

**Penentuan Jalur Terpendek dengan Metode Heuristik Menggunakan
Algoritma Sarang Semut (Ant Colony)
(Studi Kasus: Jalan Arteri Sekunder Kota Samarinda)**

*Determination of the Shortest Path with the Heuristic Method Using the Ant Colony Algorithm
(Case Study: Samarinda Secondary Arterial Road)*

Alfian Hidayat¹, Ika Purnamasari², dan Meiliyani Siringoringo³

¹Laboratorium Statistika Terapan FMIPA Universitas Mulawarman

²Laboratorium Statistika Ekonomi dan Bisnis FMIPA Universitas Mulawarman

³Laboratorium Statistika Komputasi FMIPA Universitas Mulawarman

¹E-mail: alfian1307015025@gmail.com

Abstract

Ant Colony algorithm was adopted from the behavior of ant colonies, known as the system of ants, ant colonies are naturally able to find the shortest route on their way from nest to food source places. Colony of ants can find shortest route between the nest and food sources based on the trajectory of footprints that have been passed. The density of ant footprints on the path is always updating because of the evaporation of the footprints and the determination of ant pathways using probability calculations. This study aims to determine the results of determining the shortest path using the ant colony algorithm as the best route from the Samarinda City secondary arterial road with the route starts from Slamet Riyadi road to DI Panjaitan road. Based on the results of the study using the ant colony algorithm obtained the shortest path of 8.307 kilometers with footprint density of 1.005.

Keywords: Ant colony algorithm, probability, footprint, secondary arterial road

Pendahuluan

Dalam pencarian jalur terpendek terdapat dua metode yaitu metode konvensional dan metode heuristik. Metode konvensional lebih mudah dipahami dari pada metode heuristik. Tetapi jika dibandingkan, hasil metode heuristik lebih bervariasi dan waktu yang diperlukan lebih singkat. Metode heuristik terdiri dari berbagai macam metode. Salah satunya adalah algoritma sarang semut (Ant Colony). Sarang semut diambil dari perilaku koloni semut dalam menemukan jalur terpendek antara sarang dengan sumber makanan (Triandi, 2012).

Koloni semut (Ant colony) diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut. Secara alamiah koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan. Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada jalur yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melewati suatu jalur maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya. Hal ini akan menyebabkan jalur yang dilalui semut dalam jumlah sedikit semakin lama akan semakin berkurang kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan akan tidak dilewati sama sekali dan sebaliknya. Mengingat prinsip algoritma yang didasarkan pada perilaku koloni semut dalam menemukan jarak perjalanan paling pendek tersebut, algoritma semut sangat tepat digunakan untuk diterapkan dalam penyelesaian masalah

optimasi, salah satunya adalah untuk menentukan jalur terpendek (Dorigo, 1996).

Pada penelitian ini, penulis menggunakan Jalur atau jalan Kota Samarinda, yang memiliki peran dalam proses distribusi barang atau jasa, seperti perusahaan ekspedisi, pos, barang kebutuhan pokok dan lainnya yang ingin mengantarkan barang-barang tersebut ke daerah pedalaman atau wilayah lain yang melalui Kota Samarinda. Kota Samarinda memiliki banyak jalur atau jalan yang menghubungkan banyak wilayah, maka akan sangat penting untuk mengetahui jalur atau jalan yang dilalui agar dapat mengefisienkan jarak yang di tempuh.

Penentuan jalur terpendek sebelumnya dilakukan oleh Triandi (2012), dengan Penemuan Jalur Terpendek dengan Algoritma Ant Colony. Dan penelitian oleh Bambang Y, Agus SA, dan Siswanto BW, pada proses pencarian jalur terpendek jalan protokol di Kota Yogyakarta. Dari penelitian-penelitian sebelumnya tersebut, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian pada Kota Samarinda. Dimana pada kota tersebut terdapat banyak jalur arteri sekunder yang dapat menjadi dasar penelitian dalam penentuan jalur terpendek dengan menggunakan algoritma sarang semut

Dari latar belakang tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Penentuan Jalur Terpendek Menggunakan Metode Heuristik dengan Algoritma Sarang Semut" dengan studi kasus jalan arteri sekunder Kota Samarinda.

