

PERBANDINGAN ALGORITMA *HILL CLIMBING* DAN ALGORITMA *ANT COLONY* DALAM PENENTUAN RUTE OPTIMUM (Studi Kasus: Penentuan Rute Optimum Jalur Pelayaran Ferry di Pulau Ambon, Pulau Seram, dan Pulau-Pulau Lease)

V. Y. I. Ilwaru¹, T. Sumah², Y.A.Lesnussa³, Z. A. Leleury⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Pattimura
Jln. Ir. M. Putuhena, Kampus Unpatti, Poka-Ambon
e-mail: ¹vennilwaru007@gmail.com; ³yopi_a_lesnussa@yahoo.com

Abstrak

Optimasi adalah pencarian nilai-nilai variabel yang dianggap optimal untuk mencapai hasil yang diinginkan. Untuk memecahkan masalah optimasi tersebut, tentunya diperlukan algoritma yang handal. Algoritma *Hill Climbing* dan Algoritma *Ant Colony* adalah metode dari sekian banyak metode kecerdasan buatan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Karena algoritmanya yang cukup sederhana, metode *Hill Climbing* telah banyak diterapkan dalam berbagai aplikasi. Disamping itu metode *Hill Climbing* juga mengefisienkan penggunaan memori yang besar. Algoritma *Ant Colony* adalah algoritma yang diadopsi dari perilaku koloni semut. Secara alamiah koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan, berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilewati. Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan algoritma *Hill Climbing* dan Algoritma *Ant Colony* diperoleh rute optimum ferry di Pulau Ambon, Pulau Seram, dan Pulau-Pulau Lease yang berbeda. Pada Algoritma *Hill Climbing* diperoleh rute yang optimal yaitu Tulehu – Wainama – Umeputih – Wailey – Amahai - Nalahia dengan jarak tempuh 126 Km, sedangkan menggunakan Algoritma *Ant Colony* diperoleh rute yang optimal yaitu Tulehu – Wainama – Umeputih – Wailey – Amahai – Nalahia - Tulehu dengan jarak tempuh 197 Km.

Kata Kunci : Algoritma *Hill Climbing*, Algoritma *Ant Colony*, Jalur Optimum

COMPARISON OF HILL CLIMBING ALGORITHM AND ANT COLONY ALGORITHM IN DETERMINING OPTIMUM ROUTE (Case Study: Determination of Optimum Route of Ferry Shipping Lines on Ambon Island, Seram Island, and Lease Islands)

Abstract

Optimization is the search of the optimal variables values to achieve the desired results. To solve the optimization problem, of course required a reliable algorithm. Hill Climbing algorithm and Ant Colony algorithm are one of algorithm methods of artificial intelligence methods to solve optimization problems. Because of it's a simple algorithm, Hill Climbing method has been widely applied in various applications. Besides Hill Climbing method also efficiently in use the memory. The Ant Colony algorithm is an algorithm that is adopted from the behavior of ant colonies. Naturally, ant colonies are able to find the shortest route on the way from the nest to food sources, based on footprints on the route that has been skipped. From the results of research conducted by using Hill Climbing algorithm and Ant Colony algorithm obtained optimum ferry route in Ambon Island, Seram Island, and different Lease Islands. In Hill Climbing algorithm the optimal route is obtained from Tulehu - Wainama - Umeputih - Wailey - Amahai - Nalahia with 126 km distance, while using the Ant Colony algorithm obtained the optimal route is Tulehu - Wainama - Umeputih - Wailey - Amahai - Nalahia - Tulehu with 197 km distance.

Keywords: *Hill Climbing algorithm, Ant Colony algorithm, optimal route*

1. Pendahuluan

Optimasi adalah pencarian nilai-nilai variabel yang dianggap optimal, efektif dan juga efisien untuk mencapai hasil yang diinginkan. Banyak permasalahan optimasi yang muncul dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya adalah permasalahan rute kendaraan (*Vehicle Routing Problem/VRP*). Didalam pencarian rute yang harus dilalui, masih banyak orang yang menggunakan peta manual, baik itu untuk jalur yang harus dilalui dari satu lokasi ke lokasi yang lainnya ataupun untuk sekedar mencari suatu lokasi atau tempat tertentu.

Biasanya jalur terpendek tersebut didapatkan dengan cara menghitung waktu yang ditempuh ataupun berdasarkan jarak dari kota asal ke kota tujuan. Semakin banyak alternatif jalur ke kota tujuan maka semakin rumit cara untuk menghitung jalur terpendek. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan biaya dan waktu yang diperlukan. Dalam matematika permasalahan pencarian rute terpendek dijelaskan dalam teori graf. Secara umum teori graf adalah cabang ilmu matematika yang membahas tentang graf, dimana komponen utama dari graf adalah titik dan sisi. Titik dalam masalah ini merupakan tujuan sedangkan sisi merupakan jalan. Salah satu permasalahan optimasi yang dapat diselesaikan dengan menggunakan metode heuristik adalah Algoritma *Hill Climbing* dan Algoritma *Ant Colony*.

