
OPTIMISASI HEURISTIK TERHADAP JARINGAN KOMPLEKS

Devi Maiya Sari Nasution
Universitas Amir Hamzah
devimayasari_nst@yahoo.co.id

Hariyati Lubis
Universitas Amir Hamzah
devimayasari_nst@yahoo.co.id

Rika Permata Sari Siregar
Universitas Sumatera Utara
devimayasari_nst@yahoo.co.id

Muhammad Zarlis
Universitas Sumatera Utara
devimayasari_nst@yahoo.co.id

Syahril Efendi
Universitas Sumatera Utara
devimayasari_nst@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini mengusulkan sebuah solusi matematika untuk masalah optimasi dengan melihat optimisasi heuristic terhadap jaringan kompleks. Optimisasi Heuristik yang diterapkan adalah Algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)*. Algoritma yang diadopsi dari perilaku koloni 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 makanannya berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilewati. Semakin banyak semut yang melewati suatu lintasan, maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya. Algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)* sangat tepat digunakan untuk diterapkan dalam penyelesaian masalah optimisasi, salah satunya adalah menentukan jalur terpendek yang diarahkan kedalam graf lengkap.

Keyword : Karakterisasi , Optimisasi Heuristik, Algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)*, Graf Lengkap.

I. PENDAHULUAN

Salah satu bidang ilmu yang sering digunakan dalam pemecahan masalah adalah matematika. Dalam matematika terdapat kajian ilmu yang sangat erat dengan

pemecahan masalah yaitu matematika terapan. Matematika terapan dapat dimanfaatkan dalam menyelesaikan berbagai masalah, salah satunya masalah optimasi. Salah satu masalah optimasi adalah penentuan rute terpendek.

Secara umum, penentuan rute terpendek dapat dibagi menjadi dua metode, yaitu metode konvensional dan metode heuristik. Metode konvensional lebih mudah dipahami daripada metode heuristik, tetapi jika dibandingkan, hasil yang diperoleh dari metode heuristik lebih variatif dan waktu perhitungan yang lebih singkat. Algoritma-algoritma yang terdapat dalam optimisasi heuristik dapat digunakan untuk penentuan lintas terpendek dari jaringan kompleks. Dari beberapa algoritma optimisasi heuristik kita bisa peroleh karakteristik untuk penentuan jaringan kompleks.

Analisis jaringan merupakan salah satu analisis kunci dalam sistem informasi geografis yang diaplikasikan dalam berbagai kebutuhan seperti jaringan telekomunikasi, transportasi, penjadwalan, manajemen proyek, navigasi, perencanaan, pengiriman barang, dan lain-lain.

II. KAJIAN PUSTAKA

Jaringan adalah suatu sistem dari fitur linear dimana terdapat atribut-atribut yang digunakan untuk menyatakan aliran suatu objek berbasis topologi yang terdiri atas garis dan pertemuan antar garis yaitu simpul, dimana garis tersebut memiliki arah (Curtin 2007; Chang 2008). Analisis jaringan bertumpu pada subdisiplin matematika yakni teori graf. Jaringan didefinisikan sebagai sebuah graf berarah, $G = (V, E)$ yang terdiri atas sebuah himpunan simpul dan sebuah himpunan sisi di mana jumlah simpul $n = |V|$ dan jumlah sisi $m = |E|$, di mana setiap sisi memiliki bobot yang menyatakan ukuran berat, panjang, atau satuan lain sesuai dengan aplikasinya.

Analisis jaringan merupakan salah satu area riset yang signifikan dan terus dilakukan dalam ilmu pengetahuan geografis (Curtin 2007). Di antara berbagai analisis jaringan terdapat suatu permasalahan kunci yang disebut permasalahan

jalur terpendek yaitu mencari jalur kumulatif minimum pada jaringan (Zhan dan Noon 1998; Zeng dan Church 2008; Leng dan Zeng 2009). Jalur dapat didefinisikan sebagai hubungan antara dua simpul yaitu titik awal dan titik tujuan ataupun memiliki titik perhentian di antara kedua simpul tersebut (Chang 2008). Permasalahan jalur terpendek pada pemanfaatannya digunakan untuk berbagai aplikasi seperti perencanaan lokasi fasilitas (Horner dan Grubescic 2001), analisis konsumen potensial (Farhan dan Murray 2005), serta perencanaan rute pengiriman barang dan layanan darurat yang menghubungkan fasilitas-fasilitas penting (Chang 2008).

