PENCARIAN RUTE TERPENDEK MENGGUNAKAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION PADA GUI MATLAB GUNA MEMANTAU SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Studi Kasus Wilayah Jawa Tengah

(The Shortest Route Search Using the Ant Colony Optimization Algorithm in GUI Matlab for Monitoring Sustainable Development Goals. Case Study in Central Java Region)

Via Risqiyanti¹, Ajeng Dwi Rizkia²

Universitas Diponegoro¹

Universitas Diponegoro²

JL. Prof Soedarto No.50275, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275

E-mail: viarisqiyanti13@gmail.com

ABSTRAK

Bagi penyelenggara *Sustainable Development Goals* (SDG's) dalam pemantauan dan pendistribusian kegiatannya, Rute Terpendek merupakan hal yang penting untuk dikembangkan guna memperoleh efektifitas dalam keberlangsungan kegiatan SDG's yang tersebar diberbagai wilayah Indonesia. Salah satu pengembangannya adalah dengan mencari rute terpendek pada permasalahan *Travelling Salesman Problem* menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO). Algoritma ini terinspirasi oleh perilaku koloni semut yang dapat menemukan jalan terpendek dari sarang menuju sumber makanan. Penelitian ini dilakukan dengan bantuan GUI Matlab sebagai alat komputasi. Berdasarkan hasil pengujian, sistem GUI yang dibangun dapat mempermudah dan mempercepat proses pencarian rute terpendek dalam pemantauan dan pendistribusian penyelenggara SDG's.

Kata kunci: *Sustainable Development Goals, Travelling Salesman Problem, Algoritma, Ant Colony Optimization, GUI*

ABSTRACT

For the Sustainable Development Goals (SDG's) organizer in monitoring and distributing its activities, shortest distribution route is an important thing to be developed in order to obtain effectiveness in the sustainability of SDG's activities that are spread in various regions of Indonesia. One way of development is to find the shortest route with Ant Colony Optimization algorithm. This algorithm is inspired by the behavior of ant colonies that can find the shortest path from the nest to the food source. This research is done with the help of GUI as a computation tool. Based on test results, the GUI system that has been built able to simplify and speed up the selection process of finding the shortest route for monitoring and distributing SDG's organizer.

Keywords: *Sustainable Development Goals, Travelling Salesman Problem, Algorithm, Ant Colony Optimization, GUI*

PENDAHULUAN

Permasalahan *Travelling Salesman Problem* atau sering disingkat TSP adalah masalah pencarian sebuah siklus tur yang mengunjungi semua kota tepat satu kali dalam himpunan kota yang diberikan dan kembali ke kota asal. Hingga saat ini, banyak peneliti telah mencoba mencari pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan TSP. Salah satunya adalah menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO).

Ant Colony Optimization merupakan suatu algoritma yang terinspirasi dari kehidupan alami semut menyangkut kebiasaan semut dalam mencari makanan. Secara Alamiah koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu jalur, maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya. Hal ini menyebabkan jalur yang dilalui semut dalam jumlah sedikit, semakin lama akan semakin berkurang kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan tidak dilewati sama sekali. Dan sebaliknya, jalur yang dilalui semut dalam jumlah

banyak, semakin lama akan semakin bertambah kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan seluruh semut akan melalui jalur tersebut. Mengingat prinsip algoritma yang didasarkan pada perilaku koloni semut dalam menemukan rute terpendek tersebut, Ant Colony Optimization sangat tepat digunakan untuk penyelesaian masalah optimasi, salah satunya adalah menentukan jalur terpendek.

Penelitian mengenai algoritma ACO, terutama dalam aplikasinya untuk permasalahan TSP, telah dilakukan oleh Marco Dorigo (Belgia) dan Luca Maria (Switzerland) pada tahun 1997. Berdasarkan *paper* yang ditulis mereka, algoritma ACO memiliki performa yang jauh lebih baik dibanding algoritma lain. Salah satu data di *paper* tersebut menunjukkan pada kasus TSP dengan 75 kota, ACO hanya membutuhkan simulasi tur sebanyak 3.480 kali untuk menemukan rute terpendek. Sedangkan *Genetic Algorithm* membutuhkan 80.000 kali simulasi tur untuk menemukan rute terpendek, dan algoritma lain seperti *Evolutionary Programming* (EP) dan *Stimulated Annealing* (SA) bahkan membutuhkan jumlah simulasi tur yang lebih banyak lagi.

