



Analisis Performansi Algoritma Firefly dan Tabu Search untuk Optimasi Rute Angkutan Kota

Salwa Salsabila Mansur¹, Sri Widowati², Mahmud Imrona³

^{1,2,3}Jurusan Informatika, Fakultas Informatika, Universitas Telkom

¹salwasalsabila@students.telkomuniversity.ac.id*, ²sriwidowati@telkomuniversity.ac.id,

³mahmudimrona@telkomuniversity.ac.id,

Abstract

Traffic congestion problems generally caused by the increasing use of private vehicles and public transportations. In order to overcome the situation, the optimization of public transportation's route is required particularly the urban transportation. In this research, the performance analysis of Firefly and Tabu Search algorithm is conducted to optimize eleven public transportation's routes in Bandung. This optimization aims to increase the dispersion of public transportation's route by expanding the scope of route that are crossed by public transportation so that it can reach the entire Bandung city and increase the driver's income by providing the passengers easier access to public transportations in order to get to their destinations. The optimal route is represented by the route with most roads and highest number of incomes. In this research, the comparison results between the reference route and the public transportation's optimized route increasing the dispersion of public transportation's route to 60,58% and increasing the driver's income to 20,03%.

Keywords: firefly algorithm, tabu search, routes, public transportation, optimization

Abstrak

Permasalahan kemacetan lalu lintas umumnya disebabkan oleh penggunaan kendaraan pribadi dan kendaraan umum yang semakin meningkat. Untuk mengatasi permasalahan ini, membutuhkan optimasi rute transportasi umum khususnya untuk angkutan dalam kota. Pada penelitian ini dilakukan analisis performansi algoritma Firefly dan Tabu Search untuk mengoptimalkan rute angkutan kota pada sebelas trayek angkutan kota di Kota Bandung. Optimasi ini bertujuan untuk meningkatkan ketersebaran rute angkutan kota dengan memperluas cakupan rute yang dilalui oleh angkutan kota sehingga dapat menjangkau seluruh wilayah di Kota Bandung dan meningkatkan pendapatan pengemudi dengan memudahkan penumpang untuk mendapatkan angkutan kota untuk mencapai tujuannya. Rute optimal direpresentasikan dengan rute yang memiliki ruas jalan terbanyak dan pendapatan terbanyak. Pada penelitian ini, hasil perbandingan antara rute acuan dengan rute optimasi trayek angkutan kota meningkatkan ketersebaran rute angkutan kota sebesar 60,58 % dan meningkatkan pendapatan pengemudi angkutan kota sebesar 20,03%.

Kata kunci: algoritma firefly, tabu search, rute, angkutan kota, optimasi

1. Pendahuluan

Permasalahan kemacetan lalu lintas pada umumnya disebabkan karena penggunaan kendaraan pribadi dan kendaraan umum yang semakin meningkat. Untuk mengatasi permasalahan ini, membutuhkan optimasi rute transportasi umum khususnya untuk angkutan dalam kota. Permasalahan optimasi dapat diselesaikan dengan menggunakan beberapa metode antara lain algoritma genetika, algoritma *firefly*, algoritma *tabu search*, algoritma *ant colony*. Pada penelitian sebelumnya, permasalahan optimasi rute angkutan kota di Kota Bandung dapat diselesaikan dengan

menggunakan algoritma genetika dengan peningkatan optimasi sebesar 4% [1]. Algoritma *tabu search* dapat digunakan dalam menentukan rute dan jadwal pengangkutan sampah pada wilayah Bandung Barat dengan memberikan penghematan sebesar 20,53% dari total jarak dengan rute saat ini [2].

Pada penelitian ini, algoritma akan melakukan optimasi rute angkutan kota berdasarkan indikator fungsi objektif berupa nilai pendapatan yang dipengaruhi oleh jarak dan okupansi. Metode pada penelitian sebelumnya, algoritma *ant colony* mempertimbangkan indikator jarak [3]. Namun, apabila hanya dengan mempertimbangkan

indikator jarak, maka potensi dalam meningkatkan pendapatan pengemudi angkutan kota kurang maksimal karena tidak ada mempertimbangkan faktor kepadatan penumpang. Penentuan rute optimal yang digunakan pada penelitian yang digunakan oleh Luo (2016), menggunakan indikator nilai biaya transportasi [4]. Optimasi rute angkutan kota menggunakan algoritma *exhaustive search* pada sepuluh trayek angkutan kota di Kota Bandung dengan mempertimbangkan variabel jarak dan okupansi dapat meningkatkan ketersebaran rute sebesar 33,2% dan meningkatkan pendapatan pengemudi angkutan kota sebesar 57,25% [5]. Oleh karena itu, jarak dan okupansi penumpang merupakan hal yang penting dalam melakukan optimasi untuk menentukan rute angkutan kota.

Pada penelitian sebelumnya dalam memecahkan permasalahan optimasi ini, terdapat kelemahan pada metode yang digunakan seperti algoritma *ant colony* yang memiliki *running time* yang lebih lama daripada algoritma *tabu search* [6]. Algoritma genetika yang memiliki kelemahan pada total waktu perjalanan dan total jarak perjalanan yang lebih jauh dari algoritma *tabu search* [7]. Hasil dari algoritma genetika dalam menyelesaikan permasalahan *Capacited Vehicle Routing Problem* tidak lebih unggul daripada algoritma *firefly* yang memiliki keunggulan dalam menghasilkan solusi terbaik dengan tingkat konvergensi lebih cepat dan akurasi komputasi yang lebih tinggi daripada algoritma genetika [8]. Karena kekurangan pada algoritma tersebut, sehingga mengusulkan algoritma optimasi lain, yaitu algoritma *Firefly* dan *Tabu Search*. Algoritma *Firefly* memiliki keunggulan yakni lebih sederhana dalam pengaplikasiannya dan ditemukan solusi optimal dengan cepat dengan tingkat keberhasilan yang cukup tinggi [9]. Namun, algoritma ini juga memiliki kekurangan yaitu mudah terjebak dalam optimum lokal [10]. Dengan adanya kekurangan tersebut, dalam penentuan rute optimum angkutan kota ini dapat dikombinasikan dengan algoritma *tabu search*. *Tabu Search* memiliki keunggulan karena mampu untuk keluar dari solusi optimum lokal [11] yang dapat melengkapi kekurangan pada Algoritma *Firefly* agar hasil menjadi lebih akurat.

