

**SKRIPSI**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIKA  
UNTUK MENYELESAIKAN *DRONE ROUTING PROBLEM***

***IMPLEMENTATION GENETIC ALGORITHM  
TO SOLVE DRONE ROUTING PROBLEM***

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Komputer



**MERRY WULANDARI. S  
D0221402**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT  
MAJENE  
2025**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIKA UNTUK  
MENYELESAIKAN *DRONE ROUTING PROBLEM***

Telah dipersiapkan dan disusun oleh

**MERRY WULANDARI. S**  
**D0221402**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada tanggal 15 Mei 2025

Susunan Tim Penguji

Pembimbing I



**Ir. Sugiarto Cokrowibowo, S.Si., M.T**  
NIP. 198605242015041004

Pembimbing II



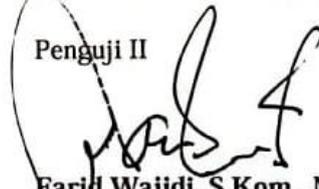
**A. Amirul Asnan Cirua, S.T., M.Kom**  
NIP. 199804022024061001

Penguji I



**Dr. Eng. Sulfayanti, S.Si., M.T**  
NIP. 198903172020122011

Penguji II



**Farid Wajidi, S.Kom., M.T**  
NIP. 198904182019031018

Penguji III



**Nurhikmah Arifin, S.Kom., M.T**  
NIP. 199304252022032011

**LEMBAR PENGESAHAN**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIKA  
UNTUK MENYELESAIKAN *DRONE ROUTING PROBLEM***

**SKRIPSI**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun oleh:

**MERRY WULANDARI.S  
NIM. D0221402**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



**Ir. Sugiarto Cokrowibowo, S.Si., M.T**  
**NIP. 198605242015041004**

Pembimbing II



**A. Amirul Asnan Cirua, S.T., M.Kom**  
**NIP. 199804022024061001**

Dekan Fakultas Teknik,  
Universitas Sulawesi Barat



**Prof. Dr.Ir. Hafsa Nirwana., M.T**  
**NIP. 196404051990032002**

Ketua Program Studi  
Informatika



**Muh. Rafli Rasvid, S.Kom., M.T**  
**NIP. 198808182022031006**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untu memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar referensi.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsurunsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang tela saya peroleh (sarjana) dibatalkan, serta proses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Majene, 18 Mei 2025



MERRY WULANDARI. S  
NIM: D0221402

## ABSTRAK

**Merry Wulandari.S** Usulan Algoritma Genetika untuk menyelesaikan *Drone Routing Problem*. (dibimbing oleh **Ir. Sugiarto Cokrowibowo, S.Si., M.T.** dan **A.Amirul Asnan Cirua, S.T., Kom.**).

*Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau *drone* dapat digunakan dalam berbagai keperluan seperti pemetaan, pengumpulan data, bantuan kemanusiaan, dan pengiriman paket. Namun, keterbatasan daya baterai menjadi tantangan utama, sehingga diperlukan optimasi rute untuk meminimalkan jarak tempuh. Penelitian ini mengimplementasikan algoritma genetika sebagai metode *metaheuristik* untuk menyelesaikan *Drone Routing Problem* (DRP). Data yang digunakan berupa koordinat geografis di sekitar Universitas Sulawesi Barat hingga Kabupaten Majene. Jarak antar titik dihitung menggunakan rumus Euclidean 2D. Pengujian dilakukan pada skenario titik 20, 40, 60, 80, dan 100 dengan variasi parameter seperti ukuran populasi, jumlah generasi, jumlah individu terseleksi, dan laju mutasi. Pada skenario 20 titik dengan ukuran populasi 30, algoritma genetika berhasil menemukan solusi terbaik dengan panjang rute 10 dan nilai fitness 0,4762. Solusi ini bertahan secara konsisten dari generasi ke-20 hingga ke-30, menunjukkan kemampuan algoritma genetika dalam menyimpan dan mempertahankan individu terbaik untuk generasi selanjutnya. Kinerja optimal ditunjukkan pada skenario 40 titik karena seluruh solusi yang dihasilkan memiliki status valid. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa algoritma genetika mampu menghasilkan rute optimal dengan waktu komputasi antara 0.005239 detik pada iterasi 100, hingga mencapai 0.037627 detik pada iterasi 500.

**Kata kunci:** Algoritma Genetika, *Drone Routing Problem*, *Metaheuristik*, Optimasi Rute, Algoritma Kecerdasan Buatan.

## ***ABSTRACT***

**Merry Wulandari.S** *Proposal of Genetic Algorithm to solve Drone Routing Problem. (supervised by Ir. Sugiarto Cokrowibowo, S.Si., M.T. and A.Amirul Asnan Cirua, S.T., Kom.).*

*Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), or drones, can be used for various purposes such as mapping, data collection, humanitarian aid, and package delivery. However, limited battery capacity poses a major challenge, making route optimization essential to minimize travel distance. This study implements a genetic algorithm as a metaheuristic method to solve the Drone Routing Problem (DRP). The data used consists of geographic coordinates covering the area from Universitas Sulawesi Barat to Majene Regency. Distances between points are calculated using the 2D Euclidean formula. Testing was conducted on scenarios with 20, 40, 60, 80, and 100 points, with variations in parameters such as population size, number of generations, number of selected individuals, and mutation rate. In the 20-point scenario with a population size of 30, the genetic algorithm successfully found the best solution with a route length of 10 and a fitness value of 0.4762. This solution remained consistent from generation 20 to 30, demonstrating the algorithm's ability to retain and preserve the best individuals for the next generations. Optimal performance was observed in the 40-point scenario, where all generated solutions were valid. Experimental results show that the genetic algorithm is capable of producing optimal routes with computation times ranging from 0.005239 seconds at 100 iterations to 0.037627 seconds at 500 iterations.*

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

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Ummanned Aerial Vehicles* (UAV) adalah kendaraan udara tak berawak yang biasa dikenal sebagai pesawat tak berawak, telah muncul sebagai teknologi yang sangat inovatif dengan potensi yang sangat besar dalam berbagai industri. UAV menawarkan keuntungan yang signifikan dalam hal kecepatan, keamanan, fleksibilitas, dan efektivitas biaya dibandingkan dengan transportasi darat (Stodola & Kutej, 2024). UAV dapat disebut dengan berbagai istilah seperti *drone* (Elmeseiry et al., 2021). *Drone* atau kendaraan udara tak berawak, merupakan pesawat tanpa awak di dalamnya, *drone* dapat dikendalikan secara langsung oleh operator dari jarak jauh atau beroperasi secara otomatis melalui perangkat lunak yang telah diprogram sebelumnya. *Drone* dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pemetaan, pengumpulan data, penyediaan bantuan kemanusiaan dan pengiriman paket. Popularitas *drone* terutama disebabkan oleh pengurangan biaya tenaga kerja dan risiko keamanan karena tidak adanya pilot manusia dan kecepatan berkendara kecepatan tanpa mempedulikan lalu lintas. Karena *drone* tidak terlalu dibatasi oleh jaringan jalan dan mampu terbang dengan kecepatan lebih dari pada kendaraan yang ada di darat (Liang & Luo, 2022).

