267}{1,4522} \\ = 0,293819117$$

$$P(i,j) = \frac{\tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta}{\sum \tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta} \text{ pada titik B}$$

$$= \frac{0,4822}{0,4267 + 0,4822 + 0,5433} \\ = \frac{0,4822}{1,4522} \\ = 0,332068699$$

$$P(i,j) = \frac{\tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta}{\sum \tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta} \text{ pada titik C}$$

$$= \frac{0,5433}{0,4267 + 0,4822 + 0,5433} \\ = \frac{0,5433}{1,4522} \\ = 0,374112183$$

Dari proses tersebut di atas, dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai yang diperoleh maka air akan dialirkan ke titik tersebut. Titik-titik tersebut merupakan representasi lokasi sensor yang mengirim nilai kondisi lahan. Berikut adalah hasil yang diperoleh pada iterasi pertama

Tabel 4 Hasil Perolehan nilai probabilitas

Titik	$\tau(i,j)^{\alpha}\eta(i,j)^{\beta}$	$\frac{\tau(i,j)^{\alpha}\eta(i,j)^{\beta}}{\sum \tau(i,j)^{\alpha}\eta(i,j)^{\beta}}$	Memory
A	0,4267	0,293819117	
B	0,4822	0,332068699	
C	0,5433	0,374112183	C

Dari proses di atas dapat diketahui nilai *Pheromone* tertinggi ada pada titik C, namun proses ini belum selesai. Langkah selanjutnya adalah melakukan perubahan nilai *pheromone* dengan menggunakan persamaan 2, yaitu $\tau(i,j) = (1 - \rho) \tau(i,j) + \Delta\tau(i,j)$. Nilai $\Delta\tau(i,j)$ diperoleh dengan persamaan $\Delta\tau(i,j) = \frac{Q}{\sum \tau(i,j)}$, sehingga menghasilkan nilai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta\tau(i,j) &= \frac{Q}{\sum \tau(i,j)} \\ &= \frac{1}{0,1+0,2+0,4} \\ &= \frac{1}{0,7}\end{aligned}$$

$$\text{Jadi } \Delta\tau(i,j) = 1,4285714$$

Langkah selanjutnya adalah dengan memperbarui (*update*) nilai *pheromone* pada tiap titik dengan menggunakan rumus $\tau(i,j) = (1 - \rho)\tau(i,j) + \Delta\tau(i,j)$, sehingga diperoleh hasil perhitungan berikut.

Update pheromone pada titik A

$$\begin{aligned}\tau(i,j) &= (1 - \rho)\tau(i,j) + \Delta\tau(i,j) \\ &= (1 - 0,2)0,1 + 1,4285714 \\ &= 1,222857143\end{aligned}$$

Update pheromone pada titik B

$$\begin{aligned}\tau(i,j) &= (1 - \rho)\tau(i,j) + \Delta\tau(i,j) \\ &= (1 - 0,2)0,2 + 1,4285714 \\ &= 1,302857143\end{aligned}$$

Update pheromone pada titik C

$$\begin{aligned}\tau(i,j) &= (1 - \rho)\tau(i,j) + \Delta\tau(i,j) \\ &= 0\end{aligned}$$

Nilai *pheromone* yang baru untuk titik C adalah 0, hal ini disebabkan karena titik C telah diperoleh sebelumnya dan sudah ada dalam memori.

Perhitungan ini akan berulang sampai memperoleh hasil berikut.

Tabel 5 Hasil Perolehan nilai probabilitas

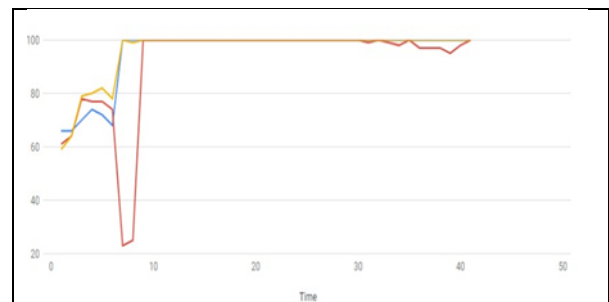
Titik	$\tau(i,j)^{\alpha}\eta(i,j)^{\beta}$	$\frac{\tau(i,j)^{\alpha}\eta(i,j)^{\beta}}{\sum \tau(i,j)^{\alpha}\eta(i,j)^{\beta}}$	Tujuan
B	0	0	B
C	0,7074	1	C
A	0	0	A