Pada kasus ini, performansi algoritma *firefly* dan *tabu search* akan diterapkan pada optimasi penentuan rute angkutan kota di Kota Bandung karena kompleksitas di Kota Bandung mengakomodasi variabel yang dijadikan indikator optimasi. Penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan ketersebaran rute angkutan kota dengan memperluas cakupan rute yang dilalui oleh angkutan kota sehingga dapat menjangkau seluruh wilayah di Kota Bandung dan meningkatkan pendapatan pengemudi dengan memudahkan penumpang untuk mendapatkan angkutan kota untuk mencapai tujuannya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dan metode eksperimen. Metode deskriptif yang dilakukan dengan mengumpulkan data berupa jaringan jalan, jarak, dan okupansi, sedangkan metode eksperimen dilakukan dengan melakukan percobaan untuk menentukan parameter optimum dari algoritma *firefly*. Proses pengumpulan data jaringan jalan wilayah Kota Bandung menggunakan *google maps* berdasarkan rute acuan pemerintah [12]. Data yang diambil berupa latitude dan longitude dari setiap ruas jalan yang dapat dilewati oleh angkutan kota. Proses mapping dilakukan dengan menghubungkan setiap titik yang berketetanggaan menggunakan *my maps*. Jarak antar titik yang berketetanggaan diukur melalui *google maps*. Data rute jaringan jalan berdasarkan rute acuan berupa rata-rata okupansi dan jarak rute acuan untuk 11 trayek angkutan kota di Kota Bandung dapat dilihat pada Tabel 1 [12].

Tabel 1. Rata-rata Okupansi dan Jarak Rute Lama

Rute	Rata-rata Okupansi Rute Acuan	Jarak Rute Acuan
Abdul Muis – Cicaheum via Binong	3,59269	17,435
Cicaheum – Abdul Muis via Binong	3,54095	17,541
Abdul Muis – Cicaheum via Aceh	3,57051	10,789
Cicaheum – Abdul Muis via Aceh	3,57968	10,269
Abdul Muis – Dago	3,49588	9,711
Dago – Abdul Muis	3,30726	9,008
Abdul Muis – Ledeng	3,3072	13,629
Ledeng – Abdul Muis	3,48661	11,72
Abdul Muis – Elang	3,34093	9,71
Elang – Abdul Muis	3,49461	5,159
Cicaheum – Ledeng	3,44691	13,98
Ledeng – Cicaheum	3,40791	15,095
Cicaheum – Ciroyom	3,40202	15,407
Ciroyom – Cicaheum	3,33462	13,86
Cicaheum – Derwati	3,52774	16,107
Derwati – Cicaheum	3,52429	15,676
Cicaheum – Cibaduyut	3,55057	18,032
Cibaduyut – Cicaheum	3,54542	17,156
Stasiun Hall – Dago	3,37012	7,616
Dago – Stasiun Hall	3,33528	9,942
Stasiun Hall – Sadang Serang	3,41783	13,179
Sadang Serang – Stasiun Hall	3,39048	12,894

Pada Tabel 2. dapat dilihat jumlah trayek yang dioptimasi sebanyak 11 trayek. Setiap trayek terbagi menjadi dua rute, yaitu rute keberangkatan dan rute kepulangan. Sehingga total rute yang dioptimasi pada penelitian ini sebanyak 22 rute. Data okupansi diperoleh dari penelitian sebelumnya yang merupakan data hasil kriging perkecamatan menggunakan *arcmaps*[13]. Data okupansi yang digunakan merupakan data kepadatan penumpang dengan membandingkan antara jumlah penumpang dengan kapasitas tempat duduk yaitu sebesar 8 penumpang. Data koordinat beserta jarak dan okupansi yang telah diperoleh, diolah dengan menggunakan *adjacency list*.

Tabel 2. Trayek Angkutan kota yang dioptimasi

No	Rute Keberangkatan	Rute Kepulangan
01A	Abdul Muis – Cicaheum via Binong	Cicaheum – Abdul Muis via Binong
01B	Abdul Muis – Cicaheum via Aceh	Cicaheum – Abdul Muis via Aceh
2	Abdul Muis – Dago	Dago – Abdul Muis
3	Abdul Muis – Ledeng	Ledeng – Abdul Muis
4	Abdul Muis – Elang	Elang – Abdul Muis
5	Cicaheum – Ledeng	Ledeng – Cicaheum
6	Cicaheum – Ciroyom	Ciroyom – Cicaheum
7	Cicaheum – Derwati	Derwati – Cicaheum
8	Cicaheum – Cibaduyut	Cibaduyut – Cicaheum
9	Stasiun Hall – Dago	Dago – Stasiun Hall
10	Stasiun Hall – Sadang Serang	Sadang Serang – Stasiun Hall

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisis performansi algoritma *firefly* dan *tabu search* (FATS) dalam optimasi rute angkutan kota dengan menguji parameter algoritma *firefly* dalam menentukan parameter optimal. Pada penelitian sebelumnya, algoritma *firefly* dapat digunakan untuk untuk menyelesaikan permasalahan perencanaan jalur, masalah rute kendaraan, dan masalah salesman keliling yang berupa optimasi jalur, waktu dan jarak [14]. *Tabu search* digunakan untuk menemukan solusi optimal dari masalah optimasi kombinatorial, seperti *travelling salesman problem* dalam pencarian jarak terpendek [15], *graph coloring problems* [16], *scheduling problem* [17], dan *vehicle routing problem* [18]. Metode ini menyimpan sekumpulan solusi yang baru saja dievaluasi menggunakan *Tabu List*. Ukuran *tabu list* mempengaruhi *performance* *tabu search* memengaruhi kinerja pencarian *tabu* [19].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Implementasi Algoritma *Firefly* dan *Tabu Search*

