

PENERAPAN ANT COLONY SYSTEM UNTUK PENYELESAIAN VEHICLE ROUTING PROBLEM

Samuel Lukas, Arnold Aribowo, Hadinata

Universitas Pelita Harapan, Indonesia

UPH Tower, Lippo Karawaci, Tangerang 15811, Indonesia

e-mail: {slukas, arnold}@uph.edu

ABSTRACT

Many researchs have been conducted relating to optimization problems. This reseach proposes another algorithm to solve optimation problem by implementing ant algorithm to Vehicle Routing Problem (VRP). The VRP is an algorithm that works for multiple Traveling Salesmen Problems (TSP). The ant algorithm is an algorithm that simulating on how the behaviour of ant colony can find the shortheast path from one place to another.

There are some parameters to deal with this ant algorithm. To know the behaviour of these parameters, some experiments were conducted to know how good the parameters should be set to solve the given problem. Finally, the results of all experiments are also be reported.

Keywords: Vehicle Routing Problem, ant Algorithm, Traveling salesmen Problem.

1. PENDAHULUAN

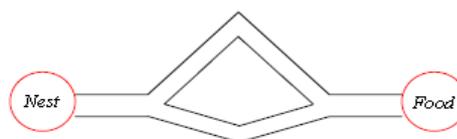
Serangga yang bersosialisasi, seperti semut atau lebah secara umum dapat dibayangkan dengan mudah sebagai hewan-hewan yang tidak cerdas. Bagaimanapun, secara bersama mereka menunjukkan kemampuan menyelesaikan masalah yang mengesankan. Terinspirasi dengan penelitian serangga[3] pada dekade yang lalu telah mengarah ke beberapa kemajuan yang sangat menarik dari algoritma natural. Penelitian yang dilakukan menghasilkan sebuah anggota baru dari kelas algoritma ini yaitu algoritma semut.

Cara serangga tersebut mencari rute terpendek dari tempat makanan ke tempat sarang mereka ditirukan sebagai cara untuk menyelesaikan kombinasi yang sulit dari masalah optimalisasi. Ketika algoritma semut ini diterapkan pada bermacam-macam masalah optimalisasi, masih ada masalah optimalisasi yang penting pada *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang juga dapat diselesaikan. Untuk lebih tahu tentang masalah VRP, pertama-tama kita harus mengetahui masalah yang paling dasar dari *routing problem* yaitu *Traveling Salesman Problem* (TSP).

Pengertian dasar TSP adalah sebagai kasus berikut ini. Diinisialisasikan biaya perjalanan antara tiap-tiap kota dan tujuannya adalah untuk meminimumkan total biaya dari perjalanan satu arah. Setiap kota harus tepat dikunjungi satu kali dan kembali ke posisi awal. Permasalahan pada VRP lebih kompleks dibandingkan TSP. Pada dasarnya VRP mempengaruhi pengambilan keputusan sebuah kumpulan dari rute TSP yang bermacam-macam yang efisien, semua bermula dan berakhir pada tempat pusat. Setiap kota hanya dikunjungi tepat sekali dan tidak ada yang melebihi batasan yang diberikan.

2. RELATED WORK

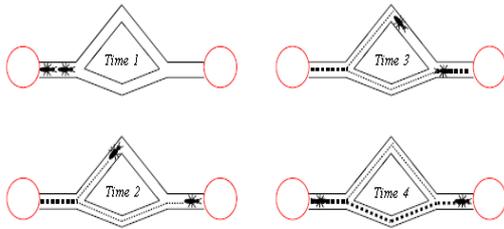
Ant Colony Optimization (ACO) dikembangkan oleh Dorigo (1999) [3] yang terinspirasi dari hasil percobaan mengenai tingkah laku dari koloni semut. Percobaan yang dilakukan adalah mendapatkan tingkah laku dari koloni semut ketika mencari jalan dari sarangnya ke sumber makanan. Dua buah cabang dari sarangnya ke sumber makanan yang diperlihatkan pada Gambar 1, dibedakan dari panjang jalannya. Pada periode tertentu setelah semut melalui kedua percabangan jalan itu, mereka berhasil menemukan jalan terpendek dari kedua jalan tersebut. Tingkah laku semut untuk mencari jalan terpendek merupakan hasil dari sebuah komunikasi secara tidak langsung yang kita ketahui sebagai *Stigmergy*.



Gambar 1. Rute jalan semut dari sarang ke makanan

Stigmergy didefinisikan sebagai sebuah metode komunikasi pada sistem desentralisasi, dimana setiap individu memodifikasi lingkungan mereka dalam berkomunikasi. Pada kasus semut mencari makanan, semut merubah lingkungan mereka dengan memberikan tanda-tanda kimiawi, yang dikenal sebagai *pheromones*, di sepanjang jalan dari jembatan yang mereka lalui. Menurut Dorigo, dengan merasakan jumlah dari *pheromones* yang diberikan sepanjang jalan tersebut, setiap semut dapat membuat keputusan berdasarkan kemungkinan, dipengaruhi oleh jumlah *pheromone* yang terdeteksi, cabang mana yang harus dipilih.