Permasalahan jalur terpendek dapat dikategorikan dalam tiga jenis yaitu (Resende dan Pardalos 2006): menemukan jalur terpendek antara dua simpul, menemukan jalur terpendek dari satu simpul tunggal ke semua simpul lain, menemukan jalur terpendek dari beberapa simpul sumber ke sejumlah simpul tujuan.

Meskipun permasalahan jalur terpendek menjadi topik penelitian selama bertahun-tahun dan banyak algoritme yang dikembangkan serta studi empirik yang sudah dilakukan, tetapi diketahui bahwa tidak ada algoritme tunggal yang terbaik ketika menghadapi semua data uji ataupun semua model representasi jaringan. Belum terdapat jawaban yang jelas untuk algoritme atau set algoritme yang terbaik (Zhan dan Noon 1998; Leng dan Zeng 2009). Beberapa algoritme penyelesaian permasalahan jalur terpendek antara lain algoritme Dijkstra, algoritme A*, algoritme Bellman-Ford, dan algoritme Floyd-Warshall.

Kajian terhadap masalah jalur terpendek masih penting dilakukan untuk mencari dan menerapkan metode-metode alternatif yang dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan jalur terpendek pada berbagai macam model representasi jaringan seperti jaringan kompleks (graf lengkap).

Metode koloni Semut atau *Ant Colony Optimization* (ACO) adalah metode yang terinspirasi dari perilaku alamiah semut dalam mencari makanan di mana semut akan mencari jalur terdekat dari sarang menuju ke sumber makanan dengan mengandalkan kerjasama kelompok dalam bentuk komunikasi. Pada

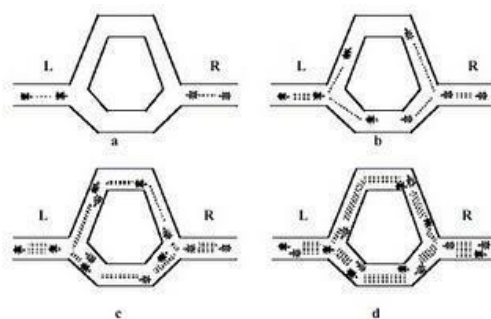
penerapannya ACO telah digunakan pada banyak kasus antara lain, penjadwalan proyek (Merkle *et al.* 2002), *maximum clique* (Fenet dan Solnon 2003), Pewarnaan graf (Jabber *et al.* 2006), dan *travelling salesman problem* (Brezina dan Cickova 2011).

Pada penelitian ini diimplementasikan metode optimasi metaheuristik ACO untuk memecahkan permasalahan jalur terpendek pada model data Jaringan Kompleks untuk mengetahui karakterisasi kinerja dari metode ACO sebagai metode alternatif dalam pemecahan masalah jalur terpendek.

III. DISCUSSION

Algoritma Ant Colony Optimization (ACO)

Algoritma Semut diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut (Dorigo, 1996). 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 lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu lintasan, maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya. Hal ini akan menyebabkan lintasan yang dilalui semut dalam jumlah sedikit, semakin lama akan semakin berkurang kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan akan tidak dilewati sama sekali. Sebaliknya lintasan yang dilalui semut dalam jumlah banyak, semakin lama akan semakin bertambah kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan semua semut akan melalui lintasan tersebut.



Gambar10. Menunjukkan perjalanan semut dalam menemukan Jalur terpendek dari sarang ke sumber makanan.