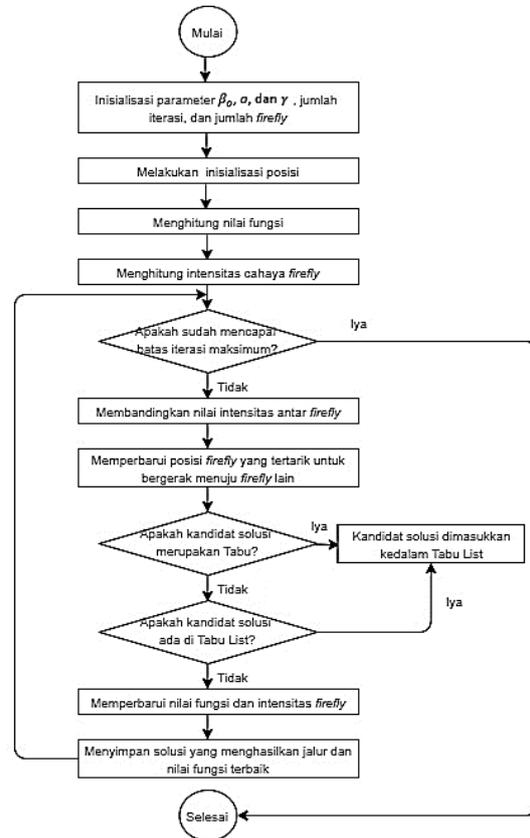
Berikut merupakan tahapan implementasi algoritma *firefly* dan *tabu search* dalam menyelesaikan permasalahan optimasi rute angkutan kota dapat dilihat pada Gambar 1.

3.1.1. Penentuan Parameter

Dalam penelitian ini, tahap awal dalam mengimplementasikan algoritma *firefly* dan *tabu search* yaitu menentukan parameter sebagai perhitungan *attractiveness* dan *movement*. Parameter yang diinisiasi pada tahap awal yaitu β_0 , a , dan γ . β_0 merepresentasikan daya tarik antar titik pada jalur trayek dengan tidak ada jarak antar titik atau saat $r = 0$. a merupakan koefisien parameter random, dan γ merupakan koefisien penyerapan cahaya. Sebagian besar implementasi Algoritma *Firefly* menggunakan $\beta_0 = 1$, $a \in [0,1]$, dan $\gamma \in [0, \infty)$ [9]. Nilai parameter β_0 dan a diinisialisasi 1. Sedangkan nilai γ yang merupakan koefisien absorpsi ditentukan berdasarkan pengujian yang dilakukan.

3.1.2. Representasi *Firefly*

Setiap individu *firefly* memiliki beberapa atribut yaitu *firefly* direpresentasikan sebagai kandidat solusi berupa jalur trayek, nilai fungsi direpresentasikan sebagai pendapatan pengemudi dan intensitas direpresentasikan sebagai nilai ketertarikan individu *firefly* terhadap *firefly* lainnya. Penentuan jumlah kunang-kunang dan jumlah iterasi dilakukan dengan pengujian terhadap nilai fungsi.



Gambar 1. Flowchart FATS

3.1.3. Inisialisasi Posisi

Tahap selanjutnya yaitu menginisiasi posisi. Inisiasi posisi digunakan sebagai nilai awal. Dalam hal ini, Algoritma *firefly* akan membangkitkan, menguji dan memperbaiki sekumpulan jalur trayek sampai ditemukan solusi valid berupa kemungkinan-kemungkinan solusi rute yang dapat dilalui oleh angkutan kota.

3.1.4. Pengecekan Batasan

Tahap selanjutnya dengan pengecekan batasan-batasan terhadap jumlah jalur yang boleh dilewati maksimum untuk setiap ruas jalan yaitu sebanyak 3 trayek. Pada rute angkutan kota nomor 01A dan 01B, mempunyai titik awal dan titik akhir yang sama. Namun memiliki batasan khusus berupa titik titik yang boleh dilewati pada 01A, tetapi tidak boleh dilewati pada 01B, dan sebaliknya. Selain itu terdapat batasan berupa total jarak maksimum

yang boleh dilewati sejauh 24,35 km. Batas ini diambil dari jarak rute angkutan kota terjauh [9].

3.1.5. Intensitas Cahaya dan *Attractiveness*

Tahap selanjutnya dilakukan perhitungan nilai intensitas cahaya *firefly* menggunakan parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam kasus ini, intensitas cahaya *firefly* yang paling terang merepresentasikan titik terdekat yang memiliki nilai pendapatan tertinggi yang mana dipengaruhi oleh jarak dan okupansi. Intensitas cahaya pada *firefly* ditentukan oleh fungsi tujuan yang berupa nilai pendapatan. *Attractiveness* diasumsikan sebagai daya tarik *firefly* dapat dihitung menggunakan Persamaan 1[9]:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (1)$$

Nilai *attractiveness* didefinisikan sebagai $\beta(r)$ bernilai relatif karena intensitas cahaya dilihat oleh *firefly* lain, bergantung dari jarak antar *firefly* r . Koefisien absorpsi cahaya didefinisikan sebagai γ . β_0 merupakan daya tarik disaat tidak ada jarak antar kunang-kunang atau saat $r = 0$ dan $\gamma \in [0, \infty)$.