Perencanaan jalur (*path planning*) adalah penentuan jalur terpendek antara titik awal dan titik akhir yang harus diikuti *drone* merupakan solusi optimum global UAV dengan syarat mempertimbangkan efisiensi dan penggunaan energi. untuk mengunjungi setiap titik yang ditentukan di area tertentu. Ini menjadi salah satu masalah terpenting untuk UAV, adanya algoritma perencanaan rute optimal untuk meminimalkan penerbangan, dan memperpanjang durasi pakai baterai (Aydın et al., 2024) dan (Hooshyar & Huang, 2022) karena UAV memiliki daya baterai yang terbatas, waktu terbangnya sering dibatasi oleh kapasitas baterai (Shivgan & Dong, 2020)

Masalah *drone* yang dibatasi oleh kapasitas baterai dapat dilakukan dengan mencari jalur optimal yang akan dilalui *drone*, konsumsi energi *drone* biasanya diasumsikan linear terhadap waktu tempuh/jarak (Liang & Luo, 2022). Pendekatan ini melibatkan penggunaan algoritma *metaheuristic* untuk menentukan urutan kunjungan ke titik-titik yang ditentukan. Algoritma *metaheuristic* bekerja pada tingkat abstraksi yang lebih tinggi dan tidak rentang terhadap masalah, karena algoritma ini mencari ruang solusi pada tingkat yang lebih besar. Salah satu algoritma *metaheuristic* yaitu algoritma genetika digunakan pada penelitian ini menjadi solusi dari permasalahan yang ada pada *drone*. Algoritma Genetika adalah sekelompok *metaheuristic* terkenal yang meniru evolusi Darwinian biologis (Ochelska-Mierzejewska et al., 2021).

Algoritma genetika diperkenalkan oleh John Holland pada tahun 1960 sebagai metode untuk menemukan solusi optimal yang bergantung pada operator yang terinspirasi dari biologi seperti mutasi dan *crossover*. Algoritma Genetika adalah salah satu metode *metaheuristic* yang dimotivasi oleh proses seleksi alam dan termasuk dalam kelas besar algoritma evolusi dalam informatika dan matematika komputasional. Algoritma ini sering digunakan untuk membuat solusi berkualitas tinggi untuk mengoptimalkan dan mencari masalah dengan berfokus pada operator yang terinspirasi oleh biologi seperti seleksi, konvergensi, atau mutasi. John Holland mengembangkan GA berdasarkan teori evolusi Darwin pada tahun 1988. Selanjutnya, pada tahun 1992 John Holland mengembangkan GA termasuk dalam algoritma evolusi. Algoritma genetika digunakan untuk memecahkan masalah yang belum memiliki solusi yang terdefinisi dengan baik. Pendekatan ini digunakan untuk memecahkan masalah optimasi seperti penjadwalan dan jalur terpendek (Alam et al., 2020).

Permasalahan pada kasus optimasi memiliki cakupan skala besar yang salah satunya ditunjukkan pada permasalahan optimasi yang memiliki banyak *variable* sehingga terjadi proses pengerjaan yang rumit. Salah satu metode yang dapat menyelesaikan permasalahan optimasi adalah algoritma genetika. John Holland adalah orang pertama yang menggunakan *crossover*, *rekombinasi*, mutasi, dan

seleksi alam (Azis et al., 2016). Terdapat beberapa penelitian yang telah menerapkan algoritma genetika sebagai pencarian jalur optimal pada UAV seperti yang dilakukan oleh (Jasim & Fourati, 2024) dalam penelitian tersebut menggunakan algoritma genetika sebagai algoritma yang mengoptimalkan rute yang akan dilalui oleh UAV atau *drone* dan membandingkannya dengan metode optimasi lainnya seperti *particle swarm optimisation* (PSO), *ant colony optimisation* (ACO), *Hybrid Spider Monkey Optimazation* (HSMO) *algorithm*, dan *Raccoon Family Optimization* (RFO). Diantara algoritma yang disebutkan, GA mewakili 21% publikasi dan dianggap sebagai salah satu algoritma perencanaan penerbangan yang paling banyak digunakan.

Dengan berbagai pertimbangan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka penelitian ini akan menerapkan Algoritma Genetika untuk menyelesaikan *Drone Routing Problem*. Algoritma genetika yang akan menjadi solusi dalam menemukan jalur optimal yang menghubungkan setiap titik yang harus dilalui *drone*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang sebelumnya, maka diperoleh rumusan masalah: Bagaimana hasil penerapan algoritma genetika dalam menyelesaikan masalah *drone routing problem*?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

Mengetahui hasil implementasi Algoritma Genetika dalam menyelesaikan masalah *drone routing problem*.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dalam bidang informatika, khususnya dalam konteks *drone routing problem* pada bidang *Artificial Intelligence* (AI). 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 berkontribusi untuk membuat *drone* secara otomatis mencari rute yang telah dibuat menggunakan algoritma genetika tanpa harus dikendalikan.

#### 1.5 Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dalam penelitian ini dibatasi pada:

- a. Penerapan Algoritma Genetika untuk menyelesaikan *Droune Routing Problem* dalam menemukan rute optimal.
- b. Mempertimbangkan kapasitas baterai *drone* yang terbatas untuk memastikan *drone* dapat menyelesaikan seluruh rute tanpa kehabisan daya.
- c. Pengambilan data diambil menggunakan *google maps*, dengan mengambil titik *longitude* dan *latitudenya*.
- d. Titik yang diuji dalam penelitian ini yaitu 20, 40, 60, 80, dan 100 titik.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Graf

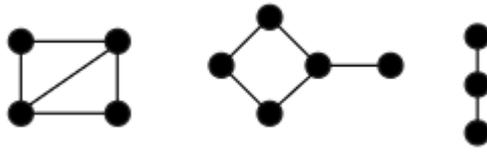
Teori graf merupakan salah satu cabang ilmu matematika yang sangat bermanfaat untuk membantu menyelesaikan suatu permasalahan dalam kehidupan nyata. Merepresentasikan permasalahan ke dalam bentuk graf, akan membuat permasalahan tersebut lebih mudah dimengerti dan lebih mudah mencari solusinya. Graf adalah pasangan himpunan terurut  $(V, E)$ , dan ditulis dengan notasi  $G = (V, E)$ , dengan  $V$  adalah himpunan tidak kosong yang anggotanya disebut titik dan  $E$  adalah himpunan pasangan-pasangan tidak terurut dari anggota  $V$  yang disebut dengan sisi (Haspika et al., 2023).