Gambar 10. di atas menunjukkan ada dua kelompok semut yang akan melakukan perjalanan. Satu kelompok bernama L yaitu kepompok yang berangkat dari arah kiri yang merupakan sarang semut dan kelompok lain yang bernama kelompok R yang berangkat dari kanan yang merupakan sumber makanan. Kedua kelompok semut dari titik berangkat sedang dalam posisi pengambilan keputusan jalan sebelah mana yang akan diambil. Kelompok semut L membagi dua kelompok lagi. Sebagian melalui jalan atas dan sebagian melalui jalan bawah. Hal ini juga berlaku pada kelompok semut R. Gambar b dan gambar c menunjukkan bahwa kelompok semut berjalan pada kecepatan yang sama dengan meninggalkan feromon atau jejak kaki di jalan yang telah dilalui. Feromon yang ditinggalkan oleh kumpulan semut yang melalui jalan atas telah mengalami banyak penguapan karena semut yang melalui jalan atas berjumlah lebih sedikit dari pada jalan yang di bawah. Hal ini dikarenakan jarak yang ditempuh lebih panjang daripada jalan bawah. Sedangkan feromon yang berada di jalan bawah, penguapannya cenderung lebih lama. Karena semut yang melalui jalan bawah lebih banyak daripada semut yang melalui jalan atas. Gambar d menunjukkan bahwa semut-semut yang lain pada akhirnya memutuskan untuk melewati jalan bawah karena feromon yang ditinggalkan masih banyak. Sedangkan feromon pada jalan atas sudah banyak menguap sehingga semut-semut tidak memilih jalan atas tersebut. Semakin banyak semut yang melalui jalan bawah maka semakin banyak semut yang mengikutinya.

Demikian juga dengan jalan atas, semakin sedikit semut yang melalui jalan atas, maka feromon yang ditinggalkan semakin berkurang bahkan hilang. Dari sinilah kemudian terpilih lah jalur terpendek antara sarang dan sumber makanan.

Implementasi Metode ACO

Pada semut terdapat sebuah mekanisme komunikasi tak langsung yang disebut *stigmergy*. Selama pencarian semut meletakkan sejumlah feromon di sepanjang jalur yang dilewati sebagai penanda. Semut lain akan memilih rute berdasarkan intensitas feromon dari tiap kemungkinan jalur. Walaupun terjadi penguapan feromon, rute yang dilewati semut secara berulang-ulang menyebabkan jalur yang akan dipilih lama kelamaan akan konvergen pada satu jalur terpendek

Metode metaheuristik ACO pada penelitian ini menggunakan algoritme yang diusulkan oleh Dorigo dan Di Caro (1999) yaitu *simple ant colony optimization* (SACO). Pada SACO terdapat beberapa parameter. α yaitu koefisien pengaruh feromon bernilai positif, ρ merupakan konstanta penguapan feromon, t jumlah iterasi, dan nk jumlah semut dimana penentuan kombinasi parameter akan sangat menentukan kinerja dari algoritme SACO.

Dalam menyusun solusi, semut yang berada pada simpul i akan menentukan simpul berikutnya yaitu $j \in N_i^k$ secara stokastik, menggunakan persamaan probabilitas transisi (Persamaan 1) dimana N_i^k adalah himpunan dari simpul-simpul tetangga yang terhubung dengan node i yang dapat dilalui oleh semut k .

$$p_{ij}^k(t) = \left\{ \frac{r_{ij}^{\alpha}(t)}{\sum_{j \in N_i^k} r_{ij}^{\alpha}(t)}, j \in N_i^k, j \notin N_i^k \right\} \quad (1)$$

Intensitas feromon pada tiap jalur akan mengalami penguapan, di mana untuk setiap sisi (i, j) feromon menguap sejumlah Persamaan 2, dengan nilai $\rho \in [1,0]$ sebagai konstanta tingkat penguapan feromon. Konstanta ρ mengendalikan pengaruh ingatan pencarian. Untuk nilai ρ yang besar maka feromon akan menguap dengan cepat. Untuk $\rho = 1$ berarti pencarian sepenuhnya dilakukan secara acak.