3.1.6. Jarak antar *firefly*

Jarak untuk mengetahui posisi *firefly* antara data koordinat latitude dan longitude dari dua buah titik yang digunakan sebagai probabilitas pengambilan titik selanjutnya pada saat penelusuran jalur yang dihitung dengan menggunakan rumus Euclidian dengan Persamaan 2:

$$r_{kl} = |X_k - X_l| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (X_{k,o} - X_{l,o})^2} \quad (2)$$

Dua *firefly* didefinisikan sebagai *firefly* k dan *firefly* l . Jarak *firefly* k didefinisikan sebagai X_k dan jarak *firefly* l didefinisikan sebagai X_l . Pada titik yang memiliki jarak lebih dekat dengan titik akhir akan memiliki peluang lebih besar untuk terpilih dibandingkan titik yang letaknya lebih jauh. Pemilihan jenis ini diperlukan agar sistem dapat mengambil jalur yang cenderung menuju titik tujuan dibandingkan dengan pengambilan yang dilakukan secara murni acak.

3.1.7. *Movement*

Membandingkan hasil nilai intensitas cahaya antar *firefly* dan memperbarui posisi *firefly* yang tertarik untuk bergerak menuju *firefly* lain yang memiliki pendapatan tertinggi dengan menggunakan rumus pergerakan. *Movement* diasumsikan sebagai pergerakan dari kunang-kunang k yang tertarik dengan intensitas cahaya l yang lebih terang. *Firefly* yang memiliki intensitas cahaya yang lebih terang memiliki solusi yang lebih optimal daripada *firefly* lainnya. Sehingga, posisi *firefly* akan berubah ditentukan oleh Persamaan 3[9]:

$$X_{kbaru} = X_{klama} + \beta_0 e^{-\gamma r^2} (X_{llama} - X_{klama}) + a \left(rand - \frac{1}{2} \right) \quad (3)$$

X_{klama} merupakan posisi lama dari kunang-kunang. $\beta_0 e^{-\gamma r^2} (X_{llama} - X_{klama})$ terjadi karena ketertarikan. $a \left(rand - \frac{1}{2} \right)$ terjadi pergerakan *random* kunang-kunang dengan a adalah koefisien parameter *random* dan $rand$ adalah bilangan real *random* pada interval $[0,1]$.

3.1.8. *Neighborhood*

Pada penelitian ini, membangkitkan solusi *neighborhood* tidak dapat dilakukan dengan perpindahan titik *move* atau *swap* antar nilai karena tidak semua rute antar titik dapat berjalan dua arah. Sehingga, untuk mendapatkan solusi baru dilakukan dengan membangkitkan solusi acak kembali dari awal.

3.1.9. *Tabu List*

Pada penelitian ini, *tabu list* hanya dapat menambahkan isi tabu. Kriteria yang dimasukkan kedalam *tabu list* adalah solusi yang tidak valid atau jalur yang dilarang, berupa solusi dengan jarak yang lebih dari 24,35 km, solusi ruas jalan yang sudah dilewati lebih dari 3 kali, solusi jalur 01A dan 01B yang tidak sesuai dengan ketentuan. Tahap selanjutnya yaitu dilakukan pengecekan apakah kandidat jalur merupakan tabu. Jika iya maka kandidat solusi dimasukkan kedalam tabu. Jika tidak, maka dilakukan pengecekan apakah solusi *neighborhood* ada di *tabu list*. Jika terdapat solusi *neighborhood*, maka perlu dilakukan pengecekan ulang status valid pada *tabu list*. Sehingga akan memakan waktu yang lebih lama karena pembangkitan solusi acak yang sudah cukup lama. Jika tidak ada, maka memperbarui nilai fungsi dan intensitas *firefly* lalu menyimpan solusi yang menghasilkan jalur dan nilai fungsi terbaik.

3.1.10. Nilai Fungsi

Nilai fungsi dari kunang-kunang didapatkan dengan menjumlahkan nilai pendapatan keseluruhan rute menggunakan Persamaan 6. Untuk mencari nilai pendapatan tertinggi, maka semakin tinggi nilai fungsi semakin baik. Perhitungan nilai fungsi dilakukan didalam iterasi sebanyak jumlah iterasi. Jika pada iterasi selanjutnya terdapat nilai fungsi yang lebih baik, maka nilai tersebut yang menggantikan posisi menjadi nilai fungsi terbaik. Untuk menghitung pendapatan pengemudi pada setiap rute dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.

$$Pendapatan = a \times b \times 8 \times Rp. 300,00 \quad (4)$$

Dengan a yang merupakan rata-rata okupansi dan b yang merupakan total jarak dengan satuan kilometer(km). Jumlah penumpang maksimum setiap angkutan kota yaitu sebanyak 8 orang [12]. Tarif pokok rute rekomendasi baru yaitu sebesar Rp. 300,00. Total jarak

dan rata-rata okupansi sebagai salah satu faktor dari perhitungan pendapatan dengan menggunakan data jarak dan data okupansi.

3.1.11. Kriteria Pemberhentian

Tahap ini merupakan tahap pengecekan apakah iterasi telah mencapai batas maksimum atau tidak. Jika perulangan sudah mencapai iterasi maksimal, maka perulangan selesai dengan diperolehnya solusi yang paling optimal melalui jalur yang dihasilkan. Jika tidak, proses kembali berulang mulai dari tahap pembentukan solusi awal.

3.2. Pengujian Parameter

Pada penelitian ini menggunakan tiga skenario pengujian yang meliputi penentuan banyaknya jumlah iterasi, jumlah *firefly*, dan koefisien penyerapan cahaya γ . Parameter terbaik yang diambil merupakan parameter dengan nilai fungsi tertinggi yang merepresentasikan total pendapatan tertinggi dari setiap percobaan. Hasil uji coba pada setiap parameter digunakan untuk uji coba selanjutnya. Hasil parameter terbaik yang didapatkan setelah pengujian digunakan sebagai perbandingan rute, ketersebaran rute dan pendapatan pengemudi antara rute lama dan rute rekomendasi baru.