Sejarah Algoritma Sarang Semut

Algoritma semut diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut, yang merupakan teknik probabilistik untuk menyelesaikan masalah komputasi dengan menemukan jalur terbaik melalui grafik. Secara alamiah koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan. Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada jalur yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu jalur, maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya. Hal ini akan menyebabkan jalur yang dilalui semut dalam jumlah sedikit, semakin lama akan semakin berkurang kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan akan tidak dilewati sama sekali. Sebaliknya jalur yang dilalui semut dalam jumlah banyak, semakin lama akan semakin bertambah kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan semua semut akan melalui jalur tersebut (Dorigo, 1996).

Jalur terpendek adalah suatu jaringan pengarahan perjalanan dimana seseorang pengarah jalan ingin menentukan jalur terpendek antara dua kota, berdasarkan beberapa jalur alternatif yang tersedia, dimana titik tujuan hanya satu. Secara umum penyelesaian masalah pencarian jalur terpendek dapat dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode algoritma konvensional dan metode heuristik. Metode algoritma konvensional diterapkan dengan cara perhitungan matematis seperti biasa, sedangkan metode heuristik diterapkan dengan perhitungan kecerdasan buatan atau menggunakan sistem pendekatan (Leksono, 2009).

a. Metode Konvensional

Metode konvensional adalah metode yang menggunakan perhitungan matematika eksak/biasa. Ada beberapa metode konvensional yang biasa digunakan untuk melakukan pencarian jalur terpendek, diantaranya Algoritma Dijkstra, Algoritma Floyd-Warshall, dan Algoritma Bellman-Ford.

b. Metode Heuristik

Metode heuristik adalah suatu metode yang menggunakan sistem pendekatan dalam melakukan pencarian dalam optimasi. Ada beberapa algoritma pada metode heuristic yang biasa digunakan dalam permasalahan optimasi, diantaranya Algoritma Genetika, Ant Colony, Logika Fuzzy, jaringan saraf tiruan, Tabu Search, Simulated Annealing, dan lain-lain

Pencarian Jalur Terpendek dengan Algoritma Sarang Semut

Dalam pencarian jalur terpendek dengan algoritma semut, diperlukan beberapa parameter

dan langkah-langkah untuk menentukan jalur terpendek, yaitu (Jamilah, 2005):

Langkah 1 :

- a. Inisialisasi harga parameter-parameter algoritma.

Parameter-parameter yang di inialisasikan adalah:

1. Banyak titik persimpangan (n)
2. Banyak semut (m)
3. Titik awal (i) dan titik tujuan (j)
4. Tetapan siklus-semut (Q)
5. Tetapan siklus algoritma (k)
6. Intensitas jejak semut, (τ_{ij}^k)
7. Panjang jalan antar titik persimpangan (d_{ij})
8. Pengendalian intensitas jejak semut (α), nilai $\alpha \geq 0$
9. Pengendali visibilitas (β), nilai $\beta > 0$
10. Penguapan jejak semut (ρ), $\{ \rho | 0 < \rho < 1 \}$
11. Visibilitas antar titik

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \tag{1}$$

di mana, d_{ij} adalah panjang jalan antar titik persimpangan.

12. Jumlah siklus maksimum algoritma (k) bersifat tetap selama algoritma dijalankan, sedangkan τ_{ij}^k akan selalu diperbaharui harganya pada setiap siklus algoritma mulai dari siklus pertama sampai tercapai jumlah siklus maksimum.

- b. Inisialisasi titik pertama setiap semut.

Setelah inisialisasi τ_{ij}^k dilakukan, kemudian m semut ditempatkan pada titik awal.

Langkah 2 :

Pencatatan titik-titik yang dilalui oleh objek semut. Setiap objek semut yang melakukan pencarian titik tujuan akan mencatat nama titik-titik yang dilaluinya sehingga dapat mengetahui jalur perjalanan semut. Titik awal merupakan titik yang pertama kali dicatat.