feromon adalah:

$$r_{ij} \leftarrow (1 - \rho)r_{ij}(t) \quad (2)$$

Disaat semut buatan telah berhasil membangun solusi jalur dari simpul sumber ke simpul tujuan maka semut buatan akan kembali ke simpul sumber

mengikuti jalur yang dibuat sebelumnya sambil menaruh sejumlah feromon di tiap sisi jalur tersebut. Jumlah feromon yang ditambahkan pada tiap sisi sepanjang solusi pada iterasi ke- t adalah sebesar Persamaan 3 dimana $L^k(t)$ adalah panjang dari jalur solusi yang dibangun oleh semut k pada langkah ke- t :

$$\Delta r_{ij}^k(t) = \frac{1}{L^k(t)} \quad (3)$$

Jumlah feromon yang diletakan di sepanjang jalur solusi adalah :

$$r_{ij}(t+1) = r_{ij}(t) + \sum_k^n \Delta r_{ij}^k(t) \quad (4)$$

Kualitas solusi ACO dihitung berdasarkan total bobot dari jalur yang ditempuh. Jika $xk(t)$ menyatakan sebuah solusi pada iterasi ke- t maka $f(xk(t))$ menyatakan kualitas dari solusi di mana solusi terbaik dengan mencari nilai f paling minimum. Terminasi dari proses dapat dilakukan berdasarkan beberapa kondisi yaitu jika nilai iterasi nt sudah mencapai nilai yang ditentukan, jika solusi yang dapat diterima sudah ditemukan dengan $f(xk(t) \leq \epsilon$ (batas nilai tertentu) atau jika semua semut atau sebagian besar semut sudah melewati jalur yang sama.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Permasalahan untuk mencari nilai optimisasi heuristik dapat digunakan dengan algoritma *Ant Colony Optimization(ACO)*, Algoritma ini terinspirasi oleh perilaku semut dalam menemukan jalur dari koloninya menuju makanan.
2. Solusi ACO dihitung berdasarkan total bobot dari jalur yang ditempuh. Jika $xk(t)$ menyatakan sebuah solusi pada iterasi ke- t maka $f(xk(t))$ menyatakan kualitas dari solusi di mana solusi terbaik dengan mencari nilai f paling minimum
3. Terminasi dari proses dapat dilakukan berdasarkan beberapa kondisi yaitu jika nilai iterasi nt sudah mencapai nilai yang ditentukan, jika solusi yang dapat diterima sudah ditemukan dengan $f(xk(t) \leq \epsilon$ (batas nilai

tertentu) atau jika semua semut atau sebagian besar semut sudah melewati jalur yang sama.

4. Algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)* dapat dibuat ke dalam jaringan kompleks yang diarahkan kedalam graf kompleks (lengkap) dalam pencarian *sirkuit Hamilton* dengan penentuan rute perjalanan semut, dimana semakin banyak semut yang melewati jalan, maka semakin banyak semut yang mengikutinya, semakin sedikit semut yang melewati jalan, maka *feromon* yang ditinggalkan semakin berkurang. Dengan kata lain didalam graf kompleks semakin banyak simpul maka akan semakin banyak *sirkuit Hamiltonnya*, dengan vasibilitas terbesar yang akan terpilih untuk rute selanjutnya dengan mendapatkan bobot nilai rute terpendek.

REFERENCES

- Brezina I, Cickova Z. 2010. Solving The Travelling Salesman Problem Using the Ant Colony Optimization. *Management Information System*. 6(4): 10-14.
- Jabber FM, Ali KH, Hassan KR. 2006. Ant Colony Optimization for Coloring Problem. *Basrah Journal of Science*. 24(2): 38-47.
- Mutakhirah I., Indrato dan Hidayat T. 2007. *Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan Algoritma Semut*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. ISSN: 1907-5022. Yogyakarta.
- M. Dorigo and T. Stützle, *Ant Colony Optimization*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England, 2004.
- Mutakhirah I., Saptono F., Hasanah N., dan Wiryadinata R. 2007. *Pemanfaatan Metode Heuristik dalam Pencarian Jalur Terpendek dengan Algoritma Semut dan Algoritma Genetik*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. ISSN: 1907-5022. Yogyakarta.
- Wardy, I. S. 2007. *Penggunaan Graph dalam Algoritma Semut untuk Melakukan Optimisasi*. Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung. Bandung.

