

Implementasi Ant Colony Optimization (ACO) pada Sistem Irigasi Lahan Tadah Hujan

Abdul Haris¹, Trisma Juwita², Rosida Nur Aziza³, Hengki Sikumbang⁴, Riki Ruli A. Siregar⁵

^{1, 2, 3, 4} Program Studi Teknik Informatika – Institut Teknologi PLN

⁵ Department of Computer Science, IPB University, Indonesia

rulirikisiregar@apps.ipb.ac.id

ABSTRACT

The purpose of this research is to produce an optimal water distribution system for irrigation of rainfed land. The problem with conventional irrigation systems is that the water distribution process cannot be controlled and monitored automatically and in real time. The impact on water distribution becomes ineffective. The implementation of Ant Colony Optimization (ACO) is used in research as a method to determine the location or node based on the pheromone pattern of the soil dryness level at the sprinkler nodes to be distributed by the water flow, taking into account the criteria level on the soil as a trend of probability values and determining the nodes according to the needs in the flow water. The results obtained from this study indicate that the data displayed is the level of dryness of each node, the volume of water in the reservoir, and the flow of water flowing. The ACO test shows the sequence of nodes that will be passed after the optimization process of water distribution in a rainfed irrigation system using the ACO method gets an error value calculated by the MAPE method of 43% so that it gets an accuracy value of 57%.

Keyword: Ant Colony Optimization, irrigation, rainfed land

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini untuk menghasilkan sistem distribusi air pada irigasi lahan tadah hujan dengan optimal. Permasalahan pada sistem irigasi konvensional adalah pada proses distribusi air yang belum dapat dikendalikan dan dipantau secara otomatis dan realtime. Dampak yang ditimbulkan pada pendistribusian air menjadi tidak efektif. Implementasi Ant Colony Optimization (ACO) digunakan dalam penelitian sebagai metode untuk menentukan lokasi atau node berdasarkan pola pheromone tingkat kekeringan tanah pada node sprinkler yang akan di distribusikan aliran air, dengan mempertimbangkan level kriteria pada tanah sebagai kecenderungan nilai probabilitas dan menentukan node sesuai kebutuhan dalam aliran air. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan data yang ditampilkan adalah level kekeringan tiap node, volume air pada reservoir, dan debit air yang mengalir. Pengujian ACO memperlihatkan urutan node yang akan dilewati setelah proses optimalisasi distribusi air pada sistem irigasi lahan tadah hujan dengan menggunakan metode ACO mendapatkan nilai error yang dihitung dengan metode MAPE sebesar 43% sehingga mendapat nilai akurasi sebesar 57%.

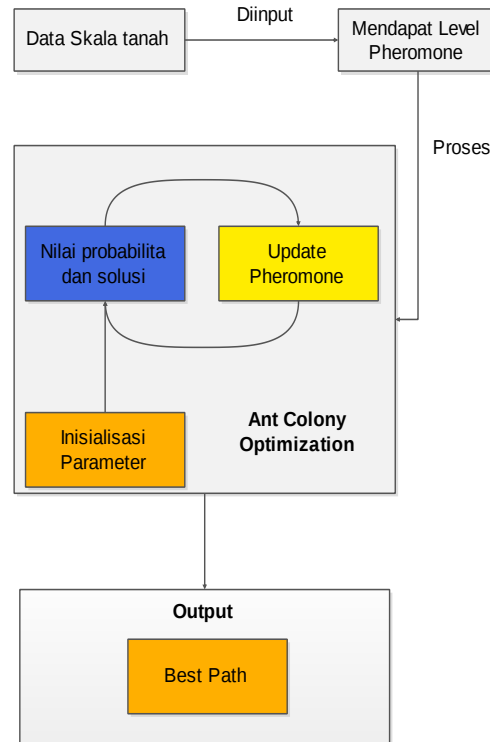
Kata Kunci: Ant Colony Optimization, irigasi, lahan tadah hujan

