

SKRIPSI

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ARTIFICIAL BEE COLONY*
UNTUK MENYELESAIKAN *DRONE ROUTING PROBLEM***

***IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL BEE COLONY
ALGORITHM TO SOLVE DRONE ROUTING PROBLEM***



MUH. PARIF

D0221044

PROGRAM STUDI INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SULAWESI BARAT

MAJENE

2025

ABSTRAK

Muh. Parif. Implementasi Algoritma *Artificial Bee Colony* untuk menyelesaikan *Drone Routing Problem*. (dibimbing oleh **Ir. Sugiarto Cokrowibowo, S.Si., M.T.** dan **A.Amirul Asnan Cirua, S.T.,M.Kom.**).

Perkembangan teknologi *drone* (*Unmanned Aerial Vehicle/UAV*) telah membuka peluang baru dalam bidang logistik, terutama untuk pengiriman barang ke lokasi yang sulit dijangkau. Namun, keterbatasan daya tahan baterai *drone* menjadi tantangan utama, sehingga dibutuhkan optimasi rute yang efisien untuk meminimalkan jarak tempuh. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) dalam menyelesaikan *Drone Routing Problem* (DRP) dengan mencari rute optimal yang menghubungkan beberapa titik tujuan. Algoritma ABC merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku lebah dalam mencari sumber makanan. Dalam penelitian ini, algoritma diterapkan dengan tiga fase utama, yaitu fase *employed bee*, *onlooker bee*, dan *scout bee*. Data yang digunakan berupa koordinat geografis (*latitude* dan *longitude*) dari titik-titik strategis di sekitar Unsulbar. Jarak antar titik dihitung menggunakan rumus 2D berbasis konversi satuan derajat ke meter. Hasil pengujian dilakukan pada beberapa skenario jumlah titik (6, 10, 15, dan 100 titik) dengan variasi parameter jumlah populasi, *limit* percobaan, dan iterasi maksimum. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa algoritma ABC mampu menemukan solusi rute optimal secara stabil dan efisien pada skenario 6 hingga 15 titik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa algoritma ABC mampu menghasilkan solusi rute optimal secara efisien dan stabil pada seluruh skenario, termasuk saat jumlah titik mencapai 100, dengan menyesuaikan kapasitas maksimum baterai. Secara keseluruhan, algoritma ABC menunjukkan kinerja yang baik dengan waktu komputasi rendah dan nilai *fitness* yang tinggi dalam menentukan rute optimal.

Kata Kunci: *Artificial Bee Colony*, *Drone Routing Problem*, Metaheuristik, Optimasi Rute, Algoritma Kecerdasan Buatan.

ABSTRACT

Muh. Parif. *Implementation of Artificial Bee Colony Algorithm to Solve Drone Routing Problem. (supervised by Ir. Sugiarto Cokrowibowo, S.Si., M.T. and A.Amirul Asnan Cirua, S.T., M.Kom.).*

The development of drone (Unmanned Aerial Vehicle/UAV) technology has opened up new opportunities in the logistics sector, especially for delivering goods to hard-to-reach locations. However, the limited battery life of drones is a major challenge, so efficient route optimization is needed to minimize the distance traveled. This study aims to implement the Artificial Bee Colony (ABC) algorithm in solving the Drone Routing Problem (DRP) by finding the optimal route that connects several destination points. The ABC algorithm is a metaheuristic algorithm inspired by the behavior of bees in searching for food sources. In this study, the algorithm is applied with three main phases, namely the employed bee, onlooker bee, and scout bee phases. The data used are in the form of geographical coordinates (latitude and longitude) from strategic points around Unsulbar. The distance between points is calculated using the 2D Euclidean formula based on the conversion of degrees to meters. The test results were carried out on several scenarios of the number of points (6, 10, 15, and 100 points) with variations in the parameters of the number of populations, trial limits, and maximum iterations. The experimental results show that the ABC algorithm is able to find optimal route solutions stably and efficiently in scenarios of 6 to 15 points. The experimental results show that the ABC algorithm is able to produce optimal route solutions efficiently and stably in all scenarios, including when the number of points reaches 100, by adjusting the maximum battery capacity. Overall, the ABC algorithm shows good performance with low computation time and high fitness value in determining the optimal route.

Keywords: *Artificial Bee Colony, Drone Routing Problem, Metaheuristic, Route Optimization, Artificial Intelligence Algorithm.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemanfaatan *drone* (Pesawat Udara Nirawak / *Unmanned Aerial Vehicle* – UAV) di seluruh dunia, seiring dengan pemutakhiran teknologinya, semakin meluas diberbagai bidang, baik diranah militer maupun sipil. Salah satu potensi yang menjadi fokus adalah pemanfaatan *drone* sebagai wahana logistik pengiriman barang (Jenie *et al.*, 2022).

Penggunaan *drone* untuk pengiriman menjanjikan kemudahan, kecepatan, dan efisiensi yang belum pernah terjadi sebelumnya. Integrasi *drone* dengan sistem membuka peluang baru dalam mengoptimalkan proses pengiriman. Meskipun potensinya yang besar, penerapan teknologi pengiriman menggunakan *drone* dengan sistem masih menghadapi tantangan yang signifikan. Masalah yang sering dihadapi dalam pengiriman ialah kemacetan yang membuat barang menjadi lama sampai dan memakan waktu. hal ini sangat beresiko jika barang tersebut merupakan barang penting dan mudah kadaluarsa (Nurfahmi Andriansyah, Annurdillah Rovika Dewi, 2024). Menggunakan *drone* sebagai metode pengiriman barang yang membutuhkan penanganan cepat atau kebutuhan mendesak adalah solusi (Simanjuntak, 2019).

Batasan kapasitas baterai menjadi salah satu kendala utama dalam pengoperasian *drone*, terutama dalam pengiriman jarak jauh atau di medan sulit. Oleh karena itu, pencarian jalur optimal menjadi penting untuk memaksimalkan efisiensi energi *drone*. Konsumsi energi *drone* umumnya diasumsikan berbanding lurus dengan jarak atau waktu tempuh, sehingga penentuan rute yang lebih singkat dan efisien tidak hanya memperpanjang durasi operasional *drone* tetapi juga memungkinkan pengiriman lebih cepat (Liang and Luo, 2022).

Dalam beberapa tahun terakhir, algoritma metaheuristik yang terinspirasi oleh proses biologis alami semakin banyak digunakan. Mulai dari evolusi organisme hingga perilaku kelompok serangga, prinsip-prinsip ini diaplikasikan dalam pengembangan algoritma komputasi. Algoritma evolusi, yang terinspirasi oleh teori evolusi Darwin, merupakan salah satu contoh awal dari pendekatan ini. Selain itu, penelitian tentang kecerdasan kolektif pada serangga sosial telah melahirkan berbagai algoritma baru yang memanfaatkan prinsip-prinsip kerja sama dan komunikasi dalam kelompok (Akhand, 2020).

