

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tinjauan Teori

1. Formula *Haversine*

Formula *Haversine* adalah metode untuk menghitung jarak antara 2 titik yang ditentukan dari koordinat satelit (*Latitude and Longitude*) di permukaan bumi. Formula ini mengasumsikan bentuk bumi adalah bulat sempurna dengan jari-jari 6371 km yang artinya walaupun menghitung berdasarkan permukaan bumi, perbedaan ketinggian seperti bukit dan Lembah diabaikan. Asumsi ini membuat perhitungan lebih akurat karena memperhitungkan bentuk bumi dan lebih mudah digunakan[15]. Berikut adalah rumus Formula *Haversine*.

$$D = 2r \operatorname{arc} \sin \sqrt{\sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos\phi_x \times \cos\phi_y \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)} \quad (1.1)$$

D = Jarak (km)

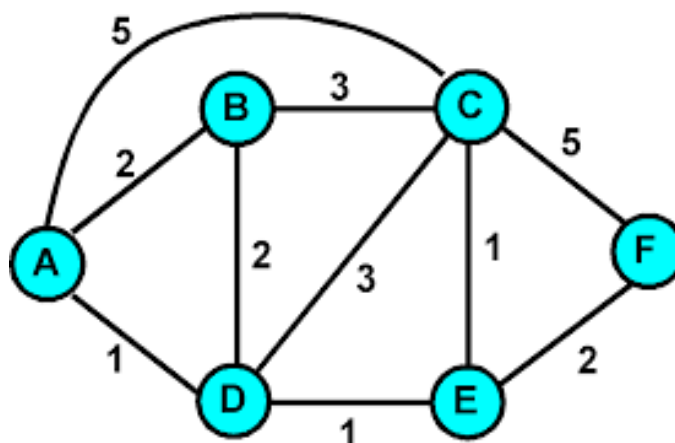
r = Radius rata-rata bumi = 6371 km

ϕ = *Latitude*

λ = *Longitude*

2. Teori Graf

Teori Graf adalah salah satu bidang yang penting dan memiliki banyak aplikasi terutama di bidang ilmu komputer. Sebuah graf dapat didefinisikan sebagai sebuah diagram yang memiliki sejumlah simpul (*nodes*) dan sisi (*edges*) yang menghubungkan simpul-simpul tersebut. Secara matematis, Sebuah graf G dapat dinotasikan sebagai pasangan himpunan $G=(V,E)$, di mana V adalah himpunan tidak kosong dari simpul, sedangkan E adalah himpunan sisi yang menyambungkan sepasang simpul[16].



Gambar II. 1 Diagram Graf

Penerapan dalam tugas akhir ini, lingkungan penerbangan akan dimodelkan sebagai sebuah graf berbobot (*weighted graph*), di mana lokasi *waypoint* menjadi simpul (V), kemungkinan jalur penerbangan antar *waypoint* menjadi sisi (E), dan hasil perhitungan jarak menjadi bobot dari setiap sisi tersebut.

3. Dijkstra Algorithm

Algoritma *Dijkstra* adalah sebuah algoritma yang bertujuan untuk menyelesaikan masalah rute terpendek. Algoritma *Dijkstra* mampu mencari bobot minimum dari satu simpul tunggal ke simpul lainnya dalam suatu graf berbobot. Sebelum menggunakan algoritma ini, Ada dua syarat utama untuk menjamin algoritma ini berhasil mendapatkan rute yang optimal, yaitu graf harus merupakan graf berbobot (*Weighted Graph*) dan nilai dari bobot tersebut tidak boleh negatif. Algoritma ini akan menjelajahi graf dari simpul paling awal, lalu algoritma akan memilih untuk mengunjungi simpul terdekat (dengan total bobot paling ringan dari titik awal) yang belum pernah dikunjungi sebelumnya, lalu memperbarui informasi jarak ke tetangga-tetangganya jika ditemukan jalur yang lebih efisien[17].