Metode *Hill Climbing* adalah salah satu metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pencarian terdekat (Rich *et al.*, 1991 dalam Russel dan Norvig, 2003). Cara kerjanya adalah menentukan langkah berikutnya dengan menempatkan titik yang akan muncul sedekat mungkin dengan sasarannya. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan fungsi heuristik. Pembangkitan keadaan berikutnya sangat tergantung pada *feedback* dari prosedur pengetesan. Tes yang berupa fungsi heuristik ini akan menunjukkan seberapa baiknya nilai terkaan yang diambil terhadap keadaan-keadaan lainnya yang mungkin (Kusumadewi, 2003). Terdapat dua jenis *Hill Climbing* yang sedikit berbeda, yaitu *Simple Hill Climbing* dan *Steepest-Ascent Hill Climbing*.

Ant Colony Optimization (ACO) diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut (Dorigo, M., dan Gambardella, L., 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, 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.

Pada *Ant Colony Optimization (ACO)* setiap semut ditempatkan disemua titik graf (dalam hal ini titik-titik yang dikunjungi) yang kemudian akan bergerak mengunjungi seluruh titik. Setiap semut akan membuat jalur masing – masing sampai kembali ketempat semula dimana mereka ditempatkan pertama kali. Jika sudah mencapai keadaan ini, maka semut telah menyelesaikan sebuah siklus (*tour*). Solusi akhir adalah jalur terpendek dari seluruh jalur yang dihasilkan oleh pencarian semut tersebut. Metode Ant Colony mendapatkan jalur yang optimal dari pada tramper (F, Talakua M, & Lesnussa Y, 2014).

Sehingga dari permasalahan di atas penulis merasa tertarik untuk mengambil judul: “ Perbandingan Algoritma *Hill Climbing* Dan Algoritma *Ant Colony* Dalam Penentuan Rute Optimum (Studi Kasus: Penentuan Rute Optimum Ferry di Pulau Ambon, Pulau Seram, dan Pulau-Pulau Lease) ”.

2. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus sehingga langkah-langkah yang ditempuh dalam penelitian ini yaitu mencari, mengumpulkan, mempelajari dan menganalisis karya ilmiah yang diperoleh dari bahan atau materi penelitian kemudian dipertanggungjawabkan secara ilmiah dalam bentuk skripsi.

Prosedur penelitiannya sebagai berikut:

1. Menentukan judul penelitian
2. Mencari bahan dan materi mengenai Algoritma *Hill Climbing*, Algoritma *Ant Colony*, Rute Kendaraan dan Graf
3. Menyusun pembahasan mengenai Algoritma *Hill Climbing* dan Algoritma *Ant Colony* pada Permasalahan rute kendaraan
4. Menyimpulkan penelitian yang dilakukan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah hasil pengumpulan data dari PT. ASDP Indonesia Ferry Kantor Cabang Ambon. Dermaga pelabuhan ferry di Pulau Ambon, Pulau Seram, dan Pulau-Pulau Lease. Terdapat pada desa-desa berikut ini:

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1. Tulehu (Tulehu) | 5. Kulur (Umeputih) |
| 2. Liang (Hunimua) | 6. Latu (Wailey) |
| 3. Kairatu (Waipirit) | 7. Nalahia (Nalahia) |
| 4. Kailolo (Wainama) | 8. Amahai (Amahai) |

3.2 Penyelesaian dengan Algoritma *Hill Climbing*

Penerapan metode *Hill Climbing* berkaitan dengan hasil yang dicapai berupa pencarian lintasan terpendek dalam penerapannya menggunakan 8 sampel lokasi desa sebagai titik awalnya yang diambil berdasarkan lokasi yang mudah ditemui atau menjadi titik pada sebuah desa. Dari data yang didapat jarak antar masing-masing desa dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Jarak Antar Desa

No.	Jarak Antar Desa	Jarak Tempuh (Km)
1.	Tulehu – Kailolo	11
2.	Tulehu – Kulur	43
3.	Liang – Kairatu	30
4.	Kailolo – Kulur	19
5.	Kulur – Latu	20
6.	Kulur – Nalahia	48
7.	Latu – Nalahia	37
8.	Latu – Amahai	36
9.	Nalahia – Amahai	47

Data menunjukkan rute perjalanan kapal ferry dari yang terdekat hingga yang terjauh. Informasi yang diperoleh berupa jarak dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Dimana pada data di atas jarak dari suatu kota A ke kota B sama saja dengan jarak dari kota B ke Kota A .

