

***Analisis Data Flight Controller dan Syslog Ardupilot
Mission Planner dengan Telemetri Berbasis 4G LTE-A
Pada UAV Fixed Wings***

(Skripsi)

Oleh

Yusuf Rizki Sulardi Akbar

2055031008



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2024

ABSTRAK

Analisis Data Flight Controller dan Syslog Ardupilot Mission Planner dengan Telemetri Berbasis 4G LTE-A Pada UAV Fixed Wings

Oleh

Yusuf Rizki Sulardi Akbar

Penelitian ini mengeksplorasi tantangan dalam pemantauan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), di mana secara umum proses transfer data dari UAV ke *Ground Control Station* (GCS) melalui telemetri radio 433 MHz dan 915 MHz seringkali mengalami penurunan kualitas koneksi, terutama saat UAV terbang pada jarak yang lebih jauh. Selain itu, kendala regulasi di berbagai negara turut menjadi hambatan signifikan dalam penerapan radio untuk telemetri pada UAV. Sebagai respons terhadap kendala tersebut, penelitian ini fokus pada pengembangan telemetri berbasis 4G LTE-A (*Long Term Evolution – Advanced*) pada UAV. Tujuan penelitian meliputi desain dan konfigurasi sistem kontrol UAV dengan menerapkan telemetri 4G LTE serta identifikasi dan analisis hasil penerbangan UAV, dengan penekanan pada evaluasi kualitas koneksi telemetri pada GCS. Metode penelitian mencakup tahap perakitan wahana, konfigurasi telemetri 4G LTE dan pengambilan data, yang kemudian data tersebut diolah dan dianalisis untuk mengevaluasi korelasi antar parameter penerbangan, terutama dalam konteks hubungannya dengan *current battery*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemantauan UAV melalui GCS menggunakan jaringan internet 4G LTE dapat dilakukan. Protokol Mavlink memungkinkan transfer data yang cepat dan responsif antara UAV dan stasiun kendali. Protokol Mavlink juga mampu mendukung berbagai jenis pesan, termasuk perintah kendali, data telemetri, dan konfigurasi perangkat keras, yang membuatnya sangat fleksibel dalam mengakomodasi berbagai kebutuhan komunikasi, walaupun kendala akses internet di beberapa daerah dapat membatasi implementasi telemetri 4G LTE. Sistem telemetri dengan menggunakan teknologi 4G LTE-A dapat menjadi opsi alternatif dari telemetri radio 433 MHz dan 915 MHz.. Hasil dari analisis korelasi data menegaskan bahwa parameter seperti *air speed*, *wind speed*, *ground speed*, *altitude*, *throttle*, dan *PWM throttle* memiliki hubungan korelasi yang signifikan dengan *current battery*, memperlihatkan dampak kritis pada kinerja UAV, khususnya dalam penggunaan baterai dan konfigurasi wahana untuk misi penerbangan.

Kata Kunci: UAV, GCS, 4G LTE, dan analisis korelasi

ABSTRACT

Analysis of Flight Controller Data and Ardupilot Mission Planner Syslog with 4G LTE-A-Based Telemetry on Fixed-Wing UAV

By

Yusuf Rizki Sulardi Akbar

This research explores challenges in Unmanned Aerial Vehicle (UAV) monitoring, where the general process of data transfer from UAV to the Ground Control Station (GCS) via 433 MHz and 915 MHz telemetry radios often experiences a decline in connection quality, especially when the UAV is flying at longer distances. Additionally, regulatory constraints in various countries pose a significant obstacle to the use of radio telemetry in UAV. In response to these challenges, this research focuses on the development of 4G LTE-A-based telemetry on the UAV. The research objectives include the design and configuration of the UAV control system by implementing 4G LTE telemetry, as well as the identification and analysis of UAV flight results, with an emphasis on evaluating telemetry connection quality on the GCS. The research methodology includes the assembly of the vehicle, configuration of 4G LTE telemetry, data collection, and subsequent processing and analysis to evaluate correlations among flight parameters, particularly in relation to the current battery. The research findings indicate that UAV monitoring through GCS using a 4G LTE internet connection is feasible. Mavlink protocol enables fast and responsive data transfer between the UAV and the control station, and its ability to support various message types, including control commands, telemetry data, and hardware configuration, makes it highly flexible in accommodating various communication needs. However, limitations in internet access in some areas may restrict the implementation of 4G LTE telemetry. Nevertheless, the 4G LTE telemetry has been proven as a viable alternative option beside the 433 MHz and 915 MHz radio telemetry.. Data correlation analysis confirms that parameters such as air speed, wind speed, ground speed, altitude, throttle, and PWM throttle have a significant correlation with the current battery, indicating a critical impact on UAV performance, especially in battery usage and vehicle configuration for flight missions.

Keywords: UAV, GCS, 4G LTE, and correlation analysis

***Analisis Data Flight Controller dan Syslog Ardupilot
Mission Planner dengan Telemetri Berbasis 4G LTE-A
Pada UAV Fixed Wings***

Oleh

Yusuf Rizki Sulardi Akbar

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

Judul Skripsi : Analisis Data Flight Controller dan Syslog
Ardupilot Mission Planner dengan Telemetry
Berbasis 4G LTE-A Pada UAV Fixed Wings

Nama Mahasiswa : Yusuf Rizki Sulardi Akbar

Nomor Pokok Mahasiswa : 2055031008

Jurusan : Teknik Elektro

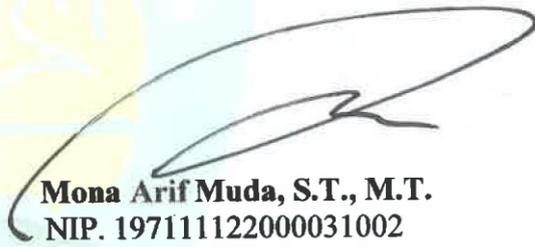
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr.-ing. Melvi, S.T., M.T.
NIP. 197301182000032001



Mona Arif Muda, S.T., M.T.
NIP. 197111122000031002

2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro

Ketua Program Studi
Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 1999032001



Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 19740422 2000122001

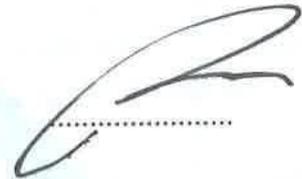
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr.-ing. Melvi, S.T., M.T.



Sekretaris : Mona Arif Muda, S.T., M.T.



Anggota : Dr.-ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.



Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. /
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Januari 2024

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yusuf Rizki Sulardi Akbar

NPM : 2055031008

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini dibuat tidak ada terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandarlampung, 22 Januari 2024



1000
REPUBLIK INDONESIA
METAL
TERBUK
40DALX107897072

Yusuf Rizki Sulardi Akbar
NPM. 2055031008

RIWAYAT HIDUP

Yusuf Rizki Sulardi Akbar lahir di Palembang pada tanggal 3 Mei 2002 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari keluarga Bapak Sulardi dan Ibu Rakhma Yusnidar. Merupakan lulusan SD Negeri 41 Plus Banyuasin III, SMP Negeri 1 Banyuasin III, dan SMA Plus Negeri 2 Banyuasin III. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah, Yusuf melanjutkan perjalanannya akademisnya ke Universitas Lampung pada tahun 2020, mengambil jurusan Teknik Elektro di Fakultas Teknik.

Dengan minat yang mendalam dalam bidang penelitian dan manajemen proyek sejak masa sekolah, Yusuf telah aktif mengikuti berbagai perlombaan penelitian dan karya tulis ilmiah baik tingkat daerah maupun nasional. Prestasinya mencakup keberhasilan menjadi juara atau finalis dalam lomba-lomba bergengsi seperti PUSAIR dari Kementerian PUPR, LKIP-IPB, Indonesian Science Project Olympiad (ISPO), Center for Young Scientist (CYS), dan berbagai kompetisi dari universitas lainnya. Selama masa sekolah, dedikasi Yusuf tidak hanya terfokus pada prestasi akademis, tetapi juga terlihat dari partisipasinya dalam organisasi seperti OSIS, KIR, dan Pramuka. Keterlibatan aktifnya dalam kegiatan ekstrakurikuler ini menunjukkan rasa tanggung jawab dan semangat kepemimpinan sejak dini.

Selama menempuh perkuliahan, Yusuf terus mengembangkan minat dan bakatnya dengan menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro di Divisi Riset dan Teknologi, Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik, serta aktif di UKM SAINTEK dan URO (Unila Robotika dan Otomasi). Selain itu, ia terlibat sebagai asisten laboratorium telekomunikasi dan asisten praktikum. Dalam hal prestasi, Yusuf meraih juara 1 bidang prototype di ICOSiTer dari ITERA, juara 2 di IFAC World Drone Competition di Jepang, dan terlibat dalam proyek-proyek berarti seperti mapping, pembangunan U-TEWS PUMMA, dan riset sawit perhitungan fluks karbon dengan metode Eddy Covariance. Melalui dedikasinya dalam riset, manajemen proyek, dan kegiatan organisasi, Yusuf Rizki Sulardi Akbar terus menunjukkan potensi luar biasa dalam menjelajahi dunia akademis dan profesional.

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya kecil ini dengan rasa hormat,
cinta dan kasih sayang, kepada:

Bapak dan Ibu yang terkasih

Sulardi

Dan

Rakhma Yusnidar

Serta

Saudara:

Annisa Rizki Sulardi Akbar

Dan

Azzahra Rizki Sulardi Akbar

Yang telah menjadi motivasi dan inspirasi serta tiada
hentinya memberikan dukungan dan do'a-nya:

TELTI 2020

HIMATRO UNILA

Terima kasih atas kekeluargaan, do'a, serta dukungan
yang selalu mengiringi hingga merasa lebih baik dari
hari ke hari

MOTTO HIDUP

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan,”

(QS. Al-Insyirah 94: ayat 5)

“Apapun yang menjadi takdirmu, akan mencari jalannya
menemukanmu,”

(Ali Bin Abi Thalib)

“Barang siapa keluar untuk mencari sebuah ilmu, maka ia akan berada
di jalan Allah hingga ia kembali,”

(HR Tirmidzi)

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala karunia, hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis, sehingga laporan skripsi ini yang berjudul “**Analisis Data *Flight Controller* dan *Syslog Ardupilot Mission Planner* dengan Telemetri Berbasis 4G LTE-A Pada UAV Fixed Wings**” dapat selesai tepat pada waktunya. Yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Shalawat serta salam selalu tercurah kepada junjungan seluruh alam, Nabi Muhammad SAW. sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari akhir zaman. Selama menjalani pengerjaan Skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan pemikiran maupun dorongan moril dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung, sekaligus Dosen Pembimbing Pendamping.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
5. Ibu Dr. -ing. Melvi, S.T.,M.T. selaku Kepala Laboratorium Telekomunikasi Informasi, sekaligus pembimbing tugas akhir dan telah banyak membantu memberikan kritik, saran, dan motivasi yang bermanfaat bagi penulis.
6. Bapak Dr. -ing. Ardian Ulvan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping, yang telah banyak membimbing dan memberi dukungan kepada penulis.
7. Bapak Mona Arif Muda, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama, yang telah banyak membimbing dan memberi dukungan kepada penulis.
8. Umi Murdika, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing Akademik, yang telah

banyak membimbing dan membantu penulis selama menjalani kuliah.

9. Seluruh Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan
10. Bapak dan Ibu tersayang yang telah memberikan dukungan moril dan materil selama menjalani kuliah.
11. Kakak kakak dan keluargaku tercinta, yang telah memberikan penulis motivasi dan senantiasa memberikan semangat selama berkuliah.
12. TELTI 20, sahabat karibku, kenangan kita bersama yang akan aku kenang selama berjuang dimedan yang sama.
13. Sahabat dekat ku tim PPK Ormawa Petengoran dan PPK Ormawa Dipasena, yang telah menjadi bagian penting dalam perjuanganku.
14. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis.

Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan terlibat langsung maupun tidak langsung yang telah membantu penulis dalam pembuatan skripsi.