Berikut adalah cara Algoritma *Dijkstra* mencari jalur tercepat[18]

- a. Menetapkan jarak tentatif antar node.
- b. Tandai semua node sebagai *unvisited* dan node awal sebagai *start*.
- c. Hitung jarak tentatif semua node tetangga ke *start* untuk dibandingkan mana jarak yang lebih pendek.
- d. Ketika semua tetangga telah berkunjung ke *start*, tandai node dengan jarak terpendek sebagai *visited* dan disimpan.

- e. Jadikan *node unvisited* jarak terpendek sebagai *start* yang baru, dan kembali ke Langkah c.

4. Kendali Otonom

Kendali otonom pada *drone* adalah kemampuan untuk melakukan misi penerbangan secara mandiri tanpa memerlukan intervensi langsung dari pilot. Kemampuan ini dimungkinkan dengan adanya sistem *autopilot* yang berfungsi sebagai pusat kendali. *Firmware* PX4 *autopilot* adalah salah satu contoh kendali *autopilot* yang bertanggung jawab untuk eksekusi misi dan membuat *drone* terbang dengan stabil. Proses dicapai dengan secara konstan memproses data dari berbagai sensor (seperti GPS dan IMU) untuk menjaga posisi dan orientasi stabil di udara. Sementara itu, eksekusi misi dijalankan dengan mengikuti serangkaian perintah yang telah ditentukan sebelumnya, yang dalam praktiknya dikenal sebagai Navigasi Berbasis Titik Arah (*Waypoint-Based Navigation*)[19].

5. *Ground Control System*(GCS)



Gambar II. 2 Ground Control Station

Stasiun Kendali Darat atau *Ground Control Station* (GCS) berfungsi sebagai pusat komando dan kendali di darat untuk sebuah sistem *drone*. GCS umumnya berupa sebuah perangkat lunak yang berjalan di komputer atau perangkat tablet, yang memungkinkan *operator* untuk melakukan suatu fungsi yang meliputi perencanaan misi dengan menentukan titik-titik arah (*waypoint*), pemantauan data telemetri waktu sebenarnya seperti posisi dan status baterai, serta pengiriman perintah

otonom ke wahana. Contoh dari GCS berbasis perangkat lunak adalah QGroundControl, Mission Planner, dan secara fungsional, aplikasi perencanaan misi yang dikembangkan dalam tugas akhir ini. Gambar II.2 merupakan contoh GCS yang sudah termasuk kendali radio yang lebih sering digunakan untuk *tuning* dan sebagai *Safety factor* dalam kendali *drone* otonom.

6. Protokol Komunikasi MAVLINK



Gambar II. 3 Protokol Komunikasi MAVLINK

MAVLINK adalah protokol komunikasi *open source* yang digunakan khusus untuk Wahana Udara Nirawak. Protokol ini mendukung komunikasi dua arah antara *drone* dengan *Ground Control System (GCS)*. Komunikasi tersebut berisi informasi tentang status *drone* hingga perintah yang dikirim GCS ke *drone* ataupun *drone* ke GCS. Untuk meningkatkan kecepatan transfer dan efisiensi, *Mavlink* tidak mengenkripsi pesan[20]

II.2 Tinjauan Alat

1. Gazebo

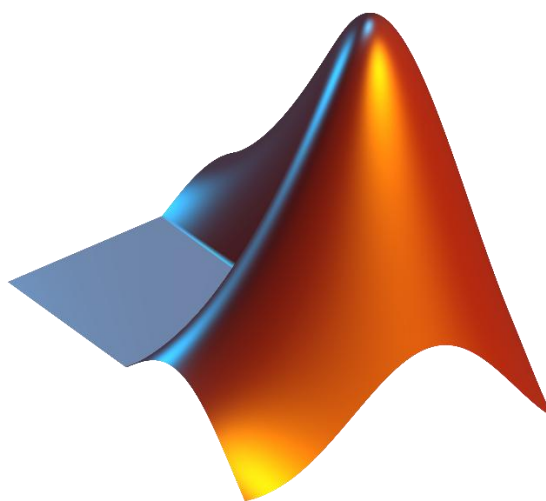


Gambar II. 4 Gazebo

Gazebo adalah simulasi robot 3D robot yang secara *open source* dirancang untuk menguji algoritma, merancang robot, dan melakukan pengujian dalam skenario yang realistis. Gazebo memiliki keunggulan dalam mensimulasikan lingkungan

