

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang disusun oleh Torino et al., (2023) berjudul “Setup and Configuration of an Autonomous UAV Swarm for Indoor Coverage Path Planning” di Politecnico di Torino membahas perancangan serta konfigurasi sistem UAV swarm dengan menggunakan flight controller BetaFlight Omnibus F4 Pro V3 berbasis firmware PX4 Autopilot. Referensi ini dipilih karena kesamaan jenis flight controller dan firmware yang digunakan dengan sistem yang dikembangkan. Selain itu, penelitian tersebut menguraikan secara detail proses instalasi dan konfigurasi firmware, pengaturan parameter PWM, serta berbagai kendala teknis seperti keterbatasan kapasitas memori dan penyesuaian urutan motor.

Selanjutnya, penelitian yang diterbitkan oleh Balayan et al., (2024) dengan judul “*Optimal Design of Quadcopter Chassis Using Generative Design and Lightweight Materials*” membahas tentang perancangan rangka (*frame*) quadcopter agar kuat namun tetap ringan. Dalam penelitian tersebut, gaya angkat (*thrust*) yang dihasilkan motor digunakan sebagai dasar untuk menghitung beban yang harus ditahan oleh rangka. Perhitungan ini bertujuan memastikan bahwa frame mampu menopang berat drone beserta muatannya. Selain itu, digunakan konsep perbandingan antara gaya angkat dan berat total drone (*thrust-to-weight ratio*) untuk memastikan stabilitas penerbangan. Penelitian ini relevan sebagai acuan dalam menentukan kekuatan frame 500 mm berdasarkan estimasi gaya angkat motor pada sistem yang dirancang.

Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Ma’rifat (2024) membahas perancangan quadcopter modular yang ditujukan untuk membawa beban tambahan serta menganalisis pengaruhnya terhadap kestabilan penerbangan. Dalam penelitian tersebut dijelaskan bahwa penambahan beban memengaruhi performa terbang, terutama pada durasi penerbangan dan respons kendali. Namun, kestabilan *quadcopter* tetap dapat dipertahankan dengan pengaturan konfigurasi sistem serta penempatan beban yang tepat terhadap pusat gravitasi. Hasil penelitian ini menjadi acuan penting dalam merancang sistem pembawa beban, khususnya mengenai

distribusi payload agar kestabilan tetap terjaga.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Prihantoro et al. (2025) yang membahas pengembangan drone *quadcopter* untuk fungsi pengangkutan dan pelepasan pelampung sebagai bantuan penyelamatan korban tenggelam. Sistem dirancang dengan memanfaatkan komponen siap pakai seperti flight controller, GPS, telemetri, serta mekanisme pelepas berbasis servo. Pengujian dilakukan melalui penerbangan manual, uji kemampuan baterai, serta pengujian daya angkut. Hasil pengujian menunjukkan drone mampu membawa beban sekitar 400 gram dengan kondisi terbang yang stabil. Penelitian ini relevan sebagai referensi dalam menganalisis pengaruh penambahan beban terhadap durasi terbang, konsumsi daya, serta stabilitas sistem secara keseluruhan.

Berdasarkan tinjauan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa perancangan *quadcopter* dalam penelitian ini mengintegrasikan konfigurasi sistem kendali, penguatan struktur rangka, serta analisis performa saat membawa beban secara komprehensif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya fokus pada satu aspek saja, penelitian ini memadukan optimasi sistem kendali flight controller standar, ketahanan struktur frame 500 mm, serta manajemen distribusi payload untuk kebutuhan spesifik pemantauan jaringan transmisi listrik. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada pengembangan *quadcopter* yang memiliki struktur kuat, sistem kendali yang terkonfigurasi dengan baik, serta performa terbang yang stabil dan efisien untuk operasional lapangan.

