

**Pengembangan Alat Uji Kinerja Motor dan *Propeller Drone*  
Ukuran *Medium* Berbasis Rotor**

**Tugas Akhir**

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

**Bidang Kajian**

*Product Design*

Oleh:

Rafi Yoga Pratama

221421023



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PERANCANGAN MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK PERANCANGAN MANUFAKTUR  
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

**2025**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

### **Pengembangan Alat Uji Kinerja Motor dan *Propeller Drone* Ukuran *Medium* Berbasis Rotor**

Oleh:

Rafi Yoga Pratama

221421023

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

Bandung, 23 Juli 2025

Disetujui,

Pembimbing 1



Widya Prapti Pratiwi, S.T., MT

NIP. 199002202022032006

Pembimbing 2



M. Aditya Rovandi, S.Tr., M.Sc., Ph.D.

NIP. 199411122024061001

Disahkan,

Penguji 1



Asep Indra Komara, SST., MT.

NIP. 197509122001121001

Penguji 2



M. Rizal Ardiansyah, S.Tr.T., M.T.

NIP. 199808252024061001

Penguji 3



Adhitya Sumardi Sunarya, S.Si., M.Si.

NIP. 198110052009121005

## PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rafi Yoga Pratama  
NIM : 221421023  
Jurusan : Teknik Perancangan Manufaktur  
Program Studi : Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur  
Jenjang Studi : Diploma IV  
Jenis Karya : Tugas Akhir  
Judul Karya : Pengembangan Alat Uji Kinerja Motor dan *Propeller Drone* Ukuran *Medium* Berbasis Rotor

Menyatakan bahwa:

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung

Pada tanggal : 23-07-2025

Yang Menyatakan,



Rafi Yoga Pratama

NIM 221421023

## PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

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

Nama : Rafi Yoga Pratama  
NIM : 221421023  
Jurusan : Teknik Perancangan Manufaktur  
Program Studi : Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur  
Jenjang Studi : Diploma IV  
Jenis Karya : Tugas Akhir  
Judul Karya : Pengembangan Alat Uji Kinerja Motor dan *Propeller Drone* Ukuran *Medium* Berbasis Rotor

Menyatakan/menyetujui bahwa:

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung  
Pada tanggal : 23-07-2025

Yang Menyatakan,



Rafi Yoga Pratama

NIM 221421023

## **MOTO PRIBADI**

Setiap perjalanan memiliki cerita yang berbeda-beda,  
Maka nikmati setiap perjalanan itu.

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepada-Nya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon ampunan. Kami berlindung kepada-Nya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalan-Nya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagi-Nya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hamba-Nya dan Rasul-Nya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Pengembangan Alat Uji Kinerja Motor dan *Propeller Drone* Ukuran *Medium* Berbasis Rotor”. Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Darma Firmansyah U., S.ST., M.T.
2. Ketua Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Bapak Bustami Ibrahim, SST., M.T., IPM.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Ibu Dinny Indrian S.Tr., MT.
4. Pembimbing 1 tugas akhir, Ibu Widya Prapti Pratiwi, S.T., M.T. yang telah sabar dan penuh keikhlasan membantu, membimbing dan memberikan motivasi pada penulis hingga bisa bertahan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Pembimbing 2 tugas akhir, Bapak M. Aditya Royandi, S.Tr., M.Sc., Ph.D. yang telah sabar dan penuh keikhlasan membantu, membimbing dan memberikan

motivasi pada penulis hingga bisa bertahan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

6. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Ibu Tini dan Bapak Amin serta Kakak penulis A Gugun yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak Asep Indra Komara, S.S.T., M.T., Bapak Muhammad Rizal Ardiansyah, S.Tr.T., M.T., dan Bapak Adhitya Sumardi Sunarya, S.Si.,M.Si..
8. Para sahabat saya: Naufal Makarim, Daffa Mahesa, Agi Nursani yang selalu menemani dan mendengarkan keluh kesah penulis dikala jenuh mengerjakan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan kelas 4 DEC-1 yang selalu memberikan dukungan dan semangat serta menjadi tempat diskusi sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.