dengan akurat, lengkap dengan kondisi fisika seperti gravitasi dan kecepatan angin. Gazebo dapat memodelkan robot 3D, hingga berbagai jenis sensor virtual (seperti kamera, IMU, dan GPS), serta aktuator. Dalam tugas akhir ini, digunakan sebagai lingkungan *Software-In-The-Loop* (SITL), di mana algoritma perencanaan rute yang dikembangkan dapat diuji dan divalidasi dalam lingkungan virtual yang aman dan terkendali sebelum diimplementasikan pada *drone*. Hal ini memungkinkan identifikasi dan perbaikan *bug* atau kesalahan logika pada tahap awal pengembangan tanpa membahayakan *hardware*[21].

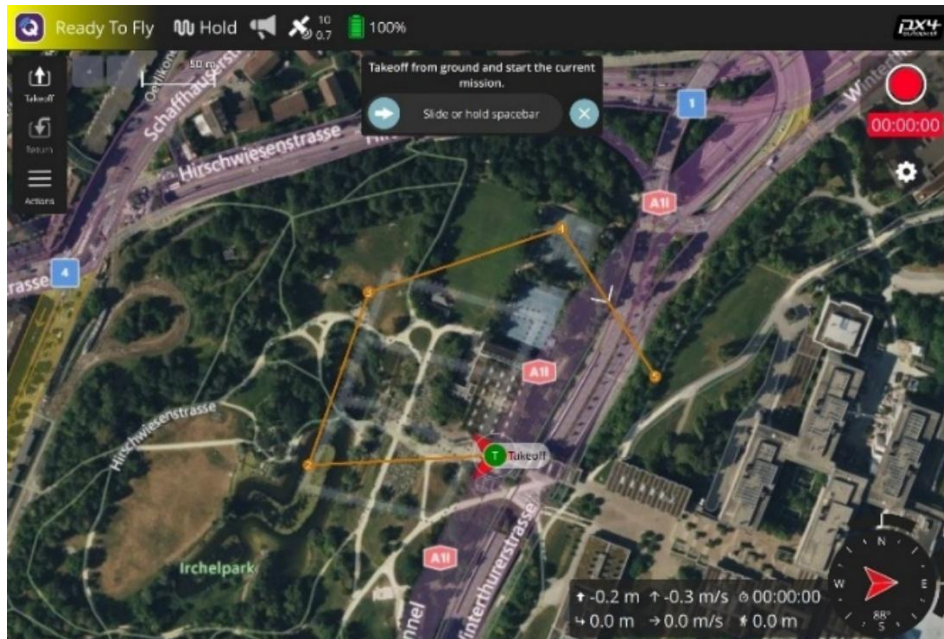
2. MATLAB



Gambar II. 5 MATLAB

MATLAB, singkatan dari *Matrix Laboratory*, adalah perangkat lunak dan bahasa pemrograman yang dirancang khusus untuk kebutuhan komputasi teknis dan matematis. MATLAB sangat andal dalam menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan aljabar linear, yang sangat relevan untuk implementasi algoritma berbasis graf seperti Algoritma *Dijkstra*. Kemampuannya dalam menganalisis masalah matematis, melakukan komputasi, dan menjalankan simulasi menjadikan MATLAB sebagai alat pendukung yang kuat untuk pengembangan tugas akhir. Dalam penelitian ini, MATLAB digunakan untuk membuat sistem pembuatan peta otomatis berbasis algoritma *Dijkstra* yang dapat mencari jalur terdekat dan dilengkapi dengan tampilan antarmuka.[22].