Dari hasil perhitungan nilai probabilitas pada tabel 5, dapat dilihat bahwa nilai tertinggi ada di titik C, yaitu sebesar 0,7074. Ini akan mengakibatkan air mengalir ke titik C. Adapun tabel 6 menunjukkan hasil uji coba prototipe yang dilakukan di laboratorium sehingga menghasilkan nilai berdasarkan waktu seperti yang tersaji dalam tabel berikut:

Tabel 6 Hasil Ujicoba Skala Laboratorium

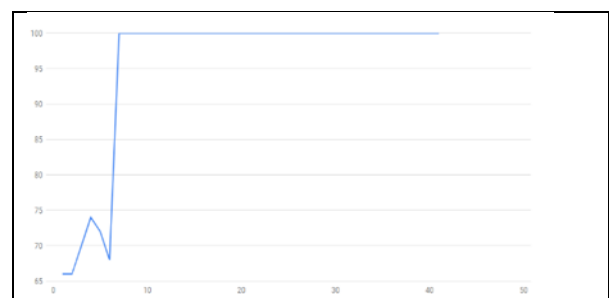
Jam	A	B	C	Arah	Ket
16:16:52	66	61	59	A	On
16:16:39	66	64	64	A	On
17:16:26	70	78	79	B	On
17:16:12	74	77	80	B	On
18:16:59	72	77	82	C	On

Dari tabel 4 hasil uji coba yang dilaksanakan pada laboratorium dalam rentang waktu yang berbeda yang dilihat berdasar kondisi tanah dalam menentukan arah air sesuai dengan titik sensor. Dari data yang diperoleh dalam 3 titik kemudian menghasilkan grafik kelembaban tanah yang diperoleh sebagai berikut:

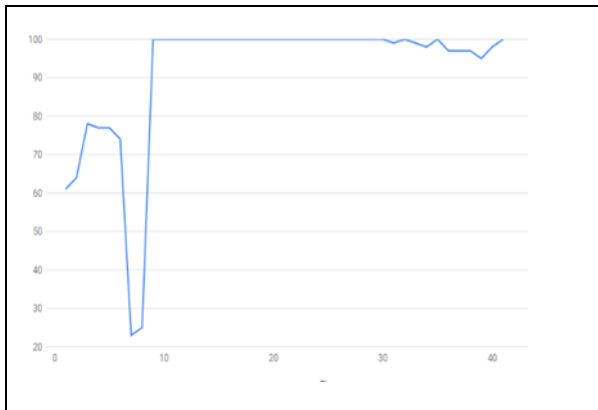


Gambar 4 Tingkat kelembaban Tanah

Dari hasil yang diperoleh berdasarkan tiap sensor akan diperoleh hasil sebagai berikut



Gambar 5 Grafik kelembaban tanah pada titik B



Gambar 6 Grafik kelembaban tanah pada titik C



Gambar 7 Grafik kelembaban tanah pada titik A

Dari hasil pengujian yang dilakukan menggunakan persamaan (3) maka diperoleh tingkat persentase error dari 30 data hasil percobaan yang dilakukan selama 10 hari adalah sebagai berikut