Sehingga Jarak dan Rute Ferry dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Dermaga dan Rute Ferry di Pulau Ambon, Pulau Seram, dan Pulau-Pulau Lease



Gambar 2. Dermaga dan Rute Ferry di Pulau Ambon, Pulau Seram, dan Pulau-Pulau Lease yang feasible

Karena pada rute Liang - Kairatu hanya menghubungkan antara Desa Liang dan Desa Kairatu, maka tidak dapat digunakan. Sehingga rute yang dapat digunakan dapat dilihat pada gambar 2. Sehingga dalam pencarian rute terpendek dengan menggunakan metode *hill climbing* hanya digunakan 6 lokasi desa dari 8 desa yaitu tulehu, liang, kailolo, kulur, latu, dan nahalia. Maka dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{n!}{2!(n-2)!}$$

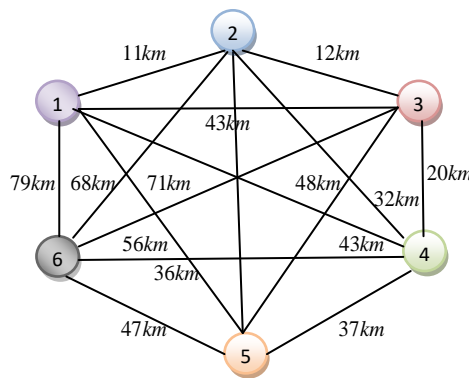
maka banyaknya lintasan yang mungkin dibentuk dari 6 desa adalah sebagai berikut:

$$\frac{6!}{2!(6-2)!} = 15$$

Ke 15 kombinasi ini akan dipakai sebagai operator, yaitu:

1. Tukar 1,2 (menukar urutan posisi desa ke-1 dengan desa ke-2).
2. Tukar 1,3 (menukar urutan posisi desa ke-1 dengan desa ke-3).
3. Tukar 1,4 (menukar urutan posisi desa ke-1 dengan desa ke-4).
4. Tukar 1,5 (menukar urutan posisi desa ke-1 dengan desa ke-5).
5. Tukar 1,6 (menukar urutan posisi desa ke-1 dengan desa ke-6).
6. Tukar 2,3 (menukar urutan posisi desa ke-2 dengan desa ke-3).
7. Tukar 2,4 (menukar urutan posisi desa ke-2 dengan desa ke-4).
8. Tukar 2,5 (menukar urutan posisi desa ke-2 dengan desa ke-5).
9. Tukar 2,6 (menukar urutan posisi desa ke-2 dengan desa ke-6).
10. Tukar 3,4 (menukar urutan posisi desa ke-3 dengan desa ke-4).
11. Tukar 3,5 (menukar urutan posisi desa ke-3 dengan desa ke-5).
12. Tukar 3,6 (menukar urutan posisi desa ke-3 dengan desa ke-6).
13. Tukar 4,5 (menukar urutan posisi desa ke-4 dengan desa ke-5).
14. Tukar 4,6 (menukar urutan posisi desa ke-4 dengan desa ke-6).
15. Tukar 5,6 (menukar urutan posisi desa ke-5 dengan desa ke-6).

Kombinasi ini akan dipakai sebagai operator dan dengan menggunakan jarak terdekat dari dua kota yang tidak berhubungan langsung sebagai jarak antar kedua kota tersebut maka jarak antara kota-kota yang dipilih dapat di gambarkan pada graf berbobot yang di tunjukan oleh gambar 3 dibawah ini.

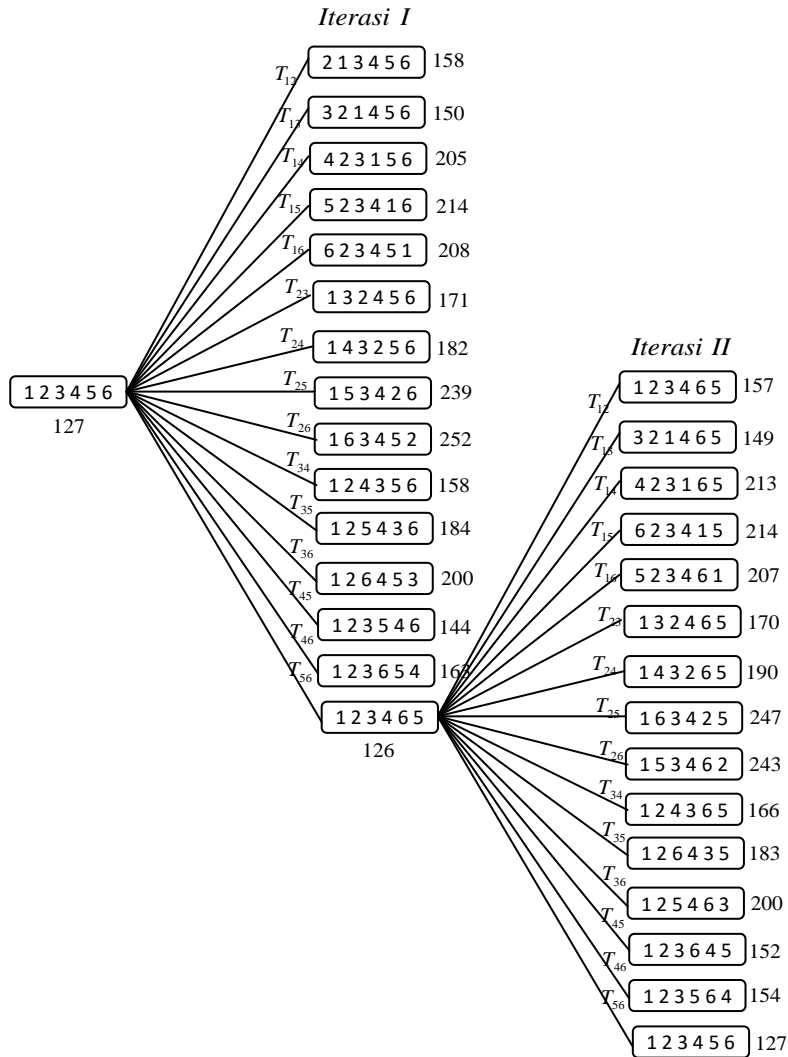


Keterangan:

1. Tulehu
2. Wainama
3. Umeputih
4. Wailey
5. Nahalia
6. Amahai

Gambar 3. Graf Panjang Lintasan

Dengan menggunakan rute awal yaitu 1-2-3-4-5-6 dengan panjang jarak 127 km. Maka dengan menggunakan algoritma *hill climbing* kita akan memperoleh 15 rute baru yang berbeda yaitu: (2-1-3-4-5-6), (3-2-1-4-5-6), (4-2-3-1-5-6) dan seterusnya, selanjutnya rute-rute baru ini akan dicari rute terpendek dimana rute terpendek tersebut harus lebih kecil dari rute awal, jika terdapat rute terpendek maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan algoritma *hill climbing* pada rute tersebut sampai tidak ditemukan rute terpendek yang lebih kecil dari rute tersebut tetapi jika tidak terdapat rute terpendek maka rute awal adalah solusinya. Untuk pengujian lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4. Pohon Pencarian

dari hasil pengujian yang di tunjukan pada gambar 4 di atas dapat dilihat bahwa yang merupakan rute terpendek adalah rute 1 – 2 – 3 – 4 – 6 – 5 dengan jarak 126 km.



Gambar 5. Jalur Optimal Rute Ferry di Pulau Ambon, Pulau Seram, dan Pulau-Pulau Lease

Sehingga jalur ferry yang paling terpendek untuk sebuah ferry dalam melakukan perjalanan adalah 1 Desa Tulehu (Tulehu) – 2 Desa Kailolo (Wainama) – 3 Desa Kulur (Umeputih) – 4 Desa Latu (Wailey) – 6 Desa

Amahai (Amahai) – 5 Desa Nalahia (Nalahia) dengan jarak tempuh 126 km dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

3.3 Hasil Program Hill Climbing

Dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) Matlab R2009 dalam penyelesaian rute terpendek dengan menggunakan metode *hill climbing*, maka di peroleh hasil program sebagai berikut.

```

Command Window
*****
**
* Penyelesaian dengan Simple Hill Climbing *
**
*****
masukkan matriks jarak =
fx [0 11 43 43 71 79; 11 0 12 32 60 68;43 12 0 20 48 56;43 32 20 0 37 36;71 60 48 37 0 47;
79 68 56 36 47 0]
    
```

Input pada program ini berupa matriks jarak yang menggambarkan jarak antara setiap kota. Baris ke-*i* menggambarkan jarak antara kota *i* dengan kota-kota lainnya dengan *i* = 1,2,3,4,5,6. Dari proses perhitungan ini diperoleh output sebagai berikut.

```

Command Window
Rute >> 1 6 3 4 5 2 Panjang Rute = 252
Rute >> 1 2 4 3 5 6 Panjang Rute = 158
Rute >> 1 2 5 4 3 6 Panjang Rute = 184
Rute >> 1 2 6 4 5 3 Panjang Rute = 200
Rute >> 1 2 3 5 4 6 Panjang Rute = 144
Rute >> 1 2 3 6 5 4 Panjang Rute = 163
Rute >> 1 2 3 4 6 5 Panjang Rute = 126
Rute terpilih sementara : 1 2 3 4 6 5
Panjang rute : 126
*****
Iterasi Ke- 2
Rute >> 2 1 3 4 6 5 Panjang Rute = 157
Rute >> 3 2 1 4 6 5 Panjang Rute = 149
Rute >> 4 2 3 1 6 5 Panjang Rute = 213
Rute >> 6 2 3 4 1 5 Panjang Rute = 214
Rute >> 5 2 3 4 6 1 Panjang Rute = 207
Rute >> 1 3 2 4 6 5 Panjang Rute = 170
Rute >> 1 4 3 2 6 5 Panjang Rute = 190
Rute >> 1 6 3 4 2 5 Panjang Rute = 247
Rute >> 1 5 3 4 6 2 Panjang Rute = 243
Rute >> 1 2 4 3 6 5 Panjang Rute = 166
Rute >> 1 2 6 4 3 5 Panjang Rute = 183
Rute >> 1 2 5 4 6 3 Panjang Rute = 200
Rute >> 1 2 3 6 4 5 Panjang Rute = 152
Rute >> 1 2 3 5 6 4 Panjang Rute = 154
Rute >> 1 2 3 4 5 6 Panjang Rute = 127
Rute terpilih sementara : 1 2 3 4 6 5
Panjang rute : 126
*****
Optimum pada iterasi ke = 1
Rute >> 1 2 3 4 6 5 Panjang Rute = 126
*****
fx >>
    
```

Dari hasil output diatas dapat dilihat bahwa dari 6 desa dengan 15 operator penukaran diperoleh 2 kali iterasi yang menghasilkan rute terpendek adalah 1-2-3-4-6-5 dengan panjang jarak 126 km.

