

**ANALISIS PENGARUH HUBUNGAN PENAMBAHAN BEBAN
TERHADAP KARAKTERISTIK TERBANG DAN
KETINGGIAN DRONE E88 PRO**

SKRIPSI

OLEH :

DHALVEER SINGH DHILLON(218130055)



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2026

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 10/8/26

Access From (repositori.uma.ac.id)10/8/26

**ANALISIS PENGARUH HUBUNGAN PENAMBAHAN BEBAN
TERHADAP KARAKTERISTIK TERBANG DAN
KETINGGIAN DRONE E88 PRO**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

OLEH :

DHALVEER SINGH DHILLON(218130055)

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2026

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 10/8/26

Access From (repositori.uma.ac.id)10/8/26

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Analisis Pengaruh Hubungan Penambahan Beban Terhadap
Karakteristik Terbang dan Ketinggian Drone E88 Pro

Nama Mahasiswa : Dhalveer Singh Dhillon

NIM : 218130055

Fakultas : Teknik Mesin

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Yopan Aldori, ST., MSc
Pembimbing I


Dr. Eng. Apriatno, S.T., M.T.
Dekan


Dr. Iswandi, S.T., M.T.
Ka. Prodi/ WD 1

Tanggal Lulus :

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan dalam skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan, 28 Maret 2026


Dhalveer Singh Dhillon
218130055



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dhalveer Singh Dhillon
Npm : 218130055
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: ANALISIS PENGARUH HUBUNGAN PENAMBAHAN BEBAN TERHADAP KARAKTERISTIK TERBANG DAN KETINGGIAN DRONE E88 PRO.

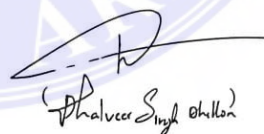
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, merawat, mempublikasikan tugas akhir/Skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal : 28 Maret 2026

Yang Menyatakan



(Dhalveer Singh Dhillon)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas hikmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH HUBUNGAN PENAMBAHAN BEBAN TERHADAP KARAKTERISTIK TERBANG DAN KETINGGIAN DRONE E88 PRO”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan Program Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.

Pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak – pihak yang terkait dalam proses penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini, yang telah memberikan masukan – masukan, semangat dan juga bimbingan kepada penyusun. Untuk itu dalam ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., Selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Eng. Supriatno, S.T., M.T., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Iswandi, S.T., M.T., Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
4. Bapak Tino Hermanto , S.T., M.Sc., Selaku Kepala Bidang Pembelajaran dan Sistem Informasi Akademik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area
5. Bapak Yopan Aldori, ST.,MSc Selaku dosen pembimbing yang bersedia membimbing dan meluangkan waktunya dalam membimbing dan

mengarahkan dalam Menyusun skripsi ini dapat selesai dalam waktu yang diharapkan oleh penulis.

6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area.
7. Teristimewa penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada kedua Orang Tua dan seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Seluruh Teman – teman saya yang selalu menemani dan membantu saya dalam mengerjakan skripsi ini sampai selesai. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna adanya, karena masih banyak kekurangan baik dari segi ilmu maupun susunan bahasanya. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi menyempurnakan Tugas Akhir ini kearah yang lebih baik lagi.

Akhir kata penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa yang sudah memberikan kelimpahan nikmat yang setimpal dan kepada dosen pembimbing yang sudah memberikan ilmu dan arahan selama skripsi ini ditulis. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Medan, 25 Agustus 2025

Penulis,

Dhalveer Singh Dhillon
(218130055)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SEMINAR HASIL	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Hipotesis Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Drone.....	5
2.2 Rangka	7
2.3 Mikrokontroler	8
2.4 Electronic Speed Controller	10
2.5 Motor.....	11
2.6 Modul Komunikasi	12
2.7 Propeller	14
2.8 Baterai	15
2.9 Konsep Mekanika Beban	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.3 Metode Penelitian	27
3.4 Konsep Penelitian	28
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Hasil dan Analisa.....	30
4.2 Pembahasan.....	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	46

DAFTAR PUSTAKA	47
----------------------	----



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Tugas Akhir	21
Tabel 4. 1 Tabel Hasil Percobaan Pertama	40
Tabel 4. 2 Tabel Hasil Percobaan kedua	41
Tabel 4. 3 Tabel hasil Percobaan Ketiga	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengembangan Drone	6
Gambar 2. 2 Drone	7
Gambar 2. 3 Rangka Drone.....	8
Gambar 2. 4 Mikrokontroller	9
Gambar 2. 5 Electronic Speed Controller	11
Gambar 2. 6 Motor	12
Gambar 2. 7 Modul Komunikasi.....	13
Gambar 2. 8 Propeller Drone	14
Gambar 2. 9 Baterai Drone	16
Gambar 3. 1 Laptop.....	22
Gambar 3. 2 Alat Gambar	23
Gambar 3. 3 Solder	23
Gambar 3. 4 Alat Tulis	24
Gambar 3. 5 Berat Kalibrasi.....	25
Gambar 3. 6 Potensiometer	26
Gambar 3. 7 Propeller	27
Gambar 3. 8 Konsep Rangka Drone	28
Gambar 4. 1 Prototipe Drone	30
Gambar 4. 2 Dimensi Lengan Drone	31
Gambar 4. 3 Panjang Propeller drone	31
Gambar 4. 4 Berat Drone tanpa Baterai	32
Gambar 4. 5 Beban total drone dengan baterai	32
Gambar 4. 6 Motor Drone.....	33
Gambar 4. 7 Kapasitas Baterai.....	33
Gambar 4. 8 Pengukuran Kapasitas	34
Gambar 4. 9 Gambar grafik beban dan ketinggian	42
Gambar 4. 10 Grafik beban dan koefisien lift.....	42
Gambar 4. 11 Grafik beban dan Koefisien drag.....	43
Gambar 4. 12 Grafik Beban dan Drag	43
Gambar 4. 13 Grafik Beban dan Waktu	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi drone dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan, baik dari sisi jumlah pengguna maupun variasi aplikasinya. Drone tidak lagi hanya digunakan di sektor militer, melainkan juga telah masuk ke bidang sipil seperti pemetaan, monitoring lingkungan, pertanian presisi, hingga jasa logistik. Menurut laporan *International Data Corporation (IDC)*, jumlah pengiriman drone secara global diperkirakan mencapai lebih dari 29 juta unit pada tahun 2027 dengan tingkat pertumbuhan tahunan lebih dari 15% (Xu et al., 2023). Perkembangan ini menunjukkan bahwa drone telah menjadi salah satu teknologi penting di era industri 4.0.

Meskipun penggunaannya semakin meluas, salah satu masalah utama dalam operasional drone adalah kestabilan saat terbang. Drone yang tidak mampu mempertahankan posisi horizontal (auto-level) akan rentan mengalami ketidakseimbangan akibat gangguan eksternal seperti angin, maupun faktor internal seperti pengaturan beban, desain propeler dan sistem kendali yang kurang optimal. Hal ini dapat menyebabkan konsumsi energi yang lebih boros, menurunkan akurasi manuver, hingga meningkatkan risiko kecelakaan (Zhang et al., 2022). Efisiensi operasional drone sangat bergantung pada kemampuannya untuk tetap stabil di udara sambil membawa beban tertentu (*payload*).