Semoga Allah SWT membalas semua perbuatan dan kebaikan yang telah diberikan kepada penulis sampai dengan terselesaikannya skripsi ini. Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari segi penyusunan maupun pemilihan kata. Maka dari itu penulis terbuka menerima masukan kritik dan saran yang dapat membangun penulis kedepannya. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandarlampung, 22 Januari 2024



Yusuf Rizki Sulardi Akbar
NPM. 2055031008

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
SURAT PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO.....	ix
SANWACANA.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 UAV (<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>)	7
2.3 Telemetry	11

2.4	Flight Control	12
2.5	<i>Motor Brushless</i>	13
2.6	<i>Electrical Speed Control (ESC)</i>	15
2.7	<i>Motor Servo</i>	16
2.8	<i>Receiver</i>	18
2.9	<i>Transmitter</i>	19
2.10	Baterai	21
2.11	Raspberri Pi	22
2.12	Penggunaan Mobile Network UAV di Jepang dan Indonesia.....	23
2.13	<i>Mission Planner</i>	24
2.14	ZeroTier sebagai <i>Virtual Pricate Network (VPN)</i>	25
2.15	Bahasa Pemrograman Python.....	27
2.16	Bahasa Pemrograman R	27
2.17	Korelasi Spearman	28
2.18	Korelasi Sirkular Linear	28
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....		30
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	30
3.2.	Komponen dan Perangkat Lunak	30
3.3.	Diagram Penelitian.....	33
3.4.	Diagram Alur Koneksi UAV.....	36
3.5.	Skematik Rangkaian Elektronik UAV	37
3.6.	Blok Diagram Telemetry.....	39
BAB IV. HASIL DAN ANALISA.....		41
4.1.	Analisa Kualitas Komunikasi Telemetry 4G LTE	41
4.2.	Analisa Kualitas Telemetry Sinyal Radio 433/915 MHz	45
4.3.	Visualisasi Data Penerbangan.....	48
4.4.	Analisa Korelasi Data Penerbangan pada Syslog.....	51

BAB V. PENUTUP	63
5.1. Kesimpulan.....	63
5.2. Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. UAV jenis <i>rotary wing</i>	8
Gambar 2.2. UAV jenis <i>fixed wing</i>	10
Gambar 2.3. UAV yang terhubung dengan GCS dan Remote RC.....	10
Gambar 2.4. Struktur Umum Radio Telemetry	11
Gambar 2.5. <i>Flight controller</i> Pixhawk	13
Gambar 2.6. Motor SUNNYSKY X2820 800 KV	14
Gambar 2.7. Hobbywing ESC	16
Gambar 2.8. Motor Servo.....	17
Gambar 2.9. Receiver 2,4 GHz	19
Gambar 2.10. Transmitter	21
Gambar 2.10. Baterai Li-ion 15.000 mAH.....	22
Gambar 2.11. Raspberry Pi Board.....	23
Gambar 1.12. Tampilan GUI dari Mission Planner.....	25
Gambar 2.13. <i>Tunneling</i> VPN di Interkoneksi Jaringan.....	26
Gambar 2.14. Logo ZeroTier	26
Gambar 3.1. Diagram Penelitian	30
Gambar 3.2. Alur Koneksi UAV	33
Gambar 3.2. Sistem Kontrol Wahana.....	34

Gambar 3.3. Blok Diagram Telemetry.....	36
Gambar 4.1. Tampilan HUD dan Link Stats Percobaan 1	41
Gambar 4.2. Test Ping GCS ke Raspberry Pi melalui Command Prompt ...	41
Gambar 4.3. Tampilan HUD dan Link Stats Percobaan 2	42
Gambar 4.4. Test Ping GCS ke Raspberry Pi melalui Command Prompt ...	42
Gambar 4.5. Tampilan HUD dan Link Stats Percobaan 3	43
Gambar 4.6. Test Ping GCS ke Raspberry Pi melalui Command Prompt ...	43
Gambar 4.7. Tampilan HUD dan Link Stats Percobaan 4	44
Gambar 4.8. Test Ping GCS ke Raspberry Pi melalui Command Prompt ...	44
Gambar 4.9. Visualisasi RSSI	46
Gambar 4.10. Visualisasi RSSI dalam dB.....	47
Gambar 4.11. Take off UAV.....	48
Gambar 4.12. Misi Perjalanan.....	49
Gambar 4.13. Pelaksanaan misi (Drop Payload).....	49
Gambar 4.14 Landing UAV	50
Gambar 4.15. Heatmap Korelasi Parameter	52
Gambar 4.16. Visualisasi grafik antara <i>Current Battery</i> dan <i>Altitude</i>	59
Gambar 4.17. Visualisasi grafik antara <i>Current Battery</i> dan <i>Air speed, Wind Speed</i> dan <i>Ground Speed</i>	60
Gambar 4.18. Visualisasi grafik antara <i>Current Battery</i> dan <i>Throttle</i> serta <i>PWM Throttle</i>	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi flight controller Pixhawk	13
Tabel 2.2. Spesisikasi Motor	15
Tabel 2.3 Spesifikasi Electrical Speed Control	16
Tabel 2.4. Spesifikasi servo.....	17
Tabel 2.5. Spesifikasi Receiver	19
Tabel 2.6. Spesifikasi Transmitter.....	21
Tabel 2.7 Spesifikasi Raspberry pi 4 B	23
Tabel 3.1 Komponen dan Perangkat Lunak	27
Tabel 4.1 Data Telemetry Jaringan Local	42
Tabel 4.2 Data Telemetry dengan Mobile Network	43
Tabel 4.3 Data Telemetry dengan Mobile Network (Bergerak di Darat)	44
Tabel 4.4 Data Telemetry dengan Mobile Network (UAV Terbang)	45
Tabel 4.5 Tabel Korelasi Positif Parameter	52
Tabel 4.6 Tabel Korelasi Negatif Parameter	53
Tabel 4.7 Tabel Korelasi Data Kontinyu-Kontinyu	56
Tabel 4.8 Korelasi Data Rasio-Kontinyu	57
Tabel 4.11 Tabel Korelasi Data Sirkular-Kontinyu	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Perkembangan zaman adalah fenomena yang berkelanjutan sejak munculnya peradaban manusia. Setiap periode memiliki karakteristiknya sendiri dan ditandai oleh perubahan substansial dalam berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk kemajuan teknologi, dinamika ekonomi, evolusi sosial, serta perkembangan budaya. Dalam dinamika ini, munculnya Revolusi Industri 4.0 menjadi tonggak monumental yang mengubah dasar-dasar paradigma industri. Era ini tidak hanya menghadirkan inovasi dalam proses produksi dan ekonomi, tetapi juga menciptakan pergeseran mendalam dalam cara kita berpikir, berinteraksi, dan berpartisipasi dalam masyarakat global yang semakin terhubung.

Revolusi Industri 4.0 merupakan fase terbaru dari perkembangan industri yang ditandai oleh integrasi teknologi digital dan fisik. Revolusi Industri 4.0 membawa perubahan mendasar dalam cara manusia bekerja, berinteraksi, dan hidup. Teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), robotika, komputasi awan, dan *big data analytics* menjadi inti dari perubahan besar ini [1].

Revolusi Industri 4.0 mempengaruhi berbagai sektor dan bidang kehidupan manusia. Di bidang industri, penggunaan otomatisasi dan robotika telah meningkatkan efisiensi dan produktivitas produksi. Salah satu teknologi yang saat ini sedang banyak dikembangkan adalah teknologi drone atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau pesawat tanpa awak. Autonomous UAV merupakan wahana udara tanpa awak yang mampu terbang pada jalur yang telah ditentukan secara otomatis tanpa adanya kendali langsung oleh pilot. Teknologi UAV memiliki banyak manfaat di berbagai bidang, termasuk bidang militer, pertanian, dan kepentingan manusia [2].

Pada saat UAV sedang terbang, status penerbangan UAV ditampilkan di *Ground Control Station* (GCS) melalui *software* seperti ArduPilot. Secara umum, di Indonesia proses pengiriman data dari UAV ke GCS dilakukan melalui perangkat telemetri radio 433 MHz. Namun, kelemahan dari metode ini adalah adanya batasan jarak jangkauan, yang mengakibatkan penurunan kualitas koneksi telemetri. Ketika UAV terbang terlalu jauh, sinyal telemetri dapat hilang sehingga data tidak bisa dipantau lebih lanjut di GCS. Selain daripada itu, masalah lain seperti regulasi di setiap negara juga menjadi masalah serius untuk penggunaan radio untuk telemetri di *drone*.

Salah satu kasusnya adalah pada saat tim URO mengikuti *World Drone Competition* di Jepang, pihak penyelenggara tidak mengizinkan penggunaan komunikasi radio yang biasa dipakai di Indonesia. Maka dari itu, untuk meningkatkan koneksi telemetri serta mengikuti peraturan yang ada di negara lain diperlukan perancangan telemetri menggunakan Internet atau dalam kasus ini adalah menggunakan jaringan 4G LTE. Dengan menggunakan mobile network, UAV dapat mengirimkan dan menerima data ke GCS tanpa adanya batasan jarak jangkauan dan dapat izin terbang di Jepang.

Keberhasilan dalam penggunaan UAV dalam berbagai aplikasi ini sangat tergantung pada sistem kontrolnya. Sistem kontrol otonom yang efisien memungkinkan UAV untuk menjalankan tugas-tugasnya dengan akurasi dan keandalan yang tinggi, serta meminimalkan intervensi manusia. Oleh karena itu, perancangan dan analisis sistem kontrol UAV adalah aspek penting dalam pengembangan teknologi UAV [4]. Selain itu, dengan teknologi yang terus berkembang, terdapat peluang untuk meningkatkan kemampuan kontrol UAV dengan memanfaatkan teknologi baru seperti sensor canggih, algoritma pintar, dan konektivitas data yang cepat.

Penelitian ini akan membahas mengenai perancangan dari sistem kontrol wahana serta juga akan memanfaatkan *single board computer*

Raspberry Pi 4 Model B untuk proses pengolahan data telemetri. Penulis memanfaatkan kegunaan dari internet dengan metode MavLink dengan akses internet melalui ZeroTier sebagai *Virtual Private Network* (VPN) sebagai telemetri UAV. Oleh karena itu, skripsi ini akan mengangkat judul “Analisis Data *Flight Controller* dan *Syslog Ardupilot Mission Planner* dengan Telemetri Berbasis 4G LTE-A Pada UAV *Fixed Wings*” Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi dan solusi yang efektif dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja operasi UAV dengan memberikan perancangan yang baik serta analisis yang jelas dari pengaplikasian jaringan *mobile network* sebagai sistem telemetri.

1.2. Rumusan Masalah

Tujuan dari penulisan laporan skripsi ini adalah:

1. Bagaimana melakukan perancangan dan konfigurasi sistem kontrol pada drone UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dengan menerapkan teknologi 4G LTE sebagai sistem telemetrinya.
2. Bagaimana hasil identifikasi dan analisa penerbangan pada wahana yang telah dirancang dan melihat kualitas *connection link* pada GCS (*Ground Control Station*)

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan *mobile network* dari provider yang memiliki jaringan 4G.
2. Sistem *Ground Control Station* (GCS) utama yang digunakan untuk memonitor *connection link* adalah *software* Ardu Pilot Mission Planner.
3. Wahana yang digunakan berjenis *fixed wing* dari model New Sky Walker 1900.
4. Skripsi ini hanya menjelaskan mengenai identifikasi

konfigurasi, visualisasi datalog penerbangan dan pemantauan kualitas *connection link* dari telemetri 4G LTE.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu

1. Untuk mengetahui bagaimana perancangan dan konfigurasi sistem kontrol pada drone UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dengan menerapkan telemetri 4G LTE di dalam sistemnya.
2. Untuk mengetahui hasil dari identifikasi dan analisa penerbangan pada wahana yang telah dirancang dan melihat kualitas *connection link* pada GCS (*Ground Control Station*)

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini yaitu

1. Penulis: Penulis akan mendapatkan peningkatan pengetahuan dan pengalaman dalam merancang sistem kendali UAV yang otonom, yang dapat meningkatkan peluang karir dan reputasi di bidang ini.
2. Instansi: Instansi yang terlibat dalam penelitian akan dapat meningkatkan efisiensi operasional UAV mereka dan memaksimalkan manfaat teknologi telemetri 4G LTE, yang berpotensi meningkatkan kualitas layanan dan produktivitas mereka.
3. Pemerintah: Pemerintah akan dapat memanfaatkan teknologi ini untuk meningkatkan keamanan nasional dan kemampuan pemantauan dalam situasi darurat, meningkatkan perlindungan dan pelayanan kepada masyarakat.
4. Masyarakat: Masyarakat akan merasakan manfaat dalam bentuk peningkatan keamanan, pemantauan lingkungan yang lebih baik, dan layanan publik yang ditingkatkan, yang dapat meningkatkan kualitas hidup mereka.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari penulisan laporan skripsi ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, tujuan, batasan masalah, metode penelitian, serta sistematika dari penulisan laporan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan mengenai konsep UAV, Telemetri, Flight Controller, Raspberry Pi, Mission Planner, dan VPN.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai waktu dan tempat penelitian, komponen dan perangkat lunak, Metode Pelaksanaan, Diagram Alur Komunikasi UAV, Skematik Rangkaian Elektronik UAV, dan Blok Diagram Telemetri.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bab ini berfokus pada presentasi hasil penelitian yang melibatkan data, grafik, dan temuan utama. Analisis terhadap hasil juga akan disampaikan untuk memahami implikasi dan signifikansinya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi rangkuman keseluruhan penelitian, kesimpulan, serta saran untuk pengembangan lebih lanjut. Kesimpulan akan merangkum temuan utama, sedangkan saran dapat memberikan rekomendasi untuk penelitian atau pengembangan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini berisikan referensi dari penulisan dan pelaksanaan proyek.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait dengan skripsi ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Sukhrob Atoev, Ki-Ryong Kwon, Suk-Hwan Lee, dan Kwang-Seok Moon dari Korea Selatan yang diterbitkan dalam International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT) pada tahun 2017 dengan judul “Data Analysis of the MAVLink Communication Protocol”. Pada penelitian ini mereka akan membahas mengenai analisis latensi jaringan dan paket data loss dengan menggunakan MAVlink protocol, dalam pengujiannya mereka akan menggunakan mission planner sebagai Ground Control Station (GCS) dan menggunakan flight controller APM 2.8 dengan telemetry 915 MHz. Berdasarkan dari analisa mereka dengan menggunakan protokol dan telemetry 915MHz ini akan memiliki latensi dan paket data yang hilang yang berpengaruh dengan jarak, dimana semakin jauh jaraknya maka latensi dan *packet loss* akan bertambah dimana pada jarak 5 meter akan menghasilkan latensi sebesar 0,17 detik dengan 0,19% *packet loss* sedangkan di jarak 20 meter menghasilkan 0,42 detik dengan 0,63% *packet loss*.