Pada awalnya, semut membuat pilihan acak terhadap cabang yang dilalui karena keterbatasan dari *pheromones*. Ketika meninggalkan sumber makanan dan kembali ke sarangnya, mereka dapat mendeteksi *pheromone* sepanjang cabang yang lebih pendek, dan akan lebih memilih jalan tersebut untuk perjalanan balik, konsekuensinya, dengan bertambahnya jumlah dari *pheromones* sepanjang jalan yang lebih pendek, Gambar 2.



Gambar 2. Pencari jalan terpendek ke makanan

3. PERANCANGAN SISTEM

Model dari pengujian *pheromone* akan dijelaskan sebagai berikut. Pada masing-masing kota, tugas dari semut untuk memilih kota berikutnya pada rute, berdasarkan pada beberapa aturan kemungkinan sebagai fungsi dari penyimpanan *pheromone*. Inisialisasi pilihan secara acak, diperoleh dengan menginisialisasikan jumlah *pheromone* masing-masing rute dengan angka yang positif kecil secara acak.

Beberapa formula yang digunakan pada permasalahan ini diambil berdasarkan referensi dari buku *Computational Intelligence*. Sebuah aturan transisi untuk memilih kota berikutnya untuk dikunjungi yaitu adalah

$$\Phi_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha}{\sum_{c \in C_{i,k}} \tau_{ic}(t)^\alpha} & \text{if } j \in C_{i,k} \\ 0 & \text{if } j \notin C_{i,k} \end{cases}$$

dimana $\tau_{ij}(t)$ adalah intensitas *pheromone* pada jalur (i,j) antara kota i dan j, k-th semut dilambangkan dengan k, α adalah suatu konstanta, dan $C_{i,k}$ adalah kumpulan semut kota bagi semut ke k yang masih harus dikunjungi dari kota i.

Aturan transisi di atas dapat ditingkatkan dengan mengikut sertakan informasi lokal tentang keinginan memilih kota j ketika masih sedang di kota i,

$$\Phi_{ij,k}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \eta_{ic}^\beta}{\sum_{c \in C_{ik}} \tau_{ic}(t)^\alpha \eta_{ic}^\beta}$$

dimana α dan β adalah parameter penyesuaian yang mengontrol intensitas *pheromone* dan lokal informasi,

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

dengan d_{ij} jarak *Euclidean* antara kota i dan j

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Dengan catatan bahwa nilai $\Phi_{ij,k}$ dapat berbeda untuk semut yang berbeda pada kota yang sama, karena semut-semut tersebut mungkin mengunjungi rute yang berbeda ke kota yang sama. Pada akhir masing-masing rute, T_k , dibuat oleh semut k, intensitas *pheromone* τ_{ij} pada jalur rute sudah diperbaharui menggunakan,

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

dimana

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij,k}(t)$$

adalah jumlah dari penyimpanan *pheromone* $\Delta\tau_{ij,k}(t)$ dari masing-masing semut, ditunjukkan dengan

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} Q / L_k(t) & \text{if } (i, j) \in T_k(t) \\ 0 & \text{if } (i, j) \notin T_k(t) \end{cases}$$

Parameter Q memiliki nilai dengan urutan yang sama dari panjang rute optimal, $L_k(t)$ adalah panjang dari rute yang dikunjungi oleh semut k dan m adalah banyaknya jumlah semut. Nilai ρ konstan $\in [0,1]$ pada persamaan (3.5) ditunjukkan sebagai faktor pelupa, merupakan pemodelan dari penguapan per waktu penyimpanan *pheromone*.

Pemodelan sikap semut-semut biasanya mengenalkan beberapa parameter dimana nilai optimal harus dicapai. Parameter-parameter tersebut yang terpenting adalah faktor pelupa terhadap penguapan *pheromone*, dan jumlah semut yang digunakan. Terlalu banyak semut yang digunakan akan meningkatkan kompleksitas perhitungan, dan menghasilkan penggabungan yang cepat pada percobaan sub-optimal. Pada sisi lain, terlalu sedikit semut akan membatasi hasil kerjasama secara sinergi. Parameter α dan β dipilih sedemikian rupa sehingga didapat optimum terbaik. Jika $\beta = 0$, hanya informasi *pheromone* yang digunakan, dimana dapat mengarahkan ke jalur sub-optimal; jika $\alpha = 0$, tidak ada *pheromone* yang digunakan, dan pendekatan dialihkan ke *stochastic greedy search*.