Di pasar konsumen, drone kategori *low-cost* seperti E88 pro menjadi sangat populer karena aksesibilitas harganya. Meskipun dipasarkan sebagai drone hobi, banyak pengguna mencoba memodifikasi atau menggunakan drone ini untuk tugas tambahan, seperti membawa kamera eksternal ringan atau sensor tambahan. Namun, sebagai drone kelas *entry-level* yang menggunakan *brushed motor*, E88 Pro memiliki keterbatasan teknis yang signifikan dalam hal daya angkat (*thrust*).

Penambahan beban pada quadcopter secara langsung akan mengubah konfigurasi massa dan titik berat (*center of gravity*). Secara teoretis, peningkatan massa menuntut kecepatan putaran motor yang lebih tinggi untuk menghasilkan gaya angkat yang sama dengan berat total. Pada drone dengan spesifikasi terbatas seperti E88 Pro, penambahan beban yang tidak diperhitungkan dapat mengakibatkan penurunan drastis pada stabilitas ketinggian (*altitude stability*), konsumsi baterai yang boros, dan kegagalan pada sistem *altitude hold* yang berbasis sensor barometer sederhana.

Dengan mempertimbangkan beberapa hal tersebut, penelitian mengenai analisis pengaruh hubungan beban terhadap karakteristik terbang dan ketinggian drone E88 pro menjadi relevan untuk dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara eksperimental sejauh mana pengaruh variasi beban terhadap kemampuan drone E88 Pro dalam mempertahankan ketinggian dan stabilitasnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan bagi pengguna mengenai batas aman operasional drone kelas hobi dalam membawa beban tambahan, serta penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan di bidang rekayasa UAV.

Penelitian ini berkontribusi dalam memperkaya literatur mengenai pengaruh variasi beban terhadap kemampuan drone E88 Pro, serta batas maksimal beban (*payload*) yang mampu ditanggung oleh E88 Pro agar tetap dapat terbang dengan baik. Dengan demikian, urgensi penelitian ini tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga memiliki manfaat langsung bagi pengembangan teknologi drone serta bagi pengguna dari drone agar mengetahui mengenai batas aman operasional drone sehingga para pengguna dapat menyesuaikan kebutuhan modifikasi sesuai dengan drone E88 pro tersebut, baik modifikasi pada kamera yang akan mempengaruhi beban total dari drone maupun modifikasi pada aksesoris yang digunakan pada drone E88 pro.

1.2. Perumusan Masalah

Penulis tertarik untuk meneliti bagaimana pengaruh karakteristik terbang dan ketinggian terhadap penambahan beban pada drone ,sehingga penelitian ini dapat menjawab pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi massa beban terhadap koefisien lift dan drag pada drone E88 Pro.
2. Sejauh mana penurunan performa ketinggian yang terjadi seiring dengan penambahan beban pada drone E88 Pro?
3. Bagaimana korelasi antara penambahan beban dengan konsumsi daya baterai saat drone berusaha mempertahankan ketinggian konstan (*hovering*)?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menentukan nilai koefisien lift dan drag yang dipengaruhi oleh penambahan beban pada drone E88 pro.

2. Melihat pengaruh karakteristik dan penurunan performa dengan variasi penambahan beban pada drone E88 pro.
3. Melihat pengaruh variasi penambahan beban terhadap ketinggian dan konsumsi daya baterai pada drone E88 pro.

1.4. Hipotesis Penelitian

Tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara penambahan berat beban (*payload*) terhadap stabilitas ketinggian dan performa terbang drone E88 Pro.

Terdapat pengaruh yang signifikan antara penambahan berat beban (*payload*) terhadap penurunan stabilitas ketinggian dan efisiensi daya pada drone E88 Pro.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Memberikan panduan dan batasan teknis kepada pengguna E88 Pro mengenai berat maksimal beban tambahan (seperti kamera aksi atau sensor) agar drone tetap aman digunakan dan tidak mengalami jatuh.
2. Memberikan kontribusi ilmiah mengenai data karakteristik penerbangan drone kategori *low-cost* (motor *brushed*) saat menghadapi perubahan massa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Drone

Drone didefinisikan sebagai pesawat tanpa awak yang tidak memiliki pilot, kru, atau penumpang di dalamnya, yang dapat beroperasi secara otonom atau dikendalikan dari jarak jauh, menggunakan kekuatan aerodinamis untuk menghasilkan daya angkat. Definisi ini mencakup berbagai jenis drone, mulai dari yang dikendalikan secara remote hingga yang sepenuhnya otonom, dan sering kali dilengkapi dengan sensor, kamera, atau perangkat lain untuk tujuan spesifik seperti survei atau pengiriman. Lebih lanjut, drone juga dikenal sebagai Unmanned Aircraft System (UAS), yang mencakup tidak hanya pesawat itu sendiri tetapi juga sistem pendukung seperti kontrol darat dan komunikasi, dengan kemampuan untuk beroperasi tanpa intervensi manusia langsung dari dalam pesawat. Secara umum, drone adalah perangkat robotik yang dapat terbang tanpa pilot manusia, mencakup spektrum luas dari kendaraan sederhana hingga kompleks, dan sering digunakan untuk aplikasi seperti fotografi, videografi, pemantauan, serta tugas militer atau sipil.

Perkembangan drone memiliki sejarah panjang yang dimulai dari era Perang Dunia I, di mana kendaraan tanpa awak pertama dikembangkan sebagai target latihan militer, dan istilah 'drone' muncul pada periode antar-perang. Pengembangan signifikan dimulai pada awal 1900-an, fokus pada target latihan militer, dan berkembang pesat selama Perang Vietnam dengan penggunaan drone pengintai. Konsep drone mungkin berasal dari tahun 1849, ketika Austria

menggunakan balon tanpa awak yang diisi bahan peledak untuk menyerang Venesia, menandai awal dari kendaraan udara tanpa awak. Pada tahun 1898, penemuan perangkat yang dapat membuat armada dan senjata tidak berguna menandai era baru, dan perkembangan modern melibatkan kemajuan dalam material, elektronik, dan perangkat lunak, mengubah drone dari alat militer menjadi alat serbaguna untuk pertanian, logistik, kesehatan, dan manajemen bencana. Milestone penting termasuk penciptaan quadcopter pertama pada 1907, penerbitan izin komersial pada 2006, dan pengenalan visi komputer cerdas pada DJI Phantom 4 tahun 2016, menunjukkan evolusi dari penggunaan militer ke hobi dan komersial.



Gambar 2. 1 Pengembangan Drone

Detail mengenai drone mencakup komponen utamanya yang mendukung fungsi penerbangan dan stabilitas, seperti frame (kerangka utama yang menahan semua bagian), motor (penghasil thrust), propeller (pencipta daya angkat melalui rotasi), baterai (sumber daya, biasanya lithium-polymer), flight controller (otak drone yang memproses input dari sensor), dan sensor (seperti gyroscope, accelerometer, GPS untuk navigasi dan stabilitas). Komponen ini bekerja bersama untuk menghasilkan gaya seperti lift, thrust, drag, dan weight, dengan lift dihasilkan

dari perbedaan tekanan udara di propeller berdasarkan prinsip Bernoulli. Untuk penjelasan rinci, sebuah diagram komponen drone (seperti yang ditemukan dalam artikel tentang bagian drone) menggambarkan struktur quadcopter dengan label sebagai berikut: frame di tengah sebagai kerangka utama, arms memanjang dari frame untuk mendukung motor, motor di ujung arms untuk rotasi propeller, propeller di atas motor untuk thrust, baterai di dalam frame untuk daya, flight controller board di pusat untuk pengolahan data, gimbal di bawah untuk stabilisasi kamera, landing gear di bawah untuk pendaratan aman, dan sensor seperti GPS atau ultrasonic di berbagai posisi untuk navigasi



Gambar 2. 2 Drone

2.2 Rangka

Rangka (frame) merupakan struktur utama dari drone yang berfungsi sebagai penopang seluruh komponen, termasuk motor, propeler, sistem elektronik, sensor (seperti potensiometer), dan baterai. Menurut Pounds et al. (2020), desain rangka drone harus mempertimbangkan kekuatan, ringan, dan rigiditas agar mampu menahan beban sambil menjaga kestabilan saat terbang.