3. QGroundControl



Gambar II. 6 Antarmuka QGC

QGroundControl (QGC) adalah perangkat lunak *open source* yang berfungsi sebagai *Ground Control Station*(GCS) dengan antarmuka penggunaan grafis. QGC dirancang untuk dapat digunakan berbagai jenis wahana udara seperti pesawat, *helicopter*, *multicopter*, dan kompatibel dengan *firmware* Ardupilot, dan PX4. Sebagai GCS yang berbasis protokol *MAVLink*, QGC menyediakan fungsionalitas penuh untuk perencanaan misi, kendali penerbangan, dan pemantauan telemetri. Dalam tugas akhir ini, QGC berfungsi sebagai tempat untuk eksekusi perencanaan misi yang sebelumnya dikembangkan di MATLAB[23].

4. Wahana Udara Nirawak

Wahana Udara Nirawak atau lebih sering disebut *drone* adalah pesawat tanpa awak yang bisa di kendalikan dari jarak jauh dengan remote tanpa perlu ada manusia didalamnya. *Drone* cenderung lebih mudah dibuat dan harganya lebih masuk akal [24].



Gambar II. 7 *Quadcopter*

Quadcopter adalah jenis yang paling banyak ditemui dipasaran. *Quadcopter* menggunakan 4 baling-baling agar dapat terbang. *Drone* jenis ini merupakan *drone* yang paling fungsional karena dapat stabil diudara sehingga untuk melakukan kegiatan seperti observasi yang membutuhkan akurasi dan pengelihatan udara yang akurat. seperti membuat lahan pertanian, menanam benih, observasi kerusakan pipa, hingga mengantarkan barang[25]

5. *Flight Controller*



Gambar II. 8 *Flight Controller*

Flight controller adalah unit pemrosesan pusat yang bertindak sebagai otak dari sebuah wahana udara nirawak. Perangkat keras ini bertanggung jawab untuk mengumpulkan data dari sensor dan menerima perintah dari GCS untuk kemudian mengendalikan *drone*. Dalam tugas akhir ini, perangkat keras yang digunakan adalah Pixhawk 4. Pixhawk 4 digunakan para pengembang *drone* untuk membagikan teknologi yang memberikan solusi untuk berbagai macam penggunaan *drone*. Berbagai fitur seperti stabilisasi, *safety*, *Take off*, *landing*,

hingga melaksanakan misi sesuai dengan misi yang dapat dilakukan *controller* ini[26].

6. GPS



Gambar II. 9 Modul GPS

(*Global Positioning System*)GPS adalah komponen krusial yang menentukan lokasi akurat terkait posisi *drone* secara *real-time*. Modul GPS yang terpasang akan engan menghitung waktu tempuh sinyal dari beberapa satelit yang berbeda, modul GPS dapat menentukan lokasi pastinya di permukaan bumi. Akurasi dari GPS ini bergantung pada jumlah satelit yang terhubung dan kekuatan sinyal GPS yang ada pada *drone*. Data lokasi yang akurat dan waktu sebenarnya ini kemudian dikirimkan ke *flight controller*[25].

7. *Electric Speed Control*



Gambar II. 10 *Electric Speed Control*(ESC)

Electronic Speed Control(ESC) adalah rangkaian yang mengatur dan menyesuaikan kecepatan dari motor. Kemampuan untuk membalikkan arah putaran motor dan pengereman dinamis juga menjadi fungsi utama ESC. Untuk melakukannya, ESC mengirim sinyal Listrik untuk menyesuaikan kecepatan secara berkala untuk mengatur putaran motor. Untuk mengubah arah putaran, ESC akan menggunakan sistem seperti saklar untuk mengubah arus searah menjadi arus 3-fasa bolak balik yang kemudian dilanjutkan ke motor. ESC menerima sinyal perintah dari *flight controller*, yang umumnya berbentuk sinyal *Pulse Width Modulation (PWM)*. Lebar pulsa dari sinyal PWM inilah yang menentukan seberapa cepat motor harus berputar[27].

