E-ISSN : 2809-3755
P-ISSN: 2809-3526

INTERVAL: Jurnal Ilmiah Matematika
Volume 1, No. 2, Desember 2021, pp. 97-109

OPTIMASI BIAYA DISTRIBUSI AIR MINUM DALAM KEMASAN MENGGUNAKAN ALGORITMA ANT COLONY SYSTEM (Studi Kasus : PT. Tirta Investama Cibinong)

Mulyana Samsudin*, Hagni Wijayanti, Sri Setyaningsih
Program Studi Matematika, Universitas Pakuan
*email: mulyanasamsudin1@gmail.com

Diterima: 23 September 2021,disetujui: 8 Oktober 2021, dipublikasi: 30 Desember 2021

***Abstract*:** *Aqua is a brand of bottled drinking water produced by PT Aqua Golden Mississippi Tbk. The products produced by PT Aqua Golden Mississippi Tbk are distributed by PT Tirta Investama Cibinong. PT Tirta Investama Cibinong distributed the 15 stores spread across several areas, the distribution of the 15 existing stores could be done by various routes. In its distribution activities, the company does not yet have an optimal route, so the most optimal route is needed so that the costs incurred are minimum. Ant Colony System Algorithm is a method that aims to find the best path in a distribution problem, based on the behavior of ants. The purpose of this study is to obtain the minimum cost in delivering bottled drinking water to several areas using the Ant Colony System Algorithm so as to meet the demand for mineral water in the area. The data used is shipping costs between stores in 2018. It is certain that the Ant Colony System Algorithm obtains the optimal path from Cibinong Depot, Indomaret Cibedug, Alfamidi Gadog, PT Sumber Alfaria Trijaya TBK, Pujasari, PT Sumber Alfaria Trijaya, Lion Superindo Town Square, TipTop Depok, Indomaret Happiness Raya, Lion Superindo Depok, Lion Superindo Cibubur, DC Starmart, Pajajaran gas station, Circle K Sudirman Bogor, Wholesale Lotte Bogor and finally back to Depo Cibinong with shipping costs of Rp. 244,420.*

***Keywords**: Ants, Ant Colony System, Traveling Salesman Problem*

***Abstrak*:** Aqua merupakan sebuah merek air minum dalam kemasan yang diproduksi oleh PT Aqua Golden Mississippi Tbk. Hasil produksi PT Aqua Golden Mississippi Tbk didistribusikan oleh PT Tirta Investama Cibinong. PT Tirta Investama Cibinong melakukan pendistribusian ke-15 toko yang tersebar di beberapa daerah, untuk pendistribusian ke-15 toko yang ada dapat dilakukan dengan berbagai rute. Dalam kegiatan pendistribusiannya, pihak perusahaan belum memiliki satu rute yang optimal, sehingga diperlukan rute paling optimal agar biaya yang dikeluarkan adalah minimum. Algoritma Ant Colony System merupakan metode yang bertujuan mencari jalur terbaik dalam suatu permasalahan distribusi, berdasarkan tingkah laku semut. Tujuan penelitian ini untuk memperoleh biaya minimum dalam pengiriman air minum dalam kemasan ke beberapa daerah menggunakan Algoritma Ant Colony System sehingga memenuhi permintaan air mineral didaerah tersebut. Data yang digunakan yaitu pengiriman biaya antar toko tahun 2018. Dapat dipastikan bahwa Algoritma Ant Colony System memperoleh jalur optimal dari Depo Cibinong, Indomaret Cibedug, Alfamidi Gadog, PT Sumber Alfaria Trijaya TBK, Pujasari, PT Sumber Alfaria Trijaya, Lion Superindo Town Square, TipTop Depok, Indomaret Kebahagiaan Raya, Lion Superindo Depok, Lion Superindo Cibubur, DC Starmart, SPBU Pajajaran, Circle K Sudirman Bogor, Grosir Lotte Bogor dan terakhir kembali ke Depo Cibinong dengan biaya pengiriman sebesar Rp. 244.420.

***Kata Kunci**:* Semut, *Ant Colony System, Traveling Salesman Problem.*

OPEN ACCESS
Interval is licensed under CC BY NC

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Aqua merupakan sebuah merek air minum dalam kemasan (AMDK) yang diproduksi oleh PT Aqua Golden Mississippi Tbk di Indonesia dengan penjualan terbesar. Dalam pendistribusian hasil produksi PT Aqua Golden Mississippi Tbk bekerjasama dengan PT Tirta Investama yang berada di Cibinong Bogor, PT Tirta Investama Cibinong melakukan pendistribusian ke-15 toko yang tersebar di beberapa daerah seperti Bogor, Jakarta, Bekasi dan Depok, untuk pendistribusian ke-15 toko yang ada dapat dilakukan dengan berbagai rute. Dalam kegiatan pendistribusiannya pihak perusahaan belum memiliki satu rute yang optimal, sehingga diperlukan rute distribusi paling optimal dengan biaya yang dikeluarkan adalah minimum.

Algoritma Ant Colony System merupakan metode yang bertujuan mencari jalur terbaik dalam suatu permasalahan distribusi [1], berdasarkan tingkah dan perilaku semut. Setiap semut membuat sebuah jalur seacara acak, ketika membangun sebuah jalur semut meninggalkan sebuah informasi dan menandai jalur, berdasarkan informasi tersebut selanjutnya semut-semut memilih jalur terbaik. Metode ini dapat digunakan dalam berbagai kasus pengoptimalan jalur, salah satunya pengoptimalan biaya pada jalur pendistribusian [2].

Penentuan jalur optimal menggunakan metode matematika bukanlah hal baru. Rosa [3] menentukan lintasan terpendek dengan Algoritma Branch and Bound. Robial [4] mengembangkan *Traveling Salesman Problem* pada pengiriman bahan logistik pusat pelatihan militer dengan mengimplementasikan Algoritma *Ant Colony System*. Penelitian lainnya, Amalia [5] dengan judul Penentuan Jalur Terpendek Menggunakan *Ant Colony System* (Kasus: Pariwisata Kota Bogor), berdasarkan penelitian tersebut diperoleh hasil jalur lintasan distribusi paling optimal. Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode ACS merupakan metode yang dapat digunakan untuk pengoptimalan jalur, sehingga biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan dalam proses pendistribusian pengangkutan sampah adalah minimum [6].