Penelitian selanjutnya yang terkait dengan penelitian ini dilakukan oleh Kang Yang, Guang You Yang, dan Isi Huang Fu dari China yang dipaparkan dalam International Conference on Mechatronics and Intelligent Robotics (ICMIR) pada tahun 2019 dengan judul “Research of Control System for Plant Protection UAV Based on Pixhawk”. Dalam makalah ini, telah diusulkan sistem kendali pesawat penyemprotan tanaman berbasis kontrol penerbangan Pixhawk, yang terdiri dari dua subsistem: sistem kendali penerbangan dan sistem penyemprotan. Penelitian mendapatkan hasil yang sesuai dengan hipotesis dimana dengan menggunakan Pixhawk dengan firmware PX4 dapat membuat UAV yang terintegrasi dengan penyemprot tanaman, dalam wahana ini mereka menggunakan mikrokontroler STM32F103 yang

terhubung melalui komunikasi UART yang sudah tersedia di dalam Flight Controller Pixhawk.

Penelitian selanjutnya yang terkait dengan skripsi ini adalah penelitian dari Korea Selatan yang dilakukan oleh Joenghoon Kwak dan Yunsick Sung pada tahun 2017 dengan judul “Autonomous UAV Flight Control for GPS-Based Navigation”. Dalam penelitian ini membahas mengenai metode kendali penerbangan pesawat tanpa awak (UAV) di mana jalur berbasis grafik dibuat setelah data penerbangan UAV yang dikumpulkan oleh seorang pilot yang telah diambil sebelumnya. Pembuatan jalur berbasis grafik memungkinkan UAV terbang secara otonom di jalur yang lebih pendek dibandingkan dengan jalur yang dikumpulkan oleh pilot, Panjang jalur penerbangan yang dikumpulkan dalam enam penerbangan adalah 1364,32 m, sedangkan panjang jalur penerbangan dengan metode yang diusulkan adalah 764,27 m, hasil ini didapatkan melalui algoritma pencarian A*.

2.2 UAV (*Unmanned aerial vehicle*)

Unmanned aerial vehicle (UAV) atau dalam bahasa Indonesia memiliki arti wahana udara tanpa awak yaitu sebuah wahana terbang yang memiliki kemampuan bekerja tanpa adanya seorang pilot yang berada dalam wahana tersebut.

UAV merupakan wahana udara tanpa awak yang salah satu cara penggunaannya dapat dikendalikan dari jarak jauh. UAV dapat berbentuk pesawat atau multirotor yang memakai sistem navigasi sendiri atau mandiri. Pada dasarnya pesawat ataupun multirotor dapat dipikirkan untuk dapat digunakan sebagai kendaraan udara yang dapat melakukan tugas yang berguna serta dapat dikendalikan dari jarak yang jauh atau pun memiliki kemampuan terbang secara otomatis [3]. Kelebihan dari UAV yaitu dapat digunakan untuk melakukan tugas-tugas yang berbahaya tanpa membahayakan pilot itu sendiri (keselamatan manusia).

UAV pada awalnya dibuat kebanyakan untuk tugas militer. Seiring dengan

perkembangan jaman yang semakin berkembang serta teknologi dan banyaknya penelitian yang berhubungan erat dengan UAV, maka UAV memiliki fungsi yang sesuai keperluan atau tugas yang akan dijalankan [4]. UAV juga dapat digunakan untuk kepentingan lainnya yang tidak hanya berfokus pada tugas-tugas di militer, seperti kepentingan untuk survei udara dan sipil yang sangat begitu diperlukan oleh pemerintah ataupun pihak-pihak lainnya yang ada di Indonesia. Dengan adanya UAV atau wahana udara tanpa awak ini biaya survei menjadi lebih hemat dibandingkan dengan pesawat yang memiliki awak atau pilot. Kemampuan terbang pada ketinggian rendah (kurang lebih 250 meter dari atas permukaan tanah) dapat menghasilkan foto udara yang sangat begitu teliti hingga mencapai skala 1:1000.

Hampir begitu banyaknya peran yang bisa diandalkan dengan menggunakan UAV, menjadikan UAV dapat digunakan untuk membantu tugas-tugas yang membutuhkan pengawasan dan juga memiliki resiko yang tinggi untuk dikerjakan oleh manusia.

3.1.1 UAV Berdasarkan Model *Airframe*

Kalau dilihat dari model *airframe*, UAV dapat dikategorikan menjadi dua model yaitu model *fixed-wing* dan *rotary-wing*. *Fixed-wing* sendiri merupakan model dari UAV yang memiliki sayap berbentuk sudah tetap dan salah satu komponen gerak yang berada pada pesawat tersebut, sedangkan model dari *rotary-wing* merupakan UAV yang komponen geraknya berupa baling-baling yang berputar (*rotor*). Adapun contoh UAV jenis *rotary-wing* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1. UAV jenis *rotary wing* [Sumber: Koleksi Pribadi]

UAV model *fixed-wing* merupakan model wahana yang mempunyai bentuk sayap tetap, dimana fungsi dari sayap tersebut digunakan untuk membantu gerak dari wahana itu sendiri. UAV model *fixed-wing* memerlukan rancangan desain untuk badan pesawat (*fuselage*), sayap, struktur ekor (*empennage*), dan *undercarriage*. *Fuselage* memiliki fungsi untuk meletakkan komponen utama pada pesawat. Bagian dari pesawat lainnya yaitu sayap memiliki fungsi yang dapat menghasilkan daya angkat, sehingga wahana dapat terbang. Hampir setiap model dari *fixed-wing* mempunyai bentuk sayap (*airfoil*) yang beragam bentuknya sesuai dengan kebutuhan dari model pesawat itu sendiri. *Empennage* merupakan bagian wahana yang terletak di belakang pesawat, *empennage* memiliki dua bagian utama yaitu pertama bagian yang digunakan untuk penstabil vertikal (*fin*) dimana ditempatkan pada *rudder* menempel dan kedua penstabil horizontal yang dimana merupakan tempat elevator menempel. *Undercarriage* atau bagian roda pendaratan (*landing gear*) yaitu bagian pendukung ketika wahana melakukan pendaratan.

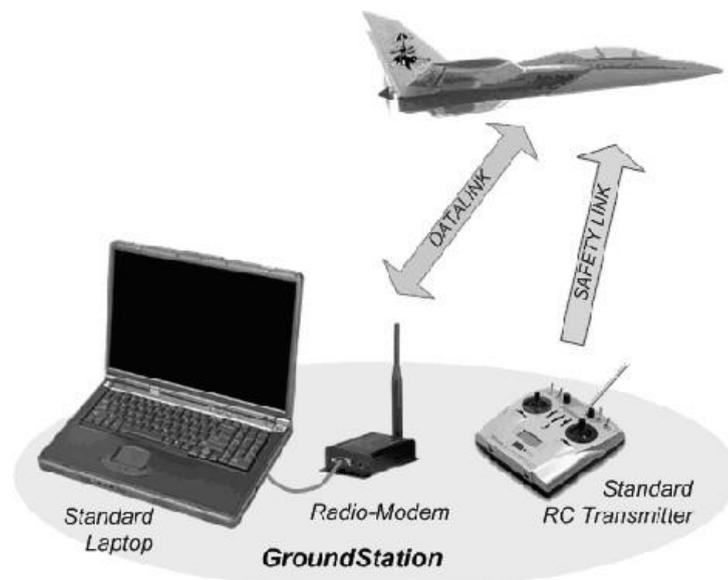
Pengendalian atau pergerakan pada wahana dapat dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu *rudder*, elevator, dan *aileron*. *Rudder* merupakan salah satu bagian penting pada pesawat yang memiliki fungsi agar dapat mengendalikan gerakan pesawat pada sumbu vertikal atau biasa disebut dengan pergerakan *yaw* (ke kanan dan ke kiri). Elevator merupakan salah satu bagian yang letaknya ada pada sumbu lateral atau biasa disebut dengan pergerakan *pitch* yaitu ke atas dan ke bawah. Elevator mempunyai letak pada struktur ekor pesawat lebih tepatnya ada pada bagian penstabil horizontal. Ketika elevator bergerak ke atas maka pesawat condong naik dikarenakan menghasilkan daya angkat, begitu pun dengan sebaliknya ketika elevator bergerak ke bawah maka pesawat akan condong turun dikarenakan pesawat gaya pada pesawat berkurang. *Aileron* merupakan bagian dari pesawat yang pada umumnya letaknya ada dibagian sayap. Ketika aileron pada sayap kanan bergerak naik, maka pada aileron pada sayap kiri akan bergerak

turun. Begitu pun dengan sebaliknya ketikan aileron di sayap kiri bergerak naik dan *aileron* pada sayap kanan bergerak turun maka pesawat akan *roll* ke kiri. Salah satu contoh UAV jenis fixed wing ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



Gambar 2.2. UAV jenis fixed wing [Sumber: Koleksi Pribadi]

Sistem UAV pada umumnya memiliki beberapa bagian yang saling terhubung yaitu pesawat dan *Ground Control Station* (GCS) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



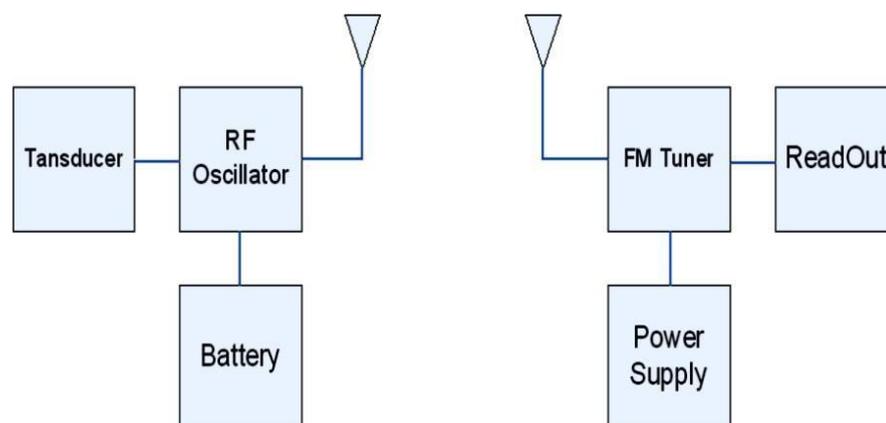
Gambar 2.3. UAV yang terhubung dengan GCS dan Remote RC
[Sumber: Khan, 2018)

UAV atau wahana udara tanpa awak memiliki beberapa macam

komponen yang sangat penting, antara lain berupa autopilot control atau flight controller, baterai, datalink radio, modem beserta antena, penerima GPS, motor brushless, penerima remote control dan antena, servo, dan payload.