Beberapa algoritma metaheuristik yang populer untuk menyelesaikan masalah optimasi diskrit meliputi Algoritma Genetika, *Cross Entropy*, *Particle Swarm Optimization*, *Artificial Bee Colony*, dan *Ant Colony Optimization* (Soenandi, Marpaung and Ginting, 2014). Di antara algoritma tersebut, *Artificial Bee Colony* (ABC) merupakan salah satu algoritma yang menunjukkan performa unggul dibandingkan metode lainnya, karena kemampuannya dalam menghindari jebakan solusi lokal dan menghasilkan solusi dengan kualitas yang tinggi dibandingkan dengan algoritma lain seperti *Genetic Algorithm*, *Particle Swarm Optimization*, *Differential Evolution*, dan *Evolution Strategy*, ABC seringkali memberikan hasil yang lebih optimal dan konsisten, menjadikannya pilihan yang efektif dalam menyelesaikan masalah optimasi (Santosa and Ramayasa, 2022).

Penelitian sebelumnya mengenai penerapan metode *Artificial Bee Colony* meliputi optimasi transportasi distribusi minyak menggunakan algoritma *Artificial Bee Colony*, yang menunjukkan peningkatan efektivitas waktu dalam proses distribusi (Sayoga and Herdiansyah, 2024). Sementara itu penelitian tentang implementasi metode *Artificial Bee Colony* tentang pencarian lokasi yang terpendek, dalam hasilnya untuk menuju lokasi berpergian dari desa satu ke desa yang lain mempermudah waktu dalam perjalanannya (Raheem, 2021). Penelitian selanjutnya dengan rancang bangun aplikasi pencarian lokasi fasilitas pelayanan umum terdekat di kota dengan menggunakan metode *Artificial Bee Colony* berbasis android, hasilnya mempermudah bagi seseorang untuk mencari fasilitas pelayanan umum (Yilmaz *et al.*, 2020).

Berdasarkan berbagai pertimbangan yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini akan menerapkan algoritma ABC untuk menyelesaikan masalah penentuan rute pada *drone*. Algoritma ini akan digunakan untuk menemukan jalur optimal yang menghubungkan setiap titik yang perlu dilalui *drone*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas, adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana implementasi algoritma *Artificial Bee Colony* dalam menyelesaikan masalah *Drone Routing Problem*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hasil implementasi algoritma *Artificial Bee Colony* dalam menyelesaikan masalah *drone Routing Problem*.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dalam bidang informatika, khususnya dalam konteks *Drone Routing Problem* dan kecerdasan buatan. Beberapa manfaat potensialnya termasuk:

- a. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan sistem yang dapat menganalisis data secara *real-time* untuk membuat keputusan optimal dalam perencanaan rute *drone*.
- b. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang algoritma *Artificial Bee Colony* dalam menyelesaikan *drone Routing Problem* untuk menjadi referensi penelitian selanjutnya

1.5. Batasan Masalah Penelitian

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.5.1. Kapasitas Baterai

Penelitian mempertimbangkan keterbatasan kapasitas baterai *drone* dalam menentukan jalur optimal, sehingga setiap rute yang dibentuk harus memastikan *drone* dapat kembali ke depot atau melakukan pengisian ulang jika diperlukan.

1.5.2. Pengambilan data dari google maps

Data lokasi titik-titik yang akan dikunjungi oleh *drone* diambil berdasarkan koordinat geografis (latitude dan longitude) yang diperoleh dari Google Maps.

1.5.3. Jumlah titik yang di uji

Jumlah titik lokasi yang diuji dalam eksperimen dibatasi, misalnya sebanyak 6, 10, 15, dan 100 titik, untuk mengevaluasi kinerja algoritma terhadap skala masalah yang berbeda.

1.5.4. Algoritma yang di gunakan

Penelitian ini hanya menggunakan satu algoritma metaheuristik, yaitu *Artificial Bee Colony* (ABC), tanpa melakukan perbandingan langsung dengan algoritma lainnya seperti Genetic Algorithm, Ant Colony Optimization, atau Particle Swarm Optimization.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

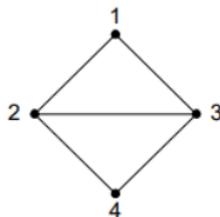
2.1. Graf

Graf adalah diagram yang menyajikan informasi tertentu untuk memvisualisasikan objek-objek diskrit dan hubungan di antara objek-objek tersebut, sehingga memudahkan pemahaman (Amalia, Novianti and Yasmin, 2024). Teori graf merupakan pokok bahasan yang sudah tua usianya namun memiliki banyak terapan dalam kehidupan sehari-hari sampai saat ini. Graf digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut.

Banyak persoalan pada dunia nyata yang sebenarnya merupakan representasi visual dari graf. Contoh salah satu representasi visual dari graf adalah peta. Banyak hal yang dapat digali dari representasi tersebut, diantaranya adalah menentukan jalur terpendek dari satu tempat ke tempat lain, menggambarkan 2 kota yang bertetangga dengan warna yang berbeda pada peta, menentukan tata letak jalur transportasi, pengaturan jaringan komunikasi atau jaringan internet dan masih banyak lagi. Selain peta, masih banyak hal lain dalam dunia nyata yang merupakan representasi visual dari graf (Nurdiana, 2015).

Secara umum, graf dapat dikategorikan berdasarkan keberadaan *edge* yang paralel atau *loop*, jumlah titiknya, adanya arah pada sisi, adanya bobot pada sisi, serta adanya hubungan dengan graf lainnya. Berikut ini adalah jenis graf berdasarkan ada tidaknya sisi yang paralel atau *loop*.

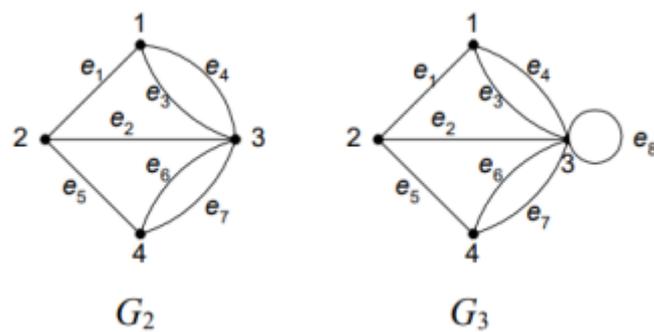
1. Graf Sederhana (*Simple Graph*) adalah graf tak berarah yang tidak memiliki sisi ganda atau *loop* (Nugraha *et al.*, 2021). Contoh gambar graf sederhana sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Graf Sederhana

(Sumber : (Nugraha *et al.*, 2021)

2. Graf Tak Sederhana (*Unsimple Graph*), graf tak sederhana adalah graf yang memiliki sisi ganda atau *loop*. Graf tak sederhana dibagi menjadi dua jenis: graf ganda dan graf semu. Graf ganda adalah graf yang memiliki sisi ganda, sedangkan graf semu adalah graf yang memiliki *loop*, di mana sisi dalam graf semu dapat terhubung kembali ke dirinya sendiri (Kusmira and Taufiqurrochman, 2017).



