

**Rancang Bangun *Drone Board* Terintegrasi dan Sistem Medibox
berbasis IoT dengan Algoritma *Waypoint Follower* serta
Antarmuka ROS2-HTML**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Alif Prima Utama Nur Suharman

221341024



**PROGRAM STUDI OTOMASI MANUFaktur DAN MEKATRONIKA
JURUSAN TEKNOLOGI REKAYASA MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFaktur BANDUNG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**Rancang Bangun *Drone Board* Terintegrasi dan Sistem Medibox
berbasis IoT dengan Algoritma *Waypoint Follower* serta
Antarmuka ROS2-HTML**

Oleh:

Alif Prima Utama Nur Suharman
221341024

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

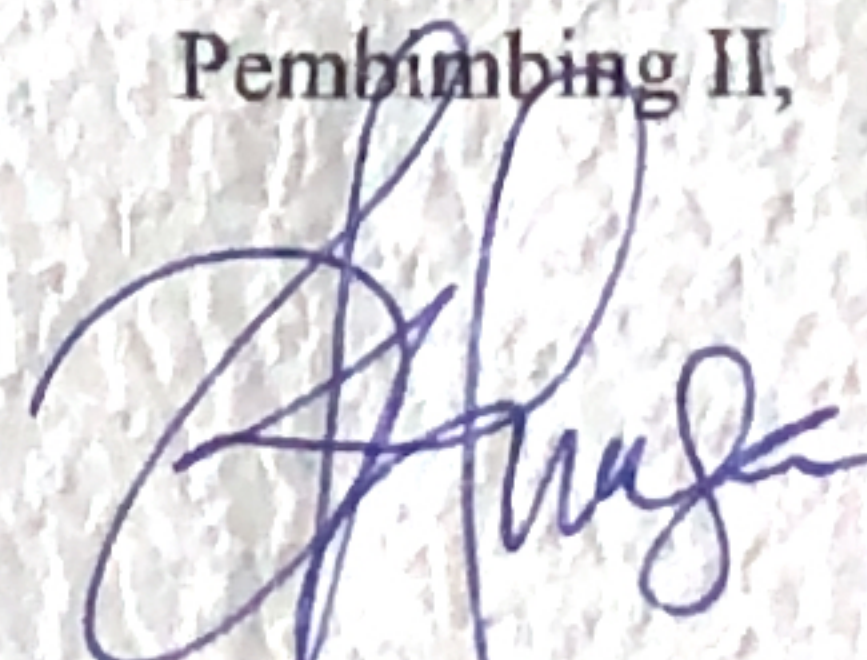
Bandung, 02 Desember 2025

Disetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Dr. Eng. Pipit Anggraeni, S.T.,
M.T., M.Sc.Eng.
NIP. 197908242005012001