2.3 Telemetry

Telemetry adalah suatu perkembangan teknologi yang begitu memungkinkan pengukuran jarak jauh dan pemantauan data. Pengukuran jarak jauh tanpa menggunakan kabel dikenal dengan sebutan telemetry nirkabel (*wireless telemetry*). Transmisi sinyal yang tanpa menggunakan kabel akan dapat mengirimkan sinyal informasi yang termodulasi pada gelombang elektromagnetik layaknya gelombang radio. Pada sistem telemetry nirkabel terdapat atas dua komponen utama yaitu pemancar (transmitter) dan penerima (receiver) [5]. Telemetry merupakan sebuah proses yang sebagaimana digunakan untuk mengukur atau mencatat suatu besaran fisik pada suatu lokasi yang letaknya jauh dari pusat pengolahan hasil pengukuran [6]. Adapun struktur yang umum dipakai di radio telemetry ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Struktur Umum Radio Telemetry

Untuk sistem telemetry, seluruh informasi data akan diubah ke dalam bentuk listrik dan akan dikelola secara digital, maka pada sistem

telemetri, semua transduser, sensor, detektor haruslah memiliki keluaran yang berbentuk besaran listrik (arus ataupun tegangan listrik).

2.4 Flight Controller

Flight controller merupakan komponen penting yang berfungsi sebagai otak dari wahana udara. *Flight controller* merupakan pengendali wahana udara yang dapat melakukan pengolahan data berdasarkan sensor-sensor yang terdapat pada wahana udara. *Flight controller* mampu mengaktifkan sistem stabilisasi untuk memudahkan pilot dalam menerbangkan wahana udara serta mampu mengaktifkan sistem autopilot yang memungkinkan wahana udara terbang otomatis mengikuti waypoint yang telah ditentukan sebelumnya. Pada flight controller terdapat beragam sensor seperti gyroscope, GPS, dan accelerometer.

Jenis *flight controller* yang digunakan pada penelitian ini yaitu Pixhawk. Pixhawk merupakan perangkat yang memiliki sistem autopilot tingkat lanjut (advanced) dari 3DR. Adapun fitur serta keunggulan dari Pixhawk adalah memiliki sistem operasi real time jenis advanced 32 bit ARM Cortex® m4 Processor NuttX RTOS, memiliki keluaran atau output 14 PWM atau servo, memiliki beragam pilihan konektivitas untuk peripheral tambahan seperti UART, I2C, serta CAN, telah terintegrasi dengan sistem cadangan untuk flight-recovery, memiliki tombol keamanan eksternal untuk memudahkan dalam proses aktivasi motor, memiliki beragam warna indikasi untuk memudahkan pemantauan status flight controller [8]. Pixhawk memiliki berat sebesar 38,4 gram serta dimensi sebesar 81,5 mm x 50 mm x 15,5 mm. Adapun bentuk dari Pixhawk ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Flight controller Pixhawk [Sumber : ardupilot.org]

Tabel 2.1. Spesifikasi flight controller Pixhawk

Mikroprosesor	<i>32 bit STM32F427 Cortex M4 core with FPU</i>
	<i>168 MHz/256 KB RAM/2 MB Flash</i>
	<i>32 bit STM32F103 failsafe co-processor</i>
Sensor	<i>ST Micro L3GD20H 16 bit gyroscope</i>
	<i>ST Micro L3GD20H 16 bit gyroscope</i>
	<i>MEAS MS5611 barometer</i>
Interfaces	<i>5x UART (serial ports), one high-power capable, 2x with HW flow control</i>
	<i>2x CAN</i>
	<i>Spektrum DSM / DSM2 / DSM-X® Satellite compatible input</i>
	<i>Futaba S.BUS® compatible input and output</i>
	<i>PPM sum signal</i>
	<i>RSSI (PWM or voltage) input</i>
	<i>I2C®</i>
	<i>SPI</i>
	<i>3.3 and 6.6V ADC inputs</i>
	<i>External microUSB port</i>
Sistem Daya	<i>Ideal diode controller with automatic failover</i>
	<i>Servo rail high-power (7 V) and high-current ready</i>
	<i>All peripheral outputs over-current protected, all inputs ESD protected</i>

2.5 Motor Brushless

Motor brushless juga disebut dengan BLDC atau *BrushLess Direct Current*.

Tabel 2.2. Spesisikasi Motor

Elemen Motor	Deskripsi
<i>Stator Diameter</i>	28mm
<i>Rotor Diameter</i>	35mm
<i>Stator Thickness</i>	20mm
<i>Shaft Diameter</i>	5mm
<i>No.of Stator Slots</i>	12
<i>Body Length (Without Shaft)</i>	42mm
<i>Motor Kv</i>	800
<i>No-load current</i>	0.9A/10V
<i>Motor Resistance</i>	41mΩ
<i>Max Continuous Current</i>	46A/30s
<i>Max Continuous Power</i>	700W
<i>Weight</i>	138g

2.6 Electronic Speed Controller (ESC)

Pengendali Kecepatan Elektronik (Electronic Speed Controller atau ESC) adalah perangkat yang mengatur besarnya daya yang disalurkan dari baterai ke motor. Semakin besar daya yang disampaikan, semakin tinggi kecepatan putaran motor, serta meningkatnya gaya dorong yang dihasilkan. Proses pengendalian ESC ini dilakukan secara elektronik dengan menggunakan penerima (receiver). ESC umumnya dilengkapi dengan BEC atau UBEC. BEC (*Battery Eliminator Circuit*) dan UBEC (*Universal Battery Eliminator Circuit*) memiliki tugas yang serupa, yaitu berfungsi sebagai rangkaian penurun tegangan. Namun, cara kerjanya berbeda. BEC menggunakan pengurangan tegangan linier, sementara UBEC mengaktifkan pengurangan tegangan dalam mode Switchmode. Meskipun BEC lebih ekonomis, efisiensinya sedikit lebih rendah. Di sisi lain, sirkuit UBEC lebih efisien, menghasilkan sedikit panas, tetapi memiliki biaya yang lebih tinggi. Penting untuk dicatat bahwa keberadaan BEC atau UBEC dalam ESC tidak berpengaruh pada kemampuan kendali kecepatan mesin, dan ini juga tidak menjadi penentu kualitas ESC [11]. Keduanya memiliki fungsi dasar yang sama, yaitu menyesuaikan tegangan baterai agar sesuai untuk pengoperasian penerima (*receiver*) dan servo. Dalam penelitian ini jenis ESC yang digunakan adalah Hobbywing Skywalker 2-4S 50A UBEC Brushless ESC With 5V-5A.



Gambar 2.7. Hobbywing ESC [Sumber : www.hobbywingdirect.com]

2.3. Tabel Spesifikasi Electrical Speed Control

<i>Brand Name</i>	Hobbywing Skywalker 50A
<i>Power input</i>	2-4S LiXX/5-12S NiXX
<i>Refresh rate</i>	50Hz-432Hz
<i>Max.rotation speed</i>	2-Pole 21000rpm/min; 6-Pole 70000rpm/min; 12-Pole 35000rpm/min
<i>Dimension</i>	68*25*12mm
<i>Weight</i>	43g
<i>Size</i>	65.0x25.0x12.0mm
<i>Cont./Peak Current</i>	50A/65A
<i>BEC Output</i>	Switch Mode--5V,5A
<i>Thrust calibration</i>	<i>linearly configurable, compatible with all available transmitters</i>
<i>Connector</i>	<i>Deans x3 plug, 3-pin connector raster 2,54 mm cable with insulation removed</i>

2.7 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah aktuator putar yang telah didesain dengan sistem pengendalian feedback loop tertutup. Dengan ini, motor servo mampu menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor. Kapasitas daya yang dimiliki oleh motor servo bervariasi, mulai dari beberapa watt hingga mencapai ratusan watt. Motor servo digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem pelacakan, peralatan mesin, dan berbagai penggunaan lainnya. Motor servo dikendalikan dengan mengirimkan Pulse Width Modulation (PWM) melalui kabel kontrol. Panjang durasi "pulsa" yang

dikirimkan menentukan posisi sudut putaran poros motor servo. Setelah durasi "pulsa" tertentu diterima, poros motor servo akan bergerak dan tetap berada di posisi yang sesuai dengan durasi tersebut. Motor servo akan berusaha untuk mempertahankan posisinya dengan kekuatan torsi yang dimilikinya, bahkan jika ada usaha untuk mengubah posisi atau memutarinya. Posisi motor servo tidak akan selamanya diam, karena sinyal "denyut" harus terus diulang setiap 20 milidetik untuk memastikan agar motor tetap pada posisinya yang diinstruksikan. Servo digunakan untuk mengontrol control surface (penggerak) maupun sistem gerak lainya pada pesawat. Dalam perancangan pesawat pada penelitian ini akan menggunakan EMAX ES08MD 08MD11 motor Servo mikro Digital Servo 12g torsi 2.4kg gigi Metal Mini dengan spesifikasi sebagai berikut.



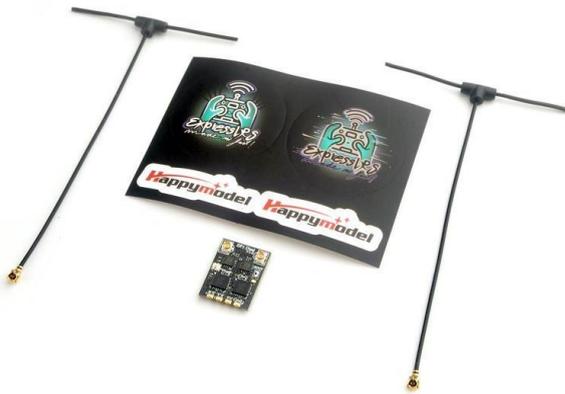
Gambar 2.8. Motor Servo [Sumber : Koleksi Pribadi]

Tabel 2.4. Spesifikasi servo

Jenis/Merk	EMAX ES08MD11
Ukuran	23x11.5x24mm(9.05x4.5 x 9.44in)
Berat	13g / 0.42oz
Tegangan Operasi	4.8V ~ 6.0V
Arah STD	berlawanan jarum jam/denyut nadi bepergian 1500 ke 1900US
Kecepatan Operasi	0.12sec/60o @ 4.8V; 0.10sec/60o @ 6V
Stall Torque	1.6 kg.cm / 21.0 oz.in @ 4.8V, 2.0 kg.cm / 28.0 oz.in @ 4.8V
Bahan roda gigi	logam
Jenis konektor	JR dan sebagainya

2.8 Receiver

Receiver (penerima) merupakan sebuah perangkat elektronik yang memegang peran sentral dalam mengelola serta memproses sinyal yang diterima dari transmitter (pengirim). Komponen-komponen inti dalam sebuah receiver mencakup penggunaan antena untuk menangkap sinyal, tuner yang digunakan untuk memilih frekuensi atau saluran tertentu, khususnya dalam konteks perangkat seperti radio dan televisi, serta demodulator yang berfungsi untuk mengubah sinyal modulasi menjadi bentuk data yang dapat diolah lebih lanjut [12]. Receiver juga mengandalkan beragam komponen pemrosesan sinyal, seperti amplifier untuk memperkuat sinyal yang lemah, filter untuk mengurangi gangguan atau noise, serta decoder yang berperan dalam mengembalikan data ke format semula jika sinyalnya telah terkompresi atau dienkripsi. Hasil dari tahap pemrosesan ini, yang dapat berupa sinyal audio atau data digital, selanjutnya diteruskan ke perangkat atau sistem yang relevan untuk dilakukan tindakan lebih lanjut sesuai kebutuhan. Selain itu, receiver juga bisa dilengkapi dengan berbagai fitur tambahan seperti enkripsi sinyal, kode pengidentifikasi, dan kemampuan pengaturan yang memungkinkan pengguna untuk mengonfigurasi operasional sesuai preferensi mereka. Oleh karena itu, receiver berperan kunci dalam berbagai aplikasi yang melibatkan komunikasi nirkabel serta kendali dari jarak jauh, termasuk di dalamnya radio, televisi, kendaraan remote control, dan teknologi nirkabel lainnya. Receiver pada pesawat Remote Control (RC) berfungsi untuk menerima sinyal dari transmitter yang dipegang oleh pilot, memproses sinyal tersebut, dan mengirimkan instruksi ke berbagai servomotor di pesawat untuk mengontrol pergerakan dan manuver. Receiver juga memastikan keamanan dan kualitas sinyal serta memungkinkan pengguna untuk mengatur parameter seperti sensitivitas servo melalui pemrograman. Ini adalah komponen penting yang memungkinkan pilot RC untuk mengendalikan pesawat dari jarak jauh. Dalam penelitian ini akan menggunakan receiver Happymodel ELRS EP1 TCXO Dual Receiver True Diversity 2.4GHz, berikut merupakan spesifikasinya.