Perbandingan beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

| No | Peneliti      | Fokus Penelitian                                                              | Keunggulan                                                                                                    | Kelemahan                                                                            | Keterkaitan dengan Penelitian                                        |
|----|---------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1  | Torino et al. | Konfigurasi dan pengaturan UAV swarm menggunakan flight controller BetaFlight | Menjelaskan instalasi <i>firmware</i> , pengaturan PWM, dan konfigurasi <i>flight controller</i> secara rinci | Fokus pada UAV swarm indoor, tidak membahas analisis <i>payload</i> atau daya angkat | Referensi konfigurasi <i>flight controller</i> dan parameter kendali |

|   |                   |                                                                                       |                                                                                                |                                                                                 |                                                                |
|---|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|   |                   | Omnibus F4 Pro V3 dengan <i>firmware</i> PX4                                          |                                                                                                |                                                                                 |                                                                |
| 2 | Balayan et al.    | Perancangan rangka <i>quadcopter</i> menggunakan desain generatif dan material ringan | Membahas kekuatan rangka berdasarkan gaya angkat motor dan <i>thrust-to-weight ratio</i>       | Tidak membahas sistem kendali maupun performa penerbangan dengan <i>payload</i> | Acuan menentukan kekuatan <i>frame</i> 500 mm                  |
| 3 | Ma'rifat          | Perancangan <i>quadcopter</i> modular untuk membawa beban tambahan                    | Menjelaskan pengaruh <i>payload</i> terhadap kestabilan dan durasi terbang                     | Tidak membahas detail perhitungan gaya angkat atau desain struktur <i>frame</i> | Referensi analisis distribusi beban terhadap pusat gravitasi   |
| 4 | Prihantoro et al. | Pengembangan drone untuk menjatuhkan pelampung penyelamatan                           | Implementasi nyata drone pembawa <i>payload</i> dengan pengujian daya angkut dan waktu terbang | Kapasitas beban kecil dan analisis desain struktur terbatas                     | Acuan analisis pengaruh <i>payload</i> terhadap durasi terbang |

Berdasarkan tabel perbandingan di atas, dapat dilihat bahwa penelitian-penelitian terdahulu telah memberikan fondasi yang kuat mengenai konfigurasi sistem kendali, desain struktur rangka, serta analisis pengaruh beban terhadap performa drone. Namun, masih terdapat kesenjangan riset dalam hal integrasi holistik antara konfigurasi *flight controller* standar, ketahanan struktur *frame* 500 mm, dan pengujian beban sistematis yang dioptimalkan untuk kebutuhan spesifik pemantauan jaringan transmisi listrik.

Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan pengembangan pada sinergi antara optimasi *firmware*, kekokohan struktur rangka, serta distribusi *payload* yang seimbang untuk mencapai batas kemampuan angkat yang maksimal dan stabil. Hal ini diharapkan mampu menghasilkan *quadcopter* yang tidak hanya fungsional secara teknis, tetapi juga lebih ekonomis dan efisien untuk kebutuhan operasional di lapangan. Berdasarkan tinjauan dan perbandingan tersebut, landasan teori yang diperlukan untuk mendukung perancangan serta pengujian alat ini akan dibahas secara mendalam pada sub-bab berikutnya.

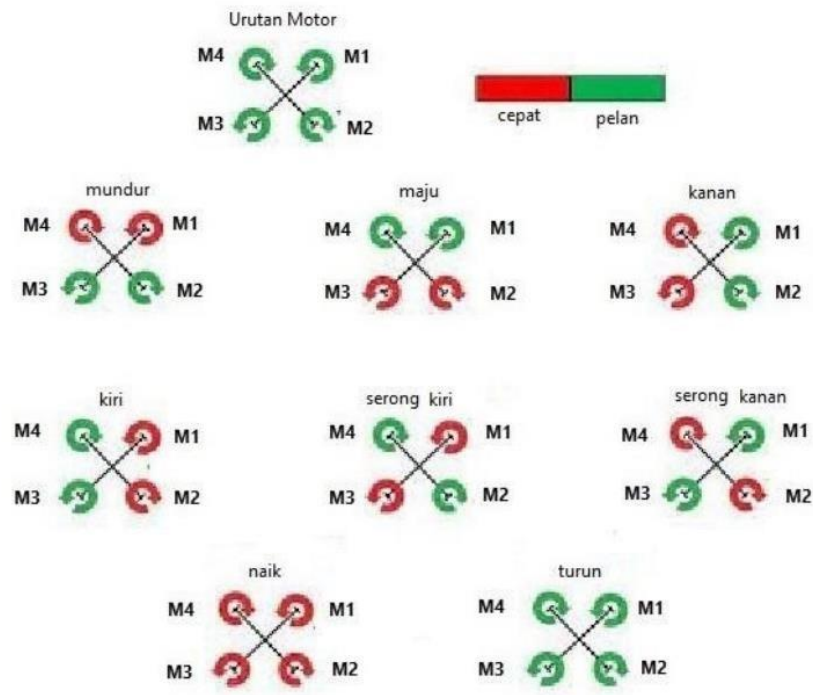
## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 *Quadcopter*