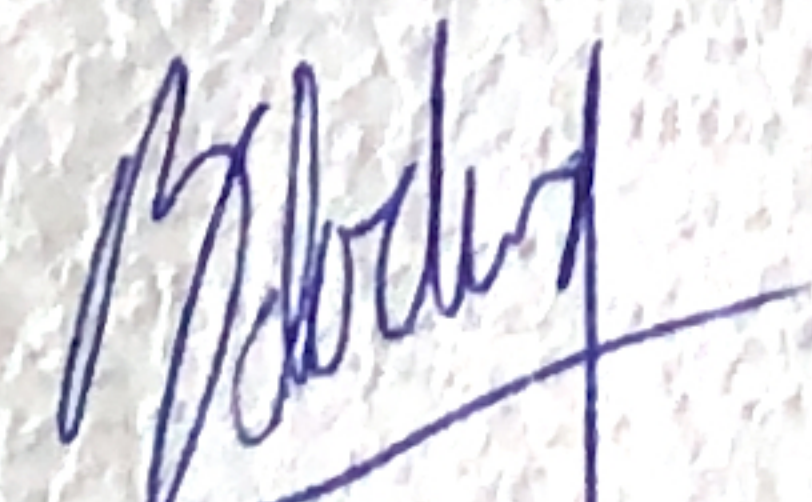

Hilda Khoirunnisa, S.Tr.T.,
M.Sc.Eng.
NIP. 199704192022032012


Disahkan,

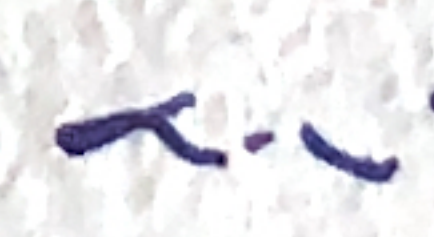
Penguji I,

Penguji II,

Penguji III,


Ir. Bolo Dwiartomo,
M.Sc.
NIP.196810301995121001


Anggraeni Mulyadewi,
S.Si. M.T.
NIP.199612172024062002


Siti Aminah, S.T., M.T.
NIP.197408172009122001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alif Prima Utama Nur Suharman
NIM : 221341024
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekanika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Mekanika
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun *Drone Board* Terintegrasi dan Sistem Medibox berbasis IoT dengan Algoritma *Waypoint Follower* serta Antarmuka ROS2-HTML

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 02 – 12 – 2025
Yang Menyatakan,



Alif Prima Utama Nur Suharman
NIM 221341024

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alif Prima Utama Nur Suharman
NIM : 221341024
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Mekatronika
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Rancang Bangun *Drone Board* Terintegrasi dan Sistem Medibox berbasis IoT dengan Algoritma *Waypoint Follower* serta Antarmuka ROS2-HTML

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 02 – 12 – 2025
Yang Menyatakan,



Alif Prima Utama Nur Suharman
NIM 221341024

KATA PENGANTAR

Sebagai ungkapan syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan bimbingan-Nya, penulis telah berhasil menyelesaikan karya tugas akhir berjudul “Rancang Bangun *Drone Board* Terintegrasi dan Sistem Medibox berbasis IoT dengan Algoritma *Waypoint Follower* serta Antarmuka ROS2-HTML”.

Penyusunan laporan ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan pendidikan program Sarjana Terapan (Diploma-IV) di Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung. terselesaikannya tugas akhir ini terlaksana berkat bantuan, doa, dan dukungan dari banyak pihak. Penulis menyadari tanpa bantuan tersebut, tugas akhir ini tidak akan rampung. Maka, dengan tulus hati, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung, terutama kepada yang terhormat:

1. Bapak Suharman Kamseno dan Ibu Nur Indah Mawarni. Selaku Orang Tua dari penulis yang istimewa, yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, serta pengorbanannya baik dari segi moril maupun materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Eng. Pipit Anggraeni, S.T., M.T., M.Sc.Eng. dan Ibu Hilda Khoirunnisa, S.Tr.T., M.Sc.Eng., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika yang telah membagikan ilmu dan pengalaman selama masa perkuliahan.
4. Para Dosen Penguji sidang tugas akhir yang telah memberikan masukan dan saran yang membangun.
5. Rekan-rekan AE'21, dan khususnya kelas AEA-2, terima kasih atas segala canda, tawa, pengalaman, dan dukungan sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini bersama kalian di Politeknik Manufaktur Bandung.

6. Mila Antika Sari, terima kasih telah menjadi bagian terpenting dalam perjalanan ini. Kehadiranmu bukan sekadar pendukung, melainkan sumber inspirasi yang membangkitkan penulis dari masa-masa sulit dan senantiasa memberikan warna pada setiap langkah perjuangan penulis.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya. Semoga laporan ini bermanfaat bagi kita semua.

Amin Ya Rabbal Alamin.

Bandung, 02 Desember 2025



Alif Prima Utama

MOTO PRIBADI

Dengan keyakinan saya melangkah, dengan keikhlasan dan keteguhan hati saya menghadapi setiap ujian. Hanya kepada Allah saya berserah diri, memohon ampun serta pertolongan-Nya.

Karya akhir ini saya dedikasikan untuk kedua orang tua tercinta, sahabat-sahabat saya, dan semua pihak yang telah mendukung hingga tugas ini dapat terselesaikan. Semoga Allah membalas kebaikan kalian dengan pahala yang berlipat.