Rangka dari bahan akrilik, yang merupakan polimer termoplastik transparan seperti polymethyl methacrylate (PMMA), dipilih untuk prototipe DIY karena

kemudahan fabrikasi dan biaya rendah, memungkinkan integrasi sederhana dengan potensiometer sebagai tilt sensor untuk mendeteksi kemiringan dan menjaga stabilitas horizontal secara otomatis. Akrilik memberikan kekuatan tarik yang baik (tensile strength) hingga sekitar 70 MPa, membuatnya cocok untuk mendukung beban ringan pada drone skala kecil, di mana potensiometer dapat dipasang di pusat rangka untuk pengukuran sudut tilt dengan akurasi dasar, menghasilkan output analog yang diproses oleh mikrokontroler seperti Arduino untuk penyesuaian thrust motor(kuxz, 2011). Dalam prototipe ini, rangka akrilik berbentuk quadcopter (misalnya, desain X-frame atau H-frame) dengan ketebalan 3-6 mm memastikan distribusi berat merata, mengurangi vibrasi yang bisa mengganggu pembacaan potensiometer, sehingga meningkatkan efisiensi auto-leveling hingga deviasi sudut kurang dari 5 derajat(kuxz, 2011).



Gambar 2. 3 Rangka Drone

2.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler berfungsi sebagai unit pusat pemrosesan yang mengintegrasikan input dari sensor seperti potensiometer untuk

mengimplementasikan algoritma kontrol stabilitas penerbangan. Mikrokontroler didefinisikan sebagai sistem komputer terintegrasi dalam satu chip yang mencakup prosesor, memori, dan periferal input/output, dirancang untuk aplikasi embedded seperti drone di mana ia memproses data analog dari potensiometer (sebagai tilt sensor) dan menghasilkan sinyal PWM untuk mengatur kecepatan motor brushless, memastikan auto-leveling dengan respons waktu real-time di bawah 100 ms (Gunes & Düzkaya, 2024). Lebih lanjut, mikrokontroler seperti Arduino Uno atau STM32 adalah integrated circuit yang menggabungkan CPU (misalnya, 8-bit hingga 32-bit), RAM, ROM, dan timer, memungkinkan eksekusi kode untuk feedback loop PID (Proportional-Integral-Derivative) yang mengoreksi kemiringan drone berdasarkan pembacaan potensiometer, dengan konsumsi daya rendah sekitar 50 mA pada 5V (Guan et al., 2021).



Gambar 2. 4 Mikrokontroler

Dalam prototipe drone, mikrokontroler biasanya memiliki 14 pin digital (6 PWM untuk kontrol ESC), 6 pin analog untuk potensiometer, dan clock speed 16 MHz, mendukung library seperti Servo.h untuk pengaturan motor berdasarkan data kemiringan, dengan memori flash 32 KB untuk kode sederhana (Gunes & Düzkaya,

2024). Cara kerja melibatkan loop utama yang membaca input potensiometer setiap 20 ms, menerapkan filter Kalman atau complementary untuk mengurangi noise, dan mengoutput sinyal ke motor untuk koreksi pitch/roll, sebagaimana dalam sistem STM32 yang mendukung hingga 4 kanal motor untuk quadcopter (Maciej Salwa & Izabela Krzysztofik, 2022). Tantangan termasuk keterbatasan komputasi pada mikrokontroler 8-bit, yang dapat menyebabkan delay pada kondisi vibrasi tinggi, sehingga memerlukan optimasi kode untuk integrasi dengan ragam desain propeller (Yazid et al., 2019).

2.4 Electronic Speed Controller

Electronic Speed Controller (ESC) berfungsi sebagai perangkat pengatur kecepatan motor brushless yang menerima sinyal dari mikrokontroler berdasarkan input potensiometer, memastikan penyesuaian thrust diferensial untuk mempertahankan stabilitas horizontal secara otomatis. ESC mengonversi sinyal PWM (Pulse Width Modulation) dari mikrokontroler menjadi pulsa tiga fase untuk motor, memungkinkan kontrol presisi atas RPM motor hingga 10.000-20.000, yang krusial untuk mengoreksi kemiringan yang dideteksi oleh potensiometer dalam sistem auto-leveling (V et al., 2022). Lebih lanjut, ESC dalam drone quadcopter mendukung operasi bidirectional untuk maneuver cepat, mengurangi konsumsi daya hingga 15% melalui efisiensi konversi tinggi, dan terintegrasi dengan ragam desain propeller untuk optimasi aerodinamis dalam prototipe low-cost (Xu et al., 2024).



Gambar 2. 5 Electronic Speed Controller

Definisi Electronic Speed Controller adalah perangkat elektronik yang mengatur kecepatan dan arah putaran motor listrik, khususnya brushless DC (BLDC) motor, melalui modulasi tegangan dan arus menggunakan MOSFET atau transistor untuk menghasilkan gelombang sinusoidal atau trapezoidal (V et al., 2022).

2.5 Motor

Motor brushless (brushless DC motor atau BLDC) berfungsi sebagai sumber tenaga propulsi yang menghasilkan thrust untuk penerbangan, diatur oleh Electronic Speed Controller (ESC) berdasarkan sinyal dari mikrokontroler yang memproses input potensiometer untuk menjaga stabilitas auto-leveling. Motor brushless dipilih karena efisiensi tinggi (hingga 85-90%) dan daya tahan lebih baik dibandingkan motor brushed, memungkinkan penyesuaian kecepatan rotor secara presisi untuk mengoreksi kemiringan drone berdasarkan data potensiometer, dengan respons waktu di bawah 50 ms untuk aplikasi quadcopter (CTB, 2023).

Motor brushless untuk drone, seperti A2212 1000kV, memiliki spesifikasi seperti KV rating (1000 RPM per volt), daya 100-200W, dan torque 0.1-0.2 Nm, dengan konfigurasi outrunner (rotor luar) untuk torque tinggi, cocok untuk

quadcopter dengan propeller 8-10 inch. Motor ini menghasilkan thrust 500-1000g per unit pada baterai LiPo 3S (11.1V), dengan efisiensi arus 10-20A, dioperasikan melalui ESC 30A menggunakan protokol PWM atau DShot untuk sinkronisasi fase. Cara kerja melibatkan komutasi tiga fase oleh ESC, di mana sinyal PWM dari mikrokontroler (berbasis data potensiometer) mengatur kecepatan motor untuk mengoreksi pitch/roll, dengan frekuensi switching 8-50 kHz untuk meminimalkan noise elektromagnetik. Penelitian menunjukkan bahwa motor brushless dengan propeller empat bilah (5040) mengalami peningkatan suhu dari 36.65°C (daya 14.75W, RPM 500) hingga 41.75°C (daya 214.93W, RPM 3150), menyoroti pentingnya manajemen termal untuk stabilitas auto-leveling. Tantangan termasuk panas berlebih pada RPM tinggi dan kebutuhan kalibrasi ESC untuk kompatibilitas dengan ragam propeller, yang memengaruhi respons auto-leveling (Rao et al., 2024).