Tujuan

Menentukan biaya minimum dalam pengiriman air minum dalam kemasan ke beberapa daerah menggunakan Algoritma Ant Colony System sehingga terpenuhinya permintaan air mineral didaerah tersebut.

METODOLOGI PENELITIAN

Data

Data yang digunakan dalam penelitian yaitu data biaya pengiriman antar toko PT. Tirta Investama Cibinong tahun 2018 yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Biaya Distribusi PT. Tirta Investama Cibinong titik 1 sampai dengan 8

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	36950	13195	23900	27550	31900	14475	44200
2	36950	0	26800	8410	73200	55100	20300	60150
3	13195	26800	0	31150	54350	34800	12470	54350
4	23900	8410	31150	0	79000	65950	29000	67400
5	27550	73200	54350	79000	0	14500	41300	26100
6	31900	55100	34800	65950	14500	0	46400	40600
7	14475	20300	12470	29000	41300	46400	0	48550
8	44200	60150	54350	67400	26100	40600	48550	0
9	34800	63050	54350	67400	13775	14500	42750	27550

OPEN ACCESS
Interval is licensed under

10	35500	63050	44200	68850	11745	26100	41300	20300
11	34800	35500	44200	70300	11165	5365	44200	39150
12	34800	55100	34800	60900	21000	55100	41300	43500
13	6235	30450	10150	37700	47100	34050	8700	51450
14	13630	31900	14500	37700	31150	42750	11600	41300
15	23200	54350	42750	65950	15950	29000	39850	18850

Tabel 2. Data Biaya Distribusi PT. Tirta Investama Cibinong titik 9 sampai dengan 15

	9	10	11	12	13	14	15
1	34800	35500	34800	34800	6235	13630	23200
2	63050	63050	35500	55100	30450	31900	54350
3	54350	44200	44200	34800	10150	14500	42750
4	67400	68850	70300	60900	37700	37700	65950
5	13775	11745	11165	21000	47100	31150	15950
6	14500	26100	5365	55100	34050	42750	29000
7	42750	41300	44200	41300	8700	11165	39850
8	27550	20300	39150	43500	51450	41300	18850
9	0	11745	11165	14210	47100	31150	15950
10	11745	0	18850	23200	45650	31150	3770
11	11165	18850	0	4785	38400	45650	26100
12	14500	23200	4785	0	57250	51450	30450
13	47100	45650	38400	57250	0	14500	45650
14	31150	31150	45650	51450	14500	0	32600
15	15950	3.770	26100	30450	45650	32600	0

Tahapan Analisis

Adapun langkah-langkah yang di lakukan pada tahapan analisis yaitu :

1. Pada tahap pertama yaitu melakukan inisialisasi dengan memberikan nilai *pheromone* awal untuk semua jalur dan insialisasi parameter yang digunakan yaitu tetapan pengendali intensitas jejak semut (α), tetapan pengendalian visibilitas biaya (β), tetapan penguapan jejak semut (ρ) dan tetapan siklus semut (q).
2. Menghitng aturan transisi status. Aturan transisi status yang berlaku pada *Ant Colony System* yaitu seekor semut yang ditempatkan pada titik r memilih menuju ke titik s, kemudian diberikan bilangan acak q dimana $0 < q < 1$ dan q_0 adalah sebuah parameter yaitu probabilitas semut yang melakukan eksplorasi pada setiap tahapan, dimana $0 < q_0 < 1$ dan $P_k(r,s)$ adalah probabilitas dimana semut k memilih bergerak dari titik r ke titik s.
3. Melakukan perbaikan *pheromone* lokal setiap kali semut melakukan perpindahan agar setiap jalur yang dilewati tidak ada jalur yang mengalami penumpukan *pheromone* sehingga dilakukan penguatan atau pengurangan *pheromone.*
4. Perhitungan biaya rute tertutup atau L_{gb} setiap semut dilakukan setelah satu siklus (iterasi) diselesaikan oleh semua semut. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan $tabu_k$ masing-masing.
5. Jalur terpendek yang dihasilkan pada tahapan sebelumnya dilakukan pembaharuan *pheromone global*. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan penambahan *pheromone* yang pada jalur minimum.

OPEN ACCESS
Interval is licensed under CC BY NC

6. Kembali ke langkah 2 jika jumlah iterasi maksimum belum tercapai sesuai dengan NC_{max} ,namun jika NC_{max} terpenuhi maka catat hasil lintasan dengan biaya termurah melalui tahapan-tahapan yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Algoritma *Ant Colony System* (ACS) pada Distribusi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK).

Perhitungan algoritma ACS dalam penentuan jalur dengan biaya termurah diperlukan suatu data biaya pengiriman antar toko yang tersebar di wilayah Bogor, Bekasi, Depok dan Jakarta sebagai acuan utama dalam penentuan jalur dengan biaya termurah. Berikut merupakan beberapa tahapan untuk memperoleh biaya termurah serta menentukan jalur optimal menggunakan *Ant Colony System* (ACS) [7]:

Pemilihan Titik yang Akan Dituju

Distributor PT. Tirta Investama Cibinong ditempatkan pada titik awal yang kemudian ditempatkan ke titik tujuan yang terpilih. Pemilihan titik tujuan menerapkan aturan berdasarkan Persamaaan (5) yang telah ditentukan nilai invers jaraknya. Nilai invers jarak diperoleh dari hasil perhitungan$\eta(r,s)$. Perhitungan nilai invers untuk contoh pada titik (1,2) sebagai berikut:

$$\eta(r,s) = \frac{1}{\delta(r,s)}$$

$$\eta(1,2) = \frac{1}{3{,}695}$$

$$\eta(1,2) = 0{,}271$$

dimana $\eta(r,s)$ adalah fungsi nilai invers dan $\delta(r,s)$ adalah biaya antar titik.