Berdasarkan penjelasan tentang percobaan *pheromone* tersebut, maka dapat disimpulkan algoritma semut untuk VRP adalah sebagai berikut:

1. Tentukan letak posisi depot (pada permasalahan ini adalah kota pertama).
2. Inisialisasi penyimpanan *pheromone* pada setiap cabang (i,j) antara kota i dan j dengan angka positif kecil yang acak $\tau_{ij}(0) \sim U(0, \max)$.
3. Letakkan semua semut $k \in 1, \dots, m$ pada depot.

4. Misalkan T^+ adalah perjalanan terpendek, dan L^+ menyatakan biaya dari perjalanan tersebut.
5. Selama batasan iterasi, lakukan:
 - Untuk setiap semut, buatlah perjalanan $T_k(t)$ dengan memilih kota berikutnya $n-1$ kali (n adalah jumlah kota), dengan kemungkinan $\Phi_{ij,k}(t)$.
 - Hitunglah panjang dari rute tersebut, $L_k(t)$, untuk masing-masing semut.
 - Jika ditemukan rute yang terbaik dan biaya optimum, simpan pada nilai T^+ dan L^+ .
 - Perbaharui penyimpanan *pheromone* pada setiap cabang.
6. Hasil rute terpendek T^+ .
7. Lakukan nomor dua sampai enam pada daerah selanjutnya sebanyak jumlah daerah (pada permasalahan ini dibatasi sebanyak lima daerah), dimana posisi depot sama.
8. Tampilkan T^+ masing-masing daerah.

4. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Pengujian dilakukan dengan menggunakan delapan kota, seratus semut, nilai alpha, beta, serta rho yang bervariasi. Tujuan pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh terhadap rute optimum dengan adanya variasi dari jumlah semut, dan ketiga nilai yaitu alpha, beta, dan rho.

Keadaan awal yang digunakan pada pengujian piranti lunak ini adalah sebagai berikut:

- o Jumlah kota yang digunakan adalah sebanyak 8 kota.
- o Koefisien $\alpha = \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.9\}$.
- o Koefisien $\beta = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2\}$.
- o Koefisien $\rho = \{0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9\}$.
- o Jumlah semut yang digunakan sebanyak 100 semut.

Pengujian yang dilakukan dengan menentukan nilai alpha dan beta secara sembarang. Pada pengujian ini menggunakan nilai 0.5 sebagai nilai awal alpha dan beta, serta nilai 0.1 sebagai nilai awal rho. Setelah itu, pengujian dilakukan dengan melakukan perubahan terhadap nilai rho yang berawal dari 0.1 sampai dengan 0.9 untuk mencari nilai rho yang terbaik.

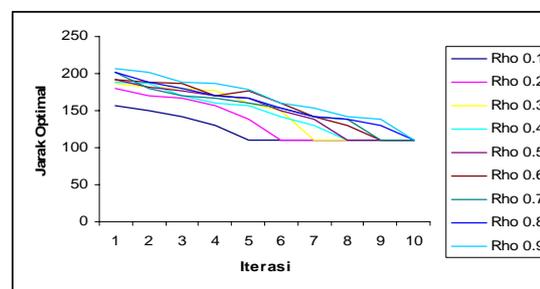
Pengujian dilanjutkan dengan mengubah nilai alpha sedangkan nilai beta tetap dan nilai rho yang terbaik. Nilai alpha yang digunakan bervariasi mulai dari 0.1 sampai dengan 2 untuk mendapatkan nilai alpha yang terbaik. Kemudian pengujian dilanjutkan terhadap nilai beta dengan cara yang sama dilakukan

terhadap nilai alpha untuk mendapatkan nilai beta yang terbaik.

Pengujian pertama yang dilakukan adalah untuk mencari nilai rho yang terbaik dari nilai 0.1 sampai dengan 0.9. Setelah 10 kali pengujian, didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Alpha 0.5, Beta 0.5, Kota 8, Semut 100

No	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	156	180	186	188	192	192	202	202	206
2	150	170	182	186	182	188	180	188	202
3	142	166	180	170	176	186	170	180	188
4	130	156	176	160	170	170	166	170	186
5	110	138	160	156	166	176	160	166	178
6	110	110	150	142	150	160	154	154	160
7	110	110	110	130	138	142	142	142	154
8	110	110	110	110	110	130	138	138	142
9	110	110	110	110	110	110	110	130	138
10	110	110	110	110	110	110	110	110	110



Grafik 3. Nilai rho terbaik

Pengujian kedua yang dilakukan adalah untuk mencari nilai beta terbaik dengan nilai rho terbaik yaitu 0.1. Setelah pengujian dilakukan, didapatkan hasil beta terbaik adalah 2,0.