*Quadcopter* mempunyai empat baling-baling yang dipasang saling tegak lurus pada rangkanya. Putaran setiap baling-baling menghasilkan gaya angkat sehingga totalnya cukup untuk mengangkat drone ke udara. Untuk menjaga badan drone tidak berputar tidak terkendali, arah putaran baling-baling dibuat berbeda. Menurut Khumairowati & Yulianti, (2020). *quadcopter* secara umum dapat melakukan empat jenis gerakan, yaitu naik-turun, miring ke kanan atau kiri (roll), maju atau mundur (pitch), serta berputar pada sumbunya (yaw).

Menurut Bouabdallah et al. (2004), *quadcopter* merupakan wahana udara yang memanfaatkan motor brushless untuk memutar propeller sehingga menghasilkan gaya angkat. Stabilitas penerbangannya ditentukan oleh interaksi antara struktur mekanik dan sistem kendali yang mengatur kecepatan putaran motor. Secara umum, rangka *quadcopter* memiliki dua konfigurasi utama, yaitu konfigurasi tanda tambah (+) dan konfigurasi silang (X), yang perbedaannya memengaruhi distribusi massa serta karakteristik kestabilan terbang. Oleh karena itu, pemilihan konfigurasi rangka dan pengaturan sistem kendali menjadi aspek penting dalam perancangan *quadcopter* agar dapat beroperasi secara stabil.

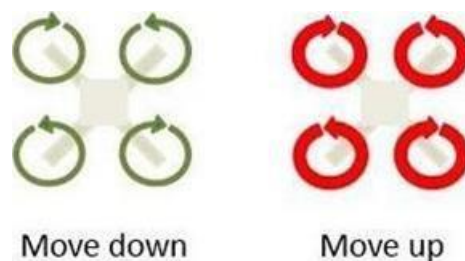
Pergerakan *quadcopter* dikendalikan dengan mengatur kecepatan putaran keempat rotornya sehingga *quadcopter* dapat naik, turun, maupun bergerak ke berbagai arah. Jika semua rotor berputar dengan kecepatan yang sama, gaya angkat yang dihasilkan akan seimbang dengan berat sistem sehingga *quadcopter* berada pada kondisi melayang (*hover*). Perubahan arah gerak selanjutnya diatur melalui kontrol sikap (*attitude control*) yang meliputi gerakan *throttle*, *pitch*, *roll*, dan *yaw*.



Gambar 2. 1 Kombinasi gerakan motor quadcopter  
(Sofwan et al., 2023)

- Gerakan *Throttle*

*Throttle* merupakan pengaturan total daya yang diberikan ke seluruh motor secara bersamaan untuk mengontrol ketinggian quadcopter. Peningkatan throttle menyebabkan seluruh rotor berputar lebih cepat sehingga gaya angkat meningkat dan wahana naik. Sebaliknya, penurunan throttle akan mengurangi gaya angkat sehingga wahana turun. Pada kondisi tertentu, nilai throttle disesuaikan agar gaya angkat sama dengan berat sistem sehingga quadcopter dapat melayang stabil di udara.

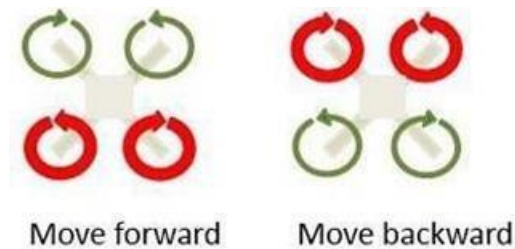


Gambar 2. 2 Gerak *throttle*  
(Dermawan et al., 2018)

- Gerakan *Pitch*

*Pitch* merupakan rotasi quadcopter terhadap sumbu lateral yang

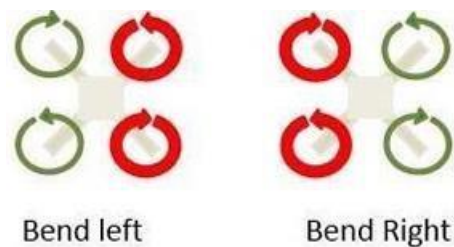
mengakibatkan wahana bergerak maju atau mundur. Gerakan ini terjadi akibat perbedaan kecepatan putaran antara rotor bagian depan dan belakang. Peningkatan kecepatan rotor belakang akan menyebabkan badan quadcopter miring ke depan sehingga timbul komponen gaya dorong horizontal ke arah depan, sedangkan kondisi sebaliknya menyebabkan gerakan mundur.