Efektifitas dalam pemantauan dan pendistribusian pada kegiatan *Sustainable Development Goals* (SDG's) merupakan proses yang sangat berpengaruh pada keberlangsungan suatu usaha. Maka perlu dilakukan pencarian rute paling efisien untuk meminimalkan biaya pemantauan dan distribusi.

METODE

SUMBER DATA DAN VARIABEL PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah koordinat 32 Kabupaten dan Kota yang ada di Jawa Tengah, jarak antar daerah dalam satuan kilometer, serta data lamanya waktu tempuh yang dilalui oleh transportasi darat menuju daerah dalam satuan menit

LANGKAH ANALISIS

Pengolahan data pada penelitian ini adalah pencarian rute terpendek dengan metode *Ant Colony Optimization*. *Software* yang digunakan adalah Matlab versi R2015b (8.6.0.267246). Berikut langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis data dalam penelitian ini:

- a. Menyiapkan data koordinat BAPPEDA Kabupaten dan Kota di Jawa Tengah.
- b. Menyiapkan data jarak antar BAPPEDA. Data diambil berdasarkan panjang jarak yang ditempuh menggunakan transportasi darat dalam satuan kilometer dan data diambil pada tanggal 1 September 2019 pukul 10.00 melalui Google Maps.
- c. Menyiapkan data waktu tempuh antar BAPPEDA. Data diambil berdasarkan lamanya waktu yang ditempuh menggunakan transportasi darat dalam satuan menit dan data diambil pada tanggal 1 September 2019 pukul 10.00 melalui Google Maps.
- d. Membuat matriks jarak antar tempat pendistribusian.
- e. Membuat matriks waktu tempuh antar tempat pendistribusian.
- f. Membuat rancangan *Ant Colony Optimization* GUI Matlab.
- g. Menginput parameter (banyak iterasi, banyak semut, parameter pengendali feromon, parameter pengendali visibilitas, dan konstanta).
- h. Menginput data pada GUI Matlab.
- i. Membangkitkan nilai random semut.
- j. Mencari titik probabilitas terdekat bilangan random semut.
- k. Membuat rute terbaik untuk pemantauan SDG's

Komputasi pemrograman GUI Matlab dilakukan sebagai alat bantu dalam rangka melakukan pencarian jalur terpendek yang dimenggunakan metode *Ant Colony Optimization*. Tahap pertama membuat GUI yaitu merancang konsep. Konsep yang digunakan dalam pembuatan GUI *Ant Colony Optimization* ini menggunakan *layer* rute pemantauan dan pendistribusian terpendek. GUI ini dirancang dengan menggunakan 7 komponen yang disediakan yaitu *push button*, *edit text*, *static text*, *table*, *axes*, *listbox* dan *panel*.

DIAGRAM ALIR ANT COLONY OPTIMIZATION

Diagram alir adalah sebuah jenis diagram yang mewakili algoritma, alir kerja, atau proses yang menampilkan langkah-langkah dalam bentuk simbol-simbol dan grafis, dan urutannya dihubungkan dengan panah. Diagram alir mewakili ilustrasi atau penggambaran penyelesaian masalah. Diagram alir digunakan untuk menganalisis, mendesain, mendokumentasi atau memanajemen sebuah proses atau program di berbagai bidang. Berikut merupakan diagram alir dari algoritma *Ant Colony Optimization*:

Gambar 1. Diagram alir dari algoritma *Ant Colony Optimization*.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDG's)

Sustainable Development Goals (SDG's) merupakan suatu konsep yang lahir pada kegiatan Konferensi mengenai Pembangunan Berkelanjutan yang dilaksanakan PBB di Rio de Janeiro tahun 2012. Konferensi ini bertujuan untuk memperoleh tujuan bersama yang universal yang mampu memelihara keseimbangan tiga dimensi pembangunan berkelanjutan, yaitu lingkungan, sosial dan ekonomi.