Langkah 3 :

Penyusunan rute kunjungan setiap semut ke setiap titik. Sebelum melakukan pemilihan titik tujuan dalam menelusuri titik, dibuat suatu daftar titik tetangga terdekat. Daftar hubungan titik ini berisikan titik-titik yang terhubung dari titik asal perjalanan. Koloni semut yang sudah terdistribusi ke sejumlah atau setiap titik, akan mulai melakukan perjalanan dari titik pertama masing-masing sebagai titik asal dan salah satu titik lainnya sebagai titik tujuan. Untuk menentukan titik tujuan digunakan persamaan probabilitas titik untuk dikunjungi sebagai berikut :

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}^k]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_j^n [\tau_{ij}^k]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} \tag{2}$$

di mana:

P_{ij}^k = Nilai probabilitas dari titik (i) ke titik (j) siklus (k)

τ_{ij}^k = Intensitas jejak semut dari titik (i) ke titik (j) siklus (k)
 η_{ij} = Visibilitas antar titik (i) ke titik (j)

Langkah 4:

a. Perhitungan panjang rute setiap semut.

Perhitungan panjang rute tertutup (*length closed tour*) atau L_Q setiap semut dilakukan setelah satu siklus diselesaikan oleh semua semut. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan panjang jalur masing-masing dengan persamaan berikut :

$$L_Q = \sum_i^n d_{ij} \quad (3)$$

di mana:

L_Q = Panjang rute siklus semut (Q)

d_{ij} = Panjang jalan antar titik (i) ke titik (j)

b. Pencarian jalur terpendek

Setelah L_Q setiap semut dihitung, akan didapat harga minimal panjang rute tertutup setiap siklus algoritma (k) dan harga minimal panjang rute tertutup secara keseluruhan.

c. Perhitungan perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar titik.

Koloni semut akan meninggalkan jejak-jejak kaki pada jalur antar titik yang dilaluinya. Adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang lewat, menyebabkan kemungkinan terjadinya perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar titik. Persamaan perubahan ini adalah :

$$\Delta\tau_{ij}^k = \sum \Delta\tau_{ij} \quad (4)$$

di mana:

$\Delta\tau_{ij}$ = Perubahan intensitas jejak titik (i) ke titik (j)

$\Delta\tau_{ij}^k$ = Perubahan intensitas jejak siklus (k) dari titik (i) ke titik (j)

yang dihitung berdasarkan persamaan:

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{Q}{L_Q} \quad (5)$$

di mana:

$\Delta\tau_{ij}$ = Perubahan intensitas jejak kaki semut dari titik (i) ke titik (j)

Q = Tetapan siklus semut

L_Q = Panjang rute siklus semut (Q)

Langkah 5:

a. Perhitungan harga intensitas jejak kaki semut antar titik untuk siklus selanjutnya. Harga intensitas jejak kaki semut antar titik pada semua jalur antar titik ada kemungkinan berubah karena adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang melewati. Untuk siklus selanjutnya, semut yang akan melewati jalur tersebut harga intensitasnya telah berubah. Harga intensitas jejak kaki semut antar titik untuk siklus selanjutnya dihitung dengan persamaan :

$$\tau_{ij}^{k+1} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}^k + \Delta\tau_{ij}^k \quad (6)$$

di mana:

$\Delta\tau_{ij}^k$ = Perubahan intensitas jejak kaki siklus (k) dari titik (i) ke titik (j)

ρ = Tetapan Penguapan jejak semut

τ_{ij}^k = intensitas jejak kaki siklus (k) dari titik (i) ke titik (j)

b. Atur ulang harga perubahan intensitas jejak kaki semut antar titik.

Untuk siklus selanjutnya perubahan harga intensitas jejak semut antar titik perlu diatur kembali agar memiliki nilai sama dengan nol.

Langkah 6:

Jika siklus maksimum algoritma belum terpenuhi, maka algoritma diulang lagi dari langkah 2 dengan harga parameter intensitas jejak kaki semut antar titik yang sudah diperbaharui. Pengulangan tersebut berlangsung sampai siklus maksimum algoritma terpenuhi.