Gambar 2. 3 Gerak *Pitch*  
(Dermawan et al., 2018)

- Gerakan *Roll*

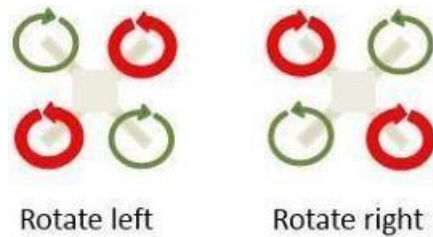
*Roll* adalah rotasi terhadap sumbu longitudinal yang menyebabkan pergerakan lateral ke kiri atau ke kanan. Gerakan ini dihasilkan dari perbedaan kecepatan putaran rotor sisi kiri dan kanan. Ketidakseimbangan gaya angkat tersebut mengakibatkan kemiringan badan quadcopter sehingga terjadi perpindahan posisi secara horizontal.



Gambar 2. 4 Gerak *Roll*  
(Dermawan et al., 2018)

- Gerakan *Yaw*

*Yaw* merupakan rotasi terhadap sumbu vertikal yang menyebabkan perubahan arah hadap quadcopter tanpa perpindahan posisi. Gerakan ini terjadi karena adanya selisih torsi antara pasangan rotor yang berputar searah dan berlawanan arah jarum jam. Dengan meningkatkan kecepatan satu pasangan rotor dan mengurangi pasangan lainnya, wahana dapat berputar ke kiri atau ke kanan.



Gambar 2. 5 Gerak Yaw  
(Dermawan et al., 2018)

### 2.2.2 Sistem Propulsi Quadcopter

Sistem propulsi pada *quadcopter* merupakan unit penggerak utama yang berfungsi menghasilkan gaya angkat (*thrust*) agar drone dapat terbang secara stabil serta membawa muatan sesuai dengan kebutuhan operasional. Sistem ini terdiri atas motor *brushless* DC, *electronic speed controller* (ESC), *propeller*, dan baterai sebagai sumber daya utama.

Dalam perancangan sistem propulsi UAV, pemilihan komponen harus didasarkan pada perhitungan aerodinamika yang akurat untuk memastikan *quadcopter* memiliki *Thrust-to-Weight Ratio* (TWR) yang memadai. Menurut Leishman (2006), gaya dorong statis (*static thrust*) yang dihasilkan oleh sebuah *propeller* dalam kondisi melayang (*hover*) dapat dianalisis menggunakan *Blade Element Momentum Theory* (BEMT).

Persamaan matematis untuk menghitung gaya dorong tersebut adalah sebagai berikut:

$$T = CT \times \rho \times n^2 \times D^4$$

Dimana :

$T$  = Gaya dorong (Newton)

$CT$  = Koefisien thrust

$\rho$  = Massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$n$  = Putaran per detik

$D$  = Diameter propeller (meter)

Koefisien *thrust* merupakan variabel yang merepresentasikan efisiensi aerodinamika dari propeller. Besarnya nilai  $CT$  dipengaruhi oleh geometri, pitch, dan diameter dari propeller itu sendiri. Dalam model teoretis, variabel ini digunakan

untuk memprediksi besaran gaya angkat yang dihasilkan sebelum dilakukan pengujian aktual di lapangan.

Selain aspek gaya dorong, kecepatan putaran motor (RPM) dipengaruhi oleh konstanta motor (KV), tegangan baterai (V), serta efisiensi sistem (n). Secara teoretis, kecepatan putaran motor dapat didekati dengan persamaan:

$$RPM = KV \times V \times n$$

Kombinasi antara pemilihan diameter *propeller* (D) dan kecepatan putaran (n) menjadi penentu utama dalam memenuhi kebutuhan gaya angkat untuk mencapai berat operasional (*Maximum Take-Off Weight* / MTOW) yang direncanakan. Pendekatan teoretis menggunakan BEMT ini merupakan standar dalam perancangan *preliminary* untuk memastikan bahwa sistem propulsi yang dipilih mampu memberikan respons yang cukup bagi *flight controller* dalam menjaga stabilitas drone.