Gambar 2. 2 (G_2) Graf Ganda (G_3) Graf Semu

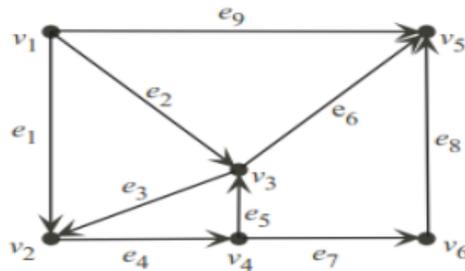
(Sumber : (Nugraha *et al.*, 2021))

Selain berdasarkan ada tidaknya rusuk ganda dan jumlah simpul pada suatu graf, graf juga dapat dikelompokkan berdasarkan orientasi arah pada rusuknya. Menurut (Rifpanna, 2017) Pengelompokan berdasarkan orientasi arah pada rusuknya digolongkan menjadi dua yaitu graf tak berarah dan graf berarah.

1. Graf Berarah (*Directed Graph*)

Graf berarah adalah graf di mana setiap rusuk memiliki orientasi arah tertentu. Rusuk dalam graf berarah disebut busur (*arc*). Dalam graf berarah, pasangan busur (u, v) dan (v, u) dianggap sebagai dua busur yang berbeda, sehingga $(u, v) \neq (v, u)$. Pada busur (u, v) , simpul u disebut simpul asal (*initial vertex*) dan simpul v disebut simpul terminal (*terminal vertex*). Graf berarah sering digunakan sebagai dasar dalam model aliran proses, peta lalu lintas, sistem jaringan listrik, jaringan telepon, analisis jejaring sosial, dan

sebagainya. Dalam graf berarah, adanya loop diperbolehkan, tetapi rusuk ganda tidak diizinkan.

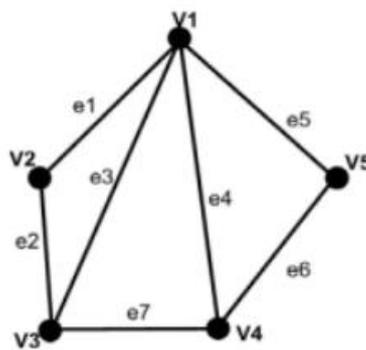


Gambar 2. 3 Graf Berarah

(Sumber : (Nugraha *et al.*, 2021))

2. Graf Tak Berarah (*Undirected Graph*)

Graf tak berarah adalah graf dimana rusuknya tidak memiliki orientasi arah. Urutan pasangan simpul yang dihubungkan oleh rusuk tidak diperhatikan, sehingga (V_1, V_2) dianggap sama dengan (V_2, V_1) .



Gambar 2. 4 Graf Tak Berarah

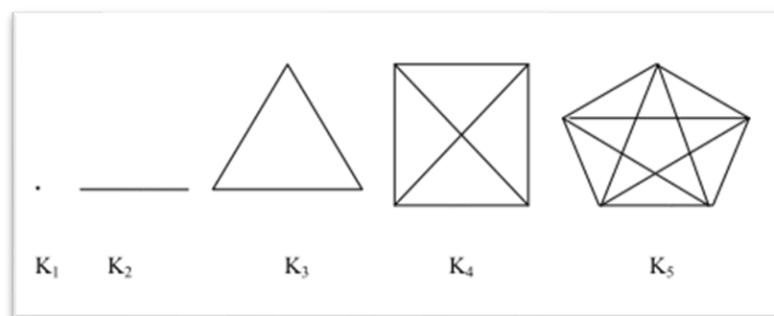
(Sumber : (Yuliandaru, 2016))

Menurut (Septima and Ulfa, 2021) Graf dapat dikategorikan berdasarkan keberadaan hubungan antar simpul, jumlah simpul dan sisi, adanya bobot pada sisi, serta keberadaannya sebagai graf sederhana atau

khusus. Berikut ini adalah jenis graf yang mencakup graf lengkap dan graf berbobot:

1. Graf Lengkap

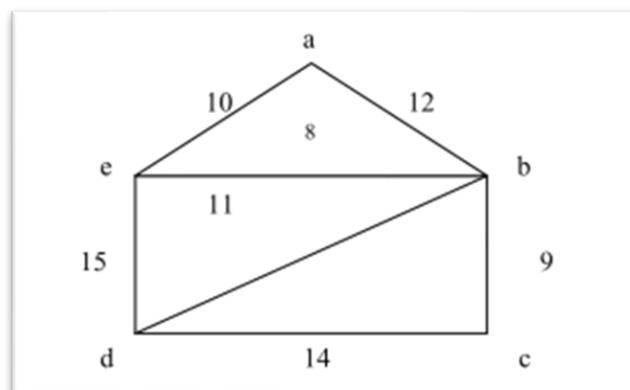
Graf lengkap adalah graf di mana setiap simpul terhubung dengan semua simpul lainnya melalui satu sisi. Graf lengkap dengan n simpul biasanya dilambangkan sebagai K_n , di mana setiap simpul memiliki derajat sebesar $n-1$. Graf ini menunjukkan hubungan maksimal antara simpul-simpulnya.



Gambar 2. 5 Graf Lengkap

(Sumber : (Septima and Ulfa, 2021))

2. Graf Berbobot



Gambar 2. 6 Graf Berbobot

(Sumber : (Septima and Ulfa, 2021))

2.2. Hubungan *Matrix* dengan Graf

Misalkan G adalah graf dengan urutan dan ukuran tertentu serta himpunan semua titik pada. *Matrix* keterhubungan (*Matrix Adjacency*) dari graf dinyatakan dengan notasi G . Menurut (Danadyaksa, 2025) *Matrix Adjacency* ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A = [a_{ij}] \quad (2.1)$$

Keterangan:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika titik } i \text{ dan } j \text{ saling terhubung} \\ 0, & \text{jika titik } i \text{ dan } j \text{ tidak saling terhubung} \end{cases}$$

2.3. *Euclidean Distance*

Euclidean distance adalah cara untuk menghitung jarak lurus antara dua titik. Dalam penelitian ini, perhitungan jarak dilakukan menggunakan data koordinat (*latitude* dan *longitude*) dari *Google Maps*. Nilai koordinat dari masing-masing titik digunakan untuk mengetahui seberapa jauh jarak antar titik. Meskipun bentuk bumi melengkung, pendekatan ini cukup akurat untuk menghitung jarak dalam skala kecil, seperti pada jalur yang dilalui oleh drone. (Utami, 2022).

$$d_{ij} = \sqrt{(lon_i - lon_j)^2 + (lat_i - lat_j)^2} \quad (2.2)$$

Keterangan:

d_{ij} = Jarak antara 2 titik koordinat i dan j

lon_i = Titik *longitude* i

lon_j = Titik *longitude* j

lat_i = Titik *latitude* i

lat_j = Titik *latitude* j

Persamaan (2.1) merupakan formulasi matematis dari jarak *Euclidean* pada bidang dua dimensi, yang secara umum digunakan untuk menentukan jarak terpendek (garis lurus) antara dua titik dalam sistem koordinat Kartesius. Dalam penelitian ini, pendekatan jarak *Euclidean* digunakan dengan penyesuaian terhadap sistem koordinat geografis, yaitu *latitude* dan *longitude*. Penyesuaian ini dilakukan dengan cara menghitung akar kuadrat dari selisih kuadrat nilai *latitude* dan *longitude* antara dua titik, kemudian hasilnya dikalikan dengan konstanta 69 untuk mengonversi selisih derajat ke dalam satuan mil laut (nautical miles) per derajat. Selanjutnya, nilai tersebut dikonversi ke dalam satuan kilometer dengan menggunakan faktor konversi 1 mil = 1.60934 kilometer (Suat et al., 2023).