Dalam menjaga keseimbangan tiga dimensi pembangunan tersebut, maka SDG's memiliki 5 pondasi utama yaitu manusia, planet, kesejahteraan, perdamaian dan kemitraan yang ingin mencapai tiga tujuan mulia di tahun 2030 berupa mengakhiri kemiskinan, mencapai kesetaraan dan mengatasi perubahan iklim.

Peran daerah merupakan hal yang sangat penting bagi keberlangsungan SDG's. Pemerintahan Provinsi Jawa Tengah dinilai sebagai salah satu daerah yang paling maju dalam menerapkan program pembangunan berkelanjutan SDG's. Kemajuan tersebut dinilai dari akses informasi terkait perkembangan SDG's dan turunnya angka kematian ibu.

Setiap daerah memiliki sebuah tanggung jawab dalam melaksanakan program SDG's. Di tiap daerah yang bertanggung jawab pada proses keberlangsungan SDG's adalah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, atau yang biasa disingkat BAPPEDA. BAPPEDA adalah lembaga teknis daerah dibidang penelitian dan perencanaan pembangunan daerah yang dipimpin oleh seorang kepala badan yang berada dibawah dan bertanggung jawab kepada Gubernur/Bupati/Wali Kota melalui Sekretaris Daerah.

OPTIMISASI

Optimisasi merupakan suatu upaya sistematis untuk memilih elemen terbaik dari suatu kumpulan elemen yang ada. Optimisasi ini bisa dinyatakan sebagai suatu usaha sistematis untuk mencari nilai minimum atau maksimum dari suatu fungsi. Dengan kata lain, optimisasi merupakan proses mencari nilai terbaik berdasarkan fungsi tujuan dengan daerah asal yang telah didefinisikan (Tyas and Prijodiprodjo 2013).

Permasalahan yang berkaitan dengan optimisasi sangat kompleks dalam kehidupan sehari-hari. Nilai optimal yang didapat dalam optimisasi dapat berupa besaran panjang, waktu, jarak, dan lain-lain. Berikut adalah beberapa persoalan yang memerlukan optimisasi: menentukan lintasan terpendek dari suatu tempat ke tempat yang lain, menentukan jumlah pekerja seminimal mungkin untuk melakukan proses produksi, mengatur jalur kendaraan umum agar semua lokasi dapat dijangkau, mengatur jaringan kabel telepon agar biaya pemasangan kabel tidak terlalu besar, dan masih banyak lagi permasalahan yang membutuhkan optimisasi dalam penyelesaiannya.

TRAVELLING SALESMAN PROBLEM (TSP)

Permasalahan tentang *Travelling Salesman Problem* dikemukakan pada tahun 1800 oleh matematikawan Irlandia William-Rowan Hamilton dan Matematikawan Inggris Thomas Penyngton. TSP dapat didefinisikan sebagai pencarian urutan semua lokasi yang harus dikunjungi, mulai dari kota tertentu dan kembali lagi ke kota tersebut.

Gambar 2. Ilustrasi Masalah *Travelling Salesman Problem*.

TSP dapat didefinisikan sebagai berikut: ada satu set kota $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, \dots$, dan C_{ij} adalah jarak antara kota ke- i dan kota ke- j . Permasalahan TSP ini termasuk dalam kategori kombinasi *asymmetric* artinya waktu yang dibutuhkan dari kota 1 ke kota 2 bisa terdapat perbedaan dengan waktu yang dibutuhkan dari kota 2 ke kota 1. misal : untuk algoritma A, jumlah kota N, waktu yang dibutuhkan T. Maka untuk jumlah kota 2N tidak bisa dikatakan membutuhkan waktu 2T untuk

algoritma A. Hal ini mengakibatkan dua alternatif pengembangan algoritma. Pertama algoritma yang berusaha menemukan perjalanan yang mendekati optimal. Kedua mencari solusi yang terbaik dari permasalahan TSP (Tzle and Dorigo n.d.).