3.4 Penyelesaian dengan Algoritma Ant Colony

Dalam pembahasan ini akan dilakukan pencarian rute terpendek pada jalur pelayaran kapal ferry di Pulau Ambon, Pulau Seram, dan Pulau-Pulau Lease dengan menggunakan *Ant Colony System* (ACS). Berikut data jarak yang didapat dari masing-masing desa..

Berdasarkan tabel 1 di atas maka dibentuk tabel jarak pelabuhan antar pelabuhan pada masing-masing desa sebagai berikut:

Tabel 2. Jarak pelabuhan antar pelabuhan

	Tulehu	Wainama	Umeputih	Wailey	Nalahia	Amahai
Tulehu	0	11	43	43	71	79
Wainama	11	0	12	32	60	68
Umeputih	43	12	0	20	48	56
Wailey	43	32	20	0	37	36
Nalahia	71	60	48	37	0	47
Amahai	79	68	56	36	47	0

Terdapat tiga tahapan dalam menghitung rute terpendek dengan menggunakan algoritma *Ant Colony System*, yaitu:

1. Tahap pemilihan titik yang akan dituju

Pada tahap ini rute kapal ferry ditempatkan pada titik t memilih menuju ke titik v dengan menggunakan persamaan (1).

$$v = \max\{\tau(t, u_i) \cdot [\eta(t, u_i)]^\beta\} \dots \dots \dots (1)$$

$$\eta(t, v) = \frac{1}{\text{jarak}(t, u_i)}$$

- a. Terlebih dahulu dilakukan perhitungan awal untuk menghitung invers jarak ($\eta(t, v)$) antar tiap rute berdasarkan Tabel 4.3 sebagai berikut:

$$\eta(t, v) = \frac{1}{\text{jarak}(t, u_i)}$$

maka diperoleh

- $\eta(\text{tulehu, tulehu}) = 0$
- $\eta(\text{tulehu, wainama}) = 0.0909$
- $\eta(\text{tulehu, umeputih}) = 0.0233$
- $\eta(\text{tulehu, wailey}) = 0.0233$
- $\eta(\text{tulehu, nalahia}) = 0.0141$
- $\eta(\text{tulehu, amahai}) = 0.0127$
- $\eta(\text{wainama, umeputih}) = 0.0833$
- $\eta(\text{wainama, wailey}) = 0.0312$
- $\eta(\text{wainama, nalahia}) = 0.0167$
- $\eta(\text{wainama, amahai}) = 0.0147$
- $\eta(\text{umeputih, wailey}) = 0.05$
- $\eta(\text{umeputih, nalahia}) = 0.0208$
- $\eta(\text{umeputih, amahai}) = 0.0179$
- $\eta(\text{wailey, nalahia}) = 0.0270$
- $\eta(\text{wailey, amahai}) = 0.0278$
- $\eta(\text{nalasia, amahai}) = 0.0213$

Hasil keseluruhan dari invers jarak ($\eta(t, v)$) dapat dilihat pada tabel 3, berikut:

Tabel 3. Invers jarak ($\eta(t, v)$)

	Tulehu	Wainama	Umeputih	Wailey	Nalahia	Amahai
Tulehu	0	0.0909	0.0233	0.0233	0.0141	0.0127
Wainama	0.0909	0	0.0833	0.0312	0.0167	0.0147
Umeputih	0.0233	0.0833	0	0.0500	0.0208	0.0179
Wailey	0.0233	0.0312	0.0500	0	0.0270	0.0278
Nalahia	0.0141	0.0167	0.0208	0.0270	0	0.0213
Amahai	0.0127	0.0147	0.0179	0.0278	0.0213	0

Nilai dari semua *pheromone* (τ_0) pada awal perhitungan ditetapkan dengan angka awal yang sangat kecil. Pada perhitungan ini nilai *pheromone* awal adalah 0.0008, yang diperoleh dari persamaan:

$$\tau_0 = \frac{1}{n(C^n)}$$

dimana n adalah banyaknya titik pada *tour*, dan C^n adalah kemungkinan jarak *tour* terpendek yang diperoleh dari metode *nearest neighborhood heuristic*. Penetapan nilai *pheromone* awal dimaksudkan agar tiap-tiap sisi memiliki nilai ketertarikan untuk dikunjungi oleh tiap-tiap semut. Nilai *pheromone* untuk semua titik dapat dilihat pada tabel 4, berikut:

Tabel 4. Nilai Pheromone

	Tulehu	Wainama	Umeputih	Wailey	Nalahia	Amahai
Tulehu	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Wainama	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Umeputih	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Wailey	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Nalahia	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Amahai	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008

b. Tahap pemilihan titik yang akan dituju

Dalam pemilihan titik selanjutnya yang dituju, pertama-tama dilakukan penetapan dari nilai $\beta = 2$, yaitu parameter perhitungan untuk mendapatkan nilai yang optimal dalam ACS. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *temporary* (t, u) berdasarkan persamaan (1) serta nilai probabilitas berdasarkan persamaan (2) dari titik awal (t) ke titik selanjutnya yang belum dilalui (u). Nilai *temporary* digunakan untuk menentukan titik-titik yang akan dituju selanjutnya. Hasil perhitungan nilai *temporary* dan nilai probabilitas dari titik awal (T) ke titik selanjutnya (H) dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{temporary}(t, u) &= [\tau_0(t, u_i)] \cdot [\eta(t, u_i)]^\beta, i = 1, 2, 3, \dots, n \\ \text{temporary}(T, H) &= [\tau_0(T, H)] \cdot [\eta(T, H)]^\beta \end{aligned}$$

- $\text{temporary}(\text{Tulehu}, \text{Tulehu}) = [0.0008] \cdot [0]^2 = 0$
 - $\text{temporary}(\text{Tulehu}, \text{Wainama}) = [0.0008] \cdot [0.0909]^2 = 66.1025 \times 10^{-7}$
 - $\text{temporary}(\text{Tulehu}, \text{Umeputih}) = [0.0008] \cdot [0.0233]^2 = 4.34312 \times 10^{-7}$
 - $\text{temporary}(\text{Tulehu}, \text{Wailey}) = [0.0008] \cdot [0.0233]^2 = 4.34312 \times 10^{-7}$
 - $\text{temporary}(\text{Tulehu}, \text{Nalahia}) = [0.0008] \cdot [0.0141]^2 = 1.59048 \times 10^{-7}$
 - $\text{temporary}(\text{Tulehu}, \text{Amahai}) = [0.0008] \cdot [0.0127]^2 = 1.29032 \times 10^{-7}$
- Total = 77.6695×10^{-7}

$$\text{Probabilitas}(r, u) = \frac{[\tau_0(t, v)] \cdot [\eta(t, v)]^\beta}{\sum_{i=1}^n [\tau_0(t, u_i)] \cdot [\eta(t, u_i)]^\beta}$$

- $\text{Probabilitas}(\text{Tulehu}, \text{Tulehu}) = \frac{0}{77.6695 \times 10^{-7}} = 0$
- $\text{Probabilitas}(\text{Tulehu}, \text{Wainama}) = \frac{66.1025 \times 10^{-7}}{77.6695 \times 10^{-7}} = 0.851074$
- $\text{Probabilitas}(\text{Tulehu}, \text{Umeputih}) = \frac{4.34312 \times 10^{-7}}{77.6695 \times 10^{-7}} = 0.055918$
- $\text{Probabilitas}(\text{Tulehu}, \text{Wailey}) = \frac{4.34312 \times 10^{-7}}{77.6695 \times 10^{-7}} = 0.055918$
- $\text{Probabilitas}(\text{Tulehu}, \text{Nalahia}) = \frac{1.59048 \times 10^{-7}}{77.6695 \times 10^{-7}} = 0.020478$
- $\text{Probabilitas}(\text{Tulehu}, \text{Amahai}) = \frac{1.29032 \times 10^{-7}}{77.6695 \times 10^{-7}} = 0.016613$

Hasil perhitungan *temporary* dan probabilitas dari titik awal (T) ke titik selanjutnya (H) dapat dilihat pada tabel 5, berikut:

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Temporary* dan Probabilitas

	Tulehu	Wainama	Umeputih	Wailey	Nalahia	Amahai
<i>Temporary</i> (x 10^{-7})	0	66.1025	4.34312	4.34312	1.59048	1.29032
Probabilitas	0	0.851074	0.055918	0.055918	0.020478	0.016613
Probabilitas Akumulatif	0	0.851074	0.906692	0.96291	0.983307	1

Untuk memilih persamaan yang tepat sebagai acuan dalam pemilihan lokasi selanjutnya dibangkitkan suatu bilangan acak (q) sebesar 0.1 dan suatu bilangan pembatas (q_0) sebesar 0.9, yang artinya semut melakukan proses eksploitasi dengan probabilitas 90% dan proses eksplorasi 10% (Bauer, n.d). Penentuan lokasi yang akan dituju berdasarkan persamaan (1), yaitu dengan melihat hasil *temporary* yang paling besar. Maka tujuan selanjutnya adalah wainama.