$$d_{ij} = 69 \times \sqrt{(lon_i - lon_j)^2 + (lat_i - lat_j)^2} \times 1609.34 \quad (2.3)$$

Keterangan:

d_{ij} = Jarak antara 2 titik koordinat i dan j (dalam meter)

lon_i = Titik *longitude* i

lon_j = Titik *longitude* j

lat_i = Titik *latitude* i

lat_j = Titik *latitude* j

69 = konversi derajat ke mil

1609.34 = konversi mil ke meter

2.4. *Drone Routing Problem (DRP)*

Drone merupakan salah satu jenis pesawat tanpa awak yang paling sering digunakan. Terdapat banyak sekali sektor pekerjaan yang memanfaatkan *drone*, seperti sektor pertanian sebagai penyemprotan pestisida di sawah, penggunaan *drone* untuk pemetaan, penggunaan *drone* pada sektor militer sebagai mata-mata, penggunaan *drone* di bidang kesehatan sebagai penyemprot disinfektan ketika

pandemi *Covid-19*, bahkan *drone* digunakan sebagai pemeran utama dalam bidang pertunjukan, yaitu dancing *drone* (Suhartono, 2023).

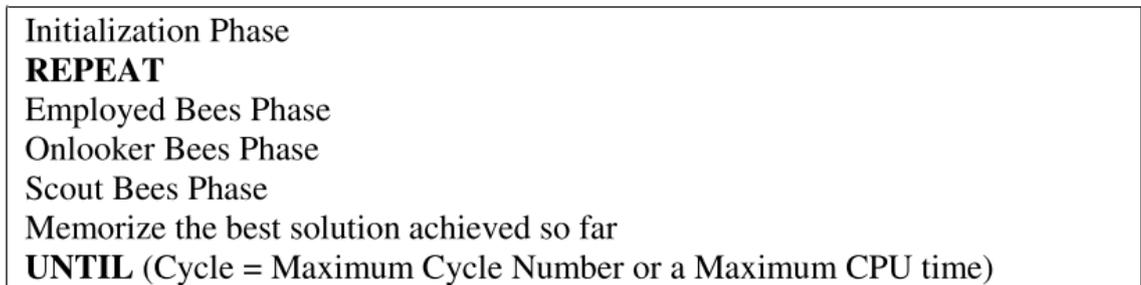
Masalah rute *drone* bertujuan untuk menghitung rute terpendek (dari asal ke tujuan) untuk *drone* dan menugaskan *drone* untuk tugas yang telah ditentukan sebelumnya (misalnya, mengirimkan paket) sambil mengoptimalkan biaya, waktu, jarak, atau konsumsi energi. Kendala yang perlu dipertimbangkan meliputi berat paket, kondisi lingkungan, kapasitas baterai *drone*, dan permintaan pelanggan (Vichitkunakorn *et al.*, 2024).

2.5. Algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC)

Artificial Bee Colony (ABC) merupakan salah satu algoritma optimasi yang memulai pencarian makanan (Nugroho, Purwitasari and Faticah, 2016). Lebah menggunakan tarian untuk berbagi informasi tentang sumber makanan, termasuk arah, jarak, dan kualitasnya. Algoritma *Artificial Bee Colony* terinspirasi dari lebah dalam mencari makanan. Dalam algoritma ABC, lebah dibagi menjadi tiga kelompok: lebah pekerja (mencari makanan baru), lebah penjaga (mengevaluasi informasi dari lebah pekerja), dan lebah pengintai (mencari sumber makanan baru jika informasi yang ada sudah tidak baik). Setiap lebah akan mengingat dan membandingkan kualitas setiap sumber makanan yang ditemukan, dan akhirnya memilih sumber makanan yang paling optimal (Amanah and Noviani, 2022).

Lebah pencari (*Scout Bee*) bertugas menjelajahi area sekitar sarang untuk menemukan sumber makanan. Setelah itu, lebah pencari akan memberi tahu lebah pekerja (*Employed bee*) tentang lokasi yang baru ditemukan. Lebah pekerja memiliki tugas mengingat semua detail tentang sumber makanan yang mereka temukan, seperti seberapa jauh dan ke arah mana sumber makanan itu berada, seberapa banyak makanan yang ada di sana, dan seberapa bagus informasi itu untuk dibagikan ke lebah lain. Jumlah lebah pekerja sama dengan jumlah sumber makanan yang sudah ditemukan. Lebah pengamat (*Onlooker bee*) memiliki peran penting dalam pengambilan keputusan koloni. Mereka mengumpulkan informasi dari lebah pekerja tentang lokasi sumber makanan yang baik, lalu memilih tempat yang paling layak untuk dikunjungi (Nugroho, 2013). Secara umum, struktur dari

algoritma ABC seperti yang dijelaskan sebelumnya, dapat ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Struktur Umum dari Algoritma ABC

(Sumber : (Nugroho, 2013))

Algoritma ABC ini membandingkan proses menemukan solusi terbaik untuk suatu masalah dengan mencari makanan. Setiap tempat yang ditemukan lebah dengan banyak makanan kandidat solusi. Semakin banyak makanan di tempat itu, semakin bagus solusinya. Setiap tempat dengan makanan hanya dijaga oleh satu lebah pekerja. Jadi, jumlah lebah pekerja sama dengan jumlah tempat makanan yang sudah ditemukan. Jika makanan di suatu tempat sudah habis, lebah pengamat akan berubah tugas menjadi pencari makanan baru (Akay and Karaboga, 2012).

Ada 3 tahapan utama pada ABC :

1. Tahapan Pertama

Menghasilkan inisial solusi dari sumber makanan secara acak. Selanjutnya dihitung nilai *fitness* menggunakan persamaan dibawah ini (Amanah and Noviani, 2022):

$$fitness(x_i) = \frac{1}{(1+f(x_i))}, f(x_i) \geq 0 \quad (2.4)$$

Dengan $f(x_i)$ merupakan total jarak ke i . Untuk memperbarui solusi yang ada, setiap *employed bee* memilih posisi calon sumber makanan yang baru, yang berbeda dari posisi sebelumnya, atau dengan kata lain, solusi tersebut diacak kembali.