Gambar 2.9. Receiver 2,4 GHz [Sumber : www.happymodel.cn]

Tabel 2.5. Spesifikasi Receiver

<i>Item</i>	<i>HappyModel EP1 Dual receiver true diversity 2.4Ghz ExpressLRS RX</i>
<i>Chip</i>	<i>ESP32 PICO D4, dual SX1280(SX1281)</i>
<i>Antenna connector</i>	<i>IPEX MHF 1/U.FL</i>
<i>RF Frequency</i>	<i>2.4GHz (2400~2480MHz)</i>
<i>Telem Power</i>	<i>>19dbm</i>
<i>Receiver protocol</i>	<i>CRSF</i>
<i>Input voltage</i>	<i>3.5v~8.4v Recommend +5V DC @ "+" pad</i>
<i>Default Firmware out of factory</i>	<i>Unified_ESP32_2400_RX Could upgrade to HappyModel EP1 Dual 2400 RX 3.0 FW</i>

2.9 Transmitter

Transmitter (pengirim) adalah perangkat elektronik yang mengubah data atau informasi yang ingin dikirimkan menjadi sinyal elektromagnetik. Ini dicapai dengan mengirimkan arus listrik berfrekuensi tertentu melalui komponen sirkuit elektronik yang menghasilkan osilasi elektromagnetik pada frekuensi yang sesuai. Osilasi ini menciptakan gelombang elektromagnetik yang dapat dipancarkan melalui media transmisi tertentu, seperti udara atau kabel. Frekuensi operasi transmitter sangat bervariasi tergantung pada aplikasinya. Misalnya, dalam komunikasi radio, transmitter akan menghasilkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi tertentu dalam rentang radio.

Proses ini juga melibatkan modulasi, yaitu mengubah sinyal informasi ke dalam bentuk yang sesuai dengan media transmisi, seperti modulasi amplitudo atau frekuensi dalam komunikasi suara atau video.

Transmitter sering kali memiliki berbagai komponen, termasuk oscillator untuk menghasilkan sinyal frekuensi dasar, modulator untuk menggabungkan sinyal informasi dengan sinyal frekuensi dasar, amplifier daya untuk memperkuat sinyal, dan antena untuk mengirimkan sinyal ke receiver yang sesuai. Keberhasilan komunikasi yang diterima oleh receiver bergantung pada daya pemancaran transmitter, kekuatan sinyal yang diterima oleh receiver, serta karakteristik media transmisi. Selain dalam komunikasi nirkabel, transmitter digunakan dalam berbagai aplikasi lainnya, termasuk remote control, navigasi GPS, komunikasi satelit, dan sektor telekomunikasi untuk mentransmisikan sinyal suara, data, dan video antar lokasi yang berbeda [12].

Transmitter (pengirim) pada pesawat Remote Control (RC) memiliki fungsi utama sebagai alat kendali yang digunakan oleh pilot atau pengendali untuk mengirimkan perintah dan instruksi ke pesawat. Transmitter memungkinkan pengguna untuk mengendalikan berbagai aspek penerbangan, termasuk arah, kecepatan, dan manuver pesawat [13]. Melalui transmitter, pilot dapat mengubah parameter kendali seperti kemiringan sayap, ketinggian, dan kecepatan mesin, yang kemudian dikirim sebagai sinyal nirkabel ke receiver di pesawat untuk dieksekusi oleh servomotor dan menggerakkan berbagai kontrol seperti elevator, aileron, kemudi, dan gas. Transmitter juga sering memiliki banyak saluran untuk mengendalikan berbagai fungsi di pesawat seperti kontrol penerbangan utama dan fitur tambahan. Dengan transmitter, pengendali memiliki kendali penuh atas pesawat RC dan dapat melakukan manuver dan penerbangan sesuai dengan keinginan pilot. Dalam penelitian ini akan digunakan transmitter Radiomaster Ranger 2.4GHz ELRS Module dengan spesifikasi sebagai berikut.



Gambar 2.10. Transmitter [Sumber : www.radiomasterrc.com]

Tabel 2.6. Spesifikasi Transmitter

<i>Item</i>	<i>Ranger 2.4GHz ELRS Module</i>
<i>Regulatory Domain</i>	<i>ISM2400</i>
<i>MCU</i>	<i>ESP32(main), ESP8285(aux, as ESP backpack)</i>
<i>Chip</i>	<i>SX1281IMLTRT</i>
<i>Frequency Range</i>	<i>2400 MHz - 2480 MHz</i>
<i>Maximum packet rate</i>	<i>500Hz/F-1000Hz (F-1000Hz mode requires EgdeTX 2.7.1 or later)</i>
<i>Minimum receiver refresh rate</i>	<i>25Hz</i>
<i>RF Output Power</i>	<i>Default 100mW</i>
<i>Module bay adapters</i>	<i>JR standard 5pin socket & Nano standard 8pin socket</i>
<i>OLED Screen</i>	<i>64x128px</i>
<i>Wifi Support</i>	<i>Yes</i>
<i>Bluetooth Support</i>	<i>Yes</i>
<i>XT30 Power supply voltage</i>	<i>DC 6V - 16.8V</i>
<i>Weight</i>	<i>138g (with Moxon antenna) / 135g (with T antenna) / 126g (without antenna)</i>
<i>Dimension</i>	<i>95*51*25mm (without antenna)</i>

2.10 Baterai

Baterai adalah perangkat penyimpanan energi yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk menyuplai daya pada berbagai perangkat elektronik dan mesin. Dalam perancangan pesawat yang dikerjakan akan menggunakan baterai Li-ion 4S6P 15.000 mAH. Baterai Li-ion adalah jenis baterai isi ulang yang sering digunakan dalam pesawat, drone, dan perangkat elektronik lainnya. Mereka dikenal karena memiliki berat yang ringan, kapasitas energi yang tinggi, serta tidak memiliki efek

memori (efek kapasitas baterai menurun jika tidak sepenuhnya dihabiskan). "4S" adalah konfigurasi sel baterai. "4S" berarti ada empat sel Li-ion yang dihubungkan secara seri. Ini menghasilkan tegangan keluaran total sekitar 14,8 volt ($4 \times 3,7 \text{ V}$), yang merupakan tegangan yang umumnya digunakan dalam pesawat dan drone. "6P" mengacu pada pengelompokan sel-sel dalam baterai. Dalam konfigurasi "6P," ada enam sel Li-ion yang dihubungkan secara paralel dalam setiap kelompok. Ini meningkatkan kapasitas baterai total, dalam hal ini mencapai 15.000 mAh (15 Ah). Dengan menghubungkan sel-sel secara paralel, Anda meningkatkan kapasitas baterai tanpa mengubah tegangan keluaran.



Gambar 2.10. Baterai Li-ion 15.000 mAh [Sumber: Koleksi Pribadi]

2.11 Raspberry pi

Raspberry Pi merupakan modul komputer papan tunggal yang juga memiliki input output digital *port* seperti pada papan mikrokontroler. Kelebihan dari Raspberry Pi ini adanya *port* atau koneksi untuk display seperti televisi atau monitor PC serta koneksi USB untuk keyboard dan mouse. Raspberry Pi memiliki input dan output antara lain HDMI yang dapat dihubungkan ke LCD TV yang mempunyai *port* HDMI atau menggunakan *cable converter* HDMI ke micro usb yang dapat dihubungkan ke monitor PC. Video analog (RCA *port*) yang dihubungkan ke televisi sebagai salah satu cara jika tidak memilih monitor PC .



Gambar 2.11. Raspberry Pi Board (Sumber: raspberrypi.com)

Tabel 2. Spesifikasi Raspberry pi 4 B

<i>Brand Category</i>	<i>Raspberry Pi</i>
<i>Cpu</i>	<i>64 bit 1.5 ghz quad core</i>
<i>Rom Size</i>	<i>4gb</i>
<i>Wifi Protocols</i>	<i>802.11n wireless2.4ghz/5ghz. double screen</i>
<i>Bluetooth</i>	<i>5.0 ble</i>
<i>Ethernet</i>	<i>gigabit ethernet</i>
<i>Usb</i>	<i>2 x usb2.0, 2xusb3.0</i>
<i>Number Of I/O</i>	<i>40</i>
<i>2 x micro hdmi,mipi dsi,mipi csi</i>	<i>2 x micro hdmi,mipi dsi, dan mipi csi</i>
<i>Multimedia Support</i>	<i>h.265, h.264, dan opengl es</i>
<i>Card Type</i>	<i>micro sd</i>
<i>Power Supply Type</i>	<i>usb type C</i>
<i>Power Supply</i>	<i>5 V 3 A</i>
<i>Resolution</i>	<i>4k double screen</i>
<i>Temperature Range</i>	<i>0 C ~ + 50 C</i>

2.12 Penggunaan *Mobile Network* Pada UAV di Jepang dan Indonesia

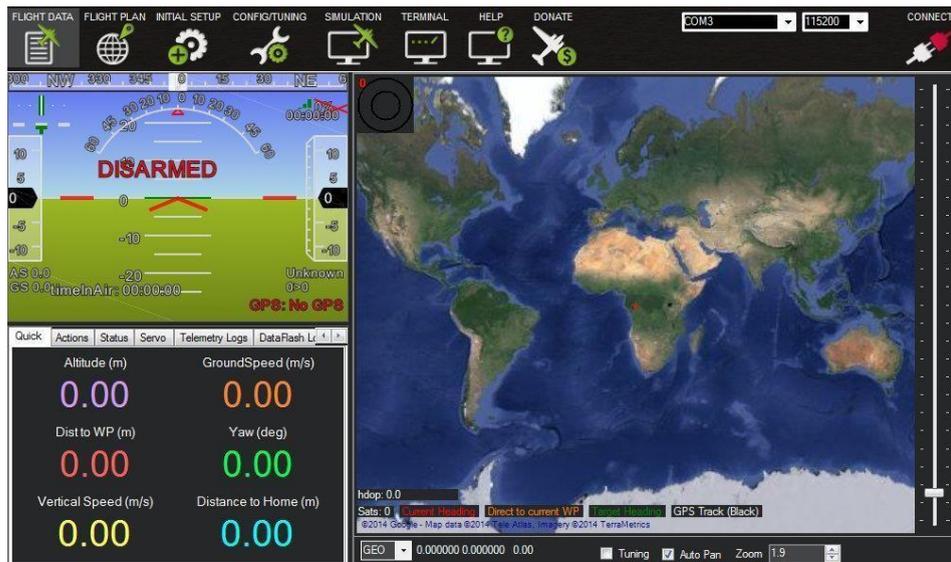
Jaringan telekomunikasi adalah suatu rangkaian sistem yang dimanfaatkan dalam bertelekomunikasi sehingga dapat menghubungkan antara perangkat yang satu dengan perangkat yang lainnya untuk melakukan pertukaran data atau informasi. Perkembangan teknologi jaringan telekomunikasi yang paling pesat yaitu mobile network yang digunakan pada perangkat telekomunikasi selular [7]. Pada dasarnya teknologi selular bermula dari generasi pertama (1G) hingga sekarang sudah menjadi sistem teknologi generasi keempat (4G)

Teknologi telekomunikasi generasi keempat (4G) adalah teknologi yang sedang dikembangkan. Koneksi jaringan 4G sudah sangat cepat dan lebih stabil. Jaringan 4G memiliki kecepatan transfer data yaitu sekitar 100 Mbps hingga 1 Gbps. Jaringan 4G sudah sepenuhnya menggunakan komponen jaringan digital, serta sudah memiliki jaringan keamanan data yang semakin kuat [7]. Kelebihan dari jaringan 4G yaitu kecepatan dan kecepatan dalam transfer data semakin meningkat, arsitektur jaringan seluler yang semakin sederhana, memiliki ukuran bandwidth yang lebih besar dan fleksibel, serta mampu melayani user walaupun dalam keadaan bergerak dengan kecepatan hingga 500 km/jam.

Terdapat perbedaan dalam penggunaan jaringan LTE di Jepang dan Indonesia. Di Indonesia penggunaan *mobile network* masih menggunakan jaringan koneksi internet *general* dan tidak ada jaringan khusus yang disediakan untuk pengaplikasiannya pada komunikasi telemetri pesawat atau drone, sedangkan di Jepang sudah menggunakan jaringan koneksi internet *private* dan sudah disediakan jaringan khusus untuk pengaplikasiannya pada komunikasi telemetri pesawat atau drone

2.13 Mission Planner

Mission Planner adalah perangkat lunak yang ditemukan oleh Michael Osborne. *Mission Planner* merupakan sistem yang bersifat open source dan digunakan sebagai *Ground Control Station (GCS)*. *Mission Planner* dapat digunakan untuk wahana udara jenis *fixed wing* maupun jenis *rotary wing*. *Mission Planner* merupakan aplikasi pendukung untuk mengatur parameter yang dibutuhkan wahana udara dalam menjalankan misi [8]. Adapun fungsi dari *Mission Planner* antara lain yaitu dapat melakukan kalibrasi terhadap wahana, sensor–sensor yang ada di dalam *flight controller*, kalibrasi *radio control*, GPS, mengatur *failsafe*, serta mengatur mode penerbangan stabilisasi hingga mode autonomous. Adapun tampilan GUI dari *Mission Planner* yang akan digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 2.12.