Nilai invers merupakan perhitumgan awal dalam Algoritma ACS, setelah nilai invers diperoleh berikutnya yaitu penentuan nilai *pheromone*. Nilai dari semua *pheromone* (τ_0) awal perhitungan ditentukan dengan nilai yang sangat kecil, pada perhitungan ini ditentukan berdasarkan ketetapan dengan angka awal sebesar 0,01 yang merupakan nilai terbaik menurut penelitian sebelumnya.

Setelah diperoleh nilai invers dan nilai *pheromone* untuk setiap titik, maka dapat ditentukan pemilihan titik yang akan dituju distributor menggunakan aturan transisi status yang ditunjukkan dalam Persamaan (2) dan Persamaan (3) serta dilakukan penetapan dari nilai β, yaitu parameter relatif *pheromone* yang menyatakan kepekaan terhadap jarak (β>0). Perhitungan nilai aturan transisi status (*argmax*) ditetapkan nilai β sebesar 2, penetapan nilai ini merupakan nilai terbaik berdasarkan penelitian sebelumnya. Perhitungan nilai *argmax* untuk contoh pada titik (1,2) sebagai berikut.

temporary $(r,s) = [\tau(r,s)]\cdot[\eta(r,s)]^{\beta}$

temporary $(1,2) = [0.01]\cdot[0.271]^2$

temporary $(1,2) = 0.00073244$

dimana $\tau(r,s)$ adalah nilai *pheromone* dengan hasil perrhitungan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Nilai *Argmax* Biaya Pengiriman titik 1 sampai dengan 8.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	$7.3x10^{-4}$	$5.7x10^{-3}$	$1.8x10^{-3}$	$1.3x10^{-3}$	$9.8x10^{-4}$	$4.8x10^{-3}$	$5.1x10^{-4}$
2	$7.3x10^{-4}$	0	$1.4x10^{-3}$	$1.4x10^{-2}$	$1.9x10^{-4}$	$3.3x10^{-4}$	$2.4x10^{-3}$	$2.8x10^{-4}$
3	$5.7x10^{-3}$	$1.4x10^{-3}$	0	$1x10^{-3}$	$3.4x10^{-4}$	$8.3x10^{-4}$	$6.4x10^{-3}$	$3.4x10^{-4}$
4	$1.8x10^{-3}$	$1.4x10^{-2}$	$1x10^{-3}$	0	$1.6x10^{-4}$	$2.3x10^{-4}$	$1.2x10^{-3}$	$2.2x10^{-4}$
5	$1.3x10^{-3}$	$1.9x10^{-4}$	$3.4x10^{-4}$	$1.6x10^{-4}$	0	$4.8x10^{-3}$	$5.9x10^{-4}$	$1.5x10^{-3}$
6	$9.8x10^{-4}$	$3.3x10^{-4}$	$8.3x10^{-4}$	$2.3x10^{-4}$	$4.8x10^{-3}$	0	$4.6x10^{-4}$	$6.1x10^{-4}$

OPEN ACCESS
Interval is licensed under

7	$4.8x10^{-3}$	$2.4x10^{-3}$	$6.4x10^{-3}$	$1.2x10^{-3}$	$5.9x10^{-4}$	$4.6x10^{-4}$	0	$4.2x10^{-4}$
8	$5.1x10^{-4}$	$2.8x10^{-4}$	$3.4x10^{-4}$	$2.2x10^{-4}$	$1.5x10^{-3}$	$6.1x10^{-4}$	$4.2x10^{-4}$	0
9	$8.3x10^{-4}$	$2.5x10^{-4}$	$3.4x10^{-4}$	$2.2x10^{-4}$	$5.3x10^{-3}$	$4.8x10^{-3}$	$5.5x10^{-4}$	$1.3x10^{-3}$
10	$7.9x10^{-4}$	$2.5x10^{-4}$	$5.1x10^{-4}$	$2.1x10^{-4}$	$7.3x10^{-3}$	$1.5x10^{-3}$	$5.9x10^{-4}$	$2.4x10^{-3}$
11	$8.3x10^{-4}$	$7.9x10^{-4}$	$5.1x10^{-4}$	$2x10^{-4}$	$8x10^{-3}$	$3.5x10^{-2}$	$5.1x10^{-4}$	$6.5x10^{-4}$
12	$8.3x10^{-4}$	$3.3x10^{-4}$	$8.3x10^{-4}$	$2.7x10^{-4}$	$2.3x10^{-3}$	$3.3x10^{-4}$	$5.9x10^{-4}$	$5.3x10^{-4}$
13	$2.6x10^{-2}$	$1.1x10^{-3}$	$9.7x10^{-3}$	$7x10^{-4}$	$4.5x10^{-4}$	$8.7x10^{-4}$	$1.3x10^{-2}$	$3.8x10^{-4}$
14	$5.4x10^{-3}$	$9.8x10^{-4}$	$4.8x10^{-3}$	$7x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$5.5x10^{-4}$	$8x10^{-3}$	$5.9x10^{-4}$
15	$1.9x10^{-3}$	$3.4x10^{-4}$	$5.5x10^{-4}$	$2.3x10^{-4}$	$3.9x10^{-3}$	$1.2x10^{-3}$	$6.3x10^{-4}$	$2.8x10^{-3}$

Tabel 4. Nilai *Argmax* Biaya Pengiriman titik 9 sampai dengan 15.