Representasi visual dari graf adalah dengan menyatakan objek sebagai noktah, bulatan, atau titik, sedangkan hubungan antara objek dinyatakan dengan garis. Secara umum graf dibagi menjadi dua, yakni graf sederhana dan graf tak sederhana. Sedangkan berdasarkan orientasi arahnya graf dibagi menjadi dua yaitu graf berarah dan graf tak berarah (Rafi' Addani et al., 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh (Fadillah, 2023) membahas mengenai graf sederhana, graf tak sederhana, serta graf berdasarkan orientasinya yaitu graf tak berarah dan graf berarah sebagai berikut:

##### a. Graf sederhana

Graf sederhana adalah jenis graf yang tidak memiliki gelang maupun sisi ganda. Artinya, dalam graf ini tidak ada sisi yang menghubungkan suatu simpul ke dirinya sendiri (disebut gelang), dan tidak ada lebih dari satu sisi yang menghubungkan dua simpul yang sama (sisi ganda). Setiap pasangan simpul hanya boleh dihubungkan oleh satu sisi, dan semua sisi harus menghubungkan dua simpul yang berbeda

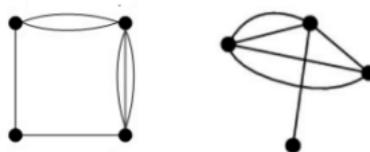


**Gambar 2.1** Graf Sederhana

(Sumber : Fadillah, 2023)

**b. Graf tak sederhana.**

Graf tak sederhana adalah jenis graf yang mengandung salah satu atau kedua dari elemen sisi ganda atau gelang. Sisi ganda terjadi ketika terdapat lebih dari satu sisi yang menghubungkan sepasang simpul yang sama. Dua simpul bisa terhubung oleh dua atau lebih sisi yang sejajar. Sementara itu, gelang adalah sisi yang menghubungkan suatu simpul ke dirinya sendiri. Dalam graf tak sederhana, keberadaan sisi ganda atau gelang diperbolehkan, sehingga strukturnya lebih kompleks dibandingkan graf sederhana. Graf tak sederhana biasanya digunakan untuk merepresentasikan situasi di mana hubungan antar objek bisa terjadi lebih dari sekali atau di mana suatu objek bisa berinteraksi dengan dirinya sendiri.

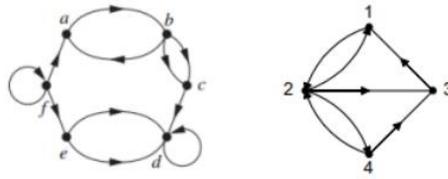


**Gambar 2.2** Graf Tak Sederhana

(Sumber : Fadillah, 2023)

**c. Graf berdasarkan orientasi arah pada sisi sebagai berikut :**

- a. Graf Tak Berarah adalah graf yang sisinya arah disebut graf tak berarah. Graf sederhana dan graf tak sederhana merupakan graf tak berarah.
- b. Graf berarah adalah graf yang setiap sisinya diberikan orientasi arah disebut dengan graf berarah.



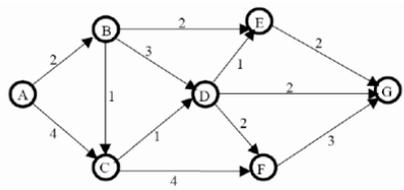
**Gambar 2.3** Graf Berarah

(Sumber : Fadillah, 2023)

Dalam penelitian (Afrianto & Jamilah, 2012) membahas mengenai graf menurut bobotnya, dibagi menjadi empat bagian yaitu :

**d. Graf berarah dan berbobot**

Tiap busur mempunyai anak panah dan bobot.



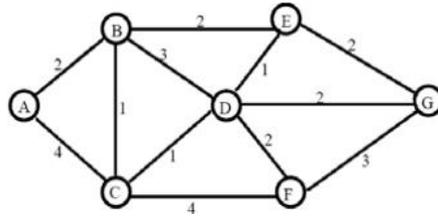
**Gambar 2.4** Graf berarah dan berbobot

(Sumber : Afrianto & Jamilah, 2012 )

Gambar menunjukkan graf berarah dan berbobot yang terdiri dari tujuh titik yaitu titik A, B, C, D, E, F, G. Titik menunjukkan arah ke titik B dan titik C, titik B menunjukkan arah ke titik D dan titik C, dan seterusnya. Bobot antara titik A dan B pun telah diketahui.

**e. Graf tidak berarah dan berbobot**

Graf tidak berarah dan berbobot adalah graf di mana setiap sisi tidak memiliki arah (tidak ada anak panah) dan memiliki nilai atau bobot yang menunjukkan jarak, biaya, atau waktu antara dua simpul. Bobot ini digunakan untuk menghitung jalur terpendek, biaya minimum, dan sebagainya.



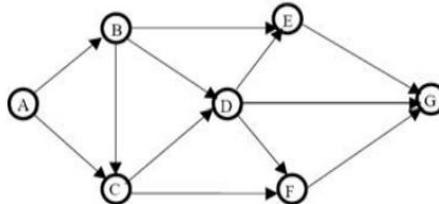
**Gambar 2.5** Graf tidak berarah dan berbobot

(Sumber :Afrianto & Jamilah, 2012 )

Gambar menunjukkan graf tidak berarah dan berbobot. Graf terdiri dari tujuh titik A,B,C,D,E,F,G. titik A tidak menunjukkan arah ke titik B atau C, namun bobot antara titik A dan titik B telah diketahui. Begitu juga dengan titik yang lain.

**f. Graf berarah dan tidak berbobot**

Graf berarah dan tidak berbobot adalah graf di mana setiap sisi memiliki arah (ditunjukkan dengan anak panah), namun tidak memiliki bobot atau nilai. Graf ini hanya menunjukkan arah hubungan antar simpul tanpa memperhatikan jarak atau biaya.

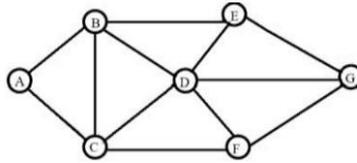


**Gambar 2.6** Graf berarah dan tidak berbobot

(Sumber : Afrianto & Jamilah, 2012)

**g. Graf tidak berarah dan tidak berbobot**

Graf tidak berarah dan tidak berbobot adalah graf di mana setiap sisi tidak memiliki arah (tidak ada anak panah) dan tidak memiliki bobot. Graf ini hanya menunjukkan adanya hubungan timbal balik antar simpul tanpa memperhatikan arah atau nilai hubungan.

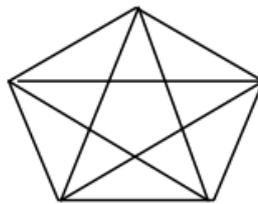


**Gambar 2.7** Graf tidak berarah dan tidak berbobot

(Sumber : Afrianto & Jamilah, 2012)

#### h. Graf lengkap dan graf berbobot

Graf lengkap adalah graf sederhana dimana setiap simpulnya terhubung oleh satu sisi ke semua simpul lainnya (Septima Richasanty & Zulfa Ira, 2021).

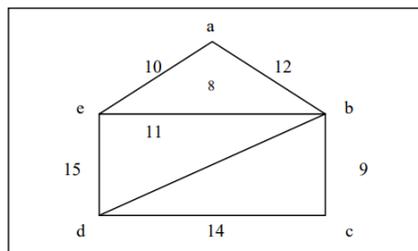


**Gambar 2.8** Graf lengkap

(Sumber : Richasanty & Ira, 2021)

#### i. Graf berbobot

Graf berbobot atau graf berlabel adalah graf di mana setiap sisi memiliki nilai (bobot) tertentu yang mewakili jarak, waktu, biaya, atau parameter lainnya dalam hubungan antar simpul.