ABSTRAK

Penggunaan *Drone* sebagai transportasi medis menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan akses geografis, namun menghadapi tantangan utama dalam hal keandalan sistem kontrol dan jaminan keamanan muatan. Penelitian ini bertujuan merancang bangun sistem *Drone* medis modular yang mengintegrasikan *Drone Board*, *safety-lock medical-box* berbasis servo, serta sistem kendali *Robot Operating System 2* (ROS2) dengan *flight controller* PX4 melalui *middleware* Micro XRCE-DDS dan antarmuka *Ground Control Station* (GCS) berbasis HTML. Menggunakan kerangka kerja VDI 2206 dengan logika kontrol otonom *Finite State Machine* (FSM), validasi sistem dilakukan melalui pengujian komponen fisik dan simulasi Gazebo. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan integrasi sistem secara menyeluruh, di mana mekanisme pengunci *Medical-Box* terbukti mencapai reliabilitas 100% dalam 40 kali percobaan penguncian dan pembukaan baik pada kondisi tanpa muatan maupun beban maksimum 2 kg tanpa kegagalan mekanis, menjawab urgensi keamanan spesimen medis secara efektif. Kinerja misi otonom divalidasi melalui simulasi 4 *Waypoint* dengan fitur *multi-landing* yang mencapai tingkat keberhasilan 100%, dengan *error* posisi navigasi (E_{pos}) berkisar antara 1.35 m hingga 1.57 m, akurasi pendaratan *multi-landing* sebesar 0.84 m, dan *error* pendaratan *final* sebesar 2.06 m di mana sumbu Y menjadi kontributor dominan, serta latensi komunikasi USB/FTDI yang terbukti lebih rendah dibandingkan telemetri radio.

Kata kunci: *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), *PX4-Autopilot*, *Robot Operating System* (ROS), *Micro XRCE-DDS*, *Finite State Machine*

ABSTRACT

The use of Drones for medical transport offers an innovative solution to overcome geographical access limitations but faces significant challenges regarding control reliability and payload security. This research aims to design and build a modular medical Drone system integrating a Drone Board, a servo-based safety-lock medical-box, and a control system combining Robot Operating System 2 (ROS 2) with a PX4 flight controller via Micro XRCE-DDS middleware and an HTML-based Ground Control Station (GCS). Employing the VDI 2206 framework with Finite State Machine (FSM) autonomous control logic, system validation was conducted through physical component testing and Gazebo simulation. The results demonstrate successful overall system integration, where the Medical-Box locking mechanism achieved 100% reliability across 40 locking and unlocking trials under both no-load and 2 kg maximum load conditions without mechanical failure, effectively addressing the critical urgency of medical specimen security. Autonomous mission performance was validated through a 4-Waypoint simulation including multi-landing, achieving a 100% success rate with navigational position error (E_{pos}) ranging from 1.35 m to 1.57 m, a multi-landing accuracy of 0.84 m, and a final landing error of 2.06 m with the Y-axis being the dominant contributor, alongside lower USB/FTDI communication latency compared to radio telemetry.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), PX4-Autopilot, Robot Operating System (ROS), Micro XRCE-DDS, Finite State Machine

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvii
I BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-2
I.3 Batasan Masalah.....	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat	I-3
I.5 Sistematika Penulisan	I-4
II BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori.....	II-1
II.1.1 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)	II-1
II.1.2 Prinsip Aerodinamika <i>Drone Quadcopter</i>	II-1
II.1.3 Robot Operating System (ROS).....	II-2
II.1.4 <i>Firmware Flight Controller</i>	II-4
II.1.5 Protokol Komunikasi <i>Micro XRCE-DDS</i>	II-5
II.1.5.1 Arsitektur <i>Client-Agent</i>	II-5
II.1.5.2 Model Interaksi dan Pertukaran Data	II-6
II.1.6 <i>Finite State Machine</i> (FSM).....	II-8
II.1.7 Antarmuka Pengguna: <i>Websocket dan Rosbridge</i>	II-8
II.1.8 Gazebo.....	II-9
II.1.9 Standar Desain PCB (IPC-2221).....	II-9
II.2 Tinjauan Alat.....	II-10
II.2.1 UAV <i>Drone Quadcopter</i>	II-10
II.2.2 PCB <i>Drone Board</i>	II-12