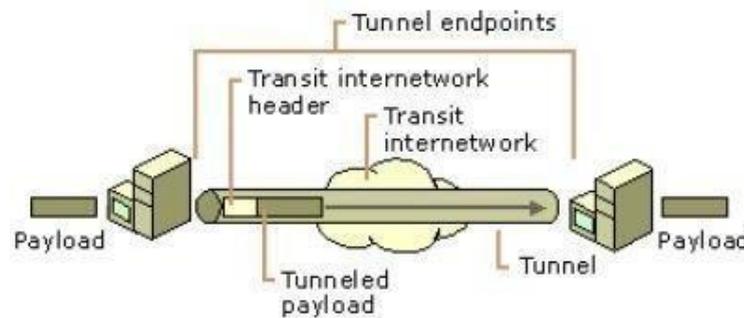


Gambar 1.12. Tampilan GUI dari Mission Planner [Sumber: Koleksi Pribadi]

Pada saat menjalankan Mission Planner hanya menggunakan memori yang kecil sehingga tidak memerlukan komputer yang memiliki spesifikasi tinggi. Mission Planner juga digunakan untuk membuat rencana misi penerbangan. Mission Planner juga dapat menampilkan status atau keadaan wahana udara berdasarkan data yang dikirim oleh flight controller melalui komponen radio telemetry secara real time.

2.14 ZeroTier sebagai Virtual Private Network (VPN)

VPN merupakan suatu koneksi antar dua jaringan yang dibuat untuk mengkoneksikan kantor pusat, kantor cabang, telecommuters, suppliers, dan rekan bisnis lainnya, ke dalam suatu jaringan dengan menggunakan infrastruktur telekomunikasi umum dan menggunakan metode enkripsi tertentu sebagai media pengamanannya [9]. VPN merupakan sebuah jaringan private yang menghubungkan satu node jaringan ke node jaringan lainnya dengan menggunakan jaringan public seperti internet. Data yang dilewatkan akan dienkapsulasi (dibungkus) dan dienkripsi, supaya data tersebut terjamin kerahasiaannya.



Gambar 2.13. *Tunneling* VPN di Interkoneksi Jaringan [Sumber: Kevin, 2001]

Tunneling adalah salah satu metode yang digunakan untuk mentransfer data melewati infrastruktur interkoneksi jaringan dari satu jaringan ke jaringan lainnya seperti jaringan internet, data yang ditransfer (*payload*) dapat berupa *frames* (atau paket) dari *protocol* yang lain. *Tunnel* menggambarkan paket data secara logika yang dienkapsulasi (bungkus) melewati interkoneksi jaringan. Proses tunneling meliputi proses encapsulations, transmisi, dan decapsulations paket.



Gambar 2.14. Logo ZeroTier [Sumber : zerotier.com]

ZeroTier adalah sebuah platform VPN yang memungkinkan pengguna untuk dengan mudah membuat jaringan pribadi virtual di berbagai perangkat dan lokasi yang berbeda. Dengan fokus pada kesederhanaan, ZeroTier memungkinkan pengguna untuk mengonfigurasi dan mengelola jaringan pribadi dengan cepat. Ini memberikan konektivitas aman melintasi internet, dengan menggunakan enkripsi kuat untuk melindungi data yang dikirimkan melalui jaringan. ZeroTier kompatibel dengan berbagai sistem operasi dan bersifat open source, memungkinkan berbagai penggunaan seperti penghubung jaringan lokal, koneksi ke server cloud, dan pengaturan jaringan pribadi yang fleksibel di berbagai perangkat.

2.15 Bahasa Pemrograman Python

Python adalah satu dari bahasa pemrograman tingkat tinggi yang bersifat interpreter, interaktif, *object-oriented* dan dapat beroperasi di hampir semua platform seperti keluarga linux, *windows*, mac, dan platform lainnya. Python adalah salah satu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang mudah dipelajari karena sintaks yang jelas dan elegan, yang dikombinasikan dengan penggunaan modul-modul yang mempunyai struktur data tingkat tinggi, efisien, dan siap langsung digunakan. *Source code* aplikasi dalam bahasa pemrograman Python biasanya akan dikompilasi menjadi format perantara yang dikenal sebagai *byte code* yang selanjutnya akan dieksekusi [18].

Python memiliki beragam pustaka, salah satunya adalah Pingouin. Pustaka ini dirancang khusus untuk mempermudah perhitungan berbagai uji statistik yang kerap digunakan oleh para ilmuwan. Ditambah lagi, Python memiliki berbagai *library* lainnya, seperti *pandas*, yang memungkinkan analisis data menjadi lebih efisien dan terintegrasi dengan baik. Dengan demikian, meskipun ada beberapa keterbatasan, Python terus berkembang dan menawarkan solusi statistik yang semakin kuat bagi para peneliti dan analis data [19].

2.16 Bahasa Pemrograman R

R adalah bahasa pemrograman dan lingkungan pengembangan perangkat lunak yang sangat populer di bidang statistika dan analisis data. Dikembangkan oleh Ross Ihaka dan Robert Gentleman di University of Auckland, Selandia Baru, R menyediakan sintaksis yang mirip dengan bahasa pemrograman lain seperti C dan Python. Dalam R, kita dapat mendefinisikan variabel, menggunakan vektor dan matriks untuk pengolahan data, serta membuat struktur data list untuk menyimpan berbagai jenis informasi. Bahasa ini juga mendukung berbagai paket analisis data seperti *dplyr* dan *ggplot2*, yang memungkinkan manipulasi data yang efisien dan pembuatan visualisasi yang menarik. R sangat diandalkan untuk analisis statistika, pengembangan model prediktif, dan visualisasi data.

Keunggulan R meliputi sifat *open source*-nya, sehingga dapat diakses dan

dimodifikasi oleh siapa saja, dan keberadaan komunitas pengguna yang besar. Visualisasi data dalam R sangat kuat, terutama dengan menggunakan paket seperti *ggplot2*, yang memungkinkan pembuatan grafik profesional dan informatif. Namun, R juga memiliki kelemahan, terutama dalam hal kinerja untuk dataset besar dan kurangnya antarmuka pengguna grafis yang ramah. Meskipun demikian, kecanggihannya R dalam analisis statistika membuatnya menjadi pilihan utama di kalangan ilmuwan data dan peneliti yang berfokus pada pengolahan dan interpretasi data. Dengan sintaksis yang fleksibel, R tetap menjadi bahasa pemrograman yang kuat dalam dunia ilmu data [20].

2.17 Korelasi Spearman

Spearman correlation adalah teknik statistika non-parametrik yang digunakan untuk mengukur hubungan antara dua variabel ordinal atau interval yang tidak memiliki distribusi normal. *Spearman correlation* menghasilkan koefisien korelasi *Spearman* (ρ) yang dapat bernilai antara -1 hingga 1. Nilai ρ yang positif menunjukkan hubungan positif atau searah antara kedua variabel, sedangkan nilai ρ yang negatif menunjukkan hubungan negatif atau berlawanan arah antara kedua variabel. Jika nilai ρ mendekati 0, maka tidak ada hubungan yang kuat antara kedua variabel [21]. Untuk menghitung korelasi *spearman*, rumus yang digunakan adalah:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad (22)$$

Dimana:

r_s (ρ) = Korelasi *spearman*

D = Selisih antara rank X dan Y

6 = Angka ketetapan/ konstan persamaan.

2.18 Korelasi Sirkular Linear

Korelasi sirkuler-linier mengacu pada teknik statistik yang digunakan untuk mengukur hubungan antara satu variabel yang bersifat sirkuler (seperti arah mata angin atau waktu sepanjang hari) dan satu variabel yang bersifat linier

(seperti suhu atau kecepatan). Variabel sirkuler memiliki karakteristik unik di mana nilai-nilainya didefinisikan dalam siklus tertutup, seperti lingkaran derajat 360° . Oleh karena itu, perhitungan dan interpretasi hubungan antara variabel sirkuler dan linier memerlukan pendekatan khusus.

Dalam konteks korelasi sirkuler-linier, kita mencoba untuk mengidentifikasi sejauh mana variabel linier dipengaruhi oleh variabel sirkuler. Misalnya, bagaimana suhu (variabel linier) berubah sepanjang hari (variabel sirkuler). Teknik korelasi sirkuler-linier memungkinkan kita untuk memahami pola dan hubungan ini dengan lebih baik, yang mungkin tidak terungkap dengan teknik korelasi standar. Korelasi jenis ini sangat berguna dalam bidang-bidang seperti meteorologi, oseanografi, dan ilmu lingkungan, di mana variabel sirkuler sering berinteraksi dengan variabel linier.

Korelasi sirkuler-linier memiliki beberapa metode yang bisa digunakan, tergantung pada literatur atau referensi. Salah satu metode yang sering digunakan untuk menghitung korelasi antara variabel sirkuler dan linier dikenal sebagai metode Mardia. Berikut ini merupakan rumus dasar sirkuler linier.

$$D = a (\sqrt{C^2 + S^2}) \quad (23)$$

Dimana:

D = mewakili ukuran korelasi sirkuler-linier.

a = faktor skala atau konstanta yang dapat digunakan untuk normalisasi atau penyesuaian ukuran

C = komponen yang dihitung dari data kosinus

S = komponen yang dihitung dari data sinus.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dari skripsi ini dilaksanakan mulai dari Mei 2023 – Desember 2023 dengan tempat pelaksanaan dan ujicoba penelitian yang dilakukan di berbagai tempat, yaitu

- Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung sebagai tempat riset, perancangan dan konfigurasi serta pembangunan wahana
- Lapangan Terbang Aeromodelling Jatimulyo, Lampung Selatan, Provinsi Lampung sebagai tempat ujicoba kemampuan terbang wahana dan uji konektivitas telemetri serta *Ground Control Station (GCS)*
- Yokohama, Prefektur Kanagawa, Jepang – Futsuminato Park, Prefektur Chiba, Jepang merupakan tempat dilakukannya misi penerbangan dan pengambilan data dari wahana yang telah dirancang.

3.2 Komponen dan Perangkat Lunak

Dalam penelitian tugas akhir ini, terdapat komponen dan perangkat lunak yang digunakan seperti pada tabel 3.1 berikut.

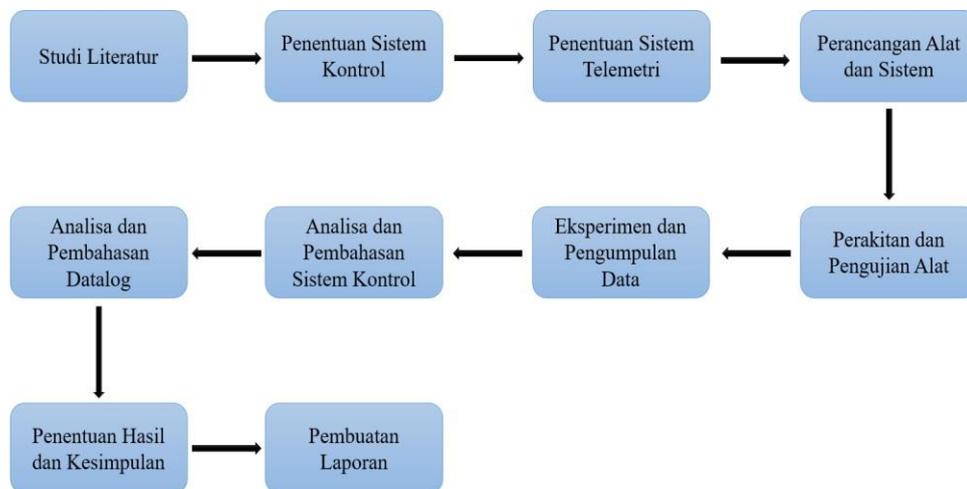
Tabel 3.1 Komponen dan Perangkat Lunak

No.	Nama Komponen dan Perangkat Lunak	Keterangan Penggunaan
1	<i>Fligh Controller "Pixhawk 6C"</i>	Flight controller mengendalikan pergerakan dan stabilitas pesawat.
2	<i>Electrical Speed Control "Hobbywing Skywalker 50A"</i>	Electrical Speed Control mengatur kecepatan motor atau perangkat elektrik
3	Baterai Li-ion 4S6P 15.000 mAH	Sumber daya listrik rechargeable yang umum digunakan di

		perangkat elektronik.
4	<i>Servo "EMAX ES08MD11"</i>	mengendalikan posisi atau pergerakan presisi pada berbagai aplikasi.
6	<i>Motor Brushless "SUNNYSKY X2820 800 KV"</i>	Motor Brushless adalah motor elektrik tanpa sikat, dikenal untuk efisiensi tinggi dan umur pakai yang panjang.
7	<i>Remote Radio Control</i>	Remote Radio Control adalah perangkat pengendali yang menggunakan sinyal radio untuk mengendalikan perangkat atau mesin dari jarak jauh
8	<i>Transmitter Ranger 2.4GHz ELRS Module</i>	Transmitter 2,4 GHz adalah perangkat pengirim yang menggunakan frekuensi 2,4 gigahertz untuk mengirimkan sinyal radio yang digunakan dalam kendali jarak jauh, seperti remote control, drone, dan kendaraan RC.
9	<i>Receiver "Happymodel EPI Dual receiver true diversity 2.4Ghz ExpressLRS RX"</i>	Receiver 2,4 GHz adalah perangkat penerima yang digunakan untuk menerima dan memproses sinyal radio yang ditransmisikan pada frekuensi 2,4 gigahertz, seperti dalam kendali jarak jauh, drone, atau sistem komunikasi nirkabel lainnya.
10	<i>Raspberry Pi 4 Model B 4gb RAM</i>	Mini computer yang digunakan untuk mengirimkan, menerima, serta mengolah data dari wahana-