**Gambar 2.9** Graf berbobot

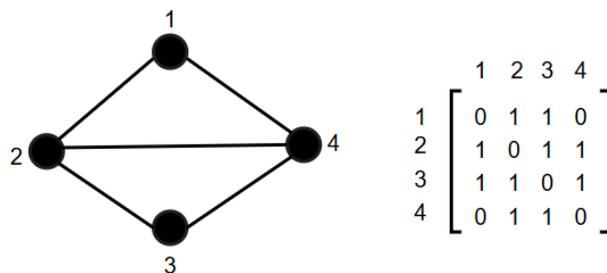
(Sumber :Richasanty & Ira, 2021)

## 2.2 Adjacency matrix

Menurut (Panjaitan et al., 2023) Representasi graf adalah dengan mengekspresikan suatu objek sebagai sebagai titik, lingkaran, atau titik, sedangkan hubungan antara objek dinyatakan dengan garis. Objek yang terkait dengan graf dapat berbentuk baris dan kolom, yang berarti graf tersebut dapat direpresentasikan dalam matriks. *Adjacency matrix* (matriks ketetanggaan) merupakan salah satu representasi graf yang paling umum. *Adjacency matrix* merupakan representasi matriks  $n \times n$  ( $n$  kali  $n$ ) yang menyatakan hubungan antar *node* dalam suatu graf.

Matriks yang memiliki graf konsisten dan sederhana (tanpa lipatan atau gelang) adalah matriks semetris, yaitu matriks yang tranposnya sama dengan diri sendiri, dan matriks semacam itu mempunyai diagonal primer yang semua entrinya bernilai 0.

Graf disajikan dengan menyatakan dalam jumlah garis yang menghubungkan titik. Jumlah baris dan kolom matriks sama dengan jumlah titik dalam graf.



**Gambar 2.10** Graf dengan 4 simpul dan *adjacency matrix*

## 2.3 Rumus Jarak *Euclidean Distance*

*Euclidean distance* adalah metode perhitungan untuk mengukur jarak antara dua titik. Metode ini dapat digunakan untuk menghitung jarak berdasarkan koordinat geografis yang diperoleh dari *Google Maps*. Perhitungan jarak dilakukan dengan menggunakan nilai *latitude* dan *longitude* dari setiap *waypoint* (Utami, 2022). Berikut adalah rumus menghitung jarak:

$$d_{ij} = \sqrt{(lon_i - lon_j)^2 + (lat_i - lat_j)^2} \quad (2.1)$$

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

Rumus (2.1) merupakan bentuk umum dari jarak *euclidean* dalam bidang dua dimensi, yang sering digunakan untuk mengukur jarak lurus antara dua titik dalam ruang kartesian. Untuk itu, digunakan pendekatan jarak *euclidean* yang disesuaikan dengan koordinat geografis, yaitu dengan mengalikan hasil akar kuadrat dari selisih *latitude* dan *longitude* dengan konstanta 69 (mil per derajat) dan dikonversi ke kilometer menggunakan faktor 1.60934 (Suat et al., 2023).

$$d_{ij} = 69 \times \sqrt{(lon_i - lon_j)^2 + (lat_i - lat_j)^2} \times 1.60934 \quad (2.2)$$

Keterangan:

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

$lon_i$  = Titik *longitude* i

$lon_j$  = Titik *longitude* j

$lat_i$  = Titik *latitude* i

$lat_j$  = Titik *latitude* j

69 = konversi derajat ke mil

1.60934 = konversi mil ke meter

## 2.4 *Drone Routing Problem*

Istilah *drone* berasal dari sektor militer, tetapi saat ini memiliki banyak kemungkinan penerapan di bidang sipil dan komersial contohnya termasuk operasi pemadaman kebakaran, bantuan bencana, atau pengiriman paket jarak dekat. Meskipun ada kendala seperti kurangnya regulasi atau masalah teknik seperti kapasitas baterai yang terbatas, proyek percontohan pertama telah mulai dimana *drone* sedang diuji dalam bidang logistik. Masalah rute *drone* bertujuan untuk menghitung rute terpendek (dari asal ke tujuan) untuk *drone* dan menugaskan *drone* untuk tugas yang telah ditentukan sebelumnya (misalnya pengiriman 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).

Pengendalian *drone* secara otomatis bisa dilakukan dengan menggunakan *software* penentu misi/jalur perjalanan sehingga membuat *drone* mampu melaksanakan misi tanpa dikendalikan menggunakan *remote control*. Penentuan sebuah misi perjalanan *drone* dari titik pengantaran sampai ke tujuan pengantaran dapat dilakukan dengan menentukan titik-titik koordinat (*way point*) sebagai jalur *tracking* yang akan dilalui oleh *drone*. Dalam menentukan *way point* dibutuhkan parameter-parameter yang nantinya mendukung pelaksanaan misinya, seperti menggunakan GPS satelit sebagai salah satu parameter penentuan titik koordinat (*way point*) (Taufik et al., 2022).

## 2.5 *Algoritma Genetika*

Algoritma genetika (GA) adalah algoritma pencarian *metaheuristic* adaptif yang diklasifikasikan sebagai algoritma komputasi evolusioner, yang menggunakan teknik yang terinspirasi oleh evolusi alam. GA pertama dikembangkan oleh Holland pada tahun 1975, untuk memecahkan beberapa masalah optimasi, berdasarkan ide-ide genetika biologis dan evolusi (Hassanat et al., 2019a)

Algoritma genetika bersumber dari prinsip seleksi alam dan evolusi biologis. John Holland memperkenalkan algoritma genetika pertama kali dalam karyanya

“*Adaption in natural and artificial system*”. Algoritma genetika memperlihatkan perbedaan dari metode pencarian biasa dengan mulai dengan kondisi awal solusi dalam bentuk yang acak, dan dikatakan sebagai populasi. Adapun setiap individu dalam populasi ini disebut kromosom, digunakan untuk merepresentasikan alternatif dari masalah. Generasi ialah Langkah evolusi berulang bagi kromosom. Beberapa ukuran *fitness* digunakan untuk mengevaluasi kromosom selama tiap generasi. Kromosom *offspring* terbentuk melalui penggabungan dua kromosom dari generasi awal atau melalui operasi mutasi. Beberapa induk (*parents*) dan keturunan (*offspring*) dipilih berdasarkan fitnesnya, sementara kromosom lainnya dihapus yang dilakukan untuk membentuk generasi baru. Kromosom yang paling cocok memiliki kemungkinan terbesar dipilih (Rizky Fatih Syahputra & Yahfizham Yahfizham, 2023).

(Ilham Hidayat Sugeha, 2019) dalam penelitiannya membahas mengenai Ada 3 keuntungan utama dalam mengaplikasikan algoritma genetika pada masalah-masalah optimasi :

- a. Algoritma genetika tidak memerlukan kebutuhan matematis banyak mengenai masalah optimasi
- b. Kemudahan dan kenyamanan pada operator-operator evolusi membuat algoritma genetika sangat efektif dalam melakukan pencarian global
- c. Algoritma genetika menyediakan banyak fleksibilitas untuk menggabungkan dengan metode *heuristic* yang tergantung domain, untuk membuat implementasi yang efisien pada masalah-masalah khusus.

Berikut adalah prosedur yang terdapat pada algoritma genetika :

### **1. Inisialisasi populasi**

Inisialisasi populasi merupakan tahap pembentukan populasi yang dibentuk dari sekumpulan individu secara acak. Individu bisa dikatakan sama dengan kromosom yang merupakan kumpulan dari gen. Tahapan ini merupakan tahapan awal yang paling penting dalam algoritma genetika agar menghasilkan solusi yang optimal.