### 2.2.3 Pengaruh Sistem Pemantik terhadap Kestabilan Quadcopter

Pemasangan sistem pemantik pada quadcopter bertujuan untuk menunjang proses penanganan gangguan teknis melalui semburan api. Operasional sistem ini membawa dua tantangan utama bagi stabilitas terbang: adanya gaya reaksi (*reactive force*) dan pergeseran titik berat akibat beban tambahan.

Saat pemantik aktif (ON), semburan api menghasilkan gaya dorong ke depan. Sesuai hukum aksi-reaksi, hal ini memicu gaya berlawanan yang berpotensi mengganggu keseimbangan quadcopter. Mengingat posisi nosel pemantik berada sekitar  $\pm 1$  meter di depan titik pusat gravitasi (*Center of Gravity/CoG*), jarak ini menciptakan lengan momen yang cukup panjang. Dampaknya, muncul torsi yang cenderung membuat bagian depan drone menunduk (*pitch down*) saat sistem bekerja.

Selain gaya reaksi, massa dari selang dan perangkat pemantik juga membuat distribusi beban menjadi tidak simetris. Ketidakseimbangan ini memaksa sistem propulsi bekerja lebih keras untuk menjaga posisi hovering. Jika beban di depan lebih berat, motor bagian belakang harus memberikan *thrust* lebih besar sebagai kompensasi agar drone tetap datar.

Dalam kondisi ini, *flight controller* memegang peranan vital melalui sistem kendali *closed-loop*. Sensor *gyroscope* bertugas mendeteksi perubahan sudut kemiringan, sementara *accelerometer* memantau perubahan percepatan secara *real-time*. Data dari sensor tersebut diproses oleh algoritma kendali untuk menyesuaikan putaran motor secara otomatis, sehingga drone bisa tetap stabil meski ada gangguan.

Secara teknis, selama gaya reaksi dan beban tambahan tersebut masih dalam limit kompensasi motor, *quadcopter* seharusnya tetap bisa terbang dengan stabil. Namun, pengujian langsung saat pemantik diaktifkan sangat penting dilakukan untuk memvalidasi seberapa besar *disturbance* yang dihasilkan dan apakah sistem kendali mampu melakukan kompensasi dengan responsif.

#### 2.2.4 Remote Control FLYSKY FS-iA6B



Gambar 2. 6 Remote Control FLYSKY FS-iA6B  
(Arte, 2024)

Remote control seperti FlySky FS-iA6B digunakan untuk mengirimkan perintah dari operator ke sistem drone melalui komunikasi gelombang radio. Penggunaan remote FlySky juga diterapkan pada penelitian (Siskandar et al., 2025) sebagai pengendali robot berbasis Arduino, di mana sinyal dari remote diterima oleh receiver untuk mengatur gerakan sistem. Teknologi komunikasi ini biasanya menggunakan frekuensi radio 2,4 GHz karena mudah digunakan, serta memiliki beberapa tombol dan tuas kendali yang memudahkan operator dalam mengatur pergerakan drone secara langsung. Penggunaan Remote Control ini menunjukkan bahwa remote control berbasis radio ini merupakan bagian penting dalam sistem pengendalian quadcopter yang akan di rancang.

Berikut spesifikasi dari FLYSKY fs-ia6b:

- Jumlah channel : 6 channel
- Frekuensi kerja : 2.4–2.48 GHz
- Protokol komunikasi : AFHDS 2A / AFHDS
- Bandwidth : 500 kHz
- Daya pancar RF : < 20 dBm
- Tipe modulasi : GFSK
- Resolusi channel : 1024 langkah
- Jangkauan kontrol : sekitar 500 m (hingga  $\pm 1000$  m di udara terbuka)
- Antena : dual antenna 26 mm
- Memori model : 20 model
- Tampilan : LCD 128×64 dot-matrix (backlight putih)
- Tegangan supply : 6 V (4 baterai AA)
- Berat :  $\pm 392$  g
- Dimensi :  $174 \times 89 \times 190$  mm
- Peringatan tegangan rendah : < 4.2 V
- Output port : PPM (DSC port)
- Mendukung update firmware online

#### 2.2.5 Receiver fs-ia6b



Gambar 2. 7 Receiver fs-ia6b  
(Siskandar et al., 2025)

Menurut (Kaplan et al., 2020), receiver merupakan bagian pada sistem kendali quadcopter yang bertugas menerima sinyal dari remote control dan meneruskannya ke flight controller agar quadcopter bisa mengikuti perintah dari operator. Komunikasi ini memakai frekuensi 2,4 GHz karena mampu mengirimkan data kendali dengan baik dan stabil melalui metode perpindahan kanal frekuensi.