	9	10	11	12	13	14	15
1	$8.3x10^{-4}$	$7.9x10^{-4}$	$8.3x10^{-4}$	$8.3x10^{-4}$	$2.6x10^{-2}$	$5.4x10^{-3}$	$1.9x10^{-3}$
2	$2.5x10^{-4}$	$2.5x10^{-4}$	$7.9x10^{-4}$	$3.3x10^{-4}$	$1.1x10^{-3}$	$9.8x10^{-4}$	$3.4x10^{-4}$
3	$3.4x10^{-4}$	$5.1x10^{-4}$	$5.1x10^{-4}$	$8.3x10^{-4}$	$9.7x10^{-3}$	$4.8x10^{-3}$	$5.5x10^{-4}$
4	$2.2x10^{-4}$	$2.1x10^{-4}$	$2x10^{-4}$	$2.7x10^{-4}$	$7x10^{-4}$	$7x10^{-4}$	$2.3x10^{-4}$
5	$5.3x10^{-3}$	$7.3x10^{-3}$	$8x10^{-3}$	$2.3x10^{-3}$	$4.5x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$3.9x10^{-3}$
6	$4.8x10^{-3}$	$1.5x10^{-3}$	$3.5x10^{-2}$	$3.3x10^{-4}$	$8.7x10^{-4}$	$5.5x10^{-4}$	$1.2x10^{-3}$
7	$5.5x10^{-4}$	$5.9x10^{-4}$	$5.1x10^{-4}$	$5.9x10^{-4}$	$1.3x10^{-2}$	$8x10^{-3}$	$6.3x10^{-4}$
8	$1.3x10^{-3}$	$2.4x10^{-3}$	$6.5x10^{-4}$	$5.3x10^{-4}$	$3.8x10^{-4}$	$5.9x10^{-4}$	$2.8x10^{-3}$
9	0	$7.3x10^{-3}$	$8x10^{-3}$	$4.8x10^{-3}$	$4.5x10^{-4}$	$1x10^{-3}$	$3.9x10^{-3}$
10	$7.3x10^{-3}$	0	$2.8x10^{-3}$	$1.9x10^{-3}$	$4.8x10^{-4}$	$1x10^{-3}$	$7x10^{-4}$
11	$8x10^{-3}$	$2.8x10^{-3}$	0	$4.4x10^{-2}$	$6.8x10^{-4}$	$4.8x10^{-4}$	$1.5x10^{-3}$
12	$4.8x10^{-3}$	$1.9x10^{-3}$	$4.4x10^{-2}$	0	$3.1x10^{-4}$	$3.8x10^{-4}$	$1.1x10^{-3}$
13	$4.5x10^{-4}$	$4.8x10^{-4}$	$6.8x10^{-4}$	$3.1x10^{-4}$	0	$4.8x10^{-3}$	$4.8x10^{-4}$
14	$1x10^{-3}$	$1x10^{-3}$	$4.8x10^{-4}$	$3.8x10^{-4}$	$4.8x10^{-3}$	0	$9.4x10^{-4}$
15	$3.9x10^{-3}$	$7x10^{-4}$	$1.5x10^{-3}$	$1.1x10^{-3}$	$4.8x10^{-4}$	$9.4x10^{-4}$	0

Setelah nilai *argmax* diperoleh, maka selanjutnya dilakukan perhitungan nilai probabilitas dengan perhitungan contoh pada titik (1,2) sebagai berikut:

$$P_k(r,s) = \frac{[\tau(r,s)].[\eta(r,s\}]^{\beta}}{\sum_{u \in J_{k(r)}} [\tau(r,u)].[\eta(r,u\}]^{\beta}}.$$

$$P_k(titik1, titik2) = \frac{0{,}01.(0{,}27064)^2}{(0{,}01x0{,}27064)^2 + (0{,}01x0{,}75786)^2 + \ldots + (0{,}01x0{,}043103)^2}$$

$$P_k(titik1, titik2) = 0{,}014073$$

dimana $P_k(r,s)$ adalah nilai probabilitas pada sisi (r,s), $\tau(r,s)$ adalah nilai *pheromone*.

Tabel 5. Nilai Probabilitas Biaya Pengiriman Antar Toko titik 1 sampai dengan 8.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0.014	0.110	0.034	0.025	0.019	0.092	0.010
2	0.031	0	0.059	0.601	0.008	0.014	0.103	0.012
3	0.096	0.023	0	0.017	0.006	0.014	0.551	0.006
4	0.082	0.665	0.048	0	0.008	0.011	0.056	0.010
5	0.036	0.005	0.009	0.004	0	0.128	0.016	0.040
6	0.019	0.006	0.016	0.004	0.091	0	0.009	0.012
7	0.071	0.036	0.492	0.018	0.009	0.007	0	0.006
8	0.041	0.022	0.027	0.018	0.117	0.048	0.034	0
9	0.021	0.006	0.009	0.006	0.135	0.121	0.014	0.034
10	0.008	0.003	0.005	0.002	0.075	0.015	0.006	0.025
11	0.008	0.008	0.005	0.002	0.078	0.336	0.005	0.006
12	0.014	0.006	0.014	0.005	0.039	0.006	0.010	0.009
13	0.434	0.018	0.164	0.012	0.008	0.015	0.223	0.006
14	0.179	0.033	0.158	0.023	0.034	0.018	0.247	0.020

OPEN ACCESS
Interval is licensed under

15	0.021	0.004	0.006	0.003	0.044	0.013	0.007	0.031

Tabel 6. Nilai Probabilitas Biaya Pengiriman Antar Toko titik 9 sampai dengan 15.

	9	10	11	12	13	14	15
1	0.016	0.015	0.016	0.016	0.494	0.103	0.036
2	0.011	0.011	0.034	0.014	0.046	0.042	0.014
3	0.006	0.009	0.009	0.014	0.162	0.080	0.009
4	0.010	0.010	0.010	0.013	0.033	0.033	0.011
5	0.142	0.196	0.217	0.061	0.012	0.028	0.106
6	0.091	0.028	0.667	0.006	0.017	0.011	0.023
7	0.008	0.009	0.008	0.009	0.198	0.120	0.009
8	0.105	0.193	0.052	0.042	0.030	0.047	0.224
9	0	0.185	0.205	0.126	0.012	0.026	0.100
10	0.075	0	0.029	0.019	0.005	0.011	0.723
11	0.078	0.027	0	0.422	0.007	0.005	0.014
12	0.082	0.032	0.753	0	0.005	0.007	0.019
13	0.008	0.008	0.011	0.005	0	0.080	0.008
14	0.034	0.034	0.016	0.013	0.158	0	0.031
15	0.044	0.784	0.016	0.012	0.005	0.010	0

Nilai probabiilitas ini digunakan untuk menentukan titik selanjutnya yang akan dikunjungi, pemilihan lokasi tersebut perlu dibangkitkan suatu bilangan acak (q) sebesar 0.98 serta menetapkan suatu bilangan pembatas (q_0) sebesar 0.9, hal ini berarti distributor air mineral melakukan proses eksploitasi dengan probabilitas sebesar 90%. Penetapan tersebut dimaksudkan untuk memilih persamaan yang tepat untuk digunakan sebagai acuan distributor dalam memilih lokasi toko selanjutnya berdasarkan nilai probabilitas yang paling besar. Berdasarkan penetapan tersebut nilai $q>q_0$, maka dilakukan tahapan pembaharuan sebagai acuan untuk pemilihan lokasi selanjutnya.