Definisi dan Sistem Jaringan Jalan Arteri Sekunder

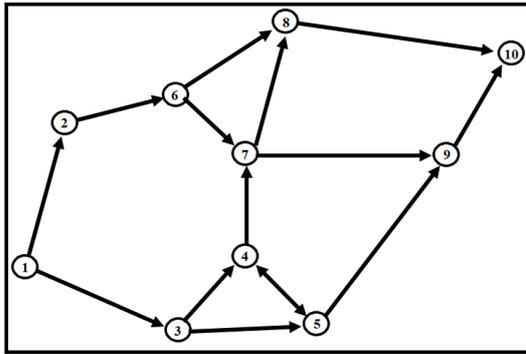
Berdasarkan peraturan dirjen. BIMA No. 13/1970. Jalan sekunder yaitu jalan-jalan yang melayani lalu lintas yang cukup tinggi antara kota-kota penting dan kota-kota yang lebih kecil, serta melayani daerah-daerah sekitarnya dan jalan arteri yaitu jalan-jalan yang terletak di luar pusat perdagangan (*out lying business district*).

Sistem jaringan jalan sekunder adalah jalan yang menghubungkan kawasan-kawasan fungsi primer dan fungsi sekunder sampai ke perumahan dalam satu wilayah perkotaan. Jalan arteri sekunder, menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu, atau menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua. Berdasarkan ketentuan pengaturan tata ruang kota, jalan arteri sekunder mempunyai batasan sebagai berikut (Saodang, 2010):

- Didesain berdasarkan kecepatan paling rendah 30 km/jam.
- Kapasitas sama atau lebih besar dari volume lalu lintas rata-rata.
- Lebar badan jalan tidak kurang dari 8 meter.
- Pada jalan arteri sekunder, lalu lintas cepat tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat.
- Persimpangan jalan dengan pengaturan tertentu harus memenuhi kecepatan tidak kurang dari 30km/jam.

Hasil dan Pembahasan Statistika Deskriptif

Graf berarah jalan Kota Samarinda dari titik satu menuju titik sepuluh sebagai berikut:



Gambar 1 Graf berarah jalan kota Samarinda
 Berdasarkan Gambar 1 setiap arah merupakan kemungkinan jalur yang dilewati oleh pengguna jalan dari titik awal menuju titik tujuan. setiap persimpangan diberi simbol titik dan angka untuk mempermudah dalam penyebutan setiap persimpangan jalan Kota Samarinda. Daftar simbol titik setiap persimpangan jalan yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada tabel sebagai berikut:

Titik	Persimpangan
1	Jl. Slamet Riyadi, Jl. P. Antasari, Jl. RE. Martadinata
2	Jl. P. Antasari, Jl. MT. Haryono, Jl. P. Suryanata, Jl. Ir. H. Juanda
3	Jl. Awang Long, Jl. Bhayangkara, Jl. Basuki Rahmat
4	Jl. Bhayangkara, Jl. Pahlawan, Jl. Kusuma Bangsa
5	Jl. Basuki Rahmat, Jl. KH. Abul Hasan, Jl. KH. Agus Salim
6	Jl. Ir. H. Juanda, Jl. Kadrie Oening, Jl. Letnan Jend. Suprpto, Jl. A. Wahab Syahrani
7	Jl. Letnan Jend. Suprpto, Jl. Dr. Sutomo, Jl. Mayor Jendral S. Parman, Jl. M. Yamin
8	Jl. M Yamin, Jl. PM. Noor, Jl. A. Wahab Syahrani, Jl. Wahid Hasyim 2
9	Jl. Ahmad Yani, Jl. Sentosa, Jl. DI. Panjaitan, Jl. Bukit Alaya
10	Jl. DI. Panjaitan, Jl. PM Noor

Berdasarkan Tabel 2, terdapat sepuluh titik yang akan digunakan pada penelitian ini yang saling terhubung ke beberapa titik tetangga terdekat. Daftar titik tetangga terdekat terdapat pada Tabel 2.