2. Tahapan Kedua

Pada tahap kedua, setiap lebah pengamat (*onlooker bee*) akan memilih satu dari beberapa sumber makanan yang telah ditemukan oleh lebah pekerja (*employed bee*). Pilihan ini didasarkan pada perhitungan probabilitas yang menggunakan persamaan berikut:

$$P_{ij} = \frac{F(\theta_i)}{\sum_{k=1}^S F(\theta_k)} \quad (2.5)$$

Dimana:

P_{ij} : Kemungkinan memilih *employed bee* ke-i

$F(\theta_i)$: *Fitness* value dari *employed bee* ke-i

S : jumlah *employed bee*

θ_i : posisi dari *employed bee*

3. Tahapan Ketiga

Setelah proses pemilihan sumber makanan oleh lebah pengamat, lebah tersebut akan mengeksplorasi area sekitar sumber makanan yang dipilihnya untuk mencari sumber makanan yang baru. Dalam algoritma ABC, terdapat batasan jumlah siklus tanpa perbaikan pada suatu sumber makanan. Jika batasan ini terlampaui, sumber makanan tersebut dianggap tidak menjanjikan dan akan ditinggalkan. Lebah pekerja yang sebelumnya bertanggung jawab atas sumber makanan tersebut akan beralih menjadi lebah pencari untuk menemukan sumber makanan baru.

2.6. Bahasa Pemrograman Java

Java adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang bersifat *multiplatform*, artinya dapat dijalankan di berbagai sistem. Bahasa pemrograman ini dikenal dengan kesederhanaannya, bersifat arsitektur netral, berorientasi objek, memiliki performa tinggi, mendukung *multithreading*, serta kuat, dinamis, dan aman. *Java* memiliki keunggulan dalam portabilitas, memungkinkan program yang ditulis dengannya dapat dijalankan di berbagai *platform*, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, seperti *Microsoft Windows*, *Linux*, *Solaris OS*, dan *Mac OS* (Febriandirza, 2020).

2.7. *Netbeans*

NetBeans adalah salah satu proyek *opensource* yang didukung oleh *Sun Microsystems*. Proyek ini dimulai pada tahun 2000 dan menghasilkan dua produk utama, yaitu *NetBeans IDE* dan *NetBeans Platform*. *NetBeans IDE* berfungsi sebagai alat untuk pengembangan perangkat lunak, mencakup aktivitas seperti menulis kode, melakukan kompilasi, mendeteksi kesalahan, hingga mendistribusikan aplikasi. Sementara itu, *NetBeans Platform* merupakan kumpulan modul yang menyediakan kerangka dasar untuk membangun aplikasi desktop berskala besar (Basri, 2020).

2.8. Penelitian Terkait

Dalam penelitian yang akan dilakukan, penulis perlu merujuk pada beberapa penelitian sebelumnya untuk mendapatkan informasi dan inspirasi yang akan dikembangkan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, penulis telah mengumpulkan sejumlah referensi dari penelitian terdahulu yang relevan dengan masalah yang diangkat.

1. (Ochelska-mierzejewska and Poniszewska-maran, 2021) dalam penelitiannya yang berjudul “***Selected Genetic Algorithms for Vehicle Routing Problem Solving***” menyatakan bahwa *Traveling Salesman Problem* (TSP) terdiri dari pencarian jalur terpendek antar kota, yang melewati semua kota dan kembali ke titik awal, dengan jarak antar kota yang diketahui. *Vehicle Routing Problems* (VRP) adalah masalah dalam mendefinisikan asumsi dan batasan dalam memetakan rute untuk kendaraan yang melakukan aktivitas operasional tertentu. Ini adalah masalah utama dalam transportasi logistik. Di area bisnis tertentu, di mana transportasi dapat dianggap sebagai nilai tambah bagi produk, diperkirakan bahwa pengoptimalannya dapat menurunkan biaya hingga 25% secara total. Manfaat ekonomi untuk pasar yang lebih terbuka merupakan poin penting bagi VRP. Makalah ini membahas penggunaan metaheuristik untuk memecahkan masalah rute kendaraan dengan perhatian khusus terhadap *Genetic Algorithm* (GA). Algoritma metaheuristik dipilih untuk memecahkan masalah rute kendaraan, di mana GA diimplementasikan

sebagai algoritma metaheuristik utama kami. GA termasuk dalam keluarga algoritma evolusioner (EA), yang bekerja pada mekanisme "*survival of the fittest*". Makalah ini menyajikan gagasan untuk menerapkan berbagai operator genetika, yang dimodifikasi untuk penggunaan dengan VRP, dan melakukan eksperimen untuk menentukan kombinasi terbaik dari operator genetika untuk memecahkan VRP dan untuk menemukan solusi optimal untuk contoh VRP dalam kehidupan nyata berskala besar.

2. (Poikonen and Golden, 2020) dalam penelitiannya yang berjudul "***Multi-Visit Drone Routing Problem***" mengatakan bahwa *Multi Visit Drone Routing Problem* (MVDRP) adalah permasalahan yang kompleks melibatkan kerja sama antara sebuah truk dan sejumlah k *drone*. Ketika hanya ada satu *drone* ($k=1$), masalah ini disebut Masalah Perutean *Drone* Multi-Kunjungan. Dalam skenario ini, setiap *drone* dapat diluncurkan dari truk dengan membawa satu atau lebih paket yang ditujukan untuk pelanggan. Setelah mengirimkan paket, *drone* dapat kembali ke truk untuk bertukar atau mengisi ulang baterai, mengambil paket baru, lalu kembali lagi ke lokasi pelanggan lainnya. Keunikan model ini adalah kemampuannya untuk tidak hanya mengangkut beberapa paket yang berbeda jenis (heterogen), tetapi juga memperhitungkan pengaruh berat setiap paket terhadap daya baterai *drone*. Selain itu, model ini juga memisahkan lokasi peluncuran *drone* (biasanya di truk) dengan lokasi pelanggan, memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam perencanaan rute. Solusi yang ditawarkan dalam makalah ini adalah sebuah heuristik yang fleksibel. Artinya, solusi ini dapat disesuaikan dengan berbagai kondisi dan kendala yang mungkin muncul di lapangan. Untuk menguji kinerja solusi ini, para peneliti telah melakukan eksperimen komputasi dan analisis sensitivitas menggunakan parameter fisik *drone* yang sesuai dengan penelitian sebelumnya.
3. (Andriansyah, Hamka Ash Shiddieqy and Prima Denny Sentia, 2019) dalam penelitiannya yang berjudul "***Algoritma Artificial Bee Colony untuk Multi***

Depot Vehicle Routing Problem” mengatakan bahwasanya perencanaan logistik untuk tanggap bencana merupakan hal yang sangat penting dilakukan agar menjamin kebutuhan para korban bencana. Penelitian ini mengkaji salah satu permasalahan logistik pasca bencana yaitu *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan fungsi tujuan meminimumkan waktu pengiriman kebutuhan korban. Berdasarkan survey yang telah dilakukan, VRP yang dikaji dalam penelitian ini adalah *Multi Depot Vehicle Routing Problem* (MDVRP). Algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) digunakan untuk pemecahan permasalahan. Algoritma ABC merupakan salah satu metode metaheuristik dimana pencarian solusi berdasarkan perilaku lebah. Hasil yang diperoleh menggunakan algoritma ABC adalah 6 kendaraan yang ditugaskan dari 3 gudang dimana setiap gudang menggunakan 2 kendaraan dengan total waktu tempuh 222 menit.