Pengujian ketiga yang dilakukan adalah untuk mencari nilai alpha terbaik dengan nilai rho dan beta terbaik yang telah ditemukan sebelumnya. Hasil percobaan didapat alpha 1,9.

Ketiga pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil optimal dengan $\alpha = 1,9$, $\beta = 2,0$ dan $\rho = 0,1$. Parameter tersebut merupakan nilai terbaik untuk menyelesaikan permasalahan VRP yang dibahas dengan menggunakan delapan buah kota dan seratus semut.

Setelah dilakukan beberapa pengujian terhadap piranti lunak yang telah dibuat terlihat bahwa parameter-parameter yang digunakan saling berhubungan satu dengan lainnya. Parameter α merupakan parameter beban intensitas jejak semut atau yang lebih dikenal sebagai beban *pheromone*. Parameter β merupakan parameter visibilitas atau yang lebih dikenal sebagai informasi lokal. Parameter ρ merupakan parameter faktor pelupa *pheromone*.

Parameter-parameter yang digunakan pada pengujian tersebut merupakan bagian utama dalam perilaku semut. Dalam kehidupan sehari-hari, semut memiliki perilaku yang cukup unik. Sebuah koloni semut dapat menemukan sebuah jalur optimum pada

saat pergi mencari makanan dan kembali ke sarangnya. Semut-semut tersebut berjalan dengan meninggalkan jejaknya yaitu berupa *pheromone*. *Pheromone* yang ditinggalkan oleh semut di dalam perjalanan mencari makanan digunakan oleh semut lain untuk mengetahui jalan mana yang lebih optimum dibandingkan semua jalan yang ada.

Semut akan lebih memilih jalan yang memiliki kadar *pheromone* yang kuat. Itu berarti bahwa jalan tersebut merupakan jalur optimum yang hampir kebanyakan semut melalui jalan tersebut, sedangkan jalan yang jarang dilalui kadar *pheromone*-nya lama-kelamaan akan berkurang sehingga semut-semut tidak akan memilih jalan tersebut.

Nilai parameter α dan β mempengaruhi nilai Φ , dimana Φ merupakan probabilitas dari kota i ke kota j . Semakin besar nilai keduanya, semakin besar pula probabilitas dari kota yang sekarang ke kota berikutnya. Ini berarti nilai parameter α dan β berbanding lurus dengan nilai Φ . Jika salah satu parameter yang digunakan mendekati nol berarti hanya mengandalkan *pheromone* saja atau informasi lokal saja.

Nilai parameter ρ akan mempengaruhi nilai τ , dimana τ merupakan intensitas *pheromone*. Intensitas *pheromone* setiap kota berbeda-beda. Setiap iterasi yang dilakukan menyebabkan perubahan pada intensitas tersebut. Jadi setiap iterasi diadakan pembaharuan nilai intensitas tersebut. Semakin besar nilai ρ akan memperkecil nilai τ , sedangkan semakin kecil nilai ρ akan memperbesar nilai τ . Ini berarti nilai ρ berbanding terbalik dengan nilai τ . Semakin besar nilai ρ , maka intensitas *pheromone* menjadi lebih kecil sedangkan semakin kecil nilai ρ , maka intensitas *pheromone* menjadi lebih besar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan percobaan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan algoritma semut dalam menyelesaikan permasalahan *Vehicle Routing Problem* mempermudah penemuan solusi optimal dengan cepat serta dapat meringankan perhitungan yang sangat kompleks.

PUSTAKA

- [1] Bullnheimer, B., R.F. Hartl, dan C. Strauss, *An Improved Ant System Algorithm for The Vehicle Routing Problem: Annals of Operations Research*, 1999.
- [2] Deo, N. dan C. Pang, *Shortest-Path Algorithms: Taxonomy and Annotation*, 1984.
- [3] Dorigo, M. dan G. Di Caro, *The Ant Colony Optimization Meta-Heuristic*, McGraw-Hill, 1999.
- [4] Dumitrescu, I. dan N. Boland, *Algorithms for The Weight Constrained Shortest Path Problem: International Transactions in Operational Research*, 2001.
- [5] Engelbrecht, Andries P., *Computational Intelligence*, John Wiley and Sons, 2005.
- [6] Gerard, R., *The Traveling Salesman: Computational Solutions for TSP Applications*, Springer-Verlag, 1994.
- [7] Kennedy, J. dan R.C. Eberhart, *The Particle Swarm: Social Adaptation in Information-Processing Systems*, McGraw-Hill, 1999.
- [8] Lawler, E.L., J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan, dan D.B. Shmoys, *The Traveling Salesman*, John Wiley and Sons, 1986.
- [9] <http://en.wikipedia.org/wiki/Stigmergy>. 2006.