II.2.3	Medibox <i>Drone</i>	II-12
II.2.4	Telemetri Radio.....	II-13
II.2.5	Motor Servo 5V	II-13
II.2.6	ESP32-WROOM-32	II-14
II.3	Studi Penelitian Terdahulu.....	II-14
III	BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH.....	III-18
III.1	Perancangan sistem	III-19
III.1.1	<i>Product Requirements</i>	III-19
III.1.2	<i>System Design</i>	III-22
III.1.3	<i>Domain Specific Design</i>	III-25
III.1.3.1	Perancangan Mekanik.....	III-25
III.1.3.2	Perancangan Elektrik	III-25
III.1.3.3	Perancangan Informatik.....	III-28
III.1.3.3.1	Simulasi	III-28
III.1.3.3.2	Program Kontrol ROS2	III-29
III.1.3.3.3	Media Komunikasi	III-32
III.1.3.3.4	Perancangan Antarmuka.....	III-33
III.1.3.4	Perencanaan Pengujian Sistem	III-34
III.1.3.4.1	Perencanaan Pengujian Sistem Mekanik.....	III-34
III.1.3.4.2	Perencanaan Pengujian Sistem Elektrik.....	III-34
III.1.3.4.3	Perencanaan Pengujian Informatik.....	III-35
III.1.4	<i>System Integration</i>	III-35
III.1.5	<i>Verification/Validation</i>	III-37
IV	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1	Pengujian Sistem Mekanik.....	IV-1
IV.2	Pengujian Sistem Elektrik.....	IV-3
IV.3	Pengujian Sistem Informatik.....	IV-7
IV.3.1	Pengujian Program Kontrol ROS2.....	IV-7
IV.3.2	Pengujian Komunikasi	IV-14
IV.3.2.1	Pengujian Baseline Performa (Simulasi Gazebo).....	IV-14
IV.3.3	Pengujian Perbandingan Media.....	IV-17
IV.3.3.1	Pengujian Menggunakan Media USB FTDI.....	IV-17
IV.3.3.2	Pengujian Menggunakan Media Telemetri Radio	IV-20
IV.3.4	Pengujian Antarmuka.....	IV-23
IV.4	Implementasi <i>Drone Board</i> pada <i>Drone</i>	IV-26
IV.5	Implementasi Sistem Pengunci Otomatis pada <i>Medibox Drone</i>	IV-27

IV.6 Implementasi Sistem ROS2 pada Perangkat Keras <i>Drone</i>	IV-27
V BAB V PENUTUP	V-1
V.1 Kesimpulan	V-1
V.2 Saran.....	V-2
VI DAFTAR PUSTAKA.....	xv
VII LAMPIRAN	xx

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1. Penelitian terdahulu _____	II-14
Tabel III. 1. Tabel Kebutuhan Perangkat Keras <i>Drone ROS2</i> _____	III-20
Tabel III. 2. Tabel Kebutuhan Perangkat Lunak Sistem <i>Drone ROS2</i> _____	III-21
Tabel III. 3. Kebutuhan Komponen Elektrik _____	III-27
Tabel III. 4. <i>Verification/Validation</i> _____	III-37
Tabel IV. 1. Tabel Pengujian Respon Servo dan <i>Medibox</i>	IV-1
Tabel IV. 2. Tabel Pengujian Pengkabelan <i>Drone Board</i>	IV-4
Tabel IV. 3. Tabel Pengujian Servo	IV-6
Tabel IV. 4. Daftar <i>Setpoint Waypoint</i>	IV-7
Tabel IV. 5. Posisi Aktual <i>Drone</i> terhadap <i>Setpoint Waypoint</i>	IV-11
Tabel IV. 6. Perhitungan Error Posisi	IV-12
Tabel IV. 7. Tabel Perbandingan Performa	IV-22
Tabel IV. 8. Tabel Fitur Tombol Kontrol <i>Drone</i> pada Antarmuka.....	IV-23
Tabel IV. 9. Konfigurasi Parameter <i>uXRCE-DDS Agent</i>	IV-28