		GCS
11	VPN “ZeroTier”	Menciptakan koneksi aman dan terenkripsi di internet, yang memungkinkan pengguna untuk mengakses internet secara anonim dan melindungi data
12	<i>Pesawat Fixed Wing “Newskywalker 2014 tipe 1900”</i>	Jenis drone dengan sayap tetap, mirip pesawat, yang dirancang untuk penerbangan jarak jauh dan biasanya digunakan dalam survei, pemetaan, dan pengawasan.
13	Mission Planner	Mission Planner adalah perangkat lunak untuk merencanakan dan mengendalikan misi drone serta melakukan monitoring saat penerbangan.
14	Laptop “ Nitro 5 dengan spesifikasi AMD Ryzen 7 6000 series, RTX 3050, SSD 512 GB, dan RAM 16 GB DDR5”	Perangkat yang digunakan sebagai perangkat konfigurasi misi pesawat, perangkat, video streaming wahana, serta sebagai Ground Control Station.
15	Raspi Camera 3	Kamera untuk Raspberry Pi yang digunakan untuk mengambil gambar dari wahana
16	R Studio	lingkungan pengembangan terpadu (IDE) yang dirancang khusus untuk bahasa pemrograman R
17	Google Colab	platform pengembangan berbasis cloud yang disediakan oleh Google
18	UAV log Viewer	Visualisasi Data dan Misi UAV

3.3 Blok Diagram Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Pembuatan Laporan

- Studi Literatur

Pada tahap awal penelitian akan dilakukan studi literatur yang mencakup pencarian dan analisis terhadap sumber-sumber literatur yang relevan dengan topik penelitian. Ini mencakup bahan bacaan seperti jurnal ilmiah, buku, artikel, dan sumber daya online yang berhubungan dengan UAV otonom, sistem kendali, dan teknologi telemetri 4G LTE. Studi literatur membantu Anda memahami landasan teoritis dan teknologi yang sudah ada dalam domain ini.

- Penentuan Sistem Kontrol Wahana

Setelah mendapatkan pemahaman yang kuat dari studi literatur, langkah selanjutnya adalah menentukan sistem kendali yang akan digunakan dalam UAV otonom. Ini melibatkan pemilihan perangkat keras dan perangkat lunak yang paling sesuai untuk mengendalikan UAV secara mandiri. Dalam mencari sistem kontrol terbaik perlu merencanakan sistem yang mampu mengontrol pergerakan UAV, seperti lepas landas, navigasi, perubahan jalur penerbangan, dan mendarat.

- Penentuan Sistem Telemetry

Penentuan system komunikasi telemetry yang akan digunakan dalam wahana sangat penting. Teknologi telemetry 4G LTE merupakan elemen kunci dalam memungkinkan komunikasi data dalam waktu nyata antara UAV dan stasiun kontrol. Pada tahap ini, akan menentukan bagaimana teknologi telemetry 4G LTE akan diintegrasikan dalam sistem UAV Anda. Ini termasuk pemilihan perangkat keras telemetry, perangkat lunak, dan konfigurasi jaringan untuk mentransfer data dalam waktu nyata.

- Perancangan Alat dan Sistem

Berdasarkan keputusan sebelumnya, selanjutnya akan merancang alat fisik dan sistem kendali UAV. Ini mencakup perencanaan semua komponen yang diperlukan, seperti sensor, aktuator, unit pengolahan, dan komponen elektronik lainnya. Perancangan harus mempertimbangkan aspek fisik dan teknis dari UAV, termasuk bobot, distribusi daya, dan konstruksi fisik.

- Perakitan dan Pengujian Alat

Setelah merancang alat dan sistem, langkah selanjutnya adalah merakit alat fisik sesuai dengan rencana yang telah ditentukan. Setelah perakitan selesai, akan dilakukan serangkaian pengujian untuk memastikan fungsionalitasnya. Ini melibatkan pengujian semua komponen, mulai dari motor, sensor, hingga sistem telemetry, dan memastikan semuanya berfungsi dengan baik.

- Eksperimen dan Pengumpulan Data

Setelah system terbentuk maka akan dilanjutkan dengan eksperimen dan pengumpulan data. Dalam tahap ini, Anda akan menjalankan serangkaian eksperimen dengan UAV yang telah dirancang dan merakit. Tahapan ini akan mengumpulkan data terkait kinerja sistem kendali dan transfer data telemetry selama penerbangan UAV. Data ini akan menjadi dasar analisis selanjutnya.

- Analisa dan Pembahasan Sistem Kontrol

Hasil data yang diperoleh selama eksperimen akan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali UAV. Ini mencakup evaluasi respons UAV terhadap instruksi, navigasi, akurasi, dan kemampuan adaptasi terhadap perubahan kondisi.

- Analisa dan Pembahasan Datalog

Selama pengujian, data telemetri yang dikumpulkan akan dianalisis untuk memahami sejauh mana telemetri 4G LTE berkontribusi pada transfer data dalam waktu nyata dan efektivitas komunikasi UAV-stasiun kontrol.

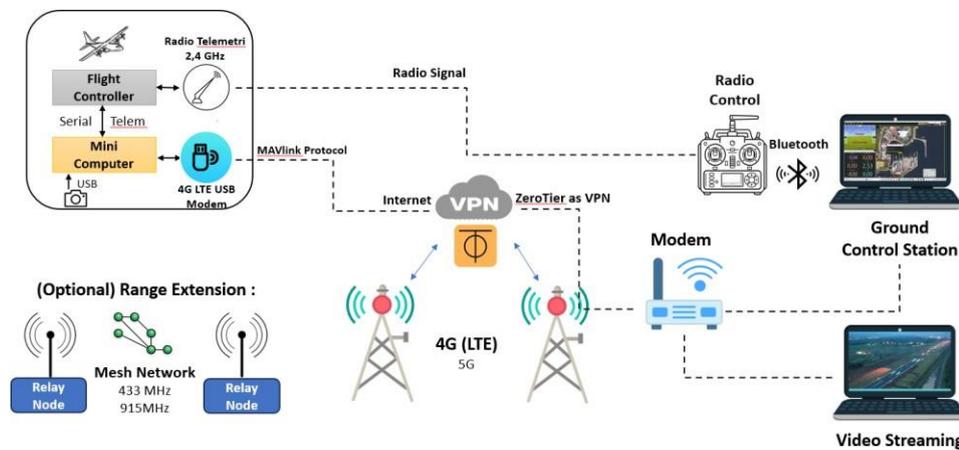
- Penentuan Hasil dan Kesimpulan

Dalam tahap penentuan hasil dan kesimpulan, hasil analisis yang cermat dan evaluasi yang mendalam atas kinerja sistem kendali UAV dan teknologi telemetri 4G LTE akan memungkinkan penentuan kesimpulan yang kuat. Pada tahap ini, akan dievaluasi sejauh mana tujuan penelitian telah tercapai, dan hasil penelitian yang diperoleh akan dirangkum secara komprehensif. Kesimpulan ini akan menggambarkan kontribusi penelitian ini terhadap pengembangan teknologi UAV otonom dan penerapan telemetri 4G LTE. Selain itu, kesimpulan akan memberikan wawasan yang mendalam tentang keberhasilan sistem kendali dalam mengendalikan pergerakan UAV dan kemampuan telemetri 4G LTE dalam mendukung transfer data dalam waktu nyata. Kesimpulan ini juga akan menjadi dasar untuk rekomendasi dan saran terkait penelitian lanjutan atau pengembangan teknologi serupa di masa depan.

- Pembuatan Laporan

Setelah semua tahapan dilakukan, peneliti akan merangkum semua langkah dan temuan penelitian dalam bentuk laporan skripsi. Laporan ini akan mencakup deskripsi lengkap tentang setiap tahap penelitian, temuan, dan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian.

3.4 Diagram Alur Koneksi UAV



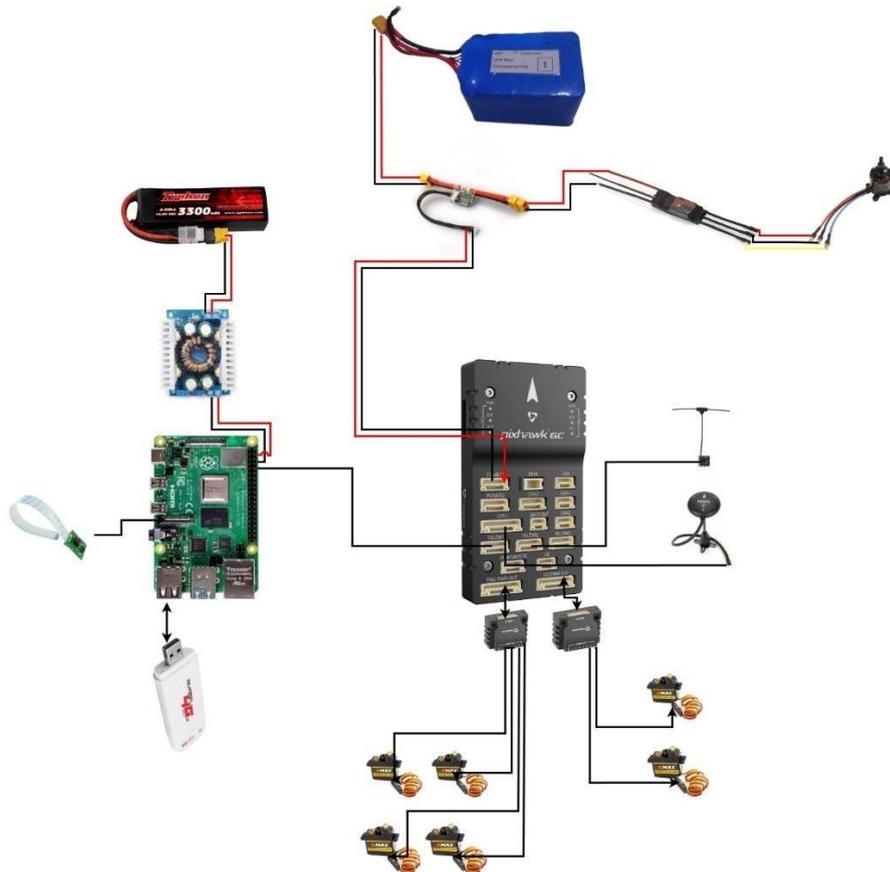
Gambar 3.2. Alur Koneksi UAV

Dalam penelitian yang dilakukan wahana yang digunakan adalah drone bertipe fixed wing, berikut merupakan beberapa setting alur koneksi dari wahana ini.