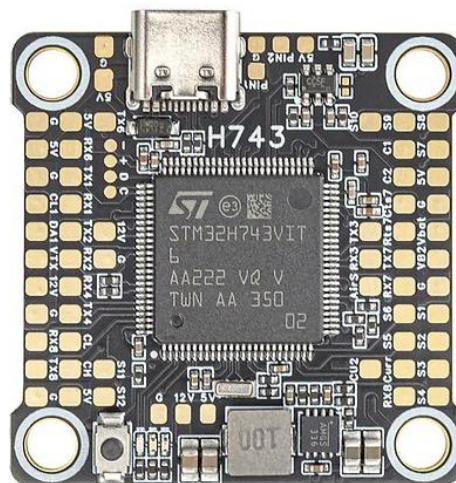
Receiver seperti FlySky FS-ia6B ini bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan memiliki dua antena untuk membantu menangkap sinyal lebih baik. Perangkat ini

dapat mengirimkan berbagai jenis sinyal keluaran seperti PWM atau i-BUS sehingga mudah digunakan dengan banyak jenis flight controller. Receiver ini memiliki ukuran yang ringan dan kebutuhan dayanya kecil, sehingga cocok dipakai pada quadcopter atau UAV.

Spesifikasi FlySky FS-iA6B Receiver:

- Model : FS-iA6B
- Jumlah channel : 6 channel
- Frekuensi kerja : 2.4 – 2.48 GHz
- Protokol : AFHDS 2A
- Modulasi : GFSK
- Sensitivitas penerima :  $-105$  dBm
- Tegangan input : 4.0 – 6.5 V DC
- Antena : Dual antenna (diversity)
- Jangkauan :  $> 500$  m area terbuka (hingga  $\pm 1$  km udara)
- Interface data : PWM / PPM / i-BUS / s-BUS
- Dimensi :  $\pm 47 \times 26 \times 15$  mm
- Berat :  $\pm 14.9$  g
- Rentang suhu kerja :  $-10^{\circ}\text{C}$  sampai  $60^{\circ}\text{C}$

#### 2.2.6 Flight Controller



Gambar 2. 8 *Flight Controller*  
(Lienkov et al., 2021)

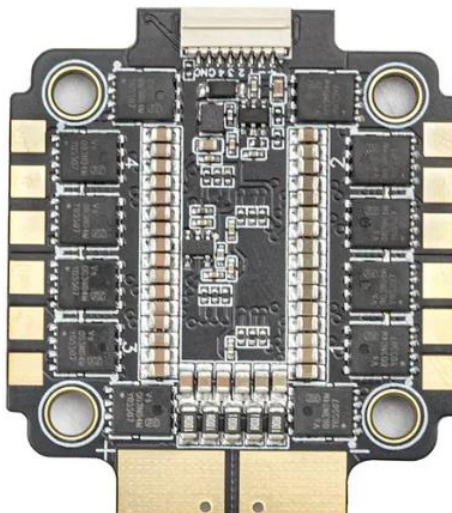
Menurut (Lienkov et al., 2021), Flight controller merupakan komponen utama quadcopter sebagai pusat pengatur penerbangan yang menerima data sensor

(gyroscope dan accelerometer) untuk mengatur keseimbangan melalui putaran motor. Selain itu, alat ini juga menerjemahkan perintah remote control secara cepat untuk menjaga kestabilan wahana terhadap gangguan lingkungan maupun perubahan beban muatan.