Tahapan Pembaharuan *Pheromone* (τ) Lokal

Setelah berpindah kelokasi toko selanjutnya, maka tahap berikutnya adalah melakukan pembaharuan *pheromone* (τ) secara lokal dengan perhitungan sebagai berikut:

$\tau(r,s) = (1-\rho).\tau(r,s) + \rho.\Delta\tau(r,s)$ dengan $\Delta\tau(r,s) = \frac{1}{L_{rs}.n}$

$\tau(titik1, titik2) = 0.0108042$

Dengan hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai pembaharuan *pheromone* lokal pada titik 1 ke titik 2 sebesar 0.0108042, dan nilai pembaharuan *pheromone* lokal dalam sekali jalan dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Nilai Pembaharuan *Pheromone* (τ) Lokal.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0.0108	0.0141	**0.0118**	0.0114	0.0111	0.0136	0.0105
2	0.0108	0	0.0115	**0.0169**	0.0099	**0.0102**	0.0123	0.0101
3	0.0141	0.0115	0	0.0111	0.0102	0.0109	**0.0143**	0.0102
4	**0.0118**	**0.0169**	0.0111	0	0.0098	0.0100	0.0113	0.0100
5	0.0114	0.0099	0.0102	0.0098	0	0.0136	0.0106	**0.0116**
6	0.0111	**0.0102**	0.0109	0.0100	0.0136	0	0.0104	0.0106
7	0.0136	0.0123	**0.0143**	0.0113	0.0106	0.0104	0	0.0104
8	0.0105	0.0090	0.0102	0.0100	**0.0116**	0.0106	0.0104	0
9	0.0109	0.0101	0.0102	0.0100	0.0138	0.0136	0.0106	0.0114

OPEN ACCESS
Interval is licensed under CC BY NC

10	0.0109	0.0101	0.0105	0.0100	0.0147	0.0116	0.0106	0.0123
11	0.0109	0.0109	0.0105	0.0099	0.0150	**0.0214**	0.0105	0.0107
12	0.0109	0.0102	0.0109	0.0101	0.0122	0.0102	0.0106	0.0105
13	0.0197	0.0112	**0.0156**	0.0108	0.0104	0.0110	0.0167	0.0103
14	0.0139	0.0111	0.0136	0.0108	0.0111	0.0106	**0.0150**	**0.0106**
15	0.0119	0.0102	0.0106	0.0100	**0.0132**	0.0113	0.0107	0.0125

Tabel 8. Nilai Pembaharuan *Pheromone* (τ) Lokal

	9	10	11	12	13	14	15
1	0.0109	0.0109	0.0109	0.0109	0.0197	0.0139	0.0119
2	0.0101	0.0101	0.0109	0.0102	0.0112	0.0111	0.0102
3	0.0102	0.0105	0.0105	0.0109	**0.0156**	0.0136	0.0106
4	0.0100	0.0100	0.0099	0.0101	0.0108	0.0108	0.0100
5	0.0138	0.0147	0.0150	0.0122	0.0104	0.0111	**0.0132**
6	0.0136	0.0116	**0.0214**	0.0102	0.0110	0.0106	0.0113
7	0.0106	0.0106	0.0105	0.0106	0.0167	**0.0150**	0.0107
8	0.0114	0.0123	0.0107	0.0105	0.0103	**0.0106**	0.0125
9	0	**0.0147**	0.0150	**0.0136**	0.0104	0.0111	0.0132
10	**0.0147**	0	0.0125	0.0119	0.0105	0.0111	**0.0108**
11	0.0150	0.0125	0	**0.0229**	0.0107	0.0105	0.0116
12	**0.0136**	0.0119	**0.0229**	0	0.0102	0.0103	0.0112
13	0.0104	0.0105	0.0107	0.0102	0	0.0136	0.0105
14	0.0111	0.0111	0.0105	0.0103	0.0136	0	0.0110
15	0.0132	**0.0108**	0.0116	0.0112	0.0105	0.0110	0

Setelah selesai mendapatkan jalur dan telah mengalami pembaharuan *pherome* lokal, diperoleh hasil jalur dengan contoh sebagai berikut:

Jalur semut 1 : 1→3→13→7→14→9→11→12→5→6→10→8→15→2→4 = Rp.278.255

Jalur semut 2 : 2→4→7→13→1→3→14→10→9→5→11→6→15→8→12 = Rp.299.690

Jalur semut 3 : 3→7→1→13→14→2→4→12→11→6→5→10→9→15→8 = Rp.271.705

Jalur semut 4 : 4→2→6→11→12→9→10→15→5→5→8→14→7→3→13 = Rp.244.420

Jalur semut 5 : 5→11→12→9→10→8→15→6→1→3→7→14→13→2→4 = Rp.254.255

Jalur semut 15 : 15→9→11→6→5→10→8→14→1→13→7→3→2→4→12 = Rp.287.920

Berdasarkan hasil tahapan pertama dan telah diperbaharui *pheromone* secara lokal pada tahap ke-2 diperoleh hasil jalur termurah oleh semut 4, mulai dari toko 1 → 4 → 2 → 6 → 11 → 12 → 9 → 10 → 15 → 5 → 8 → 14 → 7 → 3 → 13 kembali ke toko 1 dengan biaya sebesar Rp. 244.420.