Untuk mencari jumlah kombinasi *asymmetric* perjalanan tiga kota atau lebih, dapat digunakan rumus $(n-1)!$. Misalkan pilih satu kota secara bebas sebagai kota pertama, kemudian ada $(n-1)$ kota yang bisa dipilih sebagai kota kedua untuk dikunjungi, lalu $(n-2)$ kota yang bisa dipilih sebagai kota yang ketiga untuk dikunjungi, begitu seterusnya sampai semua kota habis dikunjungi dan kembali ke kota awal. Pada kasus *symmetric* TSP, jumlah kombinasi perjalanannya adalah setengah jumlah kombinasi perjalanan assymetric yaitu $(n-1)!/2$ untuk $n > 3$.

Permasalahan TSP untuk jumlah kota yang besar adalah permasalahan yang sangat kompleks dan sulit untuk dipecahkan. Jadi diperlukan suatu algoritma yang pada intinya mengurangi pengecekan terhadap semua kombinasi yang mungkin.

ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO)

Algoritma *Ant Colony* pertama kali diusulkan oleh Marco Dorigo pada tahun 1991 sebagai thesis PhD-nya, dan pertama kali ditulis secara terperinci pada tahun 1996 dengan nama *Ant System* (AS). Algoritma ini terinspirasi oleh perilaku koloni semut yang dapat menemukan jalan terpendek dari sarang menuju sumber makanan.

Gambar 3. Ilustrasi Koloni Semut dalam Menemukan Rute Terpendek.

Ant Colony Optimization merupakan suatu algoritma yang terinspirasi dari pengamatan terhadap tingkah laku semut. Dalam dunia nyata, Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan dengan meninggalkan zat feromon pada jalur yang telah mereka lalui (Dorigo, Maniezzo, and Colorni 1996). Feromon merupakan zat kimia yang berasal dari kelenjar endokrin dan hanya dapat mempengaruhi individu lain yang sejenis (satu spesies). Proses peninggalan feromon ini disebut *stigmergy*, yaitu sebuah proses memodifikasi lingkungan yang tidak hanya bertujuan untuk mengingat jalan pulang ke sarang, tetapi juga kecenderungan semut supaya mengikuti jalur yang telah dilewati semut lainnya sehingga ditemukan jalur terpendek atau jalur optimal.

Seiring waktu, jejak feromon akan menguap dan akan mengurangi kekuatan daya tariknya. Hal ini terjadi apabila waktu yang ditempuh selama proses pencarian makanan dari sarang menuju sumber pada jalur pertama lebih lama dibanding pada jalur kedua, maka penguapan feromon pada jalur pertama lebih cepat daripada jalur kedua. Sehingga para semut akan memilih jalur kedua karena memiliki feromon yang lebih kuat dan bisa diidentifikasi sebagai jalur terpendek (Fariza, Martiana, and Putro n.d.).

Faktor penting lainnya dari algoritma *Ant Colony Optimization* adalah kadar feromon (*Pheromone*). Feromon berfungsi sebagai energi yang mempengaruhi pemilihan jalur bercabang. Jumlah energy feromon berubah-ubah seiring banyaknya perjalanan atau pencarian yang terjadi. Maka dari itu diperlukan penjumlahan nilai feromon (*pheromone update*) semut mendapatkan nilai feromon yang benar pada tiap-tiap jalur meski kadar tersebut berubah-ubah (Maniezzo et al. - 5. Ant Colony Optimization.pdf n.d.).

Jumlah feromon yang terdapat pada ruas ij setelah dilewati semut k diberikan dengan rumus:

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau_{i,j}^{(k)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

$\tau_{i,j}$ = kadar feromon yang terdapat pada ruas ij setelah dilewati semut k

$\Delta\tau_{i,j}^{(k)}$ = perbedaan kadar feromon setelah dilewati semut k

Dengan meningkatnya nilai feromon pada ruas $i-j$, maka kemungkinan ruas ini akan dipilih lagi pada iterasi berikutnya semakin besar. Setelah seluruh simpul dilewati maka akan terjadi penguapan feromon dengan aturan sebagai berikut:

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - p)\tau_{i,j} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

p = parameter tingkat penguapan pada ruas yang telah dilalui oleh semut k .