1. PENDAHULUAN

Pertanian lahan tadah hujan membutuhkan sistem distribusi air irigasi yang baik. Pertanian adalah penggunaan utama air tawar, dan mengkonsumsi 70% air tawar, yaitu 1500 miliar m³ dari 2500 miliar m³ dari air digunakan setiap tahun [1]. Diperkirakan 40% dari air tawar yang digunakan untuk lahan pertanian di negara berkembang hilang baik dengan *evapotranspirasi* [2]. Masalah pertanian pada pengelolaan air saat ini secara luas diakui sebagai tantangan utama yang sering dikaitkan dengan masalah pembangunan [3]. Metode irigasi yang berbeda digunakan seperti irigasi *sprinkler* dan lain sebagainya untuk menangani permasalahan pemborosan air dan adapun permasalahan lain diantaranya adalah tidak meratanya penyaluran air, debit air yang terbatas, kadar kebutuhan air pada tanah yang berbeda-beda [4]. Pemberian air untuk saluran irigasi dari hulu (*upstream*) sampai ke hilir (*downstream*) membutuhkan sarana irigasi yang harus memadai [5]. Sistem irigasi *sprinkler* yang dimodifikasi dengan mengalirkan air berdasarkan tingkat kekeringan air dapat dilakukan agar permasalahan yang dijelaskan dapat diselesaikan salah satunya dengan model pada *Internet of Things* (IoT) [6][7][8][9]. Dengan memanfaatkan komputasi cerdas yaitu *Artificial Intelligent* (AI) [10]. Teknologi ini bisa dimanfaatkan dengan cara melakukan optimalisasi pada distribusi air irigasi tersebut. Optimalisasi sistem irigasi dianggap sebagai langkah yang baik guna mengatasi kelangkaan air, penghematan air, dan juga pemerataan pendapatan air bagi lahan pertanian tadah hujan [5]. Mengoptimalkan distribusi air pada sistem irigasi terdiri dari pengoptimalan tata letak, meminimalkan panjang pipa, melihat kebutuhan air pada tanah dan elemen-elemen lain yang saling berhubungan [11], [12][13]. *Ant Colony Optimization* (ACO) saat ini menjadi alternatif terbaru untuk mendesain sistem irigasi [14][15]–[19] ACO adalah pencarian metaheuristik terinspirasi dari perilaku semut dalam mencari makan, pada saat mencari makan semut akan mencari jalur terpendek dan kemudian meninggalkan zat kimia yang disebut dengan *feromon* sebagai sebuah media penanda atau komunikasi dengan semut yang lain [20][21]. Optimalisasi distribusi air pada jalur irigasi dengan menggunakan Algoritma ACO dengan mendesain beberapa titik *sprinkler* pada irigasi kemudian memasang sensor *soil moisture* pada tiap *pipa sprinkler* dengan melihat kekeringan air yang terdapat pada sensor, titik yang paling kering akan dialiri air terlebih dahulu, dan titik yang paling basah akan dialiri air terakhir atau bahkan tidak dialiri [22]. Sistem distribusi air juga digunakan pada sistem irigasi, baik sistem irigasi kanal maupun sistem irigasi konvensional. Sistem irigasi otomatis dikembangkan untuk mengoptimalkan penggunaan air untuk tanaman pertanian [23][24]. Sistem ini memiliki jaringan nirkabel terdistribusi dari sensor kelembaban-tanah dan suhu yang ditempatkan di zona akar tanaman [25]. Selain itu, unit gateway menangani informasi sensor, memicu aktuator, dan mengirimkan data ke aplikasi web [26]. Algoritma yang dikembangkan dengan nilai ambang batas suhu dan kelembaban tanah yang diprogram menjadi *gateway* berbasis mikrokontroler untuk mengontrol kuantitas air. Tujuan dari pendekatan ACO, karena mampu mengidentifikasi jadwal irigasi aplikasi air dan pupuk. Selain itu jadwal irigasi pupuk diidentifikasi dengan meningkatkan laba bersih [19]. Dengan kemungkinan besar aplikasi irigasi air dan pupuk bisa optimal dan mendekati jadwal optimal untuk diidentifikasi serta menunjukkan kerangka kerja optimasi yang diusulkan untuk studi kasus pada manajemen irigasi.

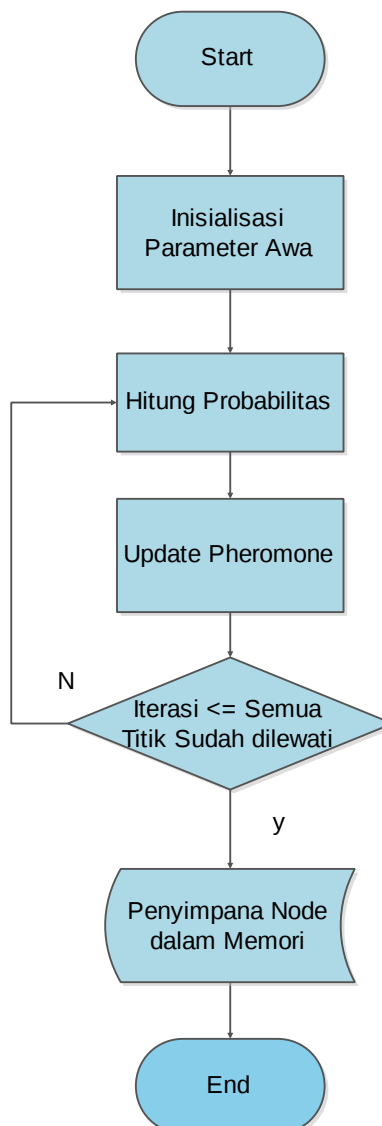
2. METODE

Pendekatan di tahapan penelitian dengan menyusun rancangan skenario pada cara kerja ACO dan beberapa dari hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan model algoritma ACO dan sistem distribusi air yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skenario sistem ACO