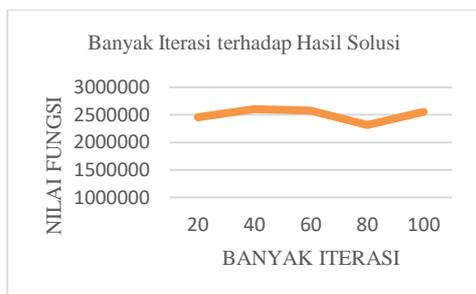
3.2.1. Analisis Parameter Iterasi

Tahap pertama dalam uji coba metode FATS adalah menentukan banyak iterasi FA. Parameter awal yang digunakan antara lain $\beta_o = 1$, $a = 1$, $\gamma = 1$ dengan 2 *firefly*. Hasil uji coba penentuan banyak iterasi ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil uji coba yang didapat pada Tabel 3., menunjukkan bahwa semakin banyak iterasi, maka semakin lama waktu komputasi yang diperlukan.

Tabel 3. Penentuan Banyak Iterasi

Jumlah Iterasi	Nilai Fungsi	Waktu(detik)
20	2454406.3772	8580
40	2604799.9740	9180
60	2575366.9469	12360
80	2315898.5790	13580
100	2557228.9640	14670

Hasil uji coba ini dapat direpresentasikan dengan grafik untuk mengetahui hubungan banyak iterasi dengan hasil solusi seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Banyak Iterasi dengan Hasil Solusi

Dengan melakukan 5 kali pengujian jumlah iterasi terbaik yang dihasilkan yaitu sebanyak 40 iterasi dengan nilai fungsi 2604799.974 dengan waktu komputasi 9180 detik. Jumlah iterasi ini merepresentasikan banyaknya proses pembelajaran dan menentukan kapan proses pembelajaran dihentikan.

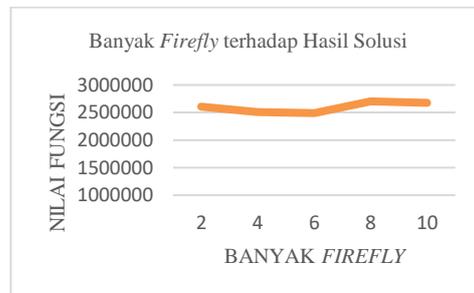
3.2.2. Analisis Parameter *Firefly*

Tahap kedua adalah mencari banyak *firefly* optimal. Banyak *firefly* yang diuji yaitu 2, 4, 6, 8, dan 10. Pada uji coba ini, menggunakan parameter iterasi yang sesuai dengan hasil yang didapat pada uji coba sebelumnya, yaitu sebanyak 40 iterasi dengan parameter $\beta_o = 1$, $a = 1$, $\gamma = 1$. Hasil uji coba penentuan banyak kunang-kunang untuk menjalankan FATS pada studi kasus ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Penentuan Banyak *Firefly*

Jumlah <i>Firefly</i>	Nilai Fungsi	Waktu(detik)
2	2604799.9740	9180
4	2506252.4690	12060
6	2489209.0779	24240
8	2702261.5086	33360
10	2673302.7697	37800

Hasil uji coba yang didapat pada Tabel 4. dapat dilihat semakin besar jumlah *firefly*, maka waktu komputasi semakin tinggi. Jumlah *firefly* yang semakin banyak dapat memperbanyak proses evolusi antar *firefly*. Namun, perlu diperhatikan apakah solusi suatu *firefly* tersebut merupakan solusi terbaik, dalam kasus ini solusi terbaik merupakan nilai fungsi terbaik. Hasil ini dapat direpresentasikan dengan grafik untuk mengetahui hubungan banyak *firefly* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Banyak *firefly* dengan Hasil Solusi

Dari Tabel 4. dan Gambar 3., didapat sebanyak 8 kunang-kunang untuk menghasilkan solusi terbaik 2702261.5086 dengan waktu komputasi 33360 detik.

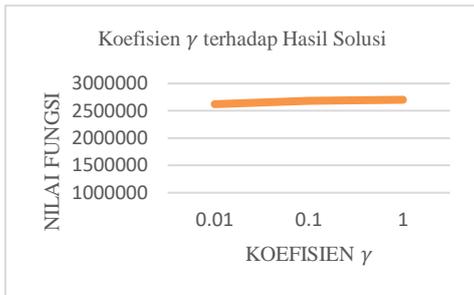
3.2.3. Analisis Parameter Absorpsi (γ)

Tahap ketiga adalah menentukan koefisien penyerapan cahaya γ . Nilai koefisien penyerapan cahaya yang diuji cobakan adalah 0,01, 0,1, dan 1. Koefisien ini mempengaruhi nilai *attractiveness* yang pada akhirnya mempengaruhi pergerakan *firefly*. Uji coba ini menggunakan parameter hasil dari uji coba sebelumnya, yaitu $\beta_o = 1$, $a = 1$, dengan 40 iterasi dan 8 *firefly*. Tabel 5. menunjukkan pengaruh nilai koefisien γ terhadap nilai

fungsi. Hasil uji coba penentuan nilai koefisien penyerapan cahaya γ pada Tabel 5. dan Gambar 4., terlihat bahwa hasil terbaik diperoleh ketika $\gamma = 1$ dengan waktu komputasi 33360 detik.

Tabel 5. Penentuan Parameter Absorpsi

Koefisien γ	Nilai Fungsi	Waktu(detik)
0,01	2621591.8601	43920
0,1	2681793.6993	37800
1	2702261.5086	33360