Penurunan jumlah feromon memungkinkan semut untuk mengeksplorasi lintasan yang berbeda selama proses pencarian. Sehingga akan menghilangkan kemungkinan memilih lintasan yang kurang bagus. Jumlah feromon yang ditambahkan pada ruas $i-j$ oleh semut diberikan sebagai berikut:

$$\Delta\tau_{i,j}^{(k)} = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} \\ 0 \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

Q = konstanta yang ditentukan oleh peneliti

L_k = total jarak yang dilalui semut k hingga kembali ke tempat asal

$\Delta\tau_{i,j}^{(k)} = \frac{Q}{L_k}$ apabila (i,j) merupakan lintasan yang terbaik

$\Delta\tau_{i,j}^{(k)} = 0$ untuk lintasan lainnya

Setelah didapatkan nilai jarak dan nilai feromon, maka semut dapat menentukan rute yang memiliki peluang (probabilitas) sebagai rute paling optimal, pemilihan tersebut dipengaruhi oleh nilai peluang masing-masing rute. rute yang dipilih adalah rute dengan nilai peluang tertinggi, selain itu pemilihan rute juga dipengaruhi oleh nilai koefisien α dan β . Secara matematis perhitungan nilai probabilitas untuk pemilihan rute dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{(i,j)} = \frac{\tau_{(i,j)}^\alpha \cdot h_{(i,j)}^\beta}{\sum \tau_{(i,u)}^\alpha \cdot h_{(i,u)}^\beta} \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

$P_{(i,j)}$ = nilai probabilitas untuk pemilihan rute

α = derajat kepentingan feromon

β = derajat kepentingan *visibility*

$h_{(i,j)}$ = nilai *visibility* ($1/\text{jarak}$ ruas ij)

$u \in k$ = pilihan yang dipunyai semut k pada saat ia berada di titik i

GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI)

Graphical User Interface (GUI) merupakan tampilan grafis dalam jendela figur yang berisi menu-menu, tombol, teks, grafik, dan lainnya, sehingga pengguna dapat menambah komponen dan melakukan hal-hal secara interaktif dengan *mouse* dan *keyboard*. Ada dua langkah utama dalam membuat GUI yaitu merancang desainnya dan menulis fungsi *callback* yang melakukan operasi yang diinginkan saat pengguna memilih fitur yang berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada layar GUI terdapat tampilan jalur rute pemantauan dan pendistribusian terpendek, jarak terpendek, dan lamanya waktu yang diperlukan berdasarkan jarak terpendek. Selanjutnya klik tombol "*Proses Ant Colony*" untuk memulai menganalisis menggunakan

metode *Ant Colony Optimization*. Berikut merupakan penjelasan tahapan proses *Ant Colony Optimization* pada layar GUI:

Tabel 1. Tahapan Pencarian Rute Terpendek Guna Memantau Kegiatan SDG's.

No	Tahapan	Fungsi dan analisis yang terjadi
1.	Menampilkan grafik iterasi waktu tercepat	Menampilkan grafik waktu yang dilalui oleh setiap semut, dan diulang berdasarkan banyaknya iterasi yang dilakukan. Pada Penelitian ini banyaknya semut yang digunakan sebanyak 1500 dan melakukan iterasi sejumlah 30 kali. Semakin banyak semut yang digunakan, maka data hasil iterasinya cenderung semakin homogen.
2.	Mencari rute terpendek dan tercepat	Dengan cara mencari invers dari setiap matriks waktu tempuh. Lalu menghitung probabilitas tiap tempat untuk dikunjungi. Setelah menghitung nilai probabilitas kumulatif, digunakan nilai random untuk menentukan tempat selanjutnya yang akan dikunjungi. Dilakukan pengulangan proses tersebut sebanyak jumlah semut yang digunakan. Untuk rute yang dilalui semut akan diperoleh penambahan feromon.
3.	Menampilkan Rute Tercepat Pendistribusian	Menampilkan rute tercepat hasil analisis <i>Ant Colony Optimization</i> . Garis berwarna biru menunjukkan rute awal pendistribusian, dan garis hijau merupakan rute hasil analisis pencarian rute tercepat pendistribusian. Gambar rute tercepat dapat membantu tim SDG's dalam melakukan pendistribusian.
4.	Menghitung waktu tempuh tercepat	Memunculkan hasil jumlah waktu tempuh rute tercepat pendistribusian yang dapat dilalui oleh tim SDG's. Rute tercepat didapatkan dari penjumlahan jarak tiap tempat pendistribusian dengan urutan berdasarkan hasil optimisasi <i>Ant Colony Optimization</i> .