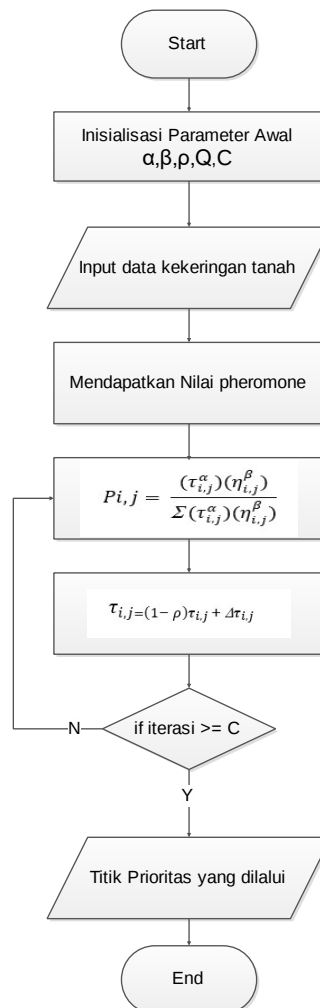
Gambar 1 menjelaskan bagaimana skenario dari ACO akan melalui beberapa tahapan proses. Proses awal dengan memasukkan nilai skala tanah. Nilai skala tanah yang telah dilakukan pemantauan yang telah terdata pada sistem. Nilai tersebut akan mendapat level *pheromone* masing-masing yang selanjutnya proses akan diidentifikasi metode ACO. Metode ini akan mengolah data-data tersebut dengan terlebih dahulu menginisialisasikan parameter-parameter yang dibutuhkan pada tahapan proses ini, diantara nilai *alfa*, *beta*, jumlah iterasi dan lain sebagainya. Setelah iterasi dilaksanakan maka proses akan berlanjut pada pencarian nilai probabilitas, nilai probabilitas yang tertinggi akan menghasilkan solusi yang paling optimal, saat salah satu solusi telah ditemukan nilai *pheromone* akan *diupdate*, proses ini bertujuan agar tidak adanya penumpukan nilai *pheromone* pada *path* yang telah dilalui dan juga menghindari terjadinya *looping* solusi pada pemilihan nilai tersebut. Proses ini akan terus terjadi sampai batas iterasi selesai dilakukan. Saat nilai iterasi telah sama, maka proses ini akan selesai. Selesaiannya proses akan menghasilkan luaran berupa data target terbaik, yaitu *node* yang dilalui dan grafik yang akan menggambarkan tekanan. Pemodelan sistem ini akan berisi proses distribusi air pada sistem irigasi dengan metode ACO, dan juga proses pengujian, pada pencarian optimasi terbaik.



Gambar 2. Diagram alir Ant Colony Optimization

Gambar 2 pada metode ACO proses ini dimulai dengan melakukan inisialisasi awal pada parameter-parameter. Selanjutnya menghitung probabilitas dengan rumus probabilitas pada ACO dan kemudian *update pheromone*. Proses ini dilakukan hingga iterasi telah melalui semua titik, jika telah selesai maka selanjutnya *node* atau titik tersebut bisa disimpan dalam memori dan proses selesai. Proses pelaksanaan ACO dilakukan pada tahap mencari titik yang harus dilalui terlebih dahulu oleh air dengan mempertimbangkan level kekeringan air pada tanah, *pheromone* akan ditentukan berdasarkan tingkat kekeringan tanahnya, nilai *pheromone* akan semakin tebal saat kadar air pada tanah kurang atau sangat kering. Setelah proses ini selesai, selanjutnya akan dilanjutkan dengan pencarian nilai probabilitas tertinggi. *Node* yang memiliki nilai probabilitas tertinggi akan dimasukkan ke dalam memori. Saat *node* pertama telah ditemukan, maka langkah selanjutnya merupakan *update pheromone*. Hal ini dilakukan guna menghindari penumpukan dari *pheromone* dan juga pengupuan *pheromone*, selain itu hal ini berguna menghindari *looping* pada *node* yang telah dilalui. Pembaharuan ini dilakukan hingga *node* – *node* yang ada telah dilewati semua, saat telah dilewati atau dilalui semua maka *node* - *node* tersebut dimasukkan ke dalam tabu list. Gambar 3

menjelaskan tentang bagaimana ACO bekerja saat di implementasikan, akan dimulai dari inisialisasi parameter-parameter, kemudian memasukkan data kekeringan tanah, saat kekeringan tanah didapatkan akan ditentukan *pheromone*, yang selanjutnya akan diolah dengan rumus probabilitas. Nilai data probabilitas didapatkan dilanjutkan dengan *update pheromone*, proses ini akan dilanjutkan hingga nilai iterasi mencapai nilai C (jumlah iterasi), jika benar akan muncul titik prioritas yang akan dilalui air, dan jika tidak maka akan kembali menghitung nilai probabilitas.