## 2. Fungsi *Fitness*

Kromosom akan dievaluasi menggunakan fungsi *fitness*. Fungsi ini sebagai ukuran dari performansi atau kualitas yang diberikan. Tahapan ini merupakan tahapan untuk diketahui individu terbaik dari populasi. Individu dengan nilai *fitness* tertinggi merupakan individu terbaik pada populasi tersebut (Aswandi et al., 2021).

Rumus perhitungan nilai *fitness* sebagai berikut :

$$f = \left( \frac{1}{total\_jarak+1} \right) \quad (2.3)$$

Keterangan :

$f$  : Fungsi *fitness* untuk mengevaluasi suatu solusi (rute).

total\_jarak : nilai yang diminimalkan, seperti total jarak tempuh *drone* dalam rute tertentu

+1 : digunakan untuk menghindari pembagian dengan nol

## 3. *Elitism*

Selama evolusi, individu dapat saja mengalami kerusakan yang berakibat pada penurunan kualitas. *Elitism* mencegah individu terbaik mengalami evolusi, individu tersebut diteruskan ke generasi berikutnya tanpa adanya modifikasi apapun.

## 4. Seleksi

Seleksi merupakan proses pemilihan individu/kromosom yang terbaik dari generasi lama untuk dijadikan *parent* yang akan saling di-*crossover* (kawin silang) untuk membentuk individu baru pada generasi selanjutnya. Berdasarkan teori evolusi Darwin, kromosom yang terbaik seharusnya dapat bertahan hidup dan membentuk keturunan baru (*offspring*). Ada beberapa Operasi yang digunakan dalam seleksi diantaranya *Roulette Wheel selection*, *Rank Selektion*, *Tournament Selection*, *Boltzmann selection*, dan *Stochastic Universal Sampling*.

## 5. *Crossover*

*Crossover* atau perkawinan silang merupakan fase dalam algoritma genetika yang melibatkan dua induk untuk menghasilkan keturunan yang baru. Perkawinan silang dilakukan dengan melakukan pertukaran gen dari dua induk secara acak. Ada beberapa operasi yang digunakan dalam *crossover* diantaranya *Single Point Crossover*, *K-Point Crossover*, *Uniform Crossover*, *Partially mapped Crossover*, *Order Crossover*, *Precedence preserving Crossover*, *Shuffle Crossover*, *Reduced Surrogate Crossover*, *Cycle Crossover*.

## 6. *Mutation*

*Mutation* merupakan proses mengganti atau mengubah nilai dari beberapa gen dalam suatu kromosom. Mutasi ini berperan untuk memberikan model solusi baru berdasarkan proses yang dialami pada evolusi. Ada beberapa operasi yang digunakan dalam mutasi diantaranya *Displacement Mutation*, *Inversion Mutation*, *Scramble Mutation*, *Bit Flipping Mutation*, *Reversing Mutation*.

## 7. **Kriteria Berhenti**

Algoritma genetika pada akhirnya harus berhenti untuk mengumumkan solusi terbaik yang ada, ketika jumlah generasi yang tercapai telah ditetapkan maka proses dari algoritma genetika berhenti.

### 2.6 Penelitian Terkait

Untuk mendukung penelitian ini, dilakukan peninjauan terhadap beberapa penelitian sebelumnya yang memiliki keterkaitan baik dari segi topik, metode, maupun permasalahan yang diangkat. Penelitian-penelitian terdahulu ini membahas berbagai pendekatan dalam menyelesaikan permasalahan rute serta implementasi teknologi *drone* dalam berbagai bidang.

Tabel 2.1 berikut menyajikan ringkasan dari sepuluh penelitian terdahulu yang dijadikan referensi dan perbandingan dalam penelitian ini, serta perbandingan dari segi persamaan dan perbedaannya dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis.

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	(Shivgan & Dong, 2020)	<i>Energy-Efficient Drone Coverage Path Planning using Genetic Algorithm</i>	Penelitian ini mengusulkan algoritma genetika untuk memecahkan masalah pengoptimalan, yaitu meminimalkan konsumsi energi bagi UAV untuk menyelesaikan suatu tugas. Kemudian mempertimbangkan untuk mengurangi jumlah belokan karena kapasitas baterainya, waktu terbang UAV sering kali terbatas.	Peneliti membandingkan konsumsi energi dari algoritma genetika yang diusulkan dengan algoritma greedy dengan jumlah titik jalan yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa algoritma genetika mengonsumsi energi 2-5 kali lebih sedikit daripada algoritma greedy dengan mengurangi jumlah belokan sambil mencakup semua titik jalan.
2	Aswandi et al., 2021	Model Penentuan Rute Terpendek Penjemputan Sampah Menggunakan	Pada penelitian ini, dilakukan pemodelan rute terpendek menggunakan <i>multiple traveling salesman problem</i> dan Algoritma Genetika untuk mengetahui model rute	Peneliti menggunakan metode <i>multiple traveling salesman problem</i> untuk menyelesaikan permasalahan seperti pencarian jalur

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
		Metode MTSP dan Algoritma Genetika	terpendek yang bisa dilalui dalam penjemputan sampah. Pada penelitian ini menggunakan dataset sebagai titik-titik penjemputan untuk kemudian dimasukkan keprogram untuk dimodelkan rute terpendek yang bisa dilalui. Penerapan metode <i>multiple traveling salesman problem</i> menggunakan Algoritma Genetika ini menunjukkan keberhasilan untuk memodelkan rute penjemputan sampah berdasarkan dataset yang ada.	terpendek. Peneliti fokus pada penjemputan sampah tanpa menggunakan <i>drone</i> namun mengandalkan <i>salesman</i> .
3	Taufik et al., 2022	Aplikasi <i>Drone</i> Untuk Pengantaran Barang Dengan Kontrol Otomatis	Pelitian ini juga menyelesaikan <i>drone routing problem</i> dengan mempertimbangkan efisiensi rute, dengan tujuan untuk membuat mekanisme <i>drone</i> untuk mengantarkan barang ke pemesan ( <i>user</i> ) dan membuat sebuah aplikasi berbasis android agar <i>drone</i> dapat mengantarkan	Peneliti tidak mengimplementasikan algoritma genetika untuk menyelesaikan permasalahan <i>drone routing problem</i> . penelitian ini fokus pada Lokasi <i>charging station</i> dan optimasi energi.