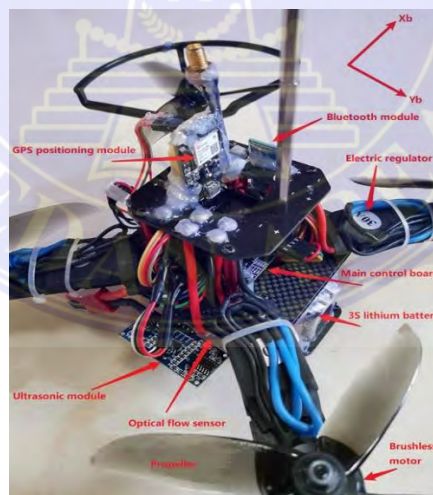


Gambar 2. 6 Motor

2.6 Modul Komunikasi

Modul komunikasi berperan sebagai sistem inti untuk transmisi data dua arah antara drone dan pengendalinya, seperti ground control station (GCS) atau

remote control, mendukung operasi auto-leveling dengan memproses input dari potensiometer untuk menjaga stabilitas penerbangan. Modul komunikasi memungkinkan pengiriman sinyal kontrol dari mikrokontroler, yang membaca data kemiringan dari potensiometer, ke Electronic Speed Controller (ESC) untuk mengatur kecepatan motor brushless, serta mengirimkan data telemetri seperti sudut kemiringan, posisi, dan status baterai dengan latensi rendah (<50 ms). Dalam prototipe low-cost, modul komunikasi berbasis radio 2.4 GHz, seperti Flysky FS-T6, digunakan untuk operasi Visual Line of Sight (VLOS), sementara teknologi seperti LoRa mendukung Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) dengan jangkauan hingga 10 km, meningkatkan efisiensi auto-leveling hingga 20% dengan ragam desain propeller (Farid et al., 2021). Modul ini memastikan respons cepat terhadap perubahan kemiringan, mengurangi konsumsi energi hingga 10% melalui optimasi komunikasi (Tyto Robotics, 2023).



Gambar 2. 7 Modul Komunikasi

Modul ini terdiri dari transmitter dan receiver yang beroperasi pada frekuensi radio (biasanya 2.4 GHz atau 915 MHz) atau jaringan seluler, dengan

bandwidth hingga 1 Mbps untuk mendukung data seperti posisi GPS, kecepatan, dan kemiringan, (Hanif et al., 2023)

2.7 Propeller

Propeller berperan sebagai komponen aerodinamis utama yang menghasilkan thrust dan lift untuk penerbangan, diintegrasikan dengan sistem auto-leveling berbasis potensiometer untuk menjaga stabilitas horizontal melalui penyesuaian kecepatan rotasi berdasarkan deteksi kemiringan. Propeller memengaruhi performa drone secara keseluruhan, termasuk efisiensi energi, noise, dan stabilitas, di mana variasi desain (seperti jumlah bilah 2-5, diameter 8-10 inch, dan pitch 4-7 inch) diuji untuk optimasi dengan potensiometer sebagai sensor sederhana, mengurangi biaya hingga 50% dibandingkan sensor IMU canggih, sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian tentang desain propeller untuk UAV kecil (Tracy, 2025). Dalam prototipe low-cost, propeller dengan potensiometer memungkinkan feedback loop untuk koreksi thrust diferensial, meningkatkan waktu penerbangan hingga 15% dan mengurangi vibrasi pada kondisi turbulensi (Oo et al., 2023).



Gambar 2. 8 Propeller Drone

Propeller biasanya terbuat dari bahan komposit seperti plastik, carbon fiber, atau resin, dengan desain multi-bilah (2-5 bilah) untuk efisiensi, dan dimensi seperti diameter 254 mm untuk UAV kecil, di mana performa diukur melalui thrust statis dan dinamis pada RPM 3000-9000 (Chen et al., 2025). Dalam konteks drone, propeller berfungsi sebagai elemen kunci dalam sistem propulsi, memengaruhi faktor seperti noise (70-90 dB pada hover) dan efisiensi aerodinamis, dengan desain bioinspired seperti curved-tip untuk mengurangi noise hingga 10 dB (Xray, 2025).

Dalam drone auto-level berbasis potensiometer, propeller diintegrasikan dengan sistem sensor potensiometer untuk mendeteksi kemiringan (melalui output voltase 0-5V yang dikonversi via mikrokontroler), menyesuaikan kecepatan rotasi propeller secara diferensial untuk koreksi stabilitas, seperti meningkatkan thrust propeller depan untuk pitch maju (Staff, 2023). Potensiometer bertindak sebagai tilt sensor sederhana dalam feedback loop, di mana variasi desain propeller (misalnya, curved-tip 10 × 4.7-inch) memengaruhi performa auto-leveling, mengurangi noise broadband dan meningkatkan efisiensi hingga 15% pada hover, sebagaimana diuji dalam penelitian tentang geometri propeller untuk drone pemantauan kualitas udara (Mohamed Abdessamia Chakchouk et al., 2023).

2.8 Baterai

Baterai drone berfungsi sebagai sumber energi utama yang mendukung operasi motor brushless, mikrokontroler, dan sensor seperti potensiometer, memastikan stabilitas penerbangan melalui pasokan daya konsisten untuk feedback loop auto-leveling. Baterai drone, biasanya Lithium Polymer (LiPo), memengaruhi durasi penerbangan (hingga 30-90 menit) dan performa keseluruhan, di mana

integrasi dengan potensiometer memungkinkan pemantauan tegangan real-time untuk mengoptimalkan konsumsi daya selama koreksi kemiringan, mengurangi risiko over-discharge hingga 20% pada prototipe low-cost. Dalam sistem auto-leveling, baterai mendukung variasi desain propeller dengan menyediakan arus tinggi (20-60A) untuk thrust diferensial, meningkatkan efisiensi energi hingga 15% pada hover.



Gambar 2. 9 Baterai Drone

Baterai drone didefinisikan sebagai perangkat penyimpanan energi elektrokimia yang mengonversi energi kimia menjadi listrik melalui reaksi redoks, biasanya berbasis Lithium Polymer (LiPo) untuk drone karena densitas energi tinggi (150-250 Wh/kg) dan kemampuan discharge cepat (20-50C), memungkinkan pasokan daya untuk motor dan sensor seperti potensiometer. Baterai LiPo terdiri dari sel polimer dengan elektrolit gel, terbungkus dalam pouch fleksibel untuk bobot ringan (20-100g per sel), dengan voltase nominal 3.7V per sel dan konfigurasi multi-sel (3S-6S untuk 11.1-22.2V) agar sesuai dengan kebutuhan drone quadcopter.

Dalam drone auto-level berbasis potensiometer, baterai LiPo diintegrasikan dengan potensiometer sebagai voltage divider untuk pemantauan tegangan baterai real-time, mencegah under-voltage yang mengganggu pembacaan sensor

kemiringan dan menjaga stabilitas sistem, seperti pada prototipe di mana potensiometer membaca voltase 3.0-4.2V per sel untuk *alert discharge*.

2.9 Konsep Mekanika Fluida

Dasar Mekanika Fluida dalam Aerodinamika

Mekanika fluida mempelajari perilaku fluida (seperti udara) yang berinteraksi dengan benda padat, termasuk gaya yang dihasilkan seperti lift dan drag. Pada aerodinamika drone kecil, fluida diasumsikan sebagai aliran Newtonian (udara ideal dengan viskositas konstan), dan analisis menggunakan persamaan Navier-Stokes (NS) yang disederhanakan untuk aliran tak-terkompresi ($Mach < 0.3$, tipikal untuk drone low-speed).