Gambar 3. Diagram alir proses Ant Colony Optimization

Tahapan metode ACO, dengan skala kebutuhan air akan dijadikan sebagai nilai *pheromone* $[t_{i,j}]^\alpha$, dan invers dari panjang pipa akan dijadikan nilai visibilitas $[\eta_{i,j}]^\beta$. Nilai *pheromone* akan dipengaruhi oleh nilai α , nilai visibilitas akan dipengaruhi oleh nilai β . Nilai α dan β merupakan nilai untuk kontrol dari perubahan nilai *pheromone* dan nilai visibilitas. Tahapan pertama dilakukan inisialisasi parameter awal, dengan melakukan inisialisasi nilai-nilai awal. Seperti nilai α , β , ρ , Q dan C . Nilai α adalah nilai kontrol untuk *pheromone*, β adalah kontrol untuk visibilitas dalam penentuan probabilitas, ρ merupakan tingkat penguapan *pheromone*, Q adalah tetapan siklus semut. Dan C merupakan banyaknya iterasi. Lalu, lakukan Identifikasi terhadap nilai visibilitas. Nilai visibilitas merupakan nilai dari invers matriks bobot, jarak, ataupun panjang rute pada *node* i ke j . Selanjutnya mencatat setiap *node* yang dikunjungi kedalam memori. *Node – node* yang memiliki nilai probabilitas yang tinggi akan disimpan atau dicatat di dalam memori. Pencatatan *node*

ditentukan dari nilai probabilitas tertinggi. Probabilitas ACO dapat ditemukan dengan menggunakan rumus:

$$P_{i,j} = \frac{(\tau_{i,j}^\alpha)(\eta_{i,j}^\beta)}{\sum (\tau_{i,j}^\alpha)(\eta_{i,j}^\beta)}$$

Pada proses yang disebut sebagai *Update Pheromone*, yaitu semut yang telah melewati jalurnya akan meninggalkan jejak *pheromone*. Jejak ini harus diperbarui agar tidak ada penumpukan *pheromone*, dan menghindari *looping* pada *node*.

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

Penentuan Solusi Optimal. Setelah semua *node* dilewati dan ada dalam memori, maka akan ditemukan solusi optimal dalam menentukan *node* yang dilalui. Berserta dengan bobot *pheromone*. Implementasi pada data yang didapatkan dengan inisialisasi parameter awal berupa nilai dari α , β , ρ , Q dan C : Nilai $\alpha = 0,2$, nilai $\beta = 0,1$, nilai $\rho = 0,2$, nilai $Q = 1$, dan nilai $C = 6$. Setelah melakukan inisialisasi awal, selanjutnya menghitung nilai visibilitas. Nilai visibilitas $[\eta(i,j)]$ didapatkan dari $\frac{1}{d(i,j)}$, dimana $d(i,j)$ adalah panjang pipa dari *node* resevoir, ke *node-node* sprinkler berada. Panjang pipa yang digunakan ada di Tabel 1 dan telah di invers pada Tabel 2 Kemudian, lihat nilai dari beberapa *node* sensor yang ada di pipa. Berikut data yang didapatkan pada sensor–sensor yang dipasang pada empat *node* keluar air. Dan di dapatkan volume serta waktu alir pada tandon yang ada sebagai *resevoir* dari sistem irigasi ini. Dengan volume air pada *resevoir* adalah 15678 liter, dengan waktu alir adalah 1578 detik. Data ini didapatkan dari salah satu data set yang telah dibentuk.

Tabel 1. Skala Pada Tanah

No	Node	Nilai Skala Tanah
1	B	12
2	C	59
3	D	99
4	E	1
5	F	20
6	G	73

Setelah nilai dari keempat sensor didapatkan, maka nilai *pheromone* akan dibedakan berdasarkan tingkat kekeringan tanah. Nilai *pheromone* akan lebih banyak saat tingkat kekeringan tanah juga tinggi. Dibawah ini nilai *pheromone* yang sudah disesuaikan dengan kondisi kebutuhan air pada tanah, disertai juga nilai visibilitas yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai visibilitas tidak akan berubah – ubah, nilai ini akan selalu sesuai karena pada penelitian ini model sistem irigasi adalah sistem irigasi buntu. Nilai visibilitas adalah jarak yang didasarkan dari *node* resevoir ke *node* penerima, atau dari *node* sumber air kepada *node* sprinkler berada.