- Pada bagian wahana akan terkoneksi dengan sebuah mini computer sebagai telemetri ke *Ground Control Station (GCS)* melalui internet yang didapatkan dari modem 4G USB serta mini computer tersebut akan terkoneksi ke kamera usb untuk mengambil gambar.
- Koneksi internet yang digunakan adalah 4G LTE dengan menggunakan protokol mavlink dan untuk mengamankan koneksi jaringan antara wahana dan ke GCS akan menggunakan ZeroTier sebagai VPN yang mengenkripsi jaringan.
- GCS akan dapat digunakan sebagai pusat control wahana, media video streaming, dan juga media untuk memonitoring keadaan dari kondisi wahana.
- Untuk melakukan kontrol pada wahana secara manual juga dapat dilakukan melalui *remote control radio* yang akan terkoneksi dengan pesawat melalui *receiver 2,4 GHz* dengan sinyal radio yang telah tertangkap dari *transmitter 2,4 GHz* yang sudah terhubung dengan remote control.
- Selain menggunakan koneksi internet sebagai jalur koneksi antara wahana dan GCS, wahana juga memiliki alternatif lain untuk koneksi

telemetry yaitu dengan menggunakan sinyal radio 433MHz dan 915 MHz.

3.5 Skematik Rangkaian Elektronik UAV



Gambar 3.3. Sistem Kontrol Wahana

Pembangunan wahana robot terbang jenis *fixed wing* akan menggunakan dua sumber daya yaitu

- baterai Li-ion 15.000 mAH sebagai sumber utama energi listrik yang diperlukan oleh wahana
- baterai Lippo sebagai Sumber energi yang menyuplai energi listrik untuk *mini computer*, sumber energi dipisahkan agar kebutuhan elektrikal dari wahana tidak tambah terbebani karena adanya tambahan *mini computer* di pesawat

Sistem kelistrikan pesawat fixed wing menggambarkan kompleksitas dan interkoneksi yang teliti dari komponen-komponen kelistrikan yang mendukung fungsi pesawat. Alur daya dimulai dengan baterai Li-ion, yang mewakili sumber daya utama pesawat dan memberikan pasokan listrik ke seluruh sistem. Modul daya bertindak sebagai gerbang utama yang mengatur aliran daya, memastikan tegangan dan arus yang masuk ke dalam sistem tetap terkendali.

Dari modul daya, daya mengalir ke *Electronic Speed Controller* (ESC) yang memiliki kapasitas hingga 50 ampere. ESC memegang peran penting dalam mengendalikan jumlah daya yang diberikan ke motor brushless 900KV yang menggerakkan propeller pesawat. Motor ini, sebagai penghasil dorongan utama, memainkan peran sentral dalam penerbangan pesawat fixed wing. Dalam konteks ini, motor memperoleh instruksi dari ESC untuk menghasilkan dorongan yang sesuai.

Selanjutnya, ada baterai tambahan, yakni Lippo 2200mAH, yang berfungsi sebagai sumber daya terpisah dan mungkin dengan kapasitas yang berbeda. Baterai ini bertindak sebagai suplai daya terpisah untuk komponen tambahan, terutama Raspberry Pi, yang mendukung fungsi tambahan seperti pemrosesan data, pengambilan gambar, dan komunikasi. Pasokan daya ke Raspberry Pi dipertahankan oleh konverter daya buck-boost yang menjaga tingkat tegangan tetap pada Raspberry Pi, ini memungkinkan Raspberry Pi untuk berfungsi secara konsisten dalam berbagai situasi.

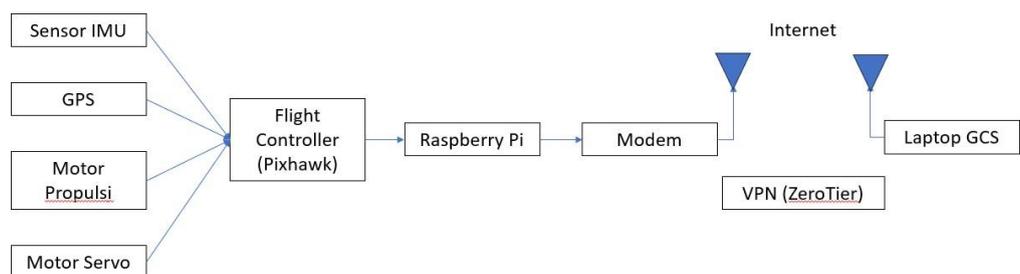
Sistem kendali penerbangan pesawat ditangani oleh Pixhawk, yang berfungsi sebagai otomatisasi sistem kendali penerbangan dan navigasi. Pixhawk menerima informasi dari berbagai sensor, termasuk GPS, serta komunikasi nirkabel dari receiver 2,4 GHz. Receiver tersebut berperan sebagai penghubung utama antara pengendali (transmitter) dan Pixhawk. Ini berarti Pixhawk menerima instruksi dari pengendali dalam waktu nyata, mengolahnya, dan merespons dengan mengendalikan berbagai aspek penerbangan seperti kemiringan sayap, ketinggian, dan arah.

Komunikasi nirkabel juga melibatkan dua saluran telemetry, yakni saluran telemetry 3 dan 1, yang memfasilitasi pemantauan dan interaksi dengan pesawat dari pengendali darat atau stasiun kontrol. Ini memungkinkan operator untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang status pesawat dan memungkinkan berbagai operasi dan misi penerbangan.

Bagian akhir dari alur ini adalah pengendalian servomotor yang memungkinkan pergerakan fisik pesawat. PWM Out dari Pixhawk mengontrol dua servo aileron, satu servo elevator, dan satu servo rudder, yang mengatur pergerakan pesawat selama penerbangan. Selain itu, I/O Out dari Pixhawk mengendalikan dua servo yang bertanggung jawab atas kompartemen muatan pesawat.

Kombinasi ini menciptakan landasan yang kokoh untuk pesawat fixed wing yang canggih dan multifungsi, yang memanfaatkan teknologi elektronik, kendali otomatis, dan komunikasi nirkabel untuk mencapai penerbangan yang tepat dan efisien. Semua komponen ini terintegrasi dengan cermat untuk mendukung berbagai aplikasi, termasuk pemantauan udara, pengintaian, atau penelitian dengan tingkat kendali dan navigasi yang sangat presisi.

3.6 Blok Diagram Telemetry



Gambar 3.4. Blok Diagram Telemetry

Flight Controller berfungsi sebagai otak dari UAV dan mengelola data dari motor, servo, sensor dan GPS. Itu akan memproses data dan mengambil keputusan tentang kendali pesawat. Kemudian pixhawk akan dihubungkan ke Raspberry menggunakan *port serial* UART.

Raspberry Pi berfungsi sebagai pusat pengolahan data dan komunikasi. Menerima data dari *Flight Controller* dan sensor untuk diproses lebih lanjut. Modem 4G LTE akan menyediakan akses internet cepat dan stabil untuk Raspberry Pi. Kemudian, Raspberry Pi menggunakan koneksi internet melalui VPN (*Virtual Private Network*) untuk meningkatkan keamanan komunikasi dan melindungi data dan yang terakhir laptop berfungsi sebagai *Ground Control Station (GCS)* yang memantau dan mengendalikan pesawat dari darat. Menerima data dari UAV melalui internet (VPN) dan memberikan instruksi atau tindakan yang diperlukan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu

1. Pemantauan UAV melalui *Ground Control Station* menggunakan jaringan internet 4G LTE dapat dilakukan. Mavlink memungkinkan transfer data yang cepat dan responsif antara UAV dan stasiun kendali serta kemampuannya dalam mendukung berbagai jenis pesan, termasuk perintah kendali, data telemetri, dan konfigurasi perangkat keras membuatnya sangat fleksibel dalam mengakomodasi berbagai kebutuhan komunikasi dalam sistem UAV. Namun penggunaan telemetri 4G LTE di beberapa daerah yang tidak memiliki akses internet yang memadai belum bisa dilakukan sehingga penggunaan telemetri radio 433 MHz dan 915 MHz dapat digunakan sebagai *optional choice*.
2. Berdasarkan dari hasil Analisa korelasi data ada beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja dari wahana UAV terutama untuk *Current Battery* yang menjadi pemasok energi utama wahana. Beberapa parameter yang memiliki hubungan korelasi yang paling tinggi dengan *Current Battery* adalah *Air speed*, *Wind Speed*, *Ground Speed*, *Altitude*, *Throttle*, dan *PWM Throttle*. Dimana semua parameter ini sangat berpengaruh dengan penggunaan baterai dan dapat menjadi focus utama dalam melakukan konfigurasi wahana ataupun saat ingin melakukan misi penerbangan.

5.2 Saran

Setelah melaksanakan proyek akhir, penulis ingin memberikan saran untuk dilakukan pengembangan pada sistem seperti penambahan konfigurasi yang lebih mumpuni, penambahan antenna untuk menambah efektifitas modul dalam menangkap sinyal 4G LTE, serta melakukan riset kembali mengenai video streaming terbaik yang dapat diimplementasikan dalam UAV guna melakukan pemantauan wahana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Fonna, 2019. "Pengembangan Revolusi Industri 4.0 dalam Berbagai Bidang," Guepedia.
- [2] S. Yahyanejad, D. Wischounig-Strucl, M. Quaritsch, and B. Rinner, 2010. "Incremental mosaicking of images from autonomous, small-scale UAVs," in Proc. 7th IEEE Int. Conf. AVSS, Boston, MA, USA, Aug, pp. 329–336.
- [3] Saputra, H. F. (2020). "Pembuatan Drone Multirotor untuk Pesawat Fixed Wing VTOL (Vertikal Take Off Landing)." Doktor Tesis, Institut Teknologi Nasional Bandung
- [4] Khan, Sher Afghan, Abdul Aabid, dkk. 2018. *Design and Fabricaion of Unmanned Aerial Vehicle for Multi-Mission Tasks*. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD), vol. 8, issue-4
- [5] Mehta, D. 2016. *Telemetry Principles*. India : Government Polytechnic Ahmedabad
- [6] Cahyadi, W. (2018). "Telemetri."
- [7] Heindl, Eduard. 2008. *Mobile Network*. Jerman : Hochschule FurtwangenUniversity
- [8] Mission Planner *Home*, 09-Desember-2018. [Online]. Available: <http://ardupilot.org/planner/> [Accessed: 27 Juni 2023]
- [9] Kevin, Acher, dkk. 2001. *Voice and Data Securty*. USA : Sams Publishing
- [10] Kusko, A., & Peeran, S. M. (1988, October). Definition of the brushless DC motor. In Conference Record of the 1988 IEEE Industry

- Applications Society Annual Meeting (pp. 20-22). IEEE.
- [11] Mogensen, K. N. (2016). Motor-control considerations for electronic speed control in drones. *Analog Applications Journal* [online]. Texas Instruments.
- [12] Sabharwal, A., Schniter, P., Guo, D., Bliss, D. W., Rangarajan, S., & Wichman, R. (2014). In-band full-duplex wireless: Challenges and opportunities. *IEEE Journal on selected areas in communications*, 32(9), 1637-1652.
- [13] HAJIS, A. (2017). Rancang Bangun Sistem Monitoring Navigasi Quadcopter (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA).
- [14] Atoev, S., Kwon, K. R., Lee, S. H., & Moon, K. S. (2017, November). Data analysis of the MAVLink communication protocol. In *2017 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)* (pp. 1-3). IEEE.
- [15] Kumar, R., & Agrawal, A. K. (2021). Drone GPS data analysis for flight path reconstruction: A study on DJI, Parrot & Yuneec make drones. *Forensic Science International: Digital Investigation*, 38, 301182.
- [16] Kwak, J., & Sung, Y. (2018). Autonomous UAV Flight Control for GPS-based Navigation. *IEEE Access*, 1–1.
- [17] Yang, K., Yang, G. Y., & Huang Fu, S. I. (2020). Research of Control System for Plant Protection UAV Based on Pixhawk. *Procedia Computer Science*, 166, 371–375.

- [18] S. Ratna, "Pengolahan Citra Digital Dan Histogram Dengan Phyton Dan Text Editor Phycharm" *Technologia: Jurnal Ilmiah*, vol. 11, no. 3, pp. 181-186, 2020.
- [19] R. Vallat, "Pingouin: statistics in Python" *J. Open Source Softw.*, vol. 3, no. 31, pp. 1026, 2018.
- [20] GIO, Prana Ugiana; EFFENDIE, Adhitya Ronnie. *Belajar Bahasa Pemrograman R*. 2018.
- [21] R. M. Sirkin, *Statistics for the Social Sciences*, 3rd ed. Sage Publications, August 2005. ISBN: 9781506318868.
- [22] J. Chave et al., "Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests" *Oecologia*, vol. 145, pp. 87-99, 2005. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>.
- [23] M. Aubinet, T. Vesala, and D. Papale, *Eddy covariance: a practical guide to measurement and data analysis*. Springer Science & BusinessMedia, 2012.
- [24] ArduPilot. (2024). SiK Radio — Advanced Configuration [online]. Available: <https://ardupilot.org/rover/docs/common-3dr-radio-advanced-configuration-and-technical-information.html>. [Accesed : 09 Januari 2024]