2. Tahap pembaruan *pheromone* (τ) lokal

Tahap selanjutnya adalah melakukan pembaharuan *pheromone* (τ) secara lokal dengan menggunakan persamaan (2).

$$\tau(t, v) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau(t, v) + \rho \cdot \Delta\tau(t, v) \dots \dots \dots (2)$$

$$\Delta\tau(t, v) = \frac{1}{L_{nn} \cdot c}$$

Dimana:

- L_{nn} = panjang *tour* yang diperoleh
- c = jumlah lokasi
- ρ = parameter dengan nilai 0 sampai 1
- $\Delta\tau$ = perubahan *pheromone*

Dalam memperbaharui *pheromone* secara lokal dibutuhkan suatu parameter (ρ) sebesar 0,1. Hasil perhitungannya sebagai berikut:

$$\Delta\tau(T, H) = \frac{1}{11 \cdot 6} = 0.0152$$

Hasil pembaharuan *pheromone*(τ) lokal untuk $\Delta\tau(T, H)$ dapat dilihat pada tabel 6, berikut:

Tabel 6. Nilai Pheromone (τ) Setelah Mengalami Pembaharuan Lokal untuk $\Delta\tau(T, H)$

	Tulehu	Wainama	Umeputih	Wailey	Nalahia	Amahai
Tulehu	0.0008	0.0152	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Wainama	0.0152	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Umeputih	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Wailey	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Nalahia	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008
Amahai	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008

Dengan proses yang sama, hasil keseluruhan pembaharuan *pheromone* lokal oleh semut dalam sekali jalan ditunjukkan pada tabel 7, berikut:

Tabel 7. Nilai keseluruhan pembaharuan *pheromone* lokal oleh semut dalam sekali jalan

	Tulehu	Wainama	Umeputih	Wailey	Nalahia	Amahai
Tulehu	0.0008	0.0152	0.0008	0.0008	0.002347	0.0008
Wainama	0.0152	0.0008	0.013889	0.0008	0.0008	0.0008
Umeputih	0.0008	0.013889	0.0008	0.00833	0.0008	0.0008
Wailey	0.0008	0.0008	0.00833	0.0008	0.0008	0.00463
Nalahia	0.002347	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.003546
Amahai	0.0008	0.0008	0.0008	0.00463	0.003546	0.0008

Maka diperoleh lintasan dengan total panjang lintasan adalah:

Rute : Tulehu-Wainama-Umeputih-Wailey-Amahai-Nalahia-Tulehu

Panjang lintasan : $11 + 12 + 20 + 36 + 47 + 71 = 197 \text{ km}$

3. Tahap pembaruan *pheromone* (τ) global

Setelah Tahap 1 dan 2 telah selesai untuk mendapatkan rute dan setiap tujuan yang dikunjungi telah mengalami pembaharuan *pheromone* secara lokal, maka tahap berikutnya adalah melakukan pembaharuan *pheromone* secara global. Hanya saja tujuan yang dapat diperbaharui secara global hanyalah tujuan yang menghasilkan rute dengan jarak terpendek. Pembaharuan *pheromone* secara global dilakukan berdasarkan persamaan (3):

$$\tau(t, v) \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau(t, v) + \alpha \cdot \Delta\tau(t, v) \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta\tau(t, v) = \begin{cases} L_{gb}^{-1} & \text{jika } (t, v) \in \text{tur terbaik} \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

Dimana:

$\tau(t, v)$ = nilai *pheromone* akhir setelah mengalami pembaharuan lokal

L_{gb} = panjang jalur terpendek pada akhir siklus

α = parameter dengan nilai 0 sampai 1

$\Delta\tau$ = perubahan *pheromone*

Pada tahap 1 dan tahap 2, rute yang dihasilkan adalah Tulehu-Wainama-Umeputih-Wailey-Amahai-Nalahia-Tulehu. Dari rute tersebut didapat panjang lintasan adalah 197 km, dan rute ini merupakan panjang rute terpendek. Maka perhitungan pembaharuan *pheromone* globalnya adalah sebagai berikut:

$\alpha = 0,1 ; \quad L_{gb} = 197$

Nilai *pheromone* akhir:

- o Untuk (t, v) yang merupakan bagian dari rute terpendek

$$\Delta\tau(t, v) = L_{gb}^{-1} = (197)^{-1} = 0,005$$

Hasil pembaharuan *pheromone* global dapat dilihat pada tabel 8, berikut:

Tabel 8. Nilai *Pheromone* (τ) Setelah Mengalami Pembaharuan Global

	Tulehu	Wainama	Umeputih	Wailey	Nalahia	Amahai
Tulehu	0.00072	0.01418	0.00072	0.00072	0.0026123	0.00072
Wainama	0.01418	0.00072	0.0130001	0.00072	0.00072	0.00072
Umeputih	0.00072	0.0130001	0.00072	0.007997	0.00072	0.00072
Wailey	0.00072	0.00072	0.007997	0.00072	0.00072	0.004667
Nalahia	0.0026123	0.00072	0.00072	0.00072	0.00072	0.003546
Amahai	0.00072	0.00072	0.00072	0.004667	0.003546	0.00072