Rumus Dasar:

- Persamaan Kontinuitas (konservasi massa): $\nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0$ (untuk aliran tak-terkompresi, ρ konstan). Ini memastikan massa fluida yang masuk sama dengan yang keluar, relevan untuk aliran di sekitar propeller.
- Persamaan Momentum (Navier-Stokes): $\rho \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{V} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{V} + \mathbf{f}$ di mana: ρ = kerapatan fluida (1.225 kg/m^3 untuk udara standar), $\mathbf{V}$ = vektor kecepatan, p = tekanan, μ = viskositas dinamik ($1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$), $\mathbf{f}$ = gaya eksternal. Persamaan ini menjelaskan bagaimana tekanan dan viskositas menghasilkan lift/drag.
- Reynolds Number (Re): Parameter nondimensional utama untuk klasifikasi aliran (laminar vs. turbulen). $Re = \frac{\rho V L}{\mu}$ di mana V = kecepatan relatif, L =

panjang karakteristik (misal chord blade $c \sim 0.01$ m). Pada low Re ($< 10^5$), aliran laminar dominan, menyebabkan separasi bubble dan penurunan efisiensi.

Aplikasi: Pada propeller drone kecil (Re ~ 20.000 – 50.000), low Re menyebabkan drag viscous tinggi dan lift rendah karena transisi laminar-turbulen lambat.

Teori Lift dan Drag

Lift adalah gaya tegak lurus terhadap arah aliran (menghasilkan thrust pada propeller), sementara drag adalah gaya sejajar yang menahan gerak. Pada propeller, lift berasal dari perbedaan tekanan di sisi atas/bawah blade, sedangkan drag dari gesekan viskos dan tekanan.

Rumus Lift (L): $L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_l$ di mana S = luas referensi (luas blade untuk airfoil, atau luas frontal untuk drone total).

Rumus Drag (D): $D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_d$

Jenis Drag:

- Pressure Drag: Dari perbedaan tekanan (form drag + induced drag).
- Viscous Drag (Skin Friction): Dari gesekan lapisan batas (dominan pada low Re).
- Induced Drag: Dari vorteks trailing (pada propeller, terkait induced velocity $v_{\perp}$). $D_i \approx T \cdot \alpha$ (aproksimasi, α = sudut serang efektif).

Teori Momentum untuk Propeller: Propeller dimodelkan sebagai actuator disk yang mempercepat fluida, menghasilkan thrust (lift vertikal pada hover). $T = \dot{m}\Delta V$ (ΔV = perubahan kecepatan fluida).

Koefisien Lift (C_l) dan Koefisien Drag (C_d)

Koefisien ini adalah nilai nondimensional yang mengukur efisiensi aerodinamika, independen dari ukuran dan kecepatan (bergantung Re dan sudut serang α).

Rumus C_l : $C_l = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$ Pada low Re, C_l maks $\sim 0.8-1.2$ (menurun 10–20% karena separasi laminar).

Rumus C_d : $C_d = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$ Pada low Re, $C_d \sim 0.05-0.2$ untuk blade (meningkat karena drag viscous).

Lift-to-Drag Ratio (L/D): $\frac{L}{D} = \frac{C_l}{C_d}$ Tipikal $\sim 15-20$ pada Re 20.000 (aproksimasi linier: $L/D = 10 + Re/2000$).

Pada Propeller: C_l/C_d dihitung per sectional blade (di 75% radius), karena blade berputar.

Aplikasi pada Low Reynolds Number dan Propeller Drone

Pada drone kecil ($Re < 10^5$), aliran laminar menyebabkan separasi bubble, penurunan C_l , dan peningkatan C_d . Propeller dimodelkan dengan:

- Actuator Disk Theory: Luas disk $A = \pi (D/2)^2$ untuk induced v_i . $v_i =$

$$\sqrt{\frac{T}{2\rho A}}$$

- Blade Element Momentum Theory (BEMT): Integrasi lift/drag per elemen blade. $dT = \frac{1}{2} \rho V_r^2 c dr B C_l$ (B = jumlah blade, V_r = kecepatan relatif).

- Thrust Empiris: $T = C_T \rho n^2 D^4$ ($C_T \sim 0.08-0.12$).

- Solidity (σ): $\sigma = S / A \sim 0.05-0.15$.

- Frontal Area (A_f): Untuk C_d/C_l total drone $\sim 0.05 \text{ m}^2$.

- Thrust per propeller: $T_{\text{per}} = W / 4$ ($W = m g$).

- $n = \sqrt{(T_{\text{per}} / (C_T \cdot \rho \cdot D^4))}$.

- $V_{\text{tip}} = \pi D n$; $v_{75} = 0.75 v_{\text{tip}}$.

- $Re = \rho V_{75} c / \mu$.

- $C_l = T_{\text{per}} / (0.5 \rho v_{75}^2 S)$.

- $C_d = C_l / L/D$.

- Drag horizontal: $D = 0.5 \rho v^2 C_d A_f$.

Pengambilan Nilai:

- $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ (standar ISA).
- $\mu = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (udara 15°C).
- $C_T = 0.1$ (empiris dari pengujian propeller kecil).
- $c = 0.01 \text{ m}$ (rata-rata chord propeller 4 inci).
- $S = 0.001 \text{ m}^2$ (luas blade, dari solidity $\sigma \approx 0.1 \times A$).
- $A_f = 0.05 \text{ m}^2$ (estimasi frame drone kecil)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

1. Tempat

Adapun pelaksanaan penelitian ini dilakukan yaitu di Gedung Workshop PT. Transnusa Jaya Mandiri , yang berlokasi di Jl. Brig Jend. Zein Hamid No 5 Km 6, Titi Kuning, Medan Johor, Kota Medan, Sumatera Utara 20146.

2. Waktu

Adapun waktu dan penelitian yang sejak tanggal di keluarkannya Surat keputusan tugas akhir dan penentuan dosen pembimbing terhadap detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Jadwal Tugas Akhir

Aktivitas	Tahun 2024 – Tahun 2025				
	Okt	Nov	Des	Jan	Feb
Pengajuan Judul					
Penulisan Proposal					
Seminar Proposal					
Proses Penelitian					
Pengolahan Data					
Penyelesaian Laporan					
Seminar Hasil					
Evaluasi dan persiapan Sidang					
Sidang Sarjana					

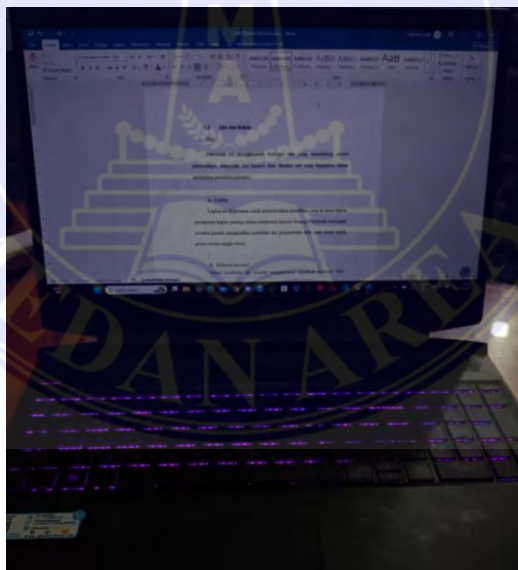
3.2 Alat dan Bahan

1. Alat

Penelitian ini menggunakan berbagai alat yang mendukung proses perancangan, pengujian, dan analisis data. Berikut alat yang digunakan dalam melakukan penelitian tersebut:

A. Laptop

Laptop ini di gunakan untuk menyelesaikan penelitian yang di mana laptop merupakan bagian penting dalam pembuatan laporan dengan Microsoft word pada sewaktu penulis mengerjakan penelitian dan pengambilan data, serta untuk untuk proses desain rangka drone.