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Cara kerja <i>Drone</i> [31].....	II-1
Gambar II. 2 Struktur Komunikasi ROS2[34].....	II-4
Gambar II. 3 Gambaran Umum <i>PX4 Flight Stack</i> [37][34].....	II-5
Gambar II. 4 Alur Pesan <i>Publisher</i> [38]	II-7
Gambar II. 5 Alur Pesan <i>Subscriber</i> [38].....	II-7
Gambar II. 6. Diagram Alur <i>Rosbridge</i> dengan ROS2[43]	II-9
Gambar II. 7. Gazebo Simulator [45][46].....	II-9
Gambar II. 8. <i>Rotor X6 Plus</i> [49].....	II-11
Gambar II. 9. <i>Li-po Battery</i>	II-11
Gambar II. 10. Ilustrasi PCB <i>Drone Board</i>	II-12
Gambar II. 12. <i>SIK Radio Telemetry Holybro</i> [54].....	II-13
Gambar II. 11. Servo 5V[55]	II-14
Gambar II. 16. ESP32-WROOM-32.....	II-14
Gambar III. 1. Model-V VDI2206 [57]	III-18
Gambar III. 2. <i>Use Case Diagram</i>	III-20
Gambar III. 3 Diagram alir Rancangan <i>Drone Board</i>	III-23
Gambar III. 4 Gambaran Umum Sistem <i>Drone Board</i>	III-23
Gambar III. 5 Gambaran Umum <i>Robot Operating System</i>	III-24
Gambar III. 6. Diagram Alur Sistem <i>Drone</i> Menggunakan ROS2.....	III-24
Gambar III. 7. <i>Medical Box</i>	III-25
Gambar III. 8 <i>Top Layer PCB to Pixhawk</i>	III-26
Gambar III. 9 <i>Bottom Layer PCB to Pixhawk</i>	III-26
Gambar III. 10. Desain PCB <i>DroneBoard</i> untuk koneksi ke Sensor <i>Drone</i>	III-26
Gambar III. 11. Simulasi <i>Drone</i> Menggunakan Gazebo.....	III-28
Gambar III. 12. Diagram Alur Simulasi <i>Drone</i> Menggunakan ROS2 dan Gazebo	III-28
Gambar III. 13. Arsitektur FSM.....	III-30
Gambar III. 14. <i>Topic</i> dan <i>Nodes</i> ROS2 pada Program Kontrol <i>Drone</i>	III-32

Gambar III. 18. <i>Topic</i> dan <i>Nodes</i> ROS2 pada Program Kontrol <i>Drone</i> dengan Integrasi Antarmuka HTML	III-33
Gambar III. 19. Antarmuka GCS ROS2 Berbasis Web HTML.....	III-34
Gambar III. 20. Diagram Alur Integrasi Sistem.....	III-36
Gambar IV. 1. Implementasi <i>Medibox</i>	IV-1
Gambar IV. 2. Status Koneksi ROS2 antara <i>Flight Controller</i> dengan <i>Companion Computer</i>	IV-6
Gambar IV. 3. Respon Posisi UAV <i>Waypoint 1</i> (A) Posisi X terhadap <i>Waypoint 1</i> (B) Posisi X terhadap <i>Waypoint 1</i> (C) Posisi X terhadap <i>Waypoint 1</i>	IV-8
Gambar IV. 4. Respon Posisi UAV <i>Waypoint 2</i> (A) Posisi X terhadap <i>Waypoint 2</i> (B) Posisi X terhadap <i>Waypoint 2</i> (C) Posisi X terhadap <i>Waypoint 2</i>	IV-9
Gambar IV. 5. Respon Posisi UAV saat misi multi-landing pada <i>Waypoint 2</i> ..	IV-9
Gambar IV. 6. Respon Posisi UAV <i>Waypoint 3</i> (A) Posisi X terhadap <i>Waypoint 3</i> (B) Posisi X terhadap <i>Waypoint 3</i> (C) Posisi X terhadap <i>Waypoint 3</i>	IV-10
Gambar IV. 7. Respon Posisi UAV <i>Waypoint 4</i> (A) Posisi X terhadap <i>Waypoint 4</i> (B) Posisi X terhadap <i>Waypoint 4</i> (C) Posisi X terhadap <i>Waypoint 4</i>	IV-11
Gambar IV. 8. Output Terminal Perintah ROS2.....	IV-11
Gambar IV. 9. Respon <i>pos_x</i> aktual terhadap <i>setpoint Waypoint pos_x</i>	IV-12
Gambar IV. 10. Respon <i>pos_y</i> aktual terhadap <i>setpoint Waypoint pos_y</i>	IV-12
Gambar IV. 11. Respon <i>pos_z</i> aktual terhadap <i>setpoint Waypoint pos_z</i>	IV-13
Gambar IV. 12. Hasil Pengujian Koneksi pada <i>Topic /fmu/ou/vehicle_odometry</i>	IV-15
Gambar IV. 13. Hasil Pengujian Koneksi pada <i>Topic /fmu/out/vehicle_global_position</i>	IV-15
Gambar IV. 14. Hasil Pengujian Koneksi pada <i>Topic /fmu/out/vehicle_status_v1</i>	IV-16
Gambar IV. 15. Hasil Pengujian Koneksi pada <i>Topic /fmu/out/battery_status</i>	IV-17
Gambar IV. 16. Hasil Pengujian Latensi USB FTDI pada <i>Topic /fmu/out/vehicle_odometry</i>	IV-18
Gambar IV. 17. Hasil Pengujian Latensi USB FTDI pada <i>Topic /fmu/out/vehicle_global_position</i>	IV-18