Tahapan Pembaharuan *Pheromone* (τ) Global

Tahapan pembaharuan *pheromone* global merupakan tahapan pembaharuan *pheromone* kembali, namun yang diperbaharui hanya toko yang berada pada jalur lintasan termurah. Pada pembaharuan *pheromone* secara global ditetapkan nilai parameter α sebesar 0.1.

OPEN ACCESS
Interval is licensed under CC BY NC

$\tau(r,s) = (1-\alpha).\tau(r,s) + \alpha.\Delta\tau(r,s)$

dengan $\Delta\ \tau\ (r,s) = \begin{cases} (L_{gb})^{-1} & jika(r,s) \in tur-terbaik \\ o & sebaliknya \end{cases}$

Setelah semut menyelesaikan tahapan satu dan tahapan dua, maka diperoleh jalur dari toko 1 → 4 → 2 → 6 → 11 → 12 → 9 → 10 → 15 → 5 → 8 → 14 → 7 → 3 → 13 kembali ke toko 1 dengan biaya Rp. 244.420. Sehingga pembaharuan*pheromone*-nya yaitu:

$\Delta(r,s) = (L_{gb})^{-1}\ \ \Delta(r,s) = (24{,}442)^{-1}\ \Delta(r,s) = 0{,}0409$.

Setiap jalur yang dilewati sebagai jalur biaya minimum maka dihasilkan nilai $\Delta(r,s)$ sebesar 0,0409.

Sedangkan nilai untuk pembaharuan *pheromone* global pada setiap jalur yang bukan bagian dari jalur biaya termurah adalah sebagai berikut:

$\Delta(r,s) = (L_{gb})^{-1}$

$\Delta(r,s) = 0$

Setiap jalur yang bukan bagian dari jalur biaya minimum dihasilkan nilai $\Delta(r,s)=0$. Perhitungan pembaharuan *pheromone* global pada *pheromone* titik (*r*,*s*) yang bukan bagian dari jalur biaya minimum sebagai berikut:

$\tau(r,s) = (1-\alpha).\tau(r,s) + \alpha.\Delta\tau(r,s)$

$\tau(r,s) = (1-0{,}1).0{,}01 + 0{,}1.0$

$\tau(r,s) = 0{,}009$

Hasil pembaharuan *pheromone* global pada setiap jalur sebagai biaya termurah menghasilkan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Nilai Pembaharuan *Pheromone* Global titik 1 sampai dengan 8

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0.009	0.009	**0.015**	0.009	0.009	0.009	0.009
2	0.009	0	0.009	**0.019**	0.009	**0.013**	0.009	0.009
3	0.009	0.009	0	0.009	0.009	0.009	**0.017**	0.009
4	**0.015**	**0.019**	0.009	0	0.009	0.009	0.009	0.009
5	0.009	0.009	0.009	0.009	0	0.009	0.009	**0.015**
6	0.009	**0.013**	0.009	0.009	0.009	0	0.009	0.009
7	0.009	0.009	**0.017**	0.009	0.009	0.009	0	0.009
8	0.009	0.009	0.009	0.009	**0.015**	0.009	0.009	0
9	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
10	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
11	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	**0.023**	0.009	0.009
12	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
13	0.009	0.009	**0.018**	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
14	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	**0.018**	**0.014**
15	0.009	0.009	0.009	0.009	**0.016**	0.009	0.009	0.009

Tabel 10. Nilai Pembaharuan *Pheromone* Global titik 9 sampai dengan 15

	9	10	11	12	13	14	15
1	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
2	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
3	0.009	0.009	0.009	0.009	**0.018**	0.009	0.009
4	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
5	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	**0.016**
6	0.009	0.009	**0.023**	0.009	0.009	0.009	0.009
7	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	**0.018**	0.009
8	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	**0.014**	0.009

OPEN ACCESS
Interval is licensed under

9	0	**0.017**	0.009	**0.016**	0.009	0.009	0.009
10	**0.017**	0	0.009	0.009	0.009	0.009	**0.014**
11	0.009	0,009	0	**0.025**	0.009	0.009	0.009
12	**0.016**	0.009	**0.025**	0	0.009	0.009	0.009
13	0.009	0.009	0.009	0.009	0	0.009	0.009
14	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0	0.009
15	0.009	**0.014**	0.009	0.009	0.009	0.009	0

Setelah menyelesaikan semua tahapan, berdasarkan hasil perhitungan *pheromone* global pada Tabel 9 dan Tabel 10 dapat dilihat bahwa titik 4 merupakan lokasi pertama yang mengalami pembaharuan *pheromone* global. Titik selanjutnya yang terpilih adalah titik 2, sehingga terbentuk jalur dari titik 1 ke titik 4 selanjtnya ke titik 2 dan seterusnya sampai semua titik yang berada pada jalur dengan biaya optimal diperbaharui *pheromone*-nya secara global. Jalur dengan biaya optimal dan mengalami pembaharuan *pheromone* global yaitu dari titik 1 → 4 → 2 → 6 → 11 → 12 → 9 → 10 → 15 → 5 → 8 → 14 → 7 → 3 → 13 kembali ke titik 1.

Berdasarkan pembahasan tersebut, diperoleh hasil jalur optimal PT. Tirta Investama Cibinong, yaitu melakukan pengiriman air mineral mulai dari Depo Cibinong → Indomaret Cibedug → Alfamidi Gadog → PT Sumber Alfaria Trijaya TBK → Pujasari → PT Sumber Alfaria Trijaya → Lion Superindo Town Square → Tip Top Depok → Indomaret Kebahagiaan Raya → Lion Superindo Depok → Lion Superindo Cibubur → DC Starmart → SPBU Pajajaran → Circle K Sudirman Bogor → Lotte Wholesale Bogor dan kembali ke Depo Cibinong dengan biaya optimal sebesar Rp 244.420.

Perhitungan AlgoritmaACS pada Distribusi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Menggunakan *Software* Matlab 7.0.4

Algoritma ACS untuk penentuan jalur dalam memperoleh biaya minimum pengiriman air mineral di PT. Tirta Investama Cibinong diaplikasikan dalam *software* Matlab 7.0.4, sehingga kesimpulan yang didapatkan hasil yang lebih baik dengan proses perhitungan lebih cepat [8].