Tabel 2. *Pheromone* tiap sensor

Titik	Nilai Skala Tanah	τ	α	β	$[\eta(i,j)]$
B	12	0,1	0,2	0,1	0,294
C	59	0,3	0,2	0,1	0,267
D	99	0,4	0,2	0,1	0,222
E	1	0,1	0,2	0,1	0,225
F	20	0,2	0,2	0,1	0,238
G	73	0,3	0,2	0,1	0,270

Pencarian nilai probabilitas bisa dihitung dengan rumus probabilitas, yaitu sebagai berikut ; $p(i,j) = \frac{\tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta}{\sum \tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta}$, untuk mempermudah perhitungan, $\tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta$ dapat dicari terlebih dahulu. Dari proses perhitungan diperoleh sebanyak 6 iterasi. Setelah nilai probabilitas terakhir adalah 1, dan setiap *node* juga telah dilewati atau masuk dalam memori, maka pencarian telah selesai, dalam memori jika *node* yang dilalui oleh air ini berdasarkan tingkat kekeringan tanah atau kebutuhan air pada tanah adalah **D-C-B-E**, yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Iterasi ke-6

<i>Node</i>	$\tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta$	$\frac{\tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta}{\sum \tau(i,j)^\alpha \eta(i,j)^\beta}$	Memory
B	0	0	
C	0	0	
D	0	0	
E	0,912867797	1	D-G-C-F-B-E
F	0	0	
G	0	0	

Pada Tabel 3 memiliki *node* A sebagai reservoir atau *node* awal, maka jalur atau *node* yang dilalui adalah A-G-C-F-B-E dengan total *pheromone* yang dilalui adalah 4,358040 dengan intensitas perubahan *pheromone* adalah 0,229461. Maka, air yang akan mengalir akan mengalir *node* D terlebih dahulu, sebab *node* D berada di skala tanah yang lebih kering dibandingkan dengan yang lain, selanjutnya *node* C, *node* B dan yang terakhir yang dialiri adalah *node* E. Lalu debit air mengalir akan didapatkan dari volume air dalam tandon (*resevoir*) dibagi dengan waktu, dengan formula:

$$\text{Debit} = \frac{\text{Volume Air}}{\text{Waktu Alir}}$$

Maka, berdasarkan data sebelumnya, debit air $15678 / 1578 = 9,93$ l/s. Sehingga banyak debit air yang mengalir adalah sebanyak 9,93 liter per detik. Selanjutnya menghitung tekanan pada tiap *node*. Karena *resevoir* yang digunakan pada penelitian ini berupa tandon yang berada pada ketinggian, maka dibutuhkan gaya grafitas untuk turun ke tiap *node*, sehingga bisa dihitung tekanan hidrostatik dengan persamaan:

$$p = \rho gh$$

p adalah tekanan (pascal)

ρ adalah massa jenis zat (kg/m^3) biasanya untuk massa jenis zat air adalah 1000 kg/m^3 .

g adalah percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}$.

h ketinggian (m)

Pada data sebelumnya beda tinggi tiap *node* berbeda-beda, maka tekanan tiap *node* juga berbeda. Pengaturan pengaliran ini bisa diatur secara manual dengan perangkat penyiraman ataupun secara otomatis menggunakan *solenoid*. Kapasitas air dapat dialirkan sesuai dengan kebutuhan air pada tanah. Sehingga salah satu masalah yang terjadi pada pengaliran distribusi air irigasi secara konvensional yaitu pendistribusian air yang tumpang tindih dapat dipecahkan.