Berdasarkan Gambar 2, arah dari graf tersebut dapat menentukan kemungkinan rute-rute yang akan dilalui oleh pengguna jalan. Terdapat tujuh kemungkinan jalur yang dapat dilalui oleh pengguna jalan dari titik 1 ke titik 10 dengan panjang jalur setiap rute yang telah diketahui, pengguna jalan akan melewati salah satu jalur tersebut dengan menggunakan perhitungan

algoritma sarang semut untuk menemukan jalur terpendek

Tabel 2 Titik Tetangga Terdekat

Titik	Titik Tetangga Terdekat
1	2 dan 3
2	1 dan 6
3	1, 4, dan 5
4	3, 5, dan 7
5	3, 4, dan 9
6	2, 7, dan 8
7	4, 6, 8, dan 9
8	6, 7, dan 10
9	5, 7, 8, dan 10

. Rute pengguna jalan dapat dilihat pada tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3 Rute Pengguna jalan

No	Rute Jalur	Panjang Jalur (Kilometer)
1	1 – 2 – 6 – 8 – 10	9,713
2	1 – 2 – 6 – 7 – 8 – 10	10,145
3	1 – 2 – 6 – 7 – 9 – 10	8,307
4	1 – 3 – 4 – 7 – 8 – 10	12,110
5	1 – 3 – 4 – 7 – 9 – 10	10,272
6	1 – 3 – 4 – 5 – 9 – 10	11,944
7	1 – 3 – 5 – 9 – 10	10,954

Algoritma Sarang Semut
Nilai Parameter Algoritma

Nilai parameter algoritma adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Nilai Parameter

Parameter	Nilai
τ_{ij}^1	0,01
NC_{max}	4
Q	1
m	12
n	10

Nilai α , β , dan ρ setiap pengguna jalan terdapat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 6, nilai α , β , dan ρ diberi nilai berbeda bertujuan untuk mendapatkan variasi dalam menentukan rute terpendek. Dengan perhitungan visibilitas jalur antar titik adalah sebagai berikut:

$$\eta_{12} = \eta_{21} = \frac{1}{d_{12}} = \frac{1}{1,739} = 0,575$$

$$\eta_{13} = \eta_{31} = \frac{1}{d_{13}} = \frac{1}{3,640} = 0,275$$

$$\eta_{26} = \eta_{62} = \frac{1}{d_{26}} = \frac{1}{1,676} = 0,597$$

$$\eta_{34} = \eta_{43} = \frac{1}{d_{34}} = \frac{1}{0,933} = 1,072$$

$$\eta_{35} = \eta_{53} = \frac{1}{d_{35}} = \frac{1}{1,225} = 0,816$$

$$\eta_{45} = \eta_{54} = \frac{1}{d_{45}} = \frac{1}{1,282} = 0,780$$

$$\eta_{47} = \eta_{74} = \frac{1}{d_{47}} = \frac{1}{1,728} = 0,579$$

$$\eta_{59} = \eta_{95} = \frac{1}{d_{59}} = \frac{1}{5,066} = 0,197$$

$$\eta_{67} = \eta_{76} = \frac{1}{d_{67}} = \frac{1}{0,921} = 1,086$$

$$\eta_{68} = \eta_{86} = \frac{1}{d_{68}} = \frac{1}{3,487} = 0,287$$

$$\eta_{78} = \eta_{87} = \frac{1}{d_{78}} = \frac{1}{2,998} = 0,334$$

$$\eta_{79} = \eta_{97} = \frac{1}{d_{79}} = \frac{1}{1,065} = 0,939$$

$$\eta_{810} = \eta_{108} = \frac{1}{d_{810}} = \frac{1}{2,811} = 0,356$$

$$\eta_{910} = \eta_{109} = \frac{1}{d_{910}} = \frac{1}{1,023} = 0,978$$

Berdasarkan hasil perhitungan visibilitas jalur antar titik persimpangan, Nilai visibilitas tertinggi terdapat pada jalur (6-7) sebesar 1,086 dan nilai visibilitas terendah terdapat pada jalur (5-9) sebesar 0,197.