Program Matriks Biaya Pengiriman

Data biaya pengiriman antartoko yang diperoleh dari PT. Tirta Investama Cibinong pada tahun 2018 selanjutnya dibentuk kedalam persamaan matriks untuk di *input* pada *software* Matlab 7.0.4. Persamaan matriks tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.

```
function D=BiayaMatriks()

D=[0, 36950,13195,  23900,  27550,  31900,  14475,  44200,  34800,  35500,  34800,  34800,  6235,   13630,  23200;
36950,  0,  26800,  8410,   73200,  55100,  20300,  60150,  63050,  63050,  35500,  55100,  30450,  31900,  54350;
13195,  26800,  0,  31150,  54350,  34800,  5510,   54350,  54350,  44200,  44200,  34800,  10150,  14500,  42750;
23900,  8410,   31150,  0,  79000,  65950,  29000,  67400,  67400,  68850,  70300,  60900,  37700,  37700,  65950;
27550,  73200,  54350,  79000,  0,  14500,  41300,  26100,  13775,  11745,  11165,  21000,  47100,  31150,  15950;
31900,  55100,  34800,  65950,  14500,  0,  46400,  40600,  14500,  26100,  5365,   55100,  34050,  42750,  29000;
14475,  20300,  5510,   29000,  41300,  46400,  0,  48550,  42750,  41300,  44200,  41300,  8700,   11165,  39850;
44200,  60150,  54350,  67400,  26100,  40600,  48550,  0,  27550,  20300,  39150,  43500,  51450,  41300,  18850;
34800,  63050,  54350,  67400,  13775,  14500,  42750,  27550,  0,  11745,  11165,  14210,  47100,  31150,  15950;
35500,  63050,  44200,  68850,  11745,  26100,  41300,  20300,  11745,  0,  18850,  23200,  45650,  31150,  3770;
34800,  35500,  44200,  70300,  11165,  5365,   44200,  39150,  11165,  18850,  0,  4785,   38400,  45650,  26100;
34800,  55100,  34800,  60900,  21000,  55100   41300,  43500,  14500,  23200,  4785,   0,  57250,  51450,  30450;
6235,   30450,  10150,  37700,  47100,  34050,  8700,   51450,  47100,  45650,  38400,  57250,  0,  14500,  45650;
13630,  31900,  14500,  37700,  31150,  42750,  11600,  41300,  31150,  31150,  45650,  51450,  14500,  0,  32600;
23200,  54350,  42750,  65950,  15950,  29000,  39850,  18850,  15950,  3770,   26100,  30450,  45650,  32600,  0];

end
```

Gambar 1. Matriks Biaya Pengiriman

Gambar 1 menunjukan program matriks berdimensi 15x15 yang merupakan biaya pengiriman antar titik dengan inisial (*D*) untuk dapat memperoleh hasil jalur dengan biaya optimal.

Program Pembangkitan Bilangan Acak

OPEN ACCESS
Interval is licensed under CC BY NC

Program pembangkitan bilangan acak ini menghasilkan bilangan acak antara 0 sampai 1, bilangan acak yang dihasilkan digunakan dalam penentuan nilai probabilitas maksimum. *Input* program pembangkitan bilangan acak ditunjukkan pada Gambar 2.

```
function out = randint(varargin)
sigStr = '';
m = [];
n = [];
range = [];
state = [];

for i=1:nargin
   if(i>1)
      sigStr(size(sigStr,2)+1) = '/';
   end;
```

Gambar 2. *Syntax* Program Pembangkitan Bilangan Acak

Pada program ini dilakukan pembangkitan acak yang terdapat pada ACS, yaitu untuk menghasilkan kemungkinan-kemungkinan jalur yang dapat dilalui. *for* merupakan *syntax* untuk melakukan pengulangan eksekusi dan *if* merupakan kontrol keputusan yang digunakan untuk memilih bagian program yang mengarahkan alur pemrograman, sedangkan *end* merupakan bahasa *syntax* untuk mengakhiri proses program yang sedang dijalankan.

Program Pencarian Nilai Probabilitas

Program pencarian nilai probabilitas berupa program *input* fungsi untuk mencari nilai probabilitas dari setiap elemen matriks dan menentukan lokasi selanjutnya yang terpilih berdasarkan nilai probabilitas maksimum. Program pencarian nilai probabilitas tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.

```
function i=Probability(q)

[ii i] = max(q);

end
```

Gambar 3. Program Pencarian Nilai Probabilitas

Gambar 3 menunjukan program untuk mencari nilai probabilitas dari masing-masing titik, program tersebut dimaksudkan untuk memilih lokasi titik selanjutnya yang terpilih berdasarkan nilai probabilitas maksimum.

Program Perhitungan Lintasan *Tour*

Program perhitungan lintasan *tour* merupakan program untuk menghitung jumlah biaya *tour*. Program tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

```
function L=Biaya_Tour(tour,D)

    n=numel(tour);
    tour=[tour tour(1)];
    L=0;
    for i=1:n
        L=L+D(tour(i),tour(i+1));
    end
end
```

Gambar 4. Program Perhitungan Jalur *Tour*

Program pada Gambar 4 merupakan sebuah fungsi program ACS untuk menghitung biaya optimal berdasarkan jalur yang diperoleh, dengan variable *n* banyaknya titik yang dituju dan *tour* memastikan jalur yang diperoleh kembali ke titik awal.

OPEN ACCESS
Interval is licensed under

Pengulangan *for* digunakan untuk pengulangan atau menghitung biaya dari masing-masing jalur sehingga diperoleh hasil yang optimal.