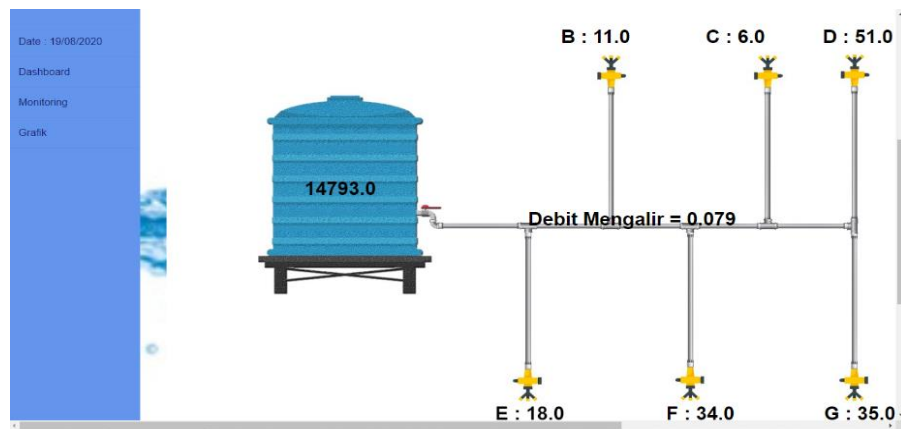
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai probabilitas yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian pada ACO yang di kontrol dengan parameter α dan β mampu mengarahkan nilai ini cenderung lebih tinggi pada tanah dengan tingkat kekeringan sangat kering. Aturan tradisional dalam ACO adalah, jumlah *pheromone* pada tiap titik adalah sama, sehingga setiap titik memiliki probabilitas yang sama saat dipilih. Setelah semut mencapai tujuannya, semut tersebut akan melihat level kekeringan tanah pada dan menghitung panjang jalur yang ditempuh dalam melaluinya dan memperbaharui *pheromone* sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Masing-masing klasifikasi level kekeringan tanah memiliki nilai *pheromone* yang berbeda, semakin tinggi kekeringan air, maka semakin banyak jumlah *pheromone* yang dibawa oleh semut. Data yang telah didapatkan kemudian diolah dengan metode ACO yang akan menghasilkan titik-titik yang dilalui. Kemudian nilai debit air dan tekanan air juga ditambahkan untuk menunjang ketersediaan aplikasi monitoring. Sehingga bisa dipantau debit air yang mengalir jalur pipa, dimana nilai dari debit air akan berubah-ubah sesuai dengan banyaknya volume air yang ada di tempat penyimpanan air (*resevoir*) kemudian juga bisa dipantau tekanan yang ada pada masing-masing titik tempat *sprinkler* berada. Berbeda dengan debit, pada penelitian kali ini debit disajikan dalam bentuk secara keseluruhan, namun tekanan akan berkonsentrasi pada tiap-tiap titik. Pada hasil pengujian pada Gambar 4, proses pemantauan dari *node* yang dilalui berdasarkan proses dari metode ACO.

The screenshot shows a web interface for monitoring water distribution. On the left is a sidebar with links: Date (30/07/2020), Dashboard, Monitoring, and Grafik. The main content area is titled 'Monitoring' and 'Monitoring > Tiktik Air Dilalui'. It contains a form for 'Manually enter data values' with seven sensors (B, C, D, E, F, G) each having a 'Soil drought at' input field. Below the sensors is a 'Calculate' button. To the right of the form, a red circle highlights the text 'Order in which water is distributed: G F D B C E' with a large red number '3' below it.

Gambar 4. Monitoring node air yang dilalui

Pada gambar 4 disajikan proses urutan *node* yang akan dilewati setelah proses ACO selesai dilakukan. Selanjutnya, pada halaman ini akan menampilkan nilai dari masing-masing sensor yang dapat dilihat pada Gambar 5, yang merupakan data yang ditampilkan pada level kekeringan tiap *node*, volume air pada *resevoir*, dan debit air yang mengalir.



Gambar 5. Monitoring debit aliran air

Untuk mengetahui nilai tekanan pada tiap titik (*node*), seperti yang bisa dilihat titik F memiliki nilai yang paling tinggi di angka 2,7022 psi. Dan titik yang paling rendah tekanannya adalah titik G, dengan tekanan 2,2755. Jika dilihat secara kasat mata, nilai tekanan (p) pada tiap titik adalah $3 > p > 2$. Dan tekanan tidak konstan. Hasil pengujian yang menunjukkan debit air disajikan pada Gambar 6, yang merupakan grafik tekanan pada tiap titik/node.



Gambar 6. Grafik tekanan air

Selanjutnya untuk mengetahui akurasi dari penelitian ini menggunakan metode MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) untuk mengujinya dengan jumlah data yang digunakan adalah 30 data.

Tabel 4. Perhitungan MAPE

No	B	C	D	E	F	G	Xt	Ft	Xt-Ft/Xt
1	11	6	51	18	34	35	1	0	1
2	36	90	26	9	67	32	1	1	0
3	90	21	51	18	54	17	1	0	1
4	32	10	22	88	60	37	1	1	0
5	27	10	31	100	34	20	1	0	1
6	99	0	12	67	40	7	1	1	0
7	51	2	29	78	59	31	1	1	0
8	1	89	31	12	21	43	1	1	0
9	23	57	0	9	18	22	1	1	0
10	96	23	37	14	1	21	1	0	1
11	4	19	26	9	65	25	1	0	1
12	0	23	47	70	100	38	1	0	1
13	0	26	26	9	59	100	1	1	0
14	90	23	50	11	29	45	1	0	1
15	23	100	82	1	0	63	1	1	0
16	1	34	78	44	100	63	1	1	0
17	5	22	36	13	8	28	1	0	1
18	100	28	31	76	56	33	1	1	0
19	66	28	57	14	29	33	1	1	0
20	17	80	10	50	56	38	1	0	1
21	15	33	23	37	60	63	1	1	0
22	41	44	61	62	71	62	1	1	0
23	41	15	23	24	37	28	1	0	1
24	3	28	65	96	67	32	1	1	0
25	44	21	38	24	40	31	1	0	1
26	38	90	94	24	23	39	1	1	0
27	21	25	61	23	11	21	1	1	0
28	16	54	27	51	37	39	1	0	1
29	58	14	23	73	35	38	1	1	0
30	99	12	13	39	16	29	1	0	1
S									13