Gambar IV. 18. Hasil Pengujian Latensi USB FTDI pada <i>Topic</i> <i>/fmu/out/battery_status</i>	IV-19
Gambar IV. 19. Hasil Pengujian Latensi USB FTDI pada <i>Topic</i> <i>/fmu/out/vehicle_status</i>	IV-19
Gambar IV. 20. Hasil Pengujian Latensi Telemetry Radio pada <i>Topic</i> <i>/fmu/out/vehicle_odometry</i>	IV-20
Gambar IV. 21. Hasil Pengujian Latensi Telemetry Radio pada <i>Topic</i> <i>/fmu/out/vehicle_global_position</i>	IV-21
Gambar IV. 22. Hasil Pengujian Latensi Telemetry Radio pada <i>Topic</i> <i>/fmu/out/vehicle_status</i>	IV-21
Gambar IV. 23. Hasil Pengujian Latensi Telemetry Radio pada <i>Topic</i> <i>/fmu/out/battery_status</i>	IV-22
Gambar IV. 24. Tampilan Antarmuka GCS ROS2 saat Menjalankan Misi <i>Waypoint</i>	IV-26
Gambar IV. 25. Implementasi PCB <i>Drone Board</i> pada <i>Drone</i>	IV-27
Gambar IV. 26. Status Koneksi PCB <i>Drone Board</i>	IV-27
Gambar IV. 27. Status Koneksi ROS2 dengan <i>Pixhawk</i>	IV-28
Gambar IV. 28. Status Koneksi <i>Rosbridge_Websocket</i>	IV-29

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Konfigurasi Pin ESP32
- Lampiran 2** Spesifikasi *Pixhawk 6C*
- Lampiran 3** Skematik Rangkaian *DroneBoard - Pixhawk*
- Lampiran 4** Skematik Rangkaian *DroneBoard – Sensor*
- Lampiran 5** Spesifikasi Servo
- Lampiran 6** Rangkaian jalur PCB *DroneBoard – Sensor*

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

E_{pos} : Error Posisi Total (jarak Euclidean antara posisi target dan aktual)

e_x, e_y, e_z : Error Posisi pada sumbu X, Y, Z

$F_{1,3}$: Gaya angkat gabungan motor 1 dan 3 (untuk kontrol *Roll*)

$F_{2,4}$: Gaya angkat gabungan motor 2 dan 4 (untuk kontrol *Pitch*)

F_L : Gaya Angkat (*Lift*)

F_g : Gaya Gravitasi

g : Percepatan Gravitasi Bumi (9.81 m/s²)

I: Arus (Ampere)

k_T : Konstanta *Thrust*

m : Massa *Drone*

q_w, q_x, q_y, q_z : Komponen Kuaternion (untuk representasi orientasi)

T_1, T_2, T_3, T_4 : Tingkat *Throttle* untuk masing-masing motor (Motor 1-4)

ΔT : Kenaikan Suhu di atas ambien (°C)

ω : Kecepatan Sudut Putaran *Propeller*

ψ_{yaw} : Sudut Yaw (hasil konversi dari Kuaternion)

$x_{act}, y_{act}, z_{act}$: Koordinat Posisi Aktual *Drone*

$x_{ref}, y_{ref}, z_{ref}$: Koordinat Posisi Target (*Waypoint*)

BLDC: *Brushless Direct Current* (Motor)

CCW: *Counter Clockwise* (Berlawanan Arah Jarum Jam)