Dalam penelitian ini digunakan Flight Controller berspesifikasi H743. Dibandingkan generasi sebelumnya, modul ini dibekali mikrokontroler generasi H7 (480 MHz) yang jauh lebih cepat dalam memproses algoritma PID, serta memiliki ketersediaan port komunikasi (UART) yang melimpah. Pemilihan komponen ini bertujuan untuk memperoleh sistem kendali penerbangan yang lebih responsif dan efisien, khususnya saat quadcopter membawa beban. Berikut adalah spesifikasi dari flight control H743:

- Mikrokontroler: STM32H743 ARM Cortex-M7 (Kecepatan 480 MHz)
- Sensor Utama: IMU (Gyro/Accelerometer) presisi tinggi dan Barometer (pengukur ketinggian)
- Firmware: Mendukung penuh Betaflight, INAV, dan ArduPilot
- Konektivitas: Hingga 8 port UART, slot Micro SD (Blackbox logging), output LED & Buzzer
- Output Motor: Mendukung protokol PWM, Oneshot, Multishot, hingga D-Shot kecepatan tinggi
- Input Tegangan: Mendukung suplai baterai 3S hingga 8S LiPo

#### 2.2.7 Electronic Speed Control (ESC)



Gambar 2. 9 Electronic Speed Control (ESC)

Menurut (Lienkov et al., 2021), Electronic Speed Controller (ESC) merupakan komponen elektronik pada quadcopter yang berfungsi mengatur cepat atau lambatnya putaran motor brushless. Komponen ini menerima perintah dari flight controller, lalu menyesuaikan besaran arus listrik ke motor agar wahana dapat menghasilkan gaya angkat, menjaga keseimbangan, serta melakukan manuver seperti pitch, roll, dan yaw.

Berbeda dengan tipe konvensional, pada penelitian ini digunakan ESC berjenis 4-in-1 Stack berkapasitas 50A. Desain stack ini mengintegrasikan empat pengontrol motor sekaligus beserta Power Distribution Board (PDB) ke dalam satu papan sirkuit tunggal. Papan ESC ini dipasang secara bertumpuk (stacking) tepat di bawah Flight Controller untuk menghemat ruang dan meminimalisir jalur kabel. Pemilihan ESC berkapasitas 50A per motor ini bertujuan untuk memastikan sistem mampu menangani lonjakan arus (burst current) dengan aman dan stabil saat quadcopter beroperasi mengangkut beban muatan. Spesifikasi ESC stack yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tipe: 4-in-1 ESC Stack
- Arus Keluaran: 50 A kontinu per motor, 60 A burst (puncak maksimal 10 detik)
- Tegangan Input: Baterai Li-Po 3S – 6S
- Firmware: BLHeli\_S / BLHeli\_32 (Lebih responsif untuk kalkulasi PID)
- Protokol Sinyal: Mendukung DShot300 / DShot600, Multishot, dan Oneshot
- Sensor Arus (Current Sensor): Terintegrasi (memberikan data tegangan baterai ke OSD)
- Pemasangan (Mounting): Desain bertumpuk dengan lubang baut standar 30.5 × 30.5 mm

### 2.2.8 Motor Brushless Thunder Tiger OBL M2814 459KV



Gambar 2. 10 Motor Brushless Thunder Tiger OBL M2814 459KV

Menurut (Dermawan et al., 2018), motor Brushless DC (BLDC) adalah motor listrik tanpa sikat yang umum digunakan pada quadcopter untuk memutar balingbaling. Putarannya dikendalikan oleh rangkaian elektronik dan sinyal PWM, sehingga kecepatan motor dapat diatur dengan halus sesuai kebutuhan gerakan

Motor BLDC memiliki banyak keunggulan, seperti respons cepat, putaran tinggi, hemat energi, awet, dan tidak berisik menurut (Sdoukou et al., 2025). Karena itu, motor Brushless Thunder Tiger OBL M2814 450KV cocok digunakan pada quadcopter untuk menghasilkan dorongan yang stabil. Spesifikasi Motor Brushless Thunder Tiger OBL M2814-459KV:

- Tipe: Brushless outrunner motor
- KV rating: 450 KV
- Diameter stator: 28 mm
- Panjang stator: 14 mm
- Tegangan kerja: 3–4S Li-Po
- Arus maksimum: sekitar 45 A
- Daya maksimum: sekitar 650 W
- Berat:  $\pm 170$  g
- Diameter poros: 4 mm
- Aplikasi umum: pesawat RC / multirotor kelas menengah

### 2.2.9 Propeller



Gambar 2. 11 Propeller

Propeller adalah baling-baling berputar yang mengubah tenaga motor menjadi dorongan untuk mengangkat dan menggerakkan drone. Bentuk bilahnya membuat tekanan udara berbeda saat berputar, sehingga tercipta gaya dorong ke atas menurut bin Aminuddin & Wan Salim (2022). Ukuran yang digunakan yaitu 13x4,5 inch artinya balingnya besar dan memiliki sudut dorong yang sedang, dari penggunaan ukuran frame dan motor yang digunakan pada penelitian ini, penggunaan propeller ini diharapkan bisa menghasilkan gaya angkat yang cukup kuat untuk membawa drone dan beban, sekaligus tetap efisien dalam penggunaan daya.