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
			barang ke lokasi pemesan ( <i>user</i> ) dengan kontrol otomatis. <i>Drone</i> tersebut dapat terbang stabil baik dengan kontrol manual maupun otomatis serta dapat terbang mengikuti <i>way point</i> yang ditentukan dan mendrop barang pada titik koordinat yang telah ditentukan	
4	Vichitkunakorn et al., 2024	<i>Locating charging stations and routing drones for efficient automated stocktaking</i>	Penelitian ini membahas kendala yang ada pada <i>drone</i> seperti kurangnya regulasi atau masalah teknik seperti kapasitas baterai yang terbatas. Masalah rute <i>drone</i> bertujuan untuk menghitung rute terpendek (dari asal ke tujuan) untuk <i>drone</i> dan menugaskan <i>drone</i> untuk tugas yang telah ditentukan sebelumnya (misalnya pengiriman paket) sambil mengoptimalkan biaya, waktu, jarak, atau konsumsi energi. Kendala yang perlu dipertimbangkan meliputi	Menentukan lokasi <i>charging station</i> dan perencanaan rute <i>drone</i> untuk <i>stocktaking</i> atau <i>logistic</i> . Penelitian ini lebih ke studi konseptual dan tantangan dalam <i>logistic</i> dan pengisian daya. Tidak dijelaskan spesifik algoritma evolusioner, lebih bersifat pemodelan logistik dan optimasi umum. Serta tidak mengimplementasikan algoritma genetika untuk menyelesaikan masalah yang ada pada <i>drone routing</i> .

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
			berat paket, kondisi lingkungan, kapasitas baterai <i>drone</i> , dan permintaan pelanggan.	
5	Ochelska-Mierzejewska et al., 2021	<i>Selected Genetic Algorithms for Vehicle Routing Problem Solving</i>	Penelitian ini membahas penggunaan metaheuristik untuk memecahkan masalah rute kendaraan dengan perhatian khusus terhadap Algoritma Genetika (GA). Algoritma metaheuristik dipilih untuk memecahkan masalah rute kendaraan, di mana GA diimplementasikan sebagai algoritma metaheuristik utama pada penelitian ini. GA termasuk dalam keluarga algoritma evolusioner (EA), yang bekerja pada mekanisme " <i>survival of the fittest</i> ". penelitian ini menyajikan gagasan untuk menerapkan berbagai operator genetika, yang dimodifikasi untuk penggunaan dengan VRP, dan melakukan eksperimen untuk menentukan kombinasi terbaik dari	penelitian tersebut belum mempertimbangkan kendala unik dari kendaraan udara tak berawak ( <i>drone</i> ), seperti kapasitas baterai, batas jangkauan terbang, dan tantangan pengisian ulang daya. Sementara itu, penelitian ini mengadaptasi pendekatan Algoritma Genetika secara spesifik untuk menyelesaikan <i>Drone Routing Problem (DRP)</i> , yang memiliki kompleksitas dan batasan berbeda dari VRP konvensional, menjadikannya solusi yang lebih kontekstual terhadap tantangan pengiriman modern berbasis <i>drone</i> .

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
			operator genetika untuk memecahkan VRP dan untuk menemukan solusi optimal untuk contoh VRP dalam kehidupan nyata berskala besar.	
6	Hidayat et al., 2019	<i>An Innovative Approach for Mission Sharing and Route Planning of Swarm Unmanned Aerial Vehicles in Disaster Management</i>	<p>Penelitian ini menyatakan bahwa Respons yang cepat dan efektif dalam situasi bencana sangat penting untuk keberhasilan operasi penyelamatan. Dalam penelitian ini, peneliti mengusulkan metode inovatif untuk alokasi tugas dan perencanaan rute untuk <i>swarm</i> UAV. Dengan menggabungkan teknik <i>Genetic Algorithm</i> (GA) dan <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO). 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</p>	<p>Pada penelitian ini menggunakan dua algoritma untuk memastikan perutean UAV yang paling efisien yaitu Algoritma Genetika (GA) dan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO). Dalam penelitian ini, peneliti mengusulkan metode inovatif untuk alokasi tugas dan perencanaan rute untuk <i>swarm</i> UAV.</p>

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
			<p>untuk memindai area tertentu yang ditugaskan padanya. Perencanaan rute diuji di <i>Google Maps</i> dan di lingkungan simulasi <i>Gazebo</i>. <i>Google Maps</i> digunakan untuk mengevaluasi keakuratan dan kelayakan perencanaan rute berdasarkan kondisi dunia nyata, sementara lingkungan simulasi menyediakan kesempatan 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.</p>	
7	(Sukarno & Erdani, 2020)	<p>Desain Antarmuka Pada <i>Vehicle Routing Problem</i> Untuk Manajemen Armada <i>Multi-Drone</i></p>	<p>Di era ini, <i>drone</i> memainkan peran penting dalam kehidupan dan diprediksi akan semakin besar dan lebih penting di masa depan. Baru-baru ini, tren baru sedang bergerak ke arah mengelola armada <i>multi-</i></p>	<p>Penelitian ini membahas tentang desain antarmuka pada proses eksekusi algoritma genetika yang digunakan untuk menyelesaikan <i>vehicle routing problem</i> untuk manajemen armada</p>

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
			<p><i>drone</i> yang berkolaborasi untuk mencapai misi yang diberikan. Hal ini membuka banyak peluang penelitian untuk mengembangkan <i>platform</i> pada manajemen armada <i>multi-drone</i>. <i>Vehicle routing problem</i> (VRP) adalah studi yang tepat untuk menjawab tantangan ini, dalam menemukan jalur terbaik untuk setiap <i>drone</i>, dengan beberapa batasan yang harus dipertimbangkan. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma genetika karena Algoritma ini banyak digunakan pada beberapa masalah optimisasi kombinatorial seperti TSP (<i>traveling salesman problem</i>), VRP, dan beberapa masalah penjadwalan.</p>	<p><i>multi-drone</i>. Antarmuka ini didesain dengan menggunakan bahasa pemrograman Netlogo.</p>
8	HAZAMA et al., 2021	<i>Genetic algorithm for scheduling of parcel</i>	<p>Penelitian ini membahas masalah penjadwalan pengiriman paket. Dalam masalah ini, truk yang</p>	<p>Pada penelitian ini selain menggunakan <i>drone</i> dan algoritma genetika sebagai solusi</p>

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
		<i>delivery by drones</i>	membawa pesawat nirawak dan paket meninggalkan pusat distribusi dan berhenti di beberapa titik pada rute yang telah ditetapkan. Di setiap titik, pesawat nirawak lepas landas dan mengirimkan paket kepada pelanggan. Penelitian ini mendefinisikan masalah ini sebagai pencarian penugasan pelanggan ke pesawat nirawak dan titik lepas landasnya. Kemudian mengusulkan algoritma genetika (GA) untuk menemukan solusi yang mendekati optimal dalam waktu singkat. Dalam GA yang diusulkan, solusi direpresentasikan menggunakan kumpulan pelanggan yang ditugaskan ke titik lepas landas, dan aturan <i>heuristik</i> menentukan penugasan ke pesawat nirawak. Operasi persilangan memungkinkan keturunan untuk mewarisi kumpulan	dari memecahkan masalah pengoptimalan juga menggunakan perantara lain untuk mengirimkan paket, yaitu menggunakan truk. Penelitian ini juga membahas mengenai penjadwalan pengiriman paket. Selain itu, GA ini secara signifikan mengungguli GA lain yang menggunakan persilangan yang berbeda.