4. (Alzaqebah *et al.*, 2018) dalam penelitiannya yang berjudul ***“Bees Algorithm for Vehicle Routing Problems with Time Windows”*** menyatakan bahwa makalah ini menyajikan algoritma lebah untuk masalah *Vehicle Routing Problems with Time Windows* (VRPTW). VRPTW bertujuan untuk menentukan rute optimal bagi sejumlah kendaraan dalam melayani sekumpulan pelanggan dalam interval waktu yang telah ditentukan (jendela waktu). Tujuan dari VRPTW adalah meminimalkan biaya transportasi secara keseluruhan. Berbagai pendekatan heuristik dan metaheuristik telah dikembangkan dalam literatur untuk menghasilkan solusi berkualitas tinggi untuk masalah ini karena tingkat kerumitannya yang tinggi dan penerapannya yang luas dalam kehidupan nyata. Penelitian ini menyelidiki penggunaan algoritma lebah (BA) untuk VRPTW serta mengidentifikasi kekuatan dan kelemahannya.
5. (Taufik *et al.*, 2022) dalam penelitiannya yang berjudul ***“Aplikasi Drone Untuk Pengantaran Barang Dengan Kontrol Otomatis”*** menyatakan bahwa tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat mekanisme *drone* untuk mengantarkan barang ke pemesan (*user*) dan membuat sebuah

aplikasi berbasis android agar *drone* dapat mengantarkan barang ke lokasi pemesan (*user*) dengan kontrol otomatis. Tahapan umum dari penelitian ini adalah pembuatan dan perakitan mekanisme *drone* pengantar barang dengan kendali manual dan otomatis, pembuatan aplikasi berbasis android agar *drone* dapat melakukan pengantaran barang secara otomatis, pengujian sistem *drone* dan pengambilan data eksperimen, pengolahan data hasil eksperimen, penulisan laporan dan artikel ilmiah untuk publikasi hasil penelitian. Pembuatan *drone* dengan mekanisme pengantaran barang telah dilakukan. *Drone* tersebut dapat terbang stabil baik dengan kontrol manual maupun otomatis. *Drone* tersebut dapat terbang mengikuti *waypoint* yang ditentukan dan menurunkan barang pada titik koordinat yang telah ditentukan. Pembuatan aplikasi pemesanan barang berbasis android juga telah dilakukan. Sistem *drone* dapat melakukan pengantaran barang secara otomatis ke lokasi *user* yang memesan barang.

6. (Amanah and Noviani, 2022) dalam penelitiannya yang berjudul “**Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) Dalam Menyelesaikan Traveling Salesman Problem (TSP)**” mengatakan bahwa penelitian ini ingin mencari jalan terpendek untuk seorang penjual koran yang harus mengunjungi semua pelanggannya di Kota Singkawang dan kembali ke tempat awalnya (Biro Pontianak Post). Masalah ini mirip dengan mencari rute terpendek untuk seorang salesman yang harus mengunjungi semua kota. Masalah ini bisa digambarkan sebagai sebuah peta. Setiap rumah pelanggan adalah sebuah titik, dan jalan yang menghubungkan rumah-rumah itu adalah garis. Angka pada setiap garis menunjukkan jarak antara dua rumah. Tujuannya adalah menemukan jalan terpendek yang melewati semua rumah pelanggan hanya sekali dan kembali ke titik awal. Jika ada banyak rumah pelanggan, maka ada sangat banyak kemungkinan jalan yang bisa dipilih. Jumlah kemungkinan jalan ini sangat besar, sehingga sulit untuk mencoba semua kemungkinan jalan satu per satu. Penelitian ini menggunakan metode yang terinspirasi dari lebah mencari makanan untuk menemukan jalan terpendek. Metode ini disebut Algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC). Penelitian ini

menerapkan algoritma ABC pada masalah mencari jalan terpendek untuk penjual koran di Kota Singkawang. Ada 19 rumah pelanggan yang harus dikunjungi, ditambah dengan Biro Pontianak Post sebagai titik awal. Algoritma ini dijalankan dengan beberapa pengaturan, seperti jumlah lebah (30 ekor) dan jumlah percobaan maksimum (2000 kali). Setelah dijalankan, algoritma ABC berhasil menemukan jalan terpendek dengan total jarak 23,63 kilometer.

7. (Santosa and Ramayasa, 2022) dalam penelitiannya yang berjudul **“Implementasi Metode *Artificial Bee Colony* Untuk Penentuan Rute Distribusi Jamur Berbasis Sistem Informasi Geografis”** mengatakan bahwa saat ini, pengiriman jamur ke berbagai tempat seringkali memakan waktu dan biaya yang cukup besar. Hal ini terjadi karena banyaknya permintaan jamur dari berbagai lokasi yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan cara terbaik dalam menentukan rute pengiriman jamur agar lebih cepat dan hemat biaya. Para peneliti membuat sebuah sistem komputer yang dapat membantu menentukan rute pengiriman terbaik. Sistem ini menggunakan metode yang terinspirasi dari perilaku lebah dalam mencari makanan, yang disebut Algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC). Setelah diuji, sistem ini terbukti dapat bekerja dengan baik dalam menentukan rute pengiriman jamur yang efisien.
8. (Moadab, Farajzadeh and Valilai, 2022) dalam penelitiannya yang berjudul **“*Drone Routing Problem model for last-mile delivery using the public transportation capacity as moving charging stations*”** mengatakan bahwa pengiriman barang *online* yang cepat dan hemat biaya merupakan tantangan logistik yang besar. Banyak perusahaan mencari cara untuk memangkas waktu dan biaya pengiriman dengan mengeksplorasi peluang untuk memanfaatkan teknologi *drone*. Penggunaan *drone* sebagai teknologi yang menjanjikan lebih efisien dari perspektif lingkungan dan ekonomi dalam pengiriman jarak terakhir. Makalah ini membahas sistem pengiriman jarak terakhir di mana sejumlah *drone* dioperasikan dalam koordinasi dengan

sistem transportasi umum untuk mengirimkan sejumlah pesanan ke lokasi pelanggan. Model matematika berbasis *Vehicle Routing Problem* (VRP) diperluas untuk menyelesaikan masalah ini. Sebuah kasus dunia nyata yang terinspirasi oleh paradigma transportasi Bremen 2025 juga dikembangkan untuk memvalidasi formulasi matematika yang dikembangkan. Hasil menunjukkan bahwa urutan mengunjungi pelanggan dan stasiun transportasi umum sangat berdampak pada sisa daya dan efisiensi perencanaan tur *drone*. Selain itu, dengan menggunakan kendaraan transportasi umum yang memungkinkan *drone* mengisi daya baterai atau mendekati pelanggan dapat mengurangi jumlah *drone* yang diperlukan untuk memenuhi permintaan di suatu area layanan. Hasil menunjukkan bahwa ada potensi besar untuk menghemat energi untuk pengiriman jarak terakhir yang menggunakan *drone* dengan menggunakan jaringan transportasi umum.