Dari perhitungan sebelumnya dengan MAPE, didapatkan nilai error adalah 43%. Diasumsikan nilai akurasi adalah 100%, dikuangi dengan nilai error yang didapatkan menggunakan Metode MAPE, maka dapat dihitung akurasi nya adalah :

$$Akurasi = 100\% - 43\%$$

$$Akurasi = 57\%$$

Berdasar perhitungan akurasi yang dilakukan, maka bisa dilihat nilai akurasinya pada metode *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk sistem distribusi air pada sistem irigasi adalah sebesar 57%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode ACO yang di implementasikan pada distribusi air lahan tadah hujan, diperoleh dengan membuat kebutuhan *pheromone* berdasarkan tingkat kekeringan tanah pada *node sprinkler* dalam penentuan nilai debit air, tekanan air serta node yang dilewati aliran air. Metode ACO memiliki variabel kontrol α dengan nilai 0,2 dan β dengan nilai 0,1. Kemudian untuk nilai kekeringan tanah dilakukan klasifikasi terlebih dahulu, pada tanah basah nilai kekeringan tanah adalah 0-19, pada tanah sedang nilai kekeringan tanah adalah 19-54, pada tanah kering 55-73, dan pada tanah sangat kering nilai kekeringan tanah adalah 74-100. Sehingga probabilitas akan cenderung kepada tanah dengan tingkat kekeringan lebih tinggi. Probabilitas akan menentukan titik mana yang akan dilalui air terlebih dahulu berdasarkan tingkat kekeringan tanah. Hasil ini dapat dipantau melalui aplikasi yang diketahui berdasarkan tingkat kekeringan dari masing-masing node. Hasil akurasi mendapatkan nilai *error* yang dihitung dengan metode MAPE sebesar 43% sehingga mendapat nilai akurasi sebesar 57%. Saran pengembangan selanjutnya adalah menambah variabel yang memungkinkan dalam ACO, sebagai upaya meningkatkan optimasi hasil yang terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. G. S. and Ipsita Das, "Precision Irrigation: Sensor Network Based Irrigation," Probl. Perspect. Challenges Agric. Water Manag., 2012, doi: 10.5772/31909.
- [2] Y. Shouqi, R. O. Darko, Z. Xingye, L. Junping, and T. Kun, "Optimization of movable irrigation system and performance assessment of distribution uniformity under varying conditions," Int. J. Agric. Biol. Eng., vol. 10, no. 1, pp. 72–79, 2017, doi: 10.3965/j.ijabe.20171001.2293.
- [3] R. B. Thompson, M. Gallardo, L. C. Valdez, and M. D. Fernández, "Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors," Agric. Water Manag., vol. 88, no. 1–3, pp. 147–158, 2007, doi: 10.1016/j.agwat.2006.10.007.
- [4] M. Zhu, X. Q. Zhou, and Z. F. Zhai, "Research progresses in technological innovation and integration of agricultural engineering," Int. J. Agric. Biol. Eng., vol. 9, no. 6, pp. 1–9, 2016, doi: 10.3965/j.ijabe.20160906.2440.
- [5] M. O. Sharma and P. M. Sonwane, "Remote monitoring and control for liquid fertilizer and water irrigation," in 6th International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication, ICCPEIC 2017, 2018, vol. 2018-Janua, pp. 516–521, doi: 10.1109/ICCPEIC.2017.8290420.
- [6] N. Karasekreter, F. Başçiftçi, and U. Fidan, "A new suggestion for an irrigation schedule with an artificial neural network," J. Exp. Theor. Artif. Intell., vol. 25, no. 1, pp. 93–104, 2013, doi: 10.1080/0952813X.2012.680071.
- [7] E. Giusti and S. Marsili-Libelli, "A Fuzzy Decision Support System for irrigation and water conservation in agriculture," Environ. Model. Softw., vol. 63, pp. 73–86, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.envsoft.2014.09.020.
- [8] M. O. Sharma and P. M. Sonwane, "Remote monitoring and control for liquid fertilizer and water irrigation," 6th Int. Conf. Comput. Power, Energy, Inf. Commun. ICCPEIC 2017, vol. 2018-Janua, pp. 516–521, 2018, doi: 10.1109/ICCPEIC.2017.8290420.
- [9] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and E. H. M. Aggoune, "Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk," IEEE Access, vol. 7, pp. 129551–129583, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932609.