Gambar 4. Hubungan Koefisien γ dengan Hasil Solusi

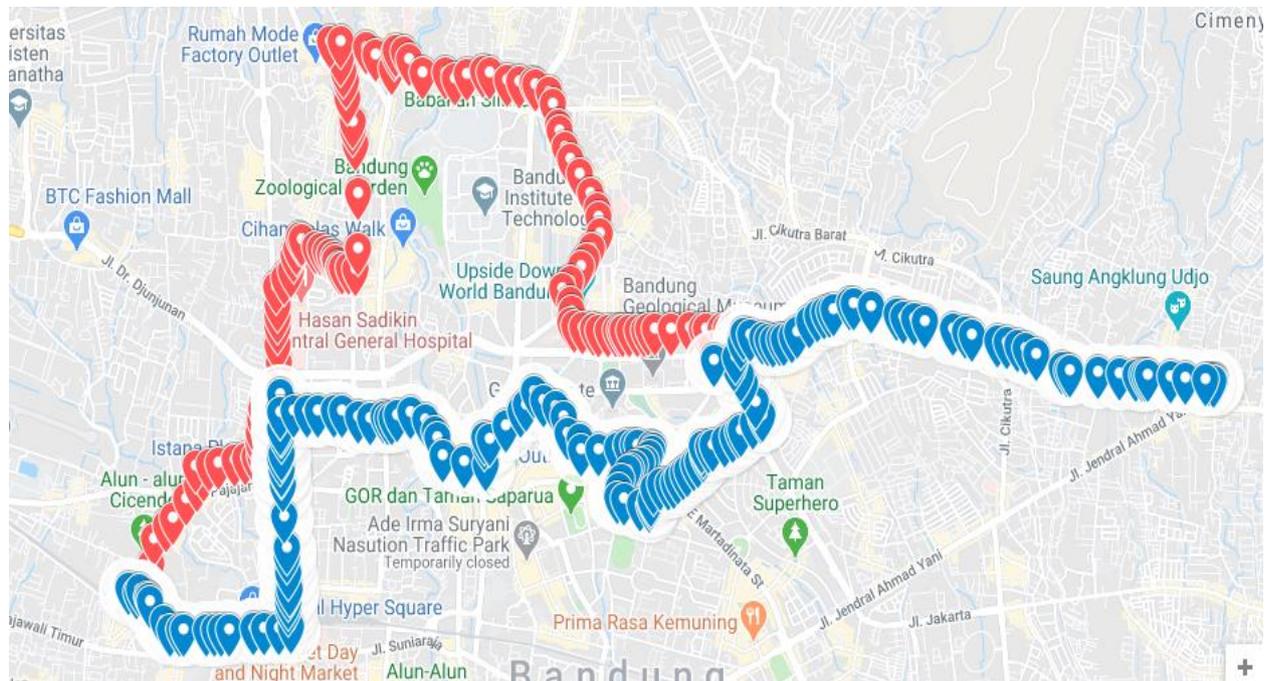
Berdasarkan proses pengujian parameter yang telah dilakukan, didapatkan nilai parameter metode FATS yang terbaik yaitu dengan $\gamma = 1$, banyak kunang-kunang 8 dan jumlah iterasi yang diperlukan sebanyak 40. Hasil pada penelitian ini dengan menggunakan parameter yang telah dilakukan mendapatkan nilai fungsi 2586129.5382 yang merepresentasikan total pendapatan dari rute rekomendasi 11 trayek angkutan kota dengan waktu eksekusi 38700 detik. Hasil ini digunakan sebagai perbandingan rute, ketersebaran dan pendapatan pengemudi antara rute lama dan rute rekomendasi baru.

3.3. Hasil Perbandingan Rute

Pada Tabel 6. merupakan data hasil rute angkutan kota berupa rata-rata okupansi dan jarak rute baru dengan menggunakan FATS lebih luas dibandingkan dengan rute acuan angkutan kota yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 6. Hasil Rata-rata Okupansi dan Jarak Rute Baru

Rute	Rata-rata Okupansi Rute Baru	Jarak Rute Baru
Abdul Muis – Cicaheum via Binong	3,5616	15,766
Cicaheum – Abdul Muis via Binong	3,5058	19,962
Abdul Muis – Cicaheum via Aceh	3,4499	13,352
Cicaheum – Abdul Muis via Aceh	3,4402	13,73
Abdul Muis – Dago	3,3155	21,92
Dago – Abdul Muis	3,3655	12,646
Abdul Muis – Ledeng	3,2771	21,449
Ledeng – Abdul Muis	3,2704	19,027
Abdul Muis – Elang	3,1665	7,848
Elang – Abdul Muis	3,2166	4,824
Cicaheum – Ledeng	3,4818	18,018
Ledeng – Cicaheum	3,3935	13,159
Cicaheum – Ciroyom	3,4653	19,222
Ciroyom – Cicaheum	3,4196	12,845
Cicaheum – Derwati	3,5118	10,055
Derwati – Cicaheum	3,5279	11,567
Cicaheum – Cibaduyut	3,5477	13,794
Cibaduyut – Cicaheum	3,5073	14,559
Stasiun Hall – Dago	3,3586	8,009
Dago – Stasiun Hall	3,3577	14,563
Stasiun Hall – Sadang Serang	3,3586	13,189
Sadang Serang – Stasiun Hall	3,4743	16,079



Gambar 5. Hasil Rute Acuan dan Baru pada rute Ciroyom – Cicaheum

Salah satu visualisasi hasil optimasi rute angkutan umum dengan Algoritma *Firefly* dan *Tabu Search* yang dibandingkan dengan rute lama berdasarkan rute acuan dapat dilihat pada Gambar 5. Titik berwarna merah merupakan rute acuan, sedangkan titik berwarna biru merupakan hasil rute baru yang direkomendasikan oleh Algoritma *Firefly* dan *Tabu Search*. Jarak untuk rute lama sejauh 13,86 km dengan pendapatan pengemudi rata-rata sebesar Rp85.040,896 setiap satu kali tempuh, sedangkan jarak untuk rekomendasi sejauh 12,845 km dengan pendapatan pengemudi rata-rata sebesar Rp105.419,545 setiap satu kali tempuh.

3.4. Hasil Perbandingan Ketersebaran Rute

Tabel 7. dapat dilihat perbandingan jumlah ruas jalan yang merepresentasikan ketersebaran rute dengan menggunakan rute acuan dan rute baru yang merupakan hasil rekomendasi dari optimasi Algoritma *Firefly* dan *Tabu Search* angkutan kota di Kota Bandung.