Tabel 5 Nilai α , β , dan ρ

Pengguna jalan	Siklus	α	β	ρ
1		0	1	0,95
2	1	0	2	0,95
3		0	3	0,95
4		1	4	0,65
5	2	1	5	0,65
6		1	6	0,65
7		2	7	0,35
8	3	2	8	0,35
9		2	9	0,35
10		3	10	0,05
11	4	3	11	0,05
12		3	12	0,05

Pencarian Jalur Terpendek

Hasil perhitungan pengguna jalan semua siklus terdapat pada Tabel 6. Berdasarkan Tabel 6, dapat diketahui intensitas jejak pengguna jalan yang ada pada siklus ke-4 adalah sebesar 1,0054 yang dapat diartikan, semakin jelas jejak yang terbentuk pada jalur tersebut maka dapat dijadikan sebagai dasar penentuan rute terbaik karena kepadatan jejak jalur tersebut lebih dari jalur yang lainnya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Penelitian ini menggunakan nilai $\alpha = \{0,1,2,3\}$, $\beta = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12\}$ dan $\rho = \{0,05, 0,35, 0,65, 0,95\}$.

Berdasarkan hasil pencarian jalur terpendek jarak jalan Kota Samarinda. Dimulai dari jalan Slamet Riyadi sampai jalan DI Panjaitan, terdapat

dua puluh tujuh jalan utama dan empat belas jalur yang digunakan pada penelitian ini yang mana jalur terpanjang terdapat pada titik (5-9) dengan panjang jalur sebesar 5,066 kilometer, dan jalur terpendek terdapat pada titik (6-7) dengan panjang jalur sebesar 0,921 kilometer. hasil rute terpendek adalah 1-2-6-7-9-10 atau dapat diuraikan sesuai nama jalannya yaitu Jl. P. Antasari – Jl. Ir. H. Juanda – Jl. Letjend R Soeprapto – Jl. Mayjend S Parman, Jl. Ahmad Yani – Jl. DI Panjaitan dengan panjang jalur adalah 8,307 kilometer.

Tabel 6 Hasil Intensitas Jejak Pengguna jalan

Siklus (k)	m	ρ	L_Q	Perubahan Intensitas Jejak Pengguna jalan		
				$\Delta\tau_{ij}$	$\Delta\tau_{ij}^k$	τ_{ij}^{k+1}
	1		8,307	0,1204		
1	2	0,95	8,307	0,1204	0,3612	0,3616
	3		8,307	0,1204		
	4		8,307	0,1204		
2	5	0,65	8,307	0,1204	0,3612	0,4877
	6		8,307	0,1204		
	7		8,307	0,1204		
3	8	0,35	8,307	0,1204	0,3612	0,6782
	9		8,307	0,1204		
	10		8,307	0,1204		
4	11	0,05	8,307	0,1204	0,3612	1,0054
	12		8,307	0,1204		

Daftar Pustaka

Badan Pusat Statistik Kota Samarinda. (2016). Samarinda Dalam Angka 2016, Samarinda: Badan Pusat Statistik Kota Samarinda.

Bustani, H. (2005), Fundamental Operation Reseach. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

Dorigo, M. (1996). The Ant System : Optimization by a colony of cooperating agents, IEEE transactions on Systems, Man, and Cybernetics–Part B, Vol.26, No.1.

Dorigo, M & Gambardella, LM. (1996). Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. Université Libre de Bruxelles, Belgium.

Hamdi, AT. (1996). Riset Operasi suatu pengantar. Edisi ke lima Jilid satu. Arkansas: Department of industrial engineering University.

Jamilah, EW. (2005). Algoritma Ant System dalam Minimum Spanning Tree. Universitas Komputer Indonesia.

Leksono, A. (2009). Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk Menyelesaikan

- Traveling Salesman Problem (TSP).
Universitas Diponegoro Kota Semarang.
- Saodang, H. (2010). *Konstruksi Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Soedarsono, D.U. (1985). *Konstruksi Jalan Raya*. Edisi 3. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Sukirman, S. (1992). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Triandi, B. (2012). Penemuan Jalur Terpendek dengan Algoritma Ant Colony, *CSRID Journal*. vol.4 No.2, Hal.73-80.
- Yuwono, B. Ariwibowo, A. S. Wardoyo, S. B. (2009). Implementasi Algoritma Koloni Semut Pada Proses Pencarian Jalur Terpendek Jalan Protokol di Kota Yogyakarta. UPN Veteran Kota Yogyakarta.