### 2.2.10 Battery Lipo 6sell



Gambar 2. 12 Battery Lipo 6sell

Menurut (Shah et al., 2022), baterai Lithium Polymer (Li-Po) sering dipakai di quadcopter karena ringan tetapi punya energi besar yang dibutuhkan motor brushless. Tegangan setiap sel sekitar 3,7 V, dan beberapa sel dirangkai seri untuk cocok dengan sistem tenaga quadcopter. Kapasitas baterai menentukan berapa lama drone dapat terbang, sedangkan C-rating menunjukkan seberapa banyak arus yang

bisa dilepas tanpa merusak baterai. Penggunaan baterai yang tepat sangat penting untuk memastikan drone punya tenaga stabil, waktu terbang maksimal, dan performa yang baik. Spesifikasi baterai Li-Po yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:Spesifikasi Baterai Li-Po:

- Merek : Liperior
- Jenis : Lithium Polymer (Li-Po)
- Kapasitas : 5200 mAh (5.2 Ah)
- Energi : 115.44 Wh
- Tegangan Nominal : 22.2 V
- Konfigurasi Sel : 6S (6 sel  $\times$  3,7 V)
- Discharge Rate (C-rating) : 70C

#### 2.2.11 Camera FPV



Gambar 2. 13 (a) Camera Phoenix, (b) Video Transmitter, (c) Receiver

First Person View (FPV) merupakan sistem pemantauan visual yang memungkinkan operator melihat kondisi lingkungan quadcopter secara langsung pada saat mengatasi gangguan yang terjadi. Sistem FPV ini terdiri dari kamera RunCam Phoenix 2 SP, video transmitter (VTX) JHEMCU RuiBet 5.8G dengan daya pancar 1.6W, dan 5.8G UVC receiver. Kamera berfungsi menangkap kondisi lingkungan secara real-time, kemudian sinyal video dikirim melalui VTX dan diterima oleh receiver untuk ditampilkan pada handphone. Dengan ditambahkannya sistem FPV ini, operator dapat mengendalikan drone secara lebih akurat, menjaga jarak dari objek yang berbahaya, serta meningkatkan keselamatan penerbangan. Sensor : Starlight CMOS

a. Spesifikasi Kamera FPV — RunCam Phoenix 2 SP:

- Merek & Tipe: RunCam Phoenix 2 SP.

- Tegangan Kerja: 5–36V.
- Susunan Pin: 5-36V, GND, Video, GND, Menu.
- Fungsi: Menangkap video real-time dari drone dengan kepekaan cahaya yang baik, lalu mengirimkan sinyal video analog ke VTX.

b. Spesifikasi Video Transmitter (VTX) — JHEMCU RuiBet:

- Merek & Tipe: JHEMCU RuiBet.
- Frekuensi Kerja: 5.8G.
- Jumlah Channel: 40CH.
- Daya Pancar Maksimal: 1.6W (Sangat optimal untuk penetrasi sinyal di area dengan interferensi tinggi).
- Susunan Pin: +5V, GND, Video, GND, DCIN, IRC.
- Protokol Kontrol: Memiliki pin IRC (IRC Tramp) untuk pengaturan frekuensi dan daya pancar langsung melalui Flight Controller (Smart Audio).
- Fungsi: Memancarkan sinyal video analog dari kamera ke receiver di stasiun darat (ground station).

c. Spesifikasi USB FPV Receiver 5.8GHz:

- Nama Perangkat: 5.8G UVC RECEIVER.
- Frekuensi Kerja: 5.8 GHz.
- Interface: Port ganda USB untuk dihubungkan dengan OTG (On-The-Go) ke smartphone Android.
- Antena: Menggunakan antena eksternal standar.
- Fungsi: Menerima sinyal frekuensi 5.8G dari VTX dan mengonversinya menjadi format UVC (USB Video Class) agar dapat ditampilkan sebagai live video di aplikasi penampil FPV pada layar handphone.