Sehingga jalur ferry yang paling optimum untuk sebuah ferry dalam melakukan perjalanan adalah 1 Desa Tulehu (Tulehu) – 2 Desa Kailolo (Wainama) – 3 Desa Kulur (Umeputih) – 4 Desa Latu (Wailey) – 6 Desa Amahai (Amahai) – 5 Desa Nalahia (Nalahia) – 1 Desa Tulehu (Tulehu) dengan jarak tempuh 197 km dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini:



Gambar 6. Jalur Optimal Rute Ferry di Pulau Ambon, Pulau Seram, dan Pulau-Pulau Lease

Berdasarkan hasil perhitungan jarak tempuh dan pemilihan rute optimum antara algoritma *Hill Climbing* dengan algoritma *Ant Colony* terlihat bahwa jarak tempuh terpendek didapat melalui perhitungan dengan menggunakan algoritma *Hill Climbing* yaitu dapat memangkas jarak tempuh sejauh 126 Km dengan rute optimum 1 Desa Tulehu (Tulehu) – 2 Desa Kailolo (Wainama) – 3 Desa Kulur (Umeputih) – 4 Desa Latu (Wailey) – 6 Desa Amahai (Amahai) – 5 Desa Nalahia (Nalahia) – 1 Desa Tulehu (Tulehu) dibandingkan dengan jarak tempuh dan rute optimum dengan algoritma *Ant Colony*.

Tabel 9 perbandingan rute optimum dan jarak tempuh antara algoritma *Hill Climbing* dengan algoritma *Ant Colony*:

Tabel 9. Tabel perbandingan rute optimum dan jarak tempuh antara algoritma *Hill Climbing* dengan algoritma *Ant Colony*

Aspek Perbandingan	<i>Hill Climbing</i>	<i>Ant Colony</i>
Rute Optimum	1 Desa Tulehu (Tulehu) – 2 Desa Kailolo (Wainama) – 3 Desa Kulur (Umeputih) – 4 Desa Latu (Wailey) – 6 Desa Amahai (Amahai) – 5 Desa Nalahia (Nalahia)	1 Desa Tulehu (Tulehu) – 2 Desa Kailolo (Wainama) – 3 Desa Kulur (Umeputih) – 4 Desa Latu (Wailey) – 6 Desa Amahai (Amahai) – 5 Desa Nalahia (Nalahia) – 1 Desa Tulehu (Tulehu)
Jarak Tempuh	126 Km	197 Km

4. Kesimpulan

Dari hasil dan uraian diatas maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemilihan rute optimum dengan menggunakan algoritma *Hill Climbing* menghasilkan rute Tulehu – Wainama – Umeputih – Wailey – Amahai - Nalahia dengan jarak tempuh 126 Km sedangkan pemilihan rute optimum dengan algoritma *Ant Colony* menghasilkan rute Tulehu – Wainama – Umeputih – Wailey – Amahai – Nalahia - Tulehu dengan jarak tempuh 197 Km.
2. Dengan menggunakan data yang sama, pencarian rute optimum menggunakan algoritma *Hill Climbing* terbukti lebih akurat dibandingkan algoritma *Ant Colony*. Algoritma *Ant Colony* menggunakan fungsi heuristic untuk mendapatkan hasil yang optimal sehingga kekurangan dari algoritma *Ant Colony* ini adalah waktu proses dalam mendapatkan hasil yang paling optimal sangat tergantung dari jumlah iterasi perhitungan yang digunakan.
3. Dengan menggunakan data yang sama, pencarian rute optimum menggunakan algoritma *Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony*, para pengguna jasa ASDP mendapatkan waktu tempuh yang cepat berdasarkan rute optimum yang didapatkan.

Daftar Pustaka

- [1]. Aawar, H. E., A simulated motion planning algorithm in 2d and 3d environment using hill climbingA simulated motion planning algorithm in 2d and 3d environment using hill climbing. *International Journal of Artificial intelligence and applications*, 35-53, 2014.
- [2]. Amin, Aulia, A., & Ikhsan, Mukhamad., Wibisono, Lastiko., *Travelling Salesman Problem*. Bandung: ITB, 2003.
- [3]. Dorigo, M.,. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE transactions onSystems, Man, and Cybernetics*, 26, 1996.
- [4]. F, Tutupary., M. W. Talakua, & Y. A. Lesnussa., Aplikasi Algoritma Ant Colony System Dalam Penentuan Rute Optimum Distribusi BBM Pada PT. Burung Laut. *BAREKENG : Jurnal ilmu matematika dan terapan*, 51-59, 2014.
- [5]. Kusumadewi, S., & Purnomo, H., *Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-teknik Heuristik*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2005.
- [6]. Lim., A simulated annealing and hill-climbing algorithm for the traveling tournament problem. *European Journal of Operational Research*, 1459–1478, 2005.
- [7]. Mutakhirah, I., Indrato, & Hidayat, T., Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan Algoritma Semut. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*, 2007.
- [8]. Rayward, V. J., Osman, I. H., Reeves, C. R., & Smith, G. D., *Modern Heuristic Search Methods*. England: John Willey & Sons, 1996.
- [9]. Taufik, A., *8-Puzzle Problem Bagian 2*, 2010.