Program Penentuan Biaya Optimal

Program penentuan biaya optimal merupakan program untuk menentukan biaya minimum berdasarkan fungsi program yang telah dijalankan sebelumnya. *Input* program penentuan biaya optimal dapat dilihat pada Gambar 5.

```
clc;
clear
disp('ANT Colony System');
disp('Traveling Salesman Problem');

D=BiayaMatriks();
nKota=size(D,1);

eta=(1./D);
eta(find(eta == Inf))=0.01;
```

Gambar 5. *Syntax* Program Penentuan Biaya Optimal

Berdasarkan proses simulasi program dari semua tahapan dibuat 5 file yang disebut *M-file* pada *Software* Matlab 7.0.4. *M-file* pertama merupakan program proses memasukan data berupa matriks biaya antar toko, program kedua yaitu pembangkitan bilangan acak, program ini menghasilkan bilangan acak. *M-file* program pencarian nilai probabilitas merupakan program mencari nilai probabilitas dari setiap titik untuk menentukan lokasi terpilih. Program selanjutnya merupakan program untuk menghitung biaya optimal. Pada program ini variabel *etha* = (*1/.D*) merupakan rumus invers yang dibentuk dalam bahasa pemrograman, *tau* merupakan variable *pheromone* dengan nilai 0.01 yang dibuat dalam bentuk matriks berukuran data varibel matriks (*D*) dan *nAnt=nCity* menunjukan bahwa jumlah semut sama dengan jumlah kota, *alpha=0.1*, *betha=2* serta *rho* diberi nilai 0.1, sehingga diperoleh output program berupa biaya optimal dan jalur dengan biaya optimal. Output hasil program biaya optimal dapat dilihat pada Gambar 6, sedangkan untuk Gambar 7 menunjukan hasil jalur dengan biaya optimal.

```
Biaya_Minimum =

      244420


ans =

  Columns 1 through 8

     1     4     2     6    11    12     9    10

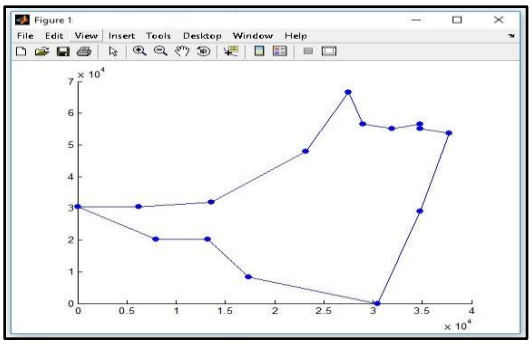
  Columns 9 through 15

    15     5     8    14     7     3    13
```

Gambar 6.*Output* Hasil Perhitungan Biaya Optimal

Gambar 6 merupakan hasil output program biaya optimal pengiriman air mineral PT. Tirta Investama Cibinong dengan biaya sebesar Rp. 244.420 dan jalur biaya optimal yang dihasilkan yaitu mulai dari $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 15 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 14 \rightarrow 7 \rightarrow 3 \rightarrow 13$ kembali ke lokasi 1.

OPEN ACCESS
Interval is licensed under CC BY NC



Gambar 7. Plot Jalur Biaya Optimal

Pada Gambar 7 menunjukan hasil output plot jalur pada PT. Tirta Investama Cibinong, jalur tersebut merupakan jalur dengan biaya pengiriman optimal mulai dari Depo Cibinong → Indomaret Cibedug → Alfamidi Gadog → PT Sumber Alfaria Trijaya TBK → Pujasari → PT Sumber Alfaria Trijaya → Lion Superindo Town Square → Tip Top Depok → Indomaret Kebahagiaan Raya → Lion Superindo Depok → Lion Superindo Cibubur → DC Starmart → SPBU Pajajaran → Circle K Sudirman Bogor → Lotte Wholesale Bogor dan kembali ke Depo Cibinong dengan biaya yang diperoleh sebesar Rp 244.420.

KESIMPULAN

Pencarian jalur dengan biaya optimal menggunakan Algoritma*Ant Colony System* mendapatkan hasil optimal di PT. Tirta Investama Cibinong dengan biaya minimum sebesar Rp 244.420. Jalur optimal yang dihasilkan dimulai dari Depo Cibinong, Indomaret Cibedug, Alfamidi Gadog, PT Sumber Alfaria Trijaya TBK, Pujasari, PT Sumber Alfaria Trijaya, Lion Superindo Town Square, Tip Top Depok, Indomaret Kebahagiaan Raya, Lion Superindo Depok, Lion Superindo Cibubur, DC Starmart, SPBU Pajajaran, Circle K Sudirman Bogor, Lotte Wholesale Bogor dan terakhir kembali ke Depo Cibinong.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Purnomo H.D. 2014. *Cara Mudah Belajar Metode Metaheuristik Menggunakan Matlab.* Yogyakarta:Grava Media.

[2] Marsudi. 2016. *Teori Graf*. Malang: Universitas Brawijaya Press.

[3] Rosa W.R, Suhartono dan Wibawa H.A. 2012. Lintasan Terpendek pada Pelayanan Agen Travel Khusus Pengantaran Wilayah Semarang Berbasis SIG dengan Algoritma *Branch and Bound.Jurnal of Informatics and Technology*, Vol q, No.1.p 63-71.

[4] Robial S.M. 2011.Implementasi Algoritma *Ant Colony System* dalam *Traveling Salesman Problem* (TSP). *Skripsi*. Universitas Pakuan.

[5] Amalia R. 2015. Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan *Ant Colony System* (Kasus: Pariwisata Kota Bogor). *Jurnal Matematika* ISSN: 1979-276X. Universitas Indraprasta PGRI.

OPEN ACCESS
Interval is licensed under CC BY NC

[6] Himmawati dkk.2013. Penggunaan Algoritma Semut untuk Optimasi Rute Distribusi Pengangkutan Sampah Di Kota Yogyakarta. *Jurnal Sains Dasar* 2(1).PP.13-19.

[7] Mirza M.N. 2014. Hubungan Antara Hygiene Sanitasi dengan Jumlah Coliform Air Minum pada Depo Air Minum Isi Ulang (DAMIU) di Kabupaten Demak Tahun 2012. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* ISSN: 1858-1196. Universitas Negeri Semarang

[8] Wirdasari D. 2011.Teori Graph dan Implementasinya dalam Ilmu Komputer. *Jurnal SAINTIKOM* Volume 10. Universitas Sumatera Utara.

OPEN ACCESS
Interval is licensed under