- Marti, R. 2011. *The Linear Problems Exact and Heuristic Methods in Combinatorial Optimization*. ISBN : 978-3-642-16728-7.
- Merkle D, Middendorf M, Schmeck H. 2002. Ant Colony Optimization for resource constrained project scheduling. *IEEE Transaction on Evolution Computation*. 6(4): 333-346.
- Algoritma Heuristik untuk Travelling salesman Problem.
["http://kur2003.if.itb.ac.id/file/TSP_heuristic_.pdf"](http://kur2003.if.itb.ac.id/file/TSP_heuristic_.pdf)
 ". Tanggal akses: 29 Desember 2008
- Novitha, Deisy. 2014. *Algoritma Semut untuk Optimisasi Penentuan Jalur Terpendek fasilitas Umum*. Scan Vol IX. ISBN : 1978-0087.
- Schaum's. 2007. *Matematika Diskret*. Penerbit : Erlangga. Jakarta.
- M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni, *The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics–Part B, Vol.26, No.1, 1996, pp.1-13, 1996.
- A. Leksono *Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) Untuk Menyelesaikan Traveling Salesman Problem (TSP)*, Skripsi, F. MIPA UNDIP, 2009.
- E. Chen and X. Liu, *Multi-Colony Ant Algorithm*. In Ant Colony Optimization- Methods and Applications. Edited by Avi Ostfeld., InTech, 2011.
- B. Yuwono, AS. Aribowo, BW. Siswanto, *Implementasi Algoritma Koloni Semut Pada Proses Pencarian Jalan Protokol di Kota Yogyakarta*, Seminar Nasional Informatika (semnasIF), ISSN: 1979-2328, 2009.
- Rinaldi Munir, *Matematika Diskrit edisi ketiga*, Informatika, 2005.
- Kusumadewi, S., *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2003.
- Kusumadewi, S., dan Hari, p., *Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-teknik Heuristi*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2005.
- Efendi, R., *Penerapan algoritma semut untuk pemecahan masalah spanning tree pada kasus pemasangan jaringan kabel telepon*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Informatika, Universitas Islam Indonesia, 2003.
- Zuhri, Z., *"Optimasi rute dengan algoritma semut"*, makalah system cerda, volume 1, Nomor 1, Universitas Islam Indonesia, 2002.
- Dorigo, M., *The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents*, IEEE

transactions on Systems, Man, and Cybernetics–Part B, Vol.26, No.1, 1996.

Dorigo, M dan Gambardella, L.M., *Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem*, Université Libre de Bruxelles Belgium, 1996.

Patrick, Oleksa. 2008. *Characterization and Heuristic Optimization Of Complex Networks*. Computer Engineering. University of Cincinnati.

Travieso, G. 2006. *Characterization of Complex Network: A Survey of Measurements*. Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 369, 13560-970, São Carlos, SP, Brazil.

Alspach, B. dan Haggkvist, R., (1985), Some observations on the Oberwolfachproblem, *Journal of Graph Theory*, 9(1), hal.177-187.

Hoffman, D.G. dan Lindner, C.C., (1989), On the construction of odd cycles systems, *Journal of Graph Theory*, 13(4), hal.417-426.

Soiteau, D., (1981), Decomposition of into circuits of length , *Journal of Combinatorial Theory* , 30, hal.185-191.

Boryczka, Urszula. 2008. *Ant Clustering Algorithm*. Poland : Institute of Computer Science University of Silesia.

Chang KT. 2008. *Introduction to GIS Ed ke, 4*. New York (US). McGraw Hill.

Curtin KM. 2007. Network analysis in geographic information science: review, assessmen

Dorigo M, DiCaro G. 1999. The ant colony optimization meta, heuristic. Di dalam: Corne D,

Dorigo M, Glover F, editor. *New ideas in optimization*; Maidenhead (UK). McGraw Hill. hlm 11-32.