8. Motor BLDC



Gambar II. 11 Motor BLDC

Motor *Brushless Direct Current(BLDC)* Motor lebih banyak digunakan dalam penggunaan yang bergerak seperti otomotif, dan pompa. Penggunaan motor BLDC dalam *drone* dapat dianalisis dengan bagaimana cara motor itu bekerja. Motor BLDC memiliki karakteristik yang baik dalam mendukung algoritma yang digunakan dalam *drone* itu sendiri sehingga motor BLDC dapat meningkatkan stabilitas *drone* agar dapat dikendalikan dengan baik[28].

9. Baling-baling



Gambar II. 12 Baling Baling

Baling-baling merupakan komponen utama dari *drone* yang membuatnya dapat terbang diudara. Baling-baling akan berputar dengan sangat cepat dan menciptakan dorongan angin yang mengangkat *drone*. Udara dari bawah yang bertekanan lebih tinggi kemudian bergerak ke atas untuk menyeimbangkan tekanan, yang pada gilirannya menghasilkan gaya dorong ke atas yang disebut gaya angkat. Gerakan manuver *drone*, seperti naik-turun (*throttle*), berputar (*yaw*), maju-mundur (*pitch*), dan ke samping (*roll*), dikendalikan dengan cara mengubah kecepatan putar setiap baling-baling secara individual [25].

10. Telemetry



Gambar II. 13 Modul Telemetry

Telemetri adalah sebuah teknologi yang digunakan untuk mengambil informasi dari jarak jauh melalui telekomunikasi. Salam sistem *drone*, Telemetri diperlukan untuk komunikasi data dua arah secara *real-time* antara *drone* diudara dengan GCS di darat. Komunikasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan dua module, *air module* dan *ground module*. Aliran data dari *drone* ke GCS (*downlink*) sangat krusial untuk pemantauan, karena membawa informasi penting mengenai kondisi wahana, seperti posisi (koordinat), ketinggian, kecepatan, dan orientasi (kemiringan dan arah). Sebaliknya, aliran data dari GCS ke *drone* (*uplink*) digunakan untuk mengirimkan perintah atau rencana misi baru[29].

11. Radio Control



Gambar II. 14 Radio Control (RC)

Radio Control adalah sistem yang digunakan pilot untuk mengendalikan *drone* dari jarak jauh menggunakan sinyal radio. Secara umum, RC memiliki 2 komponen utama, yaitu pemancar (*Transmitter*) yang dikendalikan oleh pilot dan (*receiver*) yang ada pada *drone*. Melalui RC, pilot dapat secara langsung mengatur arah, kecepatan, ketinggian, dan berbagai fungsi yang membantu pengoperasian *drone*[25].

12. Baterai LiPo



Gambar II. 15 Baterai Li-Po

Baterai merupakan sumber daya yang seluruh elektronik *drone* gunakan untuk bisa bekerja. Baterai yang sering digunakan dalam penggunaan *drone* adalah Baterai *Lithium Polymer*(Li-Po). Baterai Li-Po menggunakan bahan dasar lithium sebagai anoda dan katoda dengan polimer elektrolit sebagai *separator*. Baterai Li-Po terdiri dari katoda dan anoda berbasis lithium dengan elektrolit polimer sebagai pemisahannya. Dibandingkan dengan baterai jenis lain seperti Li-ion, baterai Li-Po dapat dibuat lebih ringan karena penggunaan elektrolit polimer ini. Kemampuannya untuk diisi ulang dan rasio daya-terhadap-berat (*power-to-weight ratio*) yang tinggi menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang sensitif terhadap berat seperti *drone*[25].