Tabel 7. Hasil Perbandingan Jumlah Ruas Jalan

Rute	Rute Lama	Rute Baru	Kenaikan Ketersebaran (%)
Abdul Muis – Cicaheum via Binong	22	21	-4.54
Cicaheum – Abdul Muis via Binong	24	21	-12.5
Abdul Muis – Cicaheum via Aceh	20	38	90
Cicaheum – Abdul Muis via Aceh	18	38	111.11
Abdul Muis – Dago	13	48	269.23
Dago – Abdul Muis	11	30	172.72
Abdul Muis – Ledeng	20	42	110
Ledeng – Abdul Muis	14	36	157.14
Abdul Muis – Elang	18	15	-16.67
Elang – Abdul Muis	10	12	20
Cicaheum – Ledeng	18	41	127.78
Ledeng – Cicaheum	19	20	5.263
Cicaheum – Ciroyom	19	23	21.05
Ciroyom – Cicaheum	19	37	94.73
Cicaheum – Derwati	13	13	0
Derwati – Cicaheum	14	14	0
Cicaheum – Cibaduyut	17	17	0
Cibaduyut – Cicaheum	12	15	25
Stasiun Hall – Dago	13	20	53.85
Dago – Stasiun Hall	15	22	46.67
Stasiun Hall – Sadang Serang	24	35	45.83
Sadang Serang – Stasiun Hall	25	29	16

Hasil dari kenaikan jumlah ruas jalan merepresentasikan tingkat ketersebaran setiap rute angkutan kota. Dari hasil tersebut, menunjukkan 19 rute angkutan kota mempunyai kenaikan tingkat ketersebaran setelah dioptimasi menggunakan FATS. Hal tersebut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5.

$$\text{Kenaikan Ketersebaran} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \quad (5)$$

Dengan a yang merupakan jumlah ruas jalan rute baru dan b merupakan jumlah ruas jalan rute lama. Namun, terdapat pula rute yang mempunyai penurunan tingkat ketersebaran, yaitu rute Abdul Muis – Cicaheum via

Binong, Cicaheum – Abdul Muis via Binong, dan Abdul Muis – Elang. Hal ini rute disebabkan oleh data jaringan jalan yang kurang banyak dan adanya batasan untuk setiap ruas jalan yang hanya boleh dilewati oleh 3 trayek.

Secara keseluruhan, hasil ketersebaran rute baru mengalami peningkatan sebesar 60,576%. Hal ini didapatkan melalui penjumlahan total kenaikan ketersebaran dibagi dengan 22 rute yang merupakan total rute yang dioptimasi.

3.5. Hasil Perbandingan Pendapatan Pengemudi
 Tabel 8. dapat dilihat perbandingan pendapatan pengemudi antara rute acuan dan rute baru yang merupakan hasil rekomendasi dari optimasi Algoritma *Firefly* dan *Tabu Search* angkutan kota di Kota Bandung.

Tabel 8. Hasil Perbandingan Pendapatan Rute Lama dan Rute Baru

Rute	Pendapatan Rute Lama	Pendapatan Rute Baru	Kenaikan Pendapatan (%)
Abdul Muis – Cicaheum via Binong	Rp135.299	Rp134.764	-0.39515
Cicaheum – Abdul Muis via Binong	Rp134.161	Rp167.958	25.19119
Abdul Muis – Cicaheum via Aceh	Rp90.912	Rp110.551	21.60265
Cicaheum – Abdul Muis via Aceh	Rp135.628	Rp113.360	-16.4184
Abdul Muis – Dago	Rp99.401	Rp174.423	75.47424
Dago – Abdul Muis	Rp87.230	Rp102.144	17.09696
Abdul Muis – Ledeng	Rp76.805	Rp168.696	119.6403
Ledeng – Abdul Muis	Rp69.630	Rp149.342	114.4773
Abdul Muis – Elang	Rp90.573	Rp59.642	-34.1505
Elang – Abdul Muis	Rp50.336	Rp37.240	-26.0155
Cicaheum – Ledeng	Rp105.627	Rp150.564	42.54263
Ledeng – Cicaheum	Rp112.761	Rp107.172	-4.95676
Cicaheum – Ciroyom	Rp96.443	Rp159.861	65.75666
Ciroyom – Cicaheum	Rp85.040	Rp105.419	23.96335
Cicaheum – Derwati	Rp104.551	Rp84.747	-18.9414
Derwati – Cicaheum	Rp101.654	Rp97.938	-3.65551
Cicaheum – Cibaduyut	Rp124.462	Rp117.448	-5.63566
Cibaduyut – Cicaheum	Rp118.244	Rp122.552	3.643067
Stasiun Hall – Dago	Rp69.813	Rp64.557	-7.52878
Dago – Stasiun Hall	Rp90.193	Rp117.357	30.11723
Stasiun Hall – Sadang Serang	Rp111.708	Rp106.313	-4.82954
Sadang Serang – Stasiun Hall	Rp108.417	Rp134.071	23.6622

Pendapatan dipengaruhi oleh nilai okupansi dan nilai jarak. Pada Tabel 8. menunjukkan 7 rute baru yang memiliki nilai okupansi yang lebih tinggi daripada rute lama dan terdapat 9 rute baru yang memiliki nilai jarak yang lebih dekat daripada rute lama. Jumlah rute yang berhasil dioptimasi oleh Algoritma *Firefly* dan *Tabu Search* yaitu dengan rute yang memiliki kenaikan pendapatan sebanyak 12 rute. Kenaikan pendapatan setiap rute dapat dihitung dengan melakukan perbandingan pendapatan rute lama dan rute baru menggunakan Persamaan 6.

$$\text{Kenaikan Pendapatan} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \quad (6)$$

Dengan a yang merupakan pendapatan baru dan b merupakan pendapatan lama. Untuk melakukan perhitungan total keseluruhan kenaikan pendapatan rute baru dilakukan penjumlahan kenaikan pendapatan setiap rute baru dibagi oleh total rute yang berjumlah 22. Secara keseluruhan, hasil ketersebaran rute baru mengalami peningkatan sebesar 60,576%.