9. (Imran *et al.*, 2021) dalam penelitiannya yang berjudul “*Uavs Path Planning Architecture For Effective Medical Emergency Response In Future Networks*” menyatakan bahwa dengan kemajuan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk digunakan di berbagai lingkungan, teknologi ini dapat dengan mudah menggantikan transportasi tradisional jika terjadi keadaan darurat. Dalam domain medis, UAV dapat memainkan peran penting dalam pengiriman pertolongan pertama dan pasokan medis yang cepat dan efisien. Dalam studi saat ini, navigasi UAV yang aman dan lancar dari posisi awal ke lokasi darurat medis dicapai dengan perencanaan jalur yang optimal melalui algoritma yang diusulkan. Atas pemberitahuan pasien tentang kondisi kesehatannya menggunakan pita GSM, *drone* dokter dikirim dari fasilitas rumah sakit terdekat. Untuk menghindari kemacetan lalu lintas, *drone* dokter memberikan bantuan medis dengan waktu komputasi dan biaya transportasi minimum. Perutean kendaraan dilakukan melalui algoritma yang diusulkan yaitu, *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Genetic Algorithm* (GA). Perbandingan antara

algoritma dilakukan pada kapasitas dan jumlah kendaraan yang berbeda. CVRP terbukti mengungguli algoritma lain dengan waktu proses 0,06 detik dan biaya 419 pada kapasitas kendaraan 10, yang berarti 50% lebih murah jika jumlah kendaraannya sama tetapi kapasitasnya ditingkatkan menjadi 20. Hasilnya menunjukkan bahwa metode perencanaan jalur yang efektif dapat diterapkan untuk menyediakan bantuan medis secara *real-time* dengan efektif.

10. (Eren and Dergisi, 2024) dalam penelitiannya yang berjudul “*An Innovative Approach for Mission Sharing and Route Planning of Swarm Unmanned Aerial Vehicles in Disaster Management*” menyatakan bahwa Respon yang cepat dan efektif dalam situasi bencana sangat penting untuk keberhasilan operasi penyelamatan. Dalam konteks ini, *swarm Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) memainkan peran penting dalam respons bencana dengan memindai area yang luas secara cepat dan melakukan penilaian situasi. Dalam penelitian ini, kami mengusulkan metode inovatif untuk alokasi tugas dan perencanaan rute untuk *swarm* UAV. Dengan menggabungkan teknik *Genetic Algorithm* (GA) dan *Ant Colony Optimization* (ACO), metode ini bertujuan untuk memastikan perutean UAV yang paling efisien. Pertama, kluster dibuat menggunakan GA untuk menentukan wilayah area bencana yang perlu dipindai. Pada tahap ini, faktor-faktor seperti kapasitas UAV, waktu terbangnya, dan luas area misinya diperhitungkan. Setiap UAV dioptimalkan untuk memindai area tertentu yang ditugaskan padanya. Setelah kluster terbentuk, rute UAV dalam setiap kluster ditentukan oleh *Ant Colony Algorithm* (ACA). Perencanaan rute diuji baik di *Google Maps* maupun di lingkungan simulasi Gazebo. *Google Maps* digunakan untuk mengevaluasi keakuratan dan kelayakan perencanaan rute berdasarkan kondisi dunia nyata, sementara lingkungan simulasi menyediakan peluang untuk menguji perilaku UAV dan efektivitas rute dalam lingkungan virtual. Dengan integrasi data waktu nyata, perencanaan rute UAV dapat diperbarui secara instan dan cepat disesuaikan dengan situasi darurat.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian Algoritma *Artificial Bee Colony* (ABC) dalam menyelesaikan *Drone Routing Problem* (DRP), dapat disimpulkan bahwa algoritma ini mampu menghasilkan rute optimal secara konsisten pada berbagai skenario jumlah titik dan variasi parameter. Pada eksperimen dengan 6, 10, dan 15 titik, ABC menunjukkan performa yang baik dalam menemukan rute dengan total jarak terpendek, menandakan kemampuannya dalam menyelesaikan permasalahan penentuan rute *drone* secara efektif, khususnya pada skala kecil hingga menengah. Selain itu, stabilitas solusi yang dihasilkan menegaskan ketahanan algoritma terhadap perubahan parameter.

Hal ini terlihat dari berbagai kombinasi jumlah populasi, iterasi, dan limit yang menghasilkan jarak tempuh yang relatif sama, seperti jarak 141.44 meter yang berulang muncul pada beberapa pengujian, menunjukkan bahwa algoritma ini andal dan tidak terlalu sensitif terhadap variasi parameter. Di samping itu, waktu komputasi yang rendah, bahkan pada pengujian dengan jumlah iterasi tinggi, tetap berada dalam kisaran 0 hingga 0.28 detik. Efisiensi ini menjadikan ABC cocok untuk digunakan dalam aplikasi real-time atau sistem yang memerlukan waktu respons cepat. Namun demikian, pada skenario dengan 100 titik, algoritma menunjukkan penurunan kualitas solusi yang cukup besar jika parameter yang digunakan tidak optimal. Tidak ditemukan solusi yang bersifat trivial, sebab seluruh solusi tetap mempertimbangkan batas maksimum jarak tempuh berdasarkan kapasitas baterai yang telah ditentukan. Oleh karena itu, eksplorasi solusi pada skala besar masih perlu ditingkatkan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dalam penerapan algoritma *Artificial Bee Colony (ABC)* pada *Drone Routing Problem*. Pertama, untuk mengatasi keterbatasan algoritma ABC dalam menangani permasalahan berskala besar seperti dengan 100 titik, disarankan untuk meningkatkan kemampuan eksplorasi algoritma melalui modifikasi atau penggabungan dengan algoritma lain, seperti *Particle Swarm Optimization (PSO)* atau *Genetic Algorithm (GA)*. Penggabungan ini diharapkan dapat memperluas cakupan eksplorasi dan eksploitasi ruang solusi, sehingga solusi yang diperoleh menjadi lebih optimal. Kedua, perlu dilakukan optimasi parameter algoritma, seperti ukuran populasi, jumlah iterasi, dan batas limit, agar selaras dengan tingkat kompleksitas permasalahan. Metode *tuning* parameter secara sistematis atau penggunaan algoritma adaptif dapat menjadi pendekatan yang efektif untuk mencapai parameter terbaik. Terakhir, algoritma ABC juga memiliki potensi besar untuk diterapkan pada permasalahan optimasi lainnya, seperti penjadwalan, manajemen inventaris, atau optimasi jaringan. Oleh karena itu, eksplorasi terhadap penerapan ABC dalam berbagai domain aplikasi dapat menjadi arah penelitian yang menarik dan bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- Akay, B. and Karaboga, D. (2012) ‘A modified *Artificial Bee Colony* algorithm for real-parameter optimization’, *Information Sciences*, 192, pp. 120–142. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.07.015>.
- Akhand, M.A.H. (2020) ‘Discrete Spider Monkey Optimization for Traveling Salesman Problem’. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105887>.
- Amalia, N.T., Novianti, F. and Yasmin, Y.R.A. (2024) ‘Minimum Spanning Tree Rute Shopping Mall Di Surabaya Menggunakan Algoritma Prim’, *Jurnal Derivat: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, 11(1), pp. 10–18. Available at: <https://doi.org/10.31316/jderivat.v11i1.4955>.
- Amanah, S.N. and Noviani, E. (2022) ‘Algoritma *Artificial Bee Colony* (Abc) Dalam Menyelesaikan Traveling Salesman Problem (Tsp) Studi Kasus : Data Pelanggan Agen Surat Kabar Di Kota Singkawang’, *Buletin Ilmiah Math, Stat, dan Terapannya (Bimaster)*, 11(4), pp. 611–620.
- Basri, H. (2020) ‘Pembuatan Aplikasi Penjualan Buku Berbasis Java Desktop dengan Netbeans (Creating a Java Desktop based Book Sales Application with Netbeans)’, *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro UML*, 1(1).
- Brigitta Maharani Mutiara Prabowo, A., Sulisty Kusumo, D. and Selviandro, N. (2023) ‘Pengimplementasian Unit Testing, Integration Testing, dan Usability Testing pada Aplikasi Cafeasy Berbasis Website (Studi Kasus Kafe di Daerah Bandung)’, *Telkom University Open Library*, 11(4), pp. 5160–5168. Available at: https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/200273/jurnal_epr oc/pengimplementasian-unit-testing-integration-testing-dan-usability-testing-pada-aplikasi-cafeasy-berbasis-website-studi-kasus-kafe-di-daerah-