II.3 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil studi yang dilakukan terhadap beberapa penelitian terdahulu, diperoleh berbagai informasi mengenai sistem yang telah dibuat. Berikut adalah hasil studi terdahulu pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Hasil Penelitian/Kesimpulan
1	DIJKSTRA ALGORITHM USING UAV	DHULKEFL Elaf Jirjees, DURDU	Membandingkan implementasi <i>Dijkstra</i> algorithm pada jalur UAV untuk mencari jalur

	PATH PLANNING	Akif, TERZIOĞLU Hakan(2020)	tercepat pada simulasi dengan testing secara realtime. Hasilnya proses mencari jalur tercepat pada simulasi jauh lebih lambat dibanding dengan implementasi ke sistem langsung. Pada percobaan pertama simulasi membutuhkan waktu 1.04 detik untuk mendapatkannya, sedangkan kondisi <i>real-time</i> . Dengan hasil yang sama hanya memerlukan 0.1 detik untuk mendapatkan jalur tercepat.
2.	Designing autonomous drone for food delivery in Gazebo/Ros based environments	Hrshitva Patel(2022)	Penelitian ini membahas tentang tancang bangun <i>delivery drone</i> untuk mengantarkan makanan. Walaupun tidak dijelaskan secara detail, jurnal ini memberi gambaran bagaimana cara membuat programnya. <i>Drone</i> dibuat dengan menambahkan beberapa sensor seperti IMU, LiDar, Radar, Kamera hingga <i>ArUco Tag</i> untuk mendeteksi lokasi dengan algoritma OPENCV. ROS digunakan sebagai platform untuk pengembangan robot yang fleksibel. Gazebo digunakan untuk membuat simulasi 3D dan

			menguji algoritma yang telah dibuat.
3.	Autonomus Surveillance Drone	Prof. Dr. Kaushika Patel, Yash Sojitra	Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembuatan <i>quadcopter</i> dengan biaya rendah untuk keperluan pengawasan. Sistem yang dibangun menggunakan arsitektur standar yang terdiri dari <i>flight controller</i> sebagai pusat kendali, ESC untuk mengatur kecepatan motor BLDC, dan sistem kendali jarak jauh berbasis frekuensi radio (RC) 2.4 GHz untuk <i>input</i> dari pilot. Proyek ini berhasil menjalankan fungsionalitas sebuah <i>drone</i> otonom yang dapat dikendalikan dari jarak jauh, Pengujian dilakukan dalam scenario yang berbeda-beda. Proyek ini menjadi dasar untuk berbagai aplikasi termasuk militer dan keamanan.
4.	Path Planning for Autonomous Drones: Challenges and Future Directions	Gopi Gagan and Anwar Haque	Jurnal ini membahas tantangan dan metode dalam perencanaan rute <i>drone</i> otonom. Penelitian ini mengkategorikan berbagai algoritma path planning, termasuk algoritma berbasis pencarian graf (Graph Search) seperti <i>Dijkstra</i> dan <i>A*</i> . Disimpulkan bahwa meskipun

			<p>algoritma berbasis pencarian graf seperti ini umum digunakan, terdapat tantangan dalam hal kebutuhan komputasi untuk lingkungan yang besar dan dinamis. Jurnal ini juga menekankan pentingnya implementasi dan validasi pada <i>drone</i> fisik di lingkungan dunia nyata.</p>
--	--	--	---

Penelitian ini membedakan dirinya dari studi sebelumnya dengan berfokus pada pengembangan sistem perencanaan misi *ground control* yang komprehensif menggunakan MATLAB. Tidak seperti penelitian Jirjees, Durdu, dan Terzioğlu (2020) yang menekankan efisiensi komputasi, atau penelitian Hrishitva Patel (2022) yang berfokus pada eksekusi misi dan persepsi visual, penelitian ini berkonsentrasi pada optimasi perencanaan rute multi-titik sebagai tahap awal. Dengan menggunakan platform perangkat keras yang serupa dengan yang dirancang oleh Patel dan Sojitra (2025), penelitian ini membangun kapabilitas perangkat lunak yang lebih canggih untuk memberikan otonomi yang lebih tinggi melalui optimasi dan eksekusi misi otomatis. Selain itu, penelitian ini berfungsi sebagai studi kasus praktis yang ditekankan oleh Gudan dan Haque (2023), dengan tidak hanya menerapkan Algoritma *Dijkstra* yang terjamin optimal secara matematis, tetapi juga secara rinci menguji dan memvalidasi performa eksekusi dari rencana misi yang dihasilkan pada wahana di dunia nyata.