Gambar 3. 1 Laptop

B. Alat Gambar

Dalam tahap awal perancangan, proses sketsa desain merupakan pondasi penting untuk mengkonsepkan ide secara visual. Alat sederhana seperti kertas

gambar, pensil, penggaris, dan pensil warna digunakan untuk dapat menghasilkan sketsa tangan yang menggambarkan bentuk, dimensi, dan hubungan antar komponen - komponen secara kasar. Sketsa awal ini berfungsi sebagai pengantar antara ide konseptual dan model digital yang lebih detail, serta memudahkan diskusi dan evaluasi bersama rekan tim desain.



Gambar 3. 2 Alat Gambar

C. Solder

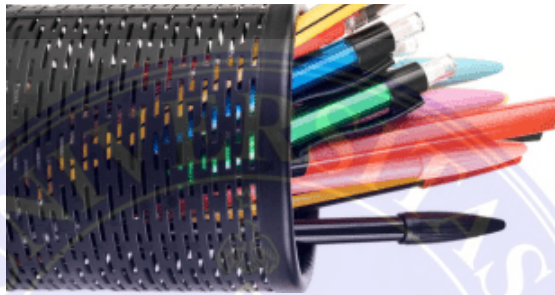
Solder adalah alat yang digunakan untuk menyambungkan komponen elektronik dengan cara melelehkan logam timah (solder wire) sehingga dapat merekatkan kaki komponen ke papan rangkaian (PCB – Printed Circuit Board). Proses ini disebut *soldering*. Dalam penelitian dan pembuatan prototipe, terutama pada perangkat elektronika seperti drone, sistem kendali, maupun modul sensor, solder menjadi alat yang sangat penting untuk memastikan setiap komponen terhubung dengan baik dan memiliki konduktivitas listrik yang optimal.



Gambar 3. 3 Solder

D. Alat Tulis

Alat tulis merupakan salah satu komponen penting dalam setiap proses perancangan, terutama untuk tahap awal pengembangan ide dan sketsa. Alat tulis seperti pensil, pulpen, spidol, dan kertas digunakan untuk mencatat ide, menggambar sketsa kasar, dan membuat diagram alur yang mendukung perencanaan desain secara menyeluruh.



Gambar 3. 4 Alat Tulis

E. Berat Kalibrasi

Berat kalibrasi, atau sering disebut sebagai "anak timbangan" atau "standar massa", merupakan alat ukur massa standar yang digunakan untuk memverifikasi dan menyesuaikan akurasi alat ukur seperti timbangan atau neraca. Berat kalibrasi dibuat dengan densitas tetap, dan memiliki nilai massa nominal yang tepat (misalnya, 1 g, 100 g, hingga 2000 g atau lebih), Fungsi utamanya adalah membandingkan nilai penunjukan alat ukur dengan nilai referensi untuk mendeteksi penyimpangan (error)



Gambar 3. 5 Berat Kalibrasi

F. Benang

Benang yang digunakan dalam percobaan ini adalah benang PE yang fungsinya untuk menahan beban ketika ditambahkan ke badan drone , sehingga percobaan bisa dilakukan.



Gambar 3. 6 Benang PE

2. Bahan

A. Drone E88 pro

Drone E88 Pro merupakan wahana udara tak berawak (*Unmanned Aerial Vehicle*) jenis *quadcopter* yang digunakan sebagai objek uji utama dalam penelitian

ini. Drone ini termasuk dalam kategori *entry-level* atau *low-cost drone* yang dirancang dengan struktur lipat (*foldable*) untuk kemudahan mobilitas. Pemilihan E88 Pro didasarkan pada karakteristik sistem propulsinya yang menggunakan motor *brushed*, sehingga memberikan respons yang lebih sensitif terhadap perubahan beban dibandingkan motor *brushless*.



Gambar 3. 7 Drone E88 Pro

B. Propeller

Propeller berperan sebagai komponen aerodinamis utama yang menghasilkan thrust dan lift untuk penerbangan, diintegrasikan dengan sistem auto-leveling berbasis potensiometer untuk menjaga stabilitas horizontal melalui penyesuaian kecepatan rotasi berdasarkan deteksi kemiringan. Propeller memengaruhi performa drone secara keseluruhan, termasuk efisiensi energi, noise, dan stabilitas, di mana variasi desain (seperti jumlah bilah 2-5, diameter 8-10 inch, dan pitch 4-7 inch) diuji untuk optimasi dengan potensiometer sebagai sensor sederhana, mengurangi biaya hingga 50% dibandingkan sensor IMU canggih,

sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian tentang desain propeller untuk UAV kecil (Tracy, 2025).



Gambar 3. 8 Propeller

3.3 Metode Penelitian

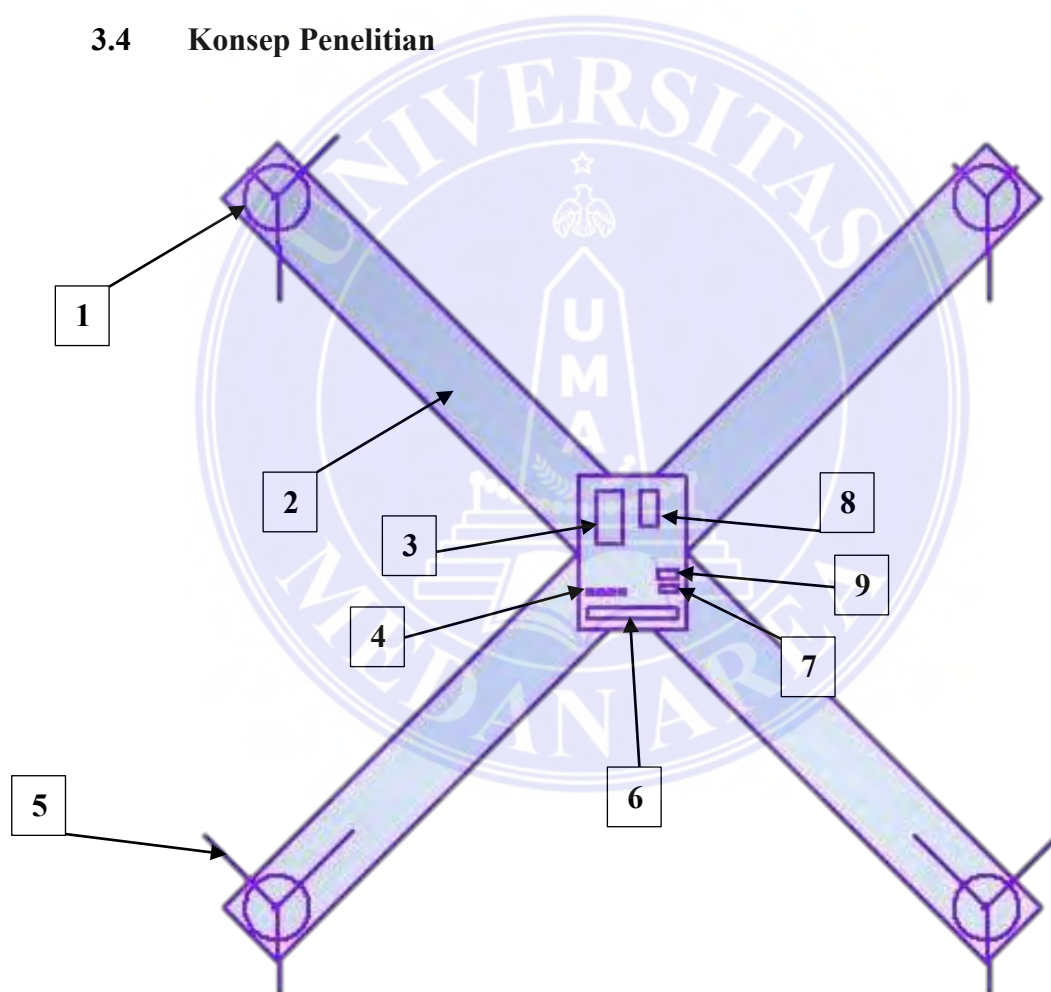
Penelitian ini mengadopsi pendekatan eksperimental guna menguji pengaruh penambahan variasi beban terhadap karakteristik terbang serta ketinggian drone E88 pro, fokus dari penelitian ini terletak pada variasi penambahan beban yang diberikan kepada drone sehingga kita bisa melihat reaksi terbang dan ketinggian dari drone E88 pro.