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
			<p>pelanggan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa GA yang diusulkan berhasil menemukan solusi yang optimal atau mendekati optimal lebih cepat daripada penyelesaian pemrograman integer untuk hampir semua contoh. Selain itu, GA ini secara signifikan mengungguli GA lain yang menggunakan persilangan yang berbeda.</p>	
9	(Han et al., 2023)	<i>Vehicle Routing Problem with Drones Considering Time Windows and Dynamic Demand</i>	<p>Dengan pesatnya perkembangan teknologi <i>drone</i>, perusahaan logistik semakin tertarik pada bidang pengiriman <i>drone</i>. <i>Drone</i> memiliki banyak keunggulan, seperti tidak dibatasi oleh kendaraan darat, pengiriman cepat, biaya rendah. Untuk mengatasi tantangan biaya yang sangat besar yang disebabkan oleh batasan waktu yang ketat dan pesanan pelanggan yang terus berubah dalam proses pengiriman yang</p>	<p>Pada penelitian ini membahas mengenai perkembangan teknologi <i>drone</i>. Namun, kapasitas muatan <i>drone</i> kecil dan teknologi baterainya tidak dapat mendukung pengiriman dalam waktu lama. Oleh karena itu, Sebagian besar <i>drone</i> tidak dapat menyelesaikan layanan pengiriman secara mandiri. Oleh karena itu, Sebagian besar perusahaan logistik dan</p>

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
			sebenarnya, peneliti membuat model pengoptimalan dua tahap berdasarkan berbagai strategi respons permintaan dengan tujuan meminimalkan biaya pengiriman.	pengiriman lebih cenderung mengadopsi model pengiriman kolaboratif truk dan <i>drone</i> . Untuk mengatasi masalah ini penelitian ini merancang algoritma pengoptimalan simpanse simulasi anil dengan operator sinus-kosinus.
10	(Prawira & Santosa, 2021)	<i>Development of Particle Swarm Optimization and Simulated Annealing Algorithms to Solve Vehicle Routing Problems With Drones</i>	Penelitian ini membahas <i>Vehicle Routing Problem with Drone</i> (VRPD) merupakan permasalahan penentuan sejumlah rute pengiriman barang dari depot ke sejumlah kostumer dengan menggunakan truk dan <i>drone</i> . <i>Drone</i> menjadi alternatif alat pengiriman selain truk, setiap truk dapat dilengkapi dengan <i>drone</i> pendukung. <i>Drone</i> dapat digunakan untuk melakukan beberapa pengiriman saat truk melakukan pengiriman yang lain. Dengan mengkombinasikan truk	Dalam penelitian ini, diusulkan algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) dan algoritma <i>Simulated Annealing</i> (SA) untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Algoritma <i>Route Drone</i> digunakan untuk membantu mengubah struktur solusi algoritma PSO dan SA menjadi solusi VRPD. Hasil dari perbandingan kedua algoritma ini adalah algoritma SA menemukan Solusi yang lebih baik

	Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
			dan <i>drone</i> , truk dapat berperan sebagai alat untuk peluncuran dan pendaratan drone sehingga drone dapat mencapai jarak yang jauh dari depot. Tujuan permasalahan ini adalah meminimasi biaya pengiriman barang oleh truk dan drone.	dibandingkan algoritma PSO.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian algoritma genetika dalam menyelesaikan *drone routing problem* (DRP), algoritma genetika mampu menghasilkan rute optimal secara konsisten pada berbagai variasi skenario jumlah titik dan parameter. Pada eksperimen dengan 20, 40, dan 60 titik, algoritma genetika secara konsisten menemukan rute dengan total jarak minimum, banyaknya rute yang dapat ditempuh dengan nilai *fitness* tertinggi. Hal ini menunjukkan kemampuan algoritma genetika dalam menyelesaikan permasalahan rute *drone* secara efektif, terutama pada skala kecil hingga menengah. Terbukti dari berbagai kombinasi parameter seperti *pop size*, *max generation*, *num selected individual*, dan *mutation rate* yang menghasilkan solusi yang baik seperti pada hasil keseluruhan pengujian 20 titik dengan ukuran populasi 30, terdapat solusi terbaik dengan panjang titik 10 dan nilai *fitness* 0.4762. Ini menunjukkan algoritma genetika mampu menemukan individu tau solusi terbaik dari setiap populasi kemudian di simpan dan dipertahankan untuk kegenerasi berikutnya yang terjadi pada populasi 20 hingga populasi 30 yang memiliki solusi terbaik yang sama dan nilai *fitness* yang sama.

Waktu komputasi yang rendah menunjukkan efisiensi algoritma. Meskipun dilakukan pengujian pada beberapa skenario dengan jumlah iterasi tinggi, waktu komputasi tetap berada dalam rentang yang rendah dari rentang antara (0.005239 detik pada iterasi 100, hingga mencapai 0.037627 detik pada iterasi 500.), menjadikan algoritma genetika yang layak digunakan pada aplikasi real time atau berbasis waktu respons cepat. Pada *scenario* 100 titik, algoritma cenderung menghasilkan solusi tidak valid. Hal ini menunjukkan bahwa pada skala besar, eksplorasi algoritma menjadi kurang efektif dan diperlukan peningkatan metode, baik melalui modifikasi struktur algoritma maupun penggabungan dengan pendekatan lain.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan lebih lanjut. Pada jumlah titik yang lebih besar, khususnya 100 titik, algoritma genetika cenderung menghasilkan solusi *trivial*, seperti rute [V3-V3] dengan jarak 0. Hal ini menunjukkan bahwa eksplorasi ruang solusi menjadi kurang efektif saat kompleksitas meningkat, sehingga solusi yang dihasilkan tidak merepresentasikan perencanaan rute yang sebenarnya. Meskipun waktu komputasi secara umum efisien, tetapi pada ukuran populasi dan iterasi tinggi misalnya (30 populasi dan 500 iterasi), terjadi peningkatan waktu eksekusi secara signifikan. Selain itu, kinerja dari algoritma sangat bergantung pada kombinasi parameter seperti *pop size*, *max generation*, *num selected individual* dan *mutation rate*. Jika pemilihan parameter tidak sesuai, algoritma bisa gagal mencapai konvergensi atau menghasilkan solusi yang tidak optimal. Hal ini terlihat pada eksperimen dengan kombinasi parameter tertentu yang tidak selalu mampu mencapai rute dengan jarak minimum.

Untuk mengatasi keterbatasan pada algoritma genetika dalam menangani masalah dalam jumlah titik yang besar seperti (100 titik), disarankan untuk melakukan modifikasi pada algoritma, salah satu pendekatan yang dapat dipertimbangkan adalah menggabungkan algoritma genetika dengan algoritma lain seperti algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk meningkatkan kemampuan eksplorasi ruang solusi. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk menentukan kombinasi parameter yang optimal sesuai dengan kompleksitas masalah yang dihadapi. Representasi dari solusi yang dihasilkan pada permasalahan *drone routing problem* ini, peneliti selanjutnya dapat memodelkan solusi agar setiap titik dapat dikunjungi dengan keterbatasan daya baterai yang ada pada *drone*.