CW: *Clockwise* (Searah Jarum Jam)

DDS: *Data Distribution Service*

FSM: *Finite State Machine*

GCS: *Ground Control Station*

GPS: *Global Positioning System*

HTML: *HyperText Markup Language*

IMU: *Inertial Measurement Unit*

JSON: *JavaScript Object Notation*

JST-GH: Jenis Konektor (spesifikasi dari *Japan Solderless Terminal*)

Li-Po: *Lithium Polymer* (Baterai)

PCB: *Printed Circuit Board*

PID: *Proportional-Integral-Derivative (Kontroler)*

QoS: *Quality of Service*

ROS: *Robot Operating System*

RX: *Receiver (Penerima)*

TX: *Transmitter (Pengirim)*

SITL: *Software in The Loop UAV: Unmanned Aerial Vehicle*

UI: *User Interface*

USB: *Universal Serial Bus*

VTOL: *Vertical Take-Off and Landing*

WP: *Waypoint*

IoT: *Internet of Things*

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sektor transportasi medis memegang peranan vital dalam pelayanan kesehatan [1], namun transportasi medis konvensional seperti ambulans seringkali memiliki kendala seperti akses geografis atau kemacetan lalu lintas sehingga menyebabkan keterlambatan pengiriman logistik yang krusial seperti sampel darah [2], [3], [4], [5]. Selain itu, metode transportasi darat konvensional juga menempatkan operator ambulans pada risiko keselamatan yang tinggi akibat tekanan operasional di jalan raya. Data menunjukkan bahwa 62% kecelakaan ambulans terjadi saat merespons panggilan darurat, di mana pengemudi seringkali harus beroperasi di bawah tekanan tinggi dan risiko pelanggaran lalu lintas[6], [7].

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) [8], [9], [10], [11] menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan dibandingkan ambulans karena dapat memangkas waktu tempuh hingga lebih dari 50%, hal ini sangat krusial untuk kebutuhan diagnosis kesehatan secara cepat [5], [12]. Penggunaan UAV dalam menjawab panggilan darurat juga akan menghilangkan risiko keselamatan bagi operator ambulans[13]. Studi pun menunjukkan bahwa penggunaan *Drone* mampu mengurangi emisi CO_2 dibandingkan ambulans konvensional [5], [12]. Jenis UAV diantaranya adalah *rotary-wing* dan *fixed-wing*[14]. *Rotary-Wing* UAV seperti *Drone quadcopter* memiliki kemampuan *Vertical Take-Off Landing* (VTOL) karena tidak membutuhkan landasan pacu yang relatif lebih panjang dibandingkan dengan *fixed-wing* sehingga cocok dioperasikan di lingkungan urban atau wilayah dengan lahan terbatas[15].

Implementasi sistem *Drone* untuk logistik medis masih menghadapi sejumlah tantangan teknis diantaranya adalah jalur koneksi *flight controller* dengan berbagai sensor yang melibatkan manajemen kabel yang rumit dan tidak rapi[16], hal ini akan meningkatkan risiko kesalahan teknis dan menyulitkan proses perawatan (*maintenance*)[17]. Sistem keamanan muatan (*payload*) pada *Medical Box* (MediBox) berbasis kunci pegas manual pun masih memiliki celah keamanan

karena dapat dibuka secara langsung oleh sembarang orang dan juga status pengunciannya yang tidak dapat termonitor oleh program [18]. Keterbatasan kapasitas baterai pun masih menjadi kendala pada *Drone* yang hanya melakukan penerbangan sekali jalan (*single-trip*) tanpa opsi transit untuk pengisian daya (*charging*) saat melakukan pengiriman berantai ke beberapa lokasi fasilitas kesehatan [19]. Selain tantangan teknis tersebut, dibutuhkan juga *interface* untuk memudahkan monitoring dan mengontrol *Drone* secara *end-to-end* serta *real time* [20].