$$MAPE = \frac{100\%}{30} \times 8$$

$$MAPE = 26\%$$

Sehingga memperoleh hasil akurasi

$$\text{Akurasi} = 100\% - 26\%$$

$$\text{Akurasi} = 74\%$$

Dari hasil yang telah dilakukan maka diperoleh nilai akurasi pada metode *Ant Colony Optimization* pada irigasi drip sebesar 74%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dari tahap awal hingga proses pengujian dilakukan pada Sistem Irigasi Drip menggunakan metode *Ant Colony Optimization* mendapatkan nilai yang dihitung dengan MAPE sebesar 26% sehingga mendapat nilai akurasi sebesar 74%. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Algoritma *Ant Colony Optimization* ini dapat digunakan untuk mengatasi dalam masalah sistem irigasi drip.
2. Model hasil penelitian ini dapat membuat proses pendistribusian air irigasi lebih hemat karena ketika salah satu titik sudah memiliki nilai kelembapan yang cukup tidak perlu adanya irigasi.
3. Algoritma *Ant Colony Optimization* mampu dengan melihat kebutuhan mengidentifikasi kondisi air irigasi pada lahan berdasarkan tingkat kekeringan tanah
4. Hasil pengujian yang sudah dilakukan dapat dikatakan model ini bekerja dengan baik sesuai dengan apa yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACHYADI, M.A., OHGUSHI, K., MORITA, T., 2019. Impacts of Climate Change on Agriculture for Local Paddy Water Requirement Irrigation Barito Kuala, South Kalimantan, Indonesia. *Journal of Wetlands Environmental Management* 7. <https://doi.org/10.20527/jwem.v7i2.210>
- AZIZA, R.N., HARIS, ; ABDUL, PRAYITNO, ; BUDI, PUTRA, E., 2020. Pengembangan Teknologi Smart Powerplant Untuk Mendukung Sistem Irigasi Lahan Kering menggunakan Metode Learning Vector Quantization. *KILAT* 9, 192–200. <https://doi.org/10.33322/kilat.v9i2.1126>
- BHOWMICK, S.K., 2019. Smart Irrigation System with Data Visualization. 2019 International Conference on Emerging Trends in Science and Engineering, ICESE 2019. <https://doi.org/10.1109/ICESE46178.2019.9194673>
- CAMBRA, C., 2018. Smart system for bicarbonate control in irrigation for hydroponic precision farming. *Sensors (Switzerland)* 18. <https://doi.org/10.3390/s18051333>
- DASGUPTA, A., 2019. Smart irrigation: IOT-based irrigation monitoring system. *Advances in Intelligent Systems and Computing* 811, 395–403. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1544-2_32
- HADI, M.S., 2020. IoT Based Smart Garden Irrigation System. 4th International Conference on Vocational Education and Training, ICOVET 2020 361–365. <https://doi.org/10.1109/ICOVET50258.2020.9230197>
- HARIS, A., HENDRIAN, E., Tinggi, S., Pln, T., Pln, M., Lingkar Luar, J., Duri, B., Cengkareng, K., Barat, J., Id, H.A., 2019. Sistem Monitoring Dan Klaster Ketersediaan Energi Menggunakan Metode K-Means Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

- HARIS, A., SIKUMBANG, H., RAHMAWAN, H., WAHJUNI, S., SUKOCO, H., NIDYA NEYMAN, S., JAFAR ELLY, M., 2020a. Optimasi Sistem Irigasi Lahan Tada Hujan Menggunakan Algoritma Ant Colony Optimization Berbasis Tenaga Surya. *Petir: Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatika* 14, 45–51. <https://doi.org/10.33322/petir.v14i1.1064>
- HARIS, A., WAHJUNI, S., SUKOCO, H., RAHMAWAN, H., NEYMAN, S.N., SIKUMBANG, H., ELLY, M.J., 2020b. Technology Sun Tracking System for Solar Power Plants Base on Recurrent Neural Networks. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.038>
- MUNIR, M.S., 2018. Design and implementation of an IoT system for smart energy consumption and smart irrigation in tunnel farming. *Energies* 11. <https://doi.org/10.3390/en11123427>
- NASIAKOU, A., VAVALIS, M., ZIMERIS, D., 2016. Smart energy for smart irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture* 129. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.09.008>
- POUSA, R., COSTA, M.H., PIMENTA, F.M., FONTES, V.C., CASTRO, M., 2019. Climate change and intense irrigation growth in Western Bahia, Brazil: The urgent need for hydroclimatic monitoring. *Water (Switzerland)* 11. <https://doi.org/10.3390/w11050933>
- RABADIYA KINJAL, A., SHIVANGI PATEL, B., CHINTAN BHATT, C., 2018. Smart Irrigation: Towards Next Generation Agriculture. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60435-0_11
- SETIADI, D., NURDIN, M., MUHAEMIN, A., 2018. PENERAPAN INTERNET OF THINGS (IOT) PADA SISTEM MONITORING IRIGASI (SMART IRIGASI). *Jurnal Infotronik* 3.
- SIRAIT, S., SAPTOMO, S.K., YANUAR, M., PURWANTO, J., 2015. Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Irigasi Pipa Lahan Sawah Berbasis Tenaga Surya Design Of Automatic Pipe Irrigation System In Paddy Field Based On Solar Power, *Jurnal Irigasi*.
- SYAFIQOH, U., YUDHANA, A., SUNARDI, 2017. Smart Irrigation Menggunakan Wireless Sensor Network Berbasis Internet of Things. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi -SEMANTIKOM*.
- UMAIR, S.M., 2010. Automation of Irrigation System Using ANN based Controller. *International Journal* 45–51.