Algoritma genetika tidak hanya dapat diterapkan pada *drone routing problem*, tetapi juga dapat dieksplorasi untuk menyelesaikan permasalahan optimasi lainnya, seperti penjadwalan, atau optimasi jaringan. Penelitian lebih lanjut dapat menguji efektivitas algoritma ini dalam konteks aplikasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto & Jamilah. (2012). Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika (Komputa) Penyelesaian Masalah Minimum Spanning Tree (Mst) Menggunakan Ant Colony System (Acs). In *Bulan Oktober* (Vol. 2).
- Alam, T., Qamar, S., Dixit, A., & Benaida, M. (2020). *Genetic Algorithm: Reviews, Implementations, and Applications*. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.12657173>
- Aswandi, Cokrowibowo, S., & Irianti, A. (2021). Model Penentuan Rute Terpendek Penjemputan Sampah Menggunakan Metode MTSP dan Algoritma Genetika. *Journal of Applied Computer Science and Technology*, 2(1), 43–48. <https://doi.org/10.52158/jacost.v2i1.168>
- Aydın, İ., Karakaş, Ç., Altun, G., & Salur, M. U. (2024). An Innovative Approach for Mission Sharing and Route Planning of Swarm Unmanned Aerial Vehicles in Disaster Management. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 808–821. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1494562>
- Azis, A., Prihandono, B., & Intisari, I. (2016). Algoritma Genetika Pada Pemrograman Linear Dan Nonlinear. In *Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya (Bimaster)* (Vol. 5, Issue 03).
- Elmeseiry, N., Alshaer, N., & Ismail, T. (2021). A detailed survey and future directions of unmanned aerial vehicles (Uavs) with potential applications. *Aerospace*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/aerospace8120363>
- Fadillah, M. A. (2023). *Makalah IF2120 Matematika Diskrit-Sem. I Tahun*.
- Han, J., Liu, Y., & Li, Y. (2023). Vehicle Routing Problem with Drones Considering Time Windows and Dynamic Demand. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/app132413086>
- Haspika, H., Hasmawati, H., & Aris, N. (2023). The Partition Dimension on the Grid Graph. *Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi*, 19(2), 351–358. <https://doi.org/10.20956/j.v19i2.23904>
- Hassanat, A., Almohammadi, K., Alkafaween, E., Abunawas, E., Hammouri, A., & Prasath, V. B. S. (2019a). Choosing mutation and crossover ratios for genetic algorithms-a review with a new dynamic approach. *Information (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/info10120390>
- Hooshyar & Huang. (2022). 30-INDO\_Meta-heuristic Algorithms in UAV Path Planning Optimization A Systematic Review (2018–2022) (1). *MDPI*.

- Jasim, A. N., & Fourati, L. C. (2024). Guided Genetic Algorithm for Solving Capacitated Vehicle Routing Problem with Unmanned-Aerial-Vehicles. *IEEE Access*, 12, 106333–106358. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3438079>
- Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80(5), 8091–8126. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6>
- Liang, Y. J., & Luo, Z. X. (2022). A Survey of Truck–Drone Routing Problem: Literature Review and Research Prospects. In *Journal of the Operations Research Society of China* (Vol. 10, Issue 2, pp. 343–377). Operations Research Society of China. <https://doi.org/10.1007/s40305-021-00383-4>
- Malik, A. (2019). International Journal of Computer Science and Mobile Computing A Study of Genetic Algorithm and Crossover Techniques. In *International Journal of Computer Science and Mobile Computing* (Vol. 8, Issue 3). [www.ijcsmc.com](http://www.ijcsmc.com)
- Ochelska-Mierzejewska, J., Poniszewska-Marańda, A., & Marańda, W. (2021). Selected genetic algorithms for vehicle routing problem solving. *Electronics (Switzerland)*, 10(24). <https://doi.org/10.3390/electronics10243147>
- Panjaitan, A., Sakinah, L., Amir, A., Ali, S., Ahmad, H., & Padangsidimpuan, A. (2023). *Icetar The 1 St International Conference On Educational Theories, Practices And Research Tarbiyah And Teacher Training Faculty, State Islamic University Syekh Ali Hasan Ahmad Addary Padangsidimpuan On 4th-5th July, 2023 “Development of Post Pandemic Education to Face the Social Era 5.0” Graphics Representation Using Adjacency Matrix, Incidence Matrix, Adjacency List and Isomorphic Graph 1 Fazrina Nur Islami Sihombing, 2 Hasnah Rofiqah, 3 Nur Ainun Nasution, 4 Nur.*
- Prawira, H. A., & Santosa, B. (2021). Development of Particle Swarm Optimization and Simulated Annealing Algorithms to Solve Vehicle Routing Problems with Drones. *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, 5(1), 1–11. <https://doi.org/10.21070/prozima.v5i1.1398>
- Rafi' Addani, A., Turmudi, T., & Sujarwo, I. (2023). Penerapan Graf Berarah dan Berbobot untuk Mengetahui Influencer yang Paling Berpengaruh dalam Penyebaran Informasi pada Twitter. *Jurnal Riset Mahasiswa Matematika*, 2(5), 186–194. <https://doi.org/10.18860/jrmm.v2i5.16810>
- Rizky Fatih Syahputra, & Yahfizham Yahfizham. (2023). Menganalisis Konsep Dasar Algoritma Genetika. *Bhinneka: Jurnal Bintang Pendidikan Dan Bahasa*, 2(1), 120–132. <https://doi.org/10.59024/bhinneka.v2i1.643>

- Richasanty & Ira. (2021). *31-Pengefisiensian Penyaluran Barang dan Rute Pengiriman Ekspedisi JNE dengan Aplikasi Graf*.
- Shivgan & Dong. (2020). *Energy-Efficient Drone Coverage Path Planning using Genetic Algorithm*.
- Stodola, P., & Kutej, L. (2024). Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Drones: Mathematical formulation, solution algorithm and experiments. *Expert Systems with Applications*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122483>
- Suat, E. A., Andrianus Nani, P., & Artikel, G. (2023). *Pencarian Rute Terpendek Dalam Pengantaran Surat Menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony Studi Kasus Kantor Kelurahan Kolhua* (Vol. 1, Issue 1).
- Sukarno, S. A., & Erdani, Y. (2020). *Desain Antarmuka Pada Vehicle Routing Problem Untuk Manajemen Armada Multi-Drone*. 6(2).
- Taherdoost, H. (2022). What are Different Research Approaches? Comprehensive Review of Qualitative, Quantitative, and Mixed Method Research, Their Applications, Types, and Limitations. *Journal of Management Science & Engineering Research*, 5(1), 53–63. <https://doi.org/10.30564/jmser.v5i1.4538>
- Taufik, A., Habriansyah, I., Muhammad, A. K., Dg Mulisa, M., Dwiyantara, K. P., Fadilah, A. A., Mesin, J. T., Negeri, P., & Pandang, U. (2022). Prosiding 6 th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2022 Bidang Ilmu Teknik Mesin, Industri, Energi Terbarukan. In *Teknologi Pertahanan*.
- Utami, R. (2022). Jurnal IEED (Informatics Engineering and Electronic Data) Penggunaan Metode Euclidean Distance Pada Aplikasi Pencarian Lokasi Rumah Sakit di Kota Medan. In *Jurnal IEED* (Vol. 1, Issue 1). Online.
- Vichitkunakorn, P., Emde, S., Masae, M., Glock, C. H., & Grosse, E. H. (2024). Locating charging stations and routing drones for efficient automated stocktaking. *European Journal of Operational Research*, 316(3), 1129–1145. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.03.002>
- Zikra, A. A., Reza Kuntara, M., Hutabarat, S. H., & Penelitian, A. (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. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 8(1), 819–828. <https://doi.org/10.56338/jks.v8i1.6963>