Untuk menjawab tantangan teknis tersebut, penelitian ini bertujuan merancang bangun sistem *Drone* medis yang terintegrasi secara menyeluruh antara perangkat keras dan perangkat lunak. Solusi utama mencakup pengembangan *Drone Board* modular yang bertujuan menyederhanakan sistem pengkabelan (*simplifying wiring*) agar sistem kabel lebih terorganisir, integrasi sistem pengunci aktif berbasis servo agar *door lock system* lebih aman [21], yang dapat dikontrol secara fleksibel melalui sistem antarmuka pengguna (*user interface*) berbasis web untuk menjamin keamanan akses muatan [22], [23], [24]. Selain itu, sistem antarmuka pengguna berbasis web ini akan memudahkan kontrol dan monitoring *Drone* karena dapat melihat perilaku dan status *Drone* secara *real-time*. Penelitian ini juga menerapkan strategi misi *multi-landing* yang memungkinkan *Drone* mendarat di beberapa titik transit untuk menurunkan muatan (*drop-off*) sekaligus melakukan pengisian daya (*charging*) guna mengatasi keterbatasan baterai [25]. Kinerja sistem akan divalidasi melalui simulasi dan pengujian perangkat keras untuk memastikan keandalan misi otonom dalam skenario logistik medis dengan harapan tingkat keberhasilan misi (*reliability*) lebih dari 80% [26] serta dapat memberikan kontribusi nyata dalam pemanfaatan teknologi *Drone* terintegrasi untuk mendukung layanan logistik medis yang lebih efektif dan aman, khususnya di daerah dengan hambatan geografis [27].

I.2 Rumusan Masalah

Hal yang menjadi rumusan masalah:

- 1) Bagaimana menerapkan *Drone* untuk mengatasi masalah geografis yang ada dalam pengiriman medis?

- 2) Bagaimana cara mengurangi risiko keselamatan pada pengemudi atau pelaku pengiriman medis?
- 3) Bagaimana meningkatkan keamanan *payload* yang dibawa menggunakan *Medibox Drone*?
- 4) Bagaimana membuat *Drone* menjadi mudah untuk dilakukan *maintenance* serta membuat wiring *Drone* menjadi modular?
- 5) Bagaimana mengatasi masalah keterbatasan baterai pada *Drone* ketika sedang menjalankan misi pengiriman medis?

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

- 1) Menggunakan *Companion Computer* dengan RAM minimal 4gb.
- 2) Telemetri yang digunakan adalah sik radio telemetri 433MHz dengan jangkauan jarak 300meter tanpa *patch* antena.
- 3) Dioperasikan dalam kondisi cuaca yang tidak buruk seperti hujan dan badai atau harus dalam keadaan cuaca yang cerah.
- 4) Untuk mendapatkan kekuatan sinyal GPS yang stabil maka *Drone* dioperasikan pada luar ruangan dan di lapangan dengan luas tidak lebih dari 300meter (sesuai jangkauan telemetri) tanpa ada bangunan tinggi yang menghalangi.
- 5) Menggunakan servo 5V sebagai pengunci *Medibox* untuk mengoptimalkan pengamanan *payload* pada *Medibox Drone*.
- 6) Maksimal beban *payload* adalah 2kg pada *Medibox*
- 7) Menggunakan konfigurasi dua buah baterai Li-Po 6S yang diseri untuk menghasilkan tegangan kerja 50.4 Volt dengan kapasitas 16.000 mAh
- 8) Tidak mencakup *obstacle avoidance* dan *precission landing*.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Mengacu pada rumusan masalah, maka tujuan tugas akhir ini adalah:

- 1) Menyederhanakan rangkaian kabel untuk memudahkan saat dilakukan *maintenance*.
- 2) Memberikan antarmuka yang mudah digunakan dengan tampilan dan fitur yang lengkap untuk kontrol dan monitoring *Drone ROS2*.

- 3) Mengurangi andil manusia dalam pengoperasian *Drone* untuk mengurangi risiko-risiko yang tidak diharapkan seperti kecelakaan lalu lintas.
- 4) Menciptakan *double-safety* pada Medibox untuk memastikan keamanan pada *payload* yang dibawa pada Medibox *Drone*.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Karya Tulis Ilmiah Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH

Berisi uraian rinci tentang metode dan langkah-langkah penyelesaian masalah, bahan atau materi TA, alat yang digunakan, rancangan sistem, variabel TA, dan metode pengambilan data atau metoda analisis hasil.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi jawaban permasalahan yang dirumuskan, dan penjelasan mengenai hasil-hasil TA.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan yang diperoleh dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian lebih lanjut.