Namun, terdapat pula rute yang mempunyai penurunan pendapatan pengemudi. Hal ini disebabkan karena algoritma ini tidak menemukan kandidat solusi baru pada saat memperbarui pergerakan kunang-kunang, sehingga hasil output setelah proses optimasi menghasilkan rute yang sama seperti hasil output pada proses pencarian acak. Hal ini dipengaruhi oleh batasan spesifik yang terdapat dalam sistem yang bukan merupakan kelemahan dari algoritma itu sendiri, yaitu terdapat ruas jalan yang searah, setiap ruas jalan yang hanya boleh dilewati maksimum 3 trayek dan terdapat ketentuan khusus jalur yang boleh dilewati dan tidak boleh dilewati untuk Trayek 01A dan 01B. Pada Trayek 01A dan 01B memiliki titik keberangkatan dan titik kepulangan yang sama. Namun, hal yang membedakan yaitu terdapat ketentuan pada trayek 01A harus melewati ruas jalan binong dan tidak boleh melewati ruas jalan aceh. Untuk ketentuan pada trayek 01B harus melewati ruas jalan aceh dan tidak boleh melewati ruas jalan binong. Beberapa batasan ini juga mempengaruhi waktu eksekusi program.

4. Kesimpulan

Dengan melakukan performansi menggunakan algoritma Firefly dan Tabu Search pada pengujian parameter *firefly*, menemukan solusi optimal dengan nilai fungsi 2586129.5382 menggunakan nilai $\gamma = 1$ dengan jumlah populasi *firefly* sebanyak 8 dan menggunakan 40 iterasi dengan waktu eksekusi 38700 detik. Algoritma ini berhasil mengoptimalkan rute angkutan kota dengan meningkatkan ketersebaran rute angkutan kota dari 11 trayek di Kota Bandung dengan memperluas cakupan rute sebesar 60,576% dan meningkatkan pendapatan pengemudi sebesar 20,03%.

Daftar Rujukan

- [1] Prasetiyowati, S. S., Sibaroni, Y., & Prabangkara, D. (2018). The Prediction of Optimal Route of City Transportation Based on Passenger Occupancy using Genetic Algorithm: A Case Study in The City of Bandung. *Telkonnika*, 16(3).
- [2] Yogaswara, Y., & Fatin, F. F. (2020). Tabu Search for Route Determination and Scheduling Waste Transportation Bandung City West Bandung Region (Case Study: PD. Kebersihan Kota Bandung). *E&ES*, 448(1), 012125.
- [3] L. Samudra and I. Mukhlash. Penentuan Rute Optimal Pada Kegiatan Penjemputan Penumpang Travel Menggunakan Ant Colony System. *J. SAINS DAN SENI POMITS*. 2013; 2(1): 1–6
- [4] X. Luo, J. Tu, and L. Huang. Optimization of Express Delivery Routing Problem. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*. 2016; 14(3A): 380-388.
- [5] Setiawan, M. H., Imrona, M., & Murdiansyah, D. T., 2017. Optimasi Rute Angkutan Kota Secara Simultan Menggunakan Algoritma Exhaustive Search (Studi Kasus Sepuluh Trayek Kota Bandung). *Indonesia Journal on Computing (Indo-JC)*, 2(2), pp.47-54
- [6] Setiawan, A., Andriyanto, F., Putro, L. S., Prakisyana, N. P. T., & Perdana, U., (2012). Perbandingan Algoritma Ant Colony Optimization, Disjktra, Tabu Search, Multiple Ant Colony System untuk Vehicle Routing Problem dengan Time Window. Surakarta.
- [7] Rahmat, B., Tjandrarini, A. B., & Budianto, D., 2011. Perbandingan Genetic Algorithm, Multiple Ant Colony System, dan Tabu Search untuk Penyelesaian Vehicle Routing Problem With Time Windows (VRPTW). Jawa Timur.
- [8] Altabeeb, A. M., Mohsen, A. M., & Ghallab, A. (2019). An improved hybrid firefly algorithm for capacitated vehicle routing problem. *Applied Soft Computing*, 84, 105728.
- [9] Yang, X. S., 2010. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithm. 2nd ed. Bristol, U.K.: Luni1ver.
- [10] Wang, X., Peng, H., Deng, C., Li, L., & Zheng, L., 2019. An Improved Firefly Algorithm Hybrid with Fireworks. In *Computational Intelligence and Intelligent Systems: 10th International Symposium, ISICA 2018, Jiujiang, China, October 13-14, 2018, Revised Selected Papers (Vol. 986, p. 27)*. Springer.
- [11] Lou, A., 2019. A Fusion Algorithm of Gravitational Search and Tabu Search. In *Proceedings of the 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Science (pp. 150-157)*. ACM.
- [12] P.K. Bandung., 2008. SK Trayek MPU Kota Bandung. Pemerintah Kota Bandung: Bandung.
- [13] Raharjanto, A. A., Imrona, M., & Rohmawati, A.A., 2017. Analisis Prediksi Okupansi Penumpang Angkutan Kota Dengan Menggunakan Metode Indikator Kriging. Bandung.
- [14] Chandrawati, T. B., & Sari, R. F. (2018, October). A review of firefly algorithms for path planning, vehicle routing and traveling salesman problems. In *2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICon EEI) (pp. 30-35)*. IEEE.
- [15] Khan, M. U. R., & Asadujjaman, M. (2016). A Tabu Search Approximation for finding the Shortest distance using Traveling Salesman Problem. *IOSR J. Math.*, 12(05), 80-84.
- [16] Marappan, R., & Sethumadhavan, G. (2018). Solution to graph coloring using genetic and tabu search procedures. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(2), 525-542.
- [17] Li, X., & Gao, L. (2016). An effective hybrid genetic algorithm and tabu search for flexible job shop scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 174, 93-110.
- [18] Glover, E. 1977. Heuristics for integer programming using surrogate constraints.
- [19] Glover, E. 1989. Tabu search--part I. *ORSA Journal of Computing*, 1989, 1, 3 190-2