Setelah dilakukan proses *Ant Colony Optimization*, layar GUI akan menampilkan hasil rute pemantauan dan pendistribusian terpendek yang dapat dijadikan solusi dalam pemantauan dan pendistribusian di wilayah Jawa Tengah, Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 4. sebagai berikut:

Gambar 4. Layer Rute Tercepat Pendistribusian dalam Sustainable Development Goals.

Dari proses *Ant Colony Optimization* didapat total jarak terdekat yang dapat dilakukan penyelenggara SDG's pada pemantauan dan pendistribusian di wilayah Jawa Tengah dengan transportasi darat adalah 1253.25 kilometer, dengan waktu tempuh selama 35.4725 jam. Berikut merupakan rute terpendek yang dapat dilakukan dengan urutan tempat pemantauan sebagai

berikut:1-24-14-4-19-20-27-7-21-3-8-13-2-30-28-22-17-31-6-15-26-29-32-12-25-10-23-5-18-16-11-9-1.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu total jarak terdekat yang dapat dilakukan penyelenggara SDG's pada pemantauan dan pendistribusian di wilayah Jawa Tengah dengan transportasi darat adalah 1253.25 kilometer, dengan waktu tempuh selama 35.4725 jam.

Berikut merupakan rute terpendek yang dapat dilakukan dengan urutan tempat pemantauan sebagai berikut:1-24-14-4-19-20-27-7-21-3-8-13-2-30-28-22-17-31-6-15-26-29-32-12-25-10-23-5-18-16-11-9-1. Dengan rincian tempat pemantauan dan pendistribusian SDG's adalah BAPPEDA Provinsi Jawa Tengah • BAPPEDA Semarang • BAPPEDA Kendal • BAPPEDA Batang • BAPPEDA Pekalongan • BAPPEDA Pemalang • BAPPEDA Tegal • BAPPEDA Brebes • BAPPEDA Purbalingga • BAPPEDA Banyumas • BAPPEDA Cilacap • BAPPEDA Kebumen • BAPPEDA Banjarnegara • BAPPEDA Wonosobo • BAPPEDA Temanggung • BAPPEDA Purworejo • BAPPEDA Magelang • BAPPEDA Salatiga • BAPPEDA Boyolali • BAPPEDA Klaten • BAPPEDA Sukoharjo • BAPPEDA Wonogiri • BAPPEDA Surakarta • BAPPEDA Karanganyar • BAPPEDA Sragen • BAPPEDA Grobogan • BAPPEDA Rembang • BAPPEDA Blora • BAPPEDA Pati • BAPPEDA Kudus • BAPPEDA Jepara • BAPPEDA Demak • BAPPEDA Provinsi Jawa Tengah.

Jalur terpendek yang telah diperoleh dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan dalam pemilihan jalur pemantauan dan pendistribusian yang akan dilakukan penyelenggara Sustainable Development Goals di wilayah Jawa Tengah. Sehingga dapat meminimalkan jarak tempuh pemantauan dan pendistribusian, serta meminimalkan waktu yang digunakan ketika proses pemantauan dan pendistribusian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

Dorigo, M., V. Maniezzo, and A. Colorni. 1996. "Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents." *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics)* 26(1): 29–41.

Fariza, Arna, Entin Martiana, and Fidi Wincoko Putro. "Sistem Navigasi Perjalanan Berbasis Web Dengan Algoritma Koloni Semut (Ant Colony Algorithm)." : 6.

"Maniezzo et al. - 5. Ant Colony Optimization.Pdf."

Tyas, Yuliyani Siyamtining, and Widodo Prijodiprodjo. 2013. "Aplikasi Pencarian Rute Terbaik dengan Metode Ant Colony Optimazation (ACO)." 7(1): 10.

Tzle, Thomas STU, and Marco Dorigo. "Traveling Salesman Problem." : 23.

-