bandung-.pdf.

- Danadyaksa, R.A. (2025) ‘Aplikasi Travelling Salesperson Problem dalam Optimasi Jalur Distribusi Bahan Pokok Beras " yoa " di Kota Bandung’, pp. 1–6.
- Febriandirza, A. (2020) ‘Perancangan Aplikasi Absensi Online Dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman Kotlin’, *Pseudocode*, 7(2), pp. 123–133. Available at: <https://doi.org/10.33369/pseudocode.7.2.123-133>.
- Jenie, Y.I. *et al.* (2022) ‘Studi Prospektif Penggunaan Drone Kargo di Daerah Terdepan, Terpencil dan Tertinggal (3T) dan Terdampak Bencana’, 9066.
- Khan, M.E. (2011) ‘Different approaches to white box testing technique for finding errors’, *International Journal of Software Engineering and its Applications*, 5(3), pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.5121/ijsea.2011.2404>.
- Kusmira, M. and Taufiqurrochman (2017) ‘Pemanfaatan Aplikasi Graf Pada Pembuatan Jalur Angkot 05 Tasikmalaya’, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, (11), pp. 1–6.
- Liang, Y.J. and Luo, Z.X. (2022) ‘A Survey of Truck–Drone Routing Problem: Literature Review and Research Prospects’, *Journal of the Operations Research Society of China*, 10(2), pp. 343–377. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40305-021-00383-4>.
- Munte, R.S., Jailani, M.S. and Siregar, I. (2024) ‘Analisis Dokumenter Praktisi Pendidikan Islam : Pendekatan Eksperimen dan Noneksperimen (Design Klausal Komparatif dan Design Korelasional)’, 8, pp. 4370–4375.
- Nugraha, W. *et al.* (2021) ‘Analisa Model Pohon Dan Graf Pada Game Perfect World’, 5(1).
- Nugroho, A.B., Purwitasari, D. and Fatichah, C. (2016) ‘Implementasi *Artificial Bee Colony* untuk Pemilihan Titik Pusat pada Algoritma K-Means’, *Jurnal*

Teknik ITS, 5(2). Available at:
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.19645>.

Nugroho, R.F. (2013) ‘Penerapan Algoritma *Artificial Bee Colony* dalam Aplikasi Penjadwalan Pelajaran untuk Sekolah Menengah Pertama’, *Jurnal Informatika*, 9(1), pp. 1–17.

Nurdiana, D. (2015) ‘Terpendek Dengan Mempertimbangkan Heuristik’, *Jurnal Pendidikan Matematika*, 4, pp. 66–74.

Nurfahmi Andriansyah, Annurdillah Rovika Dewi, E. (2024) ‘Rancangan Sistem Pengiriman Otomatis Tanpa Awak untuk Pengoptimalan Pengiriman dengan Pengambilan Keputusan Rute Berbasis A.I.’, 01(1), pp. 38–42.

Raheem, S.F. (2021) ‘Dynamic *Artificial Bee Colony* Algorithm with Hybrid Initialization Method *Artificial Bee Colony* algorithm (ABC)’, 45, pp. 103–114.

Rifpanna, A. (2017) ‘Kajian Teori UNJ’, 12(1), pp. 13–36. Available at:
[http://digilib.uinsby.ac.id/1534/5/Bab 2.pdf](http://digilib.uinsby.ac.id/1534/5/Bab%202.pdf).

Santosa, I.M.A. and Ramayasa, I.P. (2022) ‘Implementasi Metode *Artificial Bee Colony* Untuk Informasi Geografis’, *Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Manajemen Sistem Informasi*, 8(2), pp. 161–168.

Sayoga, V.D. and Herdiansyah, R. (2024) ‘Implementasi Algoritma Bee Colony Optimization Dalam Mencari Langkah Solusi Tercepat Pada Puzzle Rubik ’ s Cube’, 2(2), pp. 380–385.

Septima, R. and Ulfa, I. (2021) ‘Pengefisiensian Penyaluran Barang dan Rute Pengiriman Ekspedisi JNE dengan Aplikasi Graf’, 5, pp. 99–109.

Simanjuntak, M.S.M. (2019) ‘Studi Pemanfaatan Drone sebagai Alternatif Moda Transportasi Logistik di Indonesia’, in *TECHNOLOGY > Engineering (General). Civil engineering (General) > Transportation engineering*.

TECHNOLOGY > Engineering (General). Civil engineering (General) > Transportation engineering, p. 26.

Soenandi, I.A., Marpaung, B. and Ginting, M. (2014) 'Optimasi Vehicle *Routing Problem* (Vrp) Dengan Pendekatan Metaheuristik(Studi Kasus Distribusi Bahan Baku Makanan) Iwan A. Soenandi, Budi Marpaung, Meriastuti Ginting'.

Suhartono, A. (2023) 'Optimasi Waypoint Dan Lintasan Terbaik Pada Pertunjukan Dancing Drone Menggunakan Ant Colony Optimization', *AT-TAWASSUTH: Jurnal Ekonomi Islam*, VIII(I), pp. 1–19.

Vichitkunakorn, P. *et al.* (2024) 'Locating charging stations and routing drones for efficient automated stocktaking', *European Journal of Operational Research*, 316(3), pp. 1129–1145. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.03.002>.

Yilmaz, V. *et al.* (2020) 'Optimization Of Water Distribution Networks Using *Artificial Bee Colony* Algorithm', 9(1), pp. 377–392. Available at: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.568917>.

Yuliandaru, A.R. (2016) 'Implementasi Graf dalam Analisis dan Prediksi Pertandingan Sepak Bola', (13514091).

Zikra, A.A., Kuntara, M.R. and Hutabarat, S.H. (2025) 'Perancangan Sistem Informasi Berbasis Web untuk Pengelolaan Permohonan Data pada instansi Pemerintah Design of a Web-Based Information System for Managing Data Requests in Government Agencies', 8(1), pp. 819–828. Available at: <https://doi.org/10.56338/jks.v8i1.6963>.