Konsep dari penelitian ini terletak pada penelitian secara eksperimental yang mengukur seberapa besar "gangguan" (beban) dapat ditoleransi oleh sistem drone sebelum kinerjanya menurun.

Pengujian dilakukan dengan melakukan uji eksperimen pada beban drone standar atau tanpa penambahan beban eksternal, selanjutnya dilakukan eksperimen

dengan penambahan beban eksternal yaitu berat kalibrasi dengan beban 10g, 20g, 30g, dan 50g. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan meteran agar dapat diketahui seberapa besar penurunan ketinggian dari drone yang sudah diberikan beban eksternal dan dapat dilihat juga perubahan karakteristik dari drone seperti kecepatan motor, dan kestabilan drone.

3.4 Konsep Penelitian

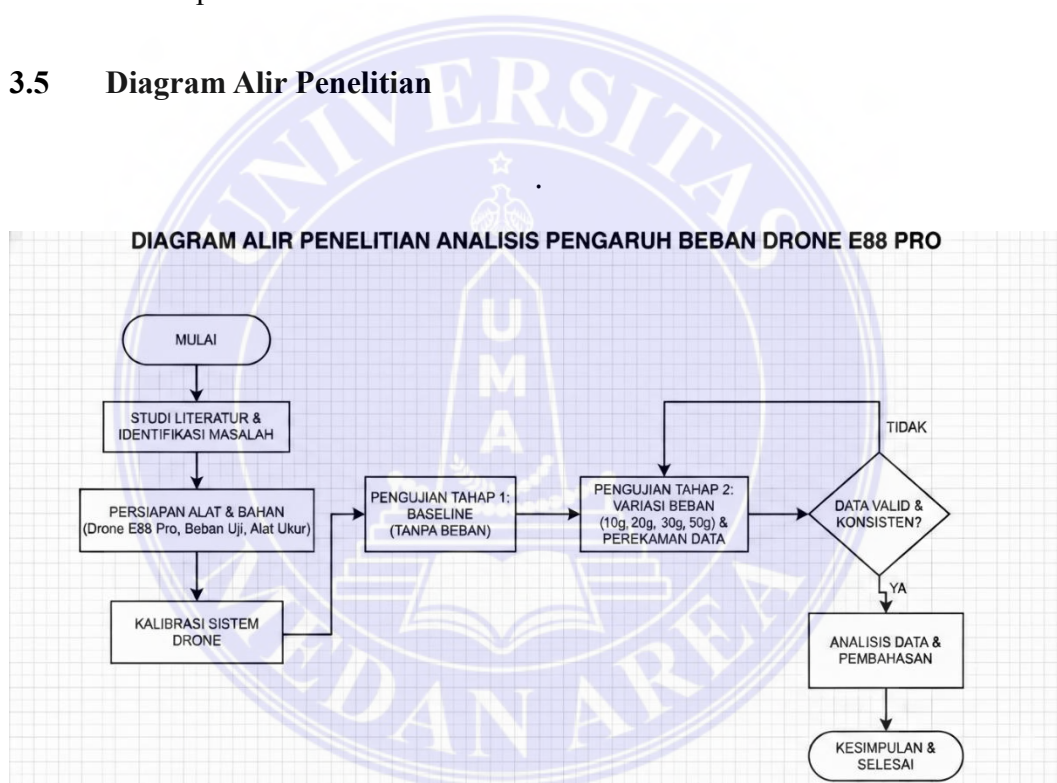


Gambar 3. 9 Konsep Rangka Drone

Gambar 3.8 merupakan gambar dari drone E88 pro berikut merupakan penjelasan dari gambar tersebut :

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| 1. Motor Brushed | 6. Baterai Drone |
| 2. Rangka | 7. Modul Kamera |
| 3. Mikrokontroller | 8. Sensor Barometer |
| 4. Modul Komunikasi | 9. Electronic Speed Controller |
| 5. Propeller Drone | |

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 9. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dimulai dengan mengidentifikasi masalah yang akan diteliti, dalam penelitian ini masalah yang diteliti adalah pengaruh penambahan beban terhadap karakteristik terbang dan ketinggian drone e88 pro, penelitian dilakukan dengan menerbangkan drone dan hover pada ketinggian 1 m, yang selanjutnya akan ditambahkan beban bertahap pada drone sehingga bisa dilihat karakteristik terbang dan ketinggian drone serta masa hover drone, selanjutnya hasil penelitian di tuliskan kedalam laporan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penambahan beban berpengaruh terhadap kemampuan drone dalam mempertahankan ketinggian. Pada beban standar (massa total 77,79 g) dan penambahan 10 g (massa total 87,79 g), drone masih mampu mempertahankan ketinggian target 1 meter. Mulai dari penambahan 20 g (massa total 97,79 g), ketinggian rata-rata turun menjadi 0,75–0,82 m. Pada penambahan 30 g (massa total 107,79 g), ketinggian turun menjadi rata-rata 0,56–0,58 m. Sedangkan pada beban 40 g dan 50 g (massa total 117,79–127,79 g), drone gagal mempertahankan ketinggian (jatuh ke lantai) meskipun dapat kembali terbang setelah peningkatan kecepatan motor secara manual, namun drone sudah sulit untuk dikendalikan dan kehilangan kestabilan pada beban tersebut.

Koefisien lift (C_l) bersifat konstan pada nilai 0,33098 untuk semua variasi beban. Hal ini menunjukkan bahwa motor brushed dan propeller drone E88 Pro tidak mampu meningkatkan koefisien lift secara signifikan untuk mengimbangi penambahan massa. Sementara itu, koefisien drag (C_d) mengalami penurunan dari 0,016 menjadi 0,014 seiring bertambahnya beban, namun drag total justru meningkat karena massa yang lebih besar.