- [10] D. et al., "Artificial Intelligence and Agriculture 5. 0," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, 2016, doi: 10.35940/ijrte.
- [11] P. C. Siswipraptini, R. Nur Aziza, I. B. M. Sangadji, I. Indrianto, and R. R. A. Siregar, "Automated Smart Home Controller Based on Adaptive Linear Neural Network," 2019 IEEE 7th Int. Conf. Control. Mechatronics Autom. ICCMA 2019, pp. 423–427, 2019, doi: 10.1109/ICCMA46720.2019.8988733.
- [12] P. Catur Siswipraptini, R. Nur Aziza, M. Asura, R. R. A. Siregar, and M. Abdul Jabar, "K-Means Clustering Algorithm for Smart Home Automation," 2020 8th Int. Conf. Control. Mechatronics Autom. ICCMA 2020, pp. 207–211, Nov. 2020, doi: 10.1109/ICCMA51325.2020.9301506.
- [13] R. R. A. Siregar, P. Palupiningsih, I. S. Lailah, I. B. Sangadji, S. Sukmajati, and N. G. Pahiyanti, "Automatic Watering Systems in Vertical Farming Using the Adaline Algorithm," vol. 198, no. Issat, pp. 429–435, 2020, doi: 10.2991/aer.k.201221.070.
- [14] R. Moeini and S. A. M. Moulaei, "Simulation-optimization model for design of water distribution system using ant based algorithms," *J. Eng. Res.*, vol. 15, no. 1, pp. 42–60, 2018, doi: 10.24200/tjer.vol15iss1pp42-60.
- [15] A. R. Simpson, H. R. Maier, W. K. Foong, K. Y. Phang, H. Y. Seah, and C. L. Tan, "Selection of parameters for ant colony optimization applied to the optimal design of water distribution systems," *Proc. Int. Congr. Model. Simul.*, no. December, pp. 1931–1936, 2001.
- [16] M. Dorigo and D. C. Gianni, "Ant Colony Optimization: A New Meta-Heuristic," In *Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99* (Cat. No. 99TH8406), pp. 1470–1477, 1992.
- [17] L. DENG and B. LIU, "The Application Research on the Irrigation Canal System Optimizing the Water Distribution Using Improved Ant Colony Algorithm," pp. 12–19, 2017, doi: 10.1142/9789813146426_0002.
- [18] A. C. Zecchin, H. R. Maier, A. R. Simpson, M. Leonard, and J. B. Nixon, "Ant colony optimization applied to water distribution system design: Comparative study of five algorithms," *J. Water Resour. Plan. Manag.*, vol. 133, no. 1, pp. 87–92, 2007, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2007)133:1(87).
- [19] D. C. H. Nguyen, J. C. Ascough, H. R. Maier, G. C. Dandy, and A. A. Andales, "Optimization of irrigation scheduling using ant colony algorithms and an advanced cropping system model," *Environ. Model. Softw.*, vol. 97, pp. 32–45, 2017, doi: 10.1016/j.envsoft.2017.07.002.
- [20] M. Dorigo and K. Socha, *Ant colony optimization*, no. February 2016. 2007.
- [21] S. Vimal, M. Khari, R. G. Crespo, L. Kalaivani, N. Dey, and M. Kaliappan, "Energy enhancement using Multiobjective Ant colony optimization with Double Q learning algorithm for IoT based cognitive radio networks," *Comput. Commun.*, vol. 154, pp. 481–490, 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2020.03.004.
- [22] K. Anand, C. Jayakumar, M. Muthu, and S. Amirneni, "Automatic drip irrigation system using fuzzy logic and mobile technology," *Proc. - 2015 IEEE Int. Conf. Technol. Innov. ICT Agric. Rural Dev. TIAR 2015*, no. Tiar, pp. 54–58, 2015, doi: 10.1109/TIAR.2015.7358531.
- [23] A. A. R. Madushanki, M. N. Halgamuge, W. A. H. S. Wirasagoda, and A. Syed, "Adoption of the Internet of Things (IoT) in agriculture and smart farming towards urban greening: A review," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 10, no. 4, pp. 11–28, 2019, doi: 10.14569/ijacsa.2019.0100402.

- [24] A. Sharma, A. Jain, P. Gupta, and V. Chowdary, "Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4843–4873, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3048415.
- [25] A. Haris et al., "Optimasi Sistem Irigasi Lahan Tada Hujan menggunakan Algoritma Ant Colony Optimization berbasis Tenaga Surya," *Petir*, vol. 14, no. 1, pp. 45–51, 2020, doi: 10.33322/petir.v14i1.1064.
- [26] R. F. Ningrum, R. R. A. Siregar, and D. Rusjdi, "Fuzzy mamdani logic inference model in the loading of distribution substation transformer SCADA system," *IAES Int. J. Artif. Intell.*, vol. 10, no. 2, pp. 298–305, Jun. 2021, doi: 10.11591/IJAI.V10.I2.PP298-305.