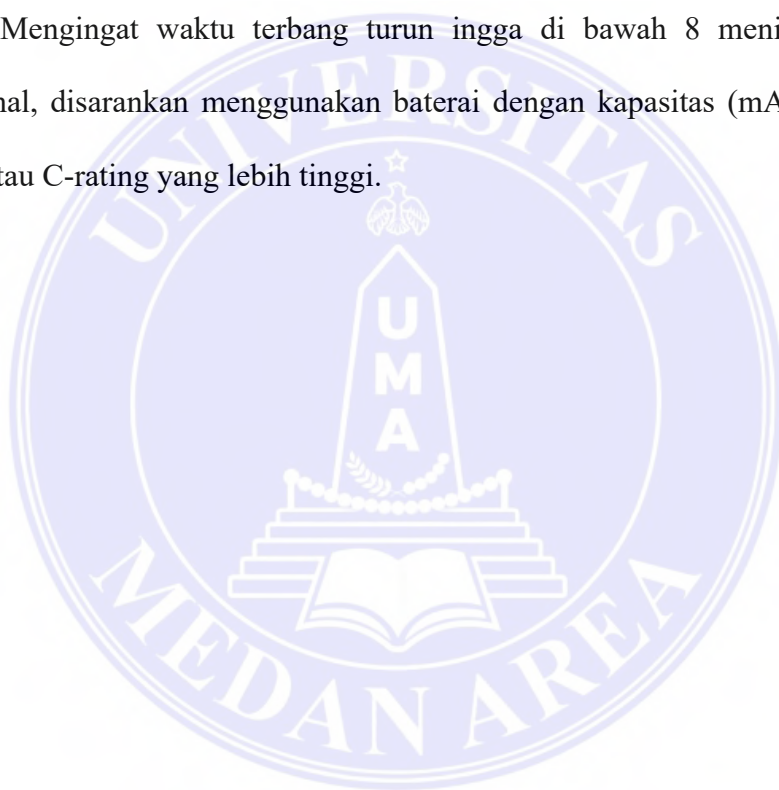
Penambahan beban menyebabkan penurunan waktu hovering pada drone. Waktu terbang maksimum pada kondisi tanpa beban tambahan mencapai rata-rata 633 detik ($\approx 10,5$ menit), sedangkan pada beban 50 g waktu terbang turun menjadi rata-rata 365 detik (≈ 6 menit). Penurunan ini disebabkan oleh kebutuhan thrust

yang lebih tinggi sehingga konsumsi daya baterai 3,7 V 1800 mAh menjadi lebih boros.

5.2 Saran

Pengujian disarankan tidak hanya dilakukan pada kondisi statis atau indoor, tetapi juga pada kondisi lingkungan terbuka dengan gangguan angin untuk mengevaluasi kinerja sistem auto-level secara lebih komprehensif.

Mengingat waktu terbang turun ingga di bawah 8 menit pada beban maksimal, disarankan menggunakan baterai dengan kapasitas (mAh) yang lebih besar atau C-rating yang lebih tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Maciej Podśędkowski, Rafał Konopiński, Obidowski, D., & Katarzyna Koter. (2020). Variable Pitch Propeller for UAV-Experimental Tests. *Energies*, 13(20), 5264–5264. <https://doi.org/10.3390/en13205264>
- View of Pengembangan Mini Drone Berbasis ESP32 dengan Roll dan Pitch Control Menggunakan Algoritma PID. (2025). Unila.ac.id. <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/2597/559>
- View of RANCANG BANGUN ALAT UJI THRUST MOTOR BRUSHLESS DENGAN VARIASI PROPELLER. (2025). Sttkd.ac.id. <https://jurnal.sttkd.ac.id/index.php/ts/article/view/836/489>
- StartUs Insights. (2025, January 3). *Drone Report 2025 | StartUs Insights*. StartUs Insights. <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/drone-report/>.
- Susi, J., Karl-Eerik Unt, & Heering, S. (2025). *The Efficiency of Drone Propellers—A Relevant Step Towards Sustainability*. 89–89. <https://doi.org/10.3390/engproc2025090089>
- Lakhdhar, L., Bouabidi, A., & Snoussi, A. (2025). Impact of blade number on the aerodynamic performance of UAV propellers: A numerical and experimental study. *Aerospace Science and Technology*, 166, 110594. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2025.110594>
- Maciej Podśędkowski, Obidowski, D., & Michał Lipian. (2025). Enhancing drone propellers: practical insights from BEM-based pitch optimization. *Aerospace Science and Technology*, 110332–110332. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2025.110332>
- Avraam Chatzopoulos, Xenakis, A., Michail Papoutsidakis, Konstantinos Kalovrektis, Michail Kalogiannakis, & Sarantos Psycharis. (2024). Proposing and Testing an Open - Source and Low - Cost Drone Under the Engineering Design Process for Higher Education: The Mechatronics

- Course Use Case. *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/educon60312.2024.10578677>
- Automatic Drone Balancing. (2021). *DIY Mini Drone Part 7: Automatic Balancing*. Science Buddies. <https://www.sciencebuddies.org/stem-activities/automatic-drone-tilt-control>
- Ginsberg, S. (n.d.). *WashU Scholarly Repository WashU Scholarly Repository Auto Drone: Modifying a DIY Drone Kit for Autonomous Flight Auto Drone: Modifying a DIY Drone Kit for Autonomous Flight*. Retrieved September 3, 2025, from <https://openscholarship.wustl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1143&context=mems500>
- Nutdanai Chompoosri. (2024). Investigation of propeller configuration effects on the flight stability of unmanned aerial vehicles. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*. <https://doi.org/10.60101/jarst.2024.258251>.
- Espinoza, A., Carrasquillo, K., Pérez, J., Fernández, Y., & Martínez, R. (2020). *Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy*. 1. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.316>
- Using Digital Potentiometers to build Unique Projects | DroneBot Workshop*. (2024, November 8). DroneBot Workshop. <https://dronebotworkshop.com/digital-potentiometers/>
- Mesquita, G. P., José Domingo Rodríguez-Teijeiro, Rocha, R., & Mulero-Pázmány, M. (2021). Steps to build a DIY low-cost fixed-wing drone for biodiversity conservation. *PLoS ONE*, 16(8), e0255559–e0255559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255559>
- Mini, D. (2021). *DIY Mini Drone Part 2: Altitude Control Circuit*. Science Buddies. <https://www.sciencebuddies.org/stem-activities/drone-altitude-control>

- DIY Mini Drone Part 3: Arduino Altitude Control*. (2021). Science Buddies.
https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/Robotics_p038/robotics/drone-programming-arduino
- Karar, M. E., Alotaibi, F., Rasheed, A. A., & Reyad, O. (2021). A Pilot Study of Smart Agricultural Irrigation using Unmanned Aerial Vehicles and IoT-Based Cloud System. *Information Sciences Letters*, 10(1), 131–140.
<https://doi.org/10.18576/isl/100115>
- Storr, W. (2016, July 4). *Potentiometers, Preset Potentiometers and Rheostats*. Basic Electronics Tutorials. <https://www.electronicstutorials.ws/resistor/potentiometer.html>
- Maciej Podsędkowski, Rafał Konopiński, Obidowski, D., & Katarzyna Koter. (2020). Variable Pitch Propeller for UAV-Experimental Tests. *Energies*, 13(20), 5264–5264. <https://doi.org/10.3390/en13205264>
- Gere, J.M. and Timoshenko, S.P. (1997) *Mechanics of Materials*. 4th edn. Boston: PWS Publishing Company.
- Popov, E.P. (1998) *Engineering Mechanics of Solids*. 2nd edn. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T. & Mazurek, D. F. (2015). *Mechanics of Materials*. 7th edn. New York: McGraw-Hill Education.
- Gere, J. M. & Goodno, B. J. (2012). *Mechanics of Materials*. 8th edn. Stamford: Cengage Learning.