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

Bandung, Juli 2025

Penulis

## ABSTRAK

Perkembangan pesat teknologi *drone* menuntut optimasi berkelanjutan pada sistem propulsi untuk meningkatkan efisiensi dan performa secara keseluruhan. Saat ini, alat uji kinerja motor dan *propeller drone* yang ada di pasaran seringkali memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas pengujian berbagai ukuran *propeller* dan motor, rigiditas struktur yang kurang memadai, dan biaya yang relatif tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun sebuah prototipe alat uji kinerja motor dan *propeller drone* yang lebih rigid, mampu mengakomodasi variasi *propeller* hingga diameter 15 inci dan motor hingga diameter 147,5 mm, serta mudah digunakan dengan biaya terjangkau. Penelitian ini menggunakan metodologi perancangan VDI 2206 yang meliputi tahapan identifikasi masalah dan kebutuhan, perancangan sistem yang melibatkan domain mekanik, elektronika, dan informatika, perancangan detail spesifik domain, fabrikasi, integrasi sistem, hingga verifikasi dan validasi fungsional alat. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini mencakup rancangan alat uji yang dirancang untuk mengakomodasi *propeller* berdiameter hingga 15 inci dan motor berdiameter hingga 147,5 mm. Serta prototipe alat uji yang telah terintegrasi dengan fungsionalitas yang baik.

Kata kunci: Gaya Dorong, Sistem Propulsi, *Thrust Stand*, UAV, VDI 2206

## **ABSTRACT**

*The rapid development of drone technology necessitates continuous optimization of propulsion systems to enhance overall efficiency and performance. Currently, existing motor and propeller performance testing tools on the market often have limitations in terms of testing flexibility for various propeller and motor sizes, insufficient structural rigidity, and relatively high costs. The objective of this research is to design and build a prototype for a drone motor and propeller performance testing tool that is more rigid, capable of accommodating propellers up to 15 inches in diameter and motors up to 147.5 mm in diameter, and is easy to use with an affordable cost. This research employs the VDI 2206 design methodology, which includes problem and requirement identification, system design (involving mechanical, electrical, and informatics domains), detailed domain-specific design, fabrication, system integration, and functional verification and validation of the tool. The results of this research include a designed testing tool that can accommodate propellers up to 15 inches in diameter and motors up to 147.5 mm in diameter, as well as a well-integrated prototype with good functionality.*

*Keywords: Propulsion System, Thrust Force, Thrust Stand, UAV, VDI 2206*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI) .....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTO PRIBADI .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>I-1</b>
I.1 Latar Belakang.....	I-1
I.2 Rumusan Masalah.....	I-4
I.3 Ruang Lingkup .....	I-5
I.4 Tujuan .....	I-6
I.5 Manfaat .....	I-6
I.6 Sistematika Penulisan .....	I-7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>II-1</b>
II.1 <i>Unmanned Air Vehicle (UAV)</i> .....	II-1
II.1.1 Klasifikasi <i>Drone</i> Berdasarkan Jenis.....	II-1
1. <i>Multirotor</i> .....	II-1
2. <i>Fixed-Wing</i> .....	II-1
3. <i>Vertical Take-Off Landing (VTOL)</i> .....	II-2
II.1.2 Klasifikasi <i>Drone</i> Berdasarkan Berat.....	II-3
II.2 Sistem Propulsi.....	II-4
II.2.1 <i>Propeller</i> .....	II-4
II.2.2 Motor .....	II-5

II.2.3 <i>Electronic Speed Control</i> .....	II-6
II.2.4 Baterai.....	II-6
II.3 Gaya-Gaya Pada <i>Drone</i> .....	II-7
II.3.1 Gaya Dorong ( <i>Thrust</i> ) .....	II-8
II.3.2 Gaya Angkat ( <i>Lift</i> ) .....	II-8
II.3.3 Gaya Berat ( <i>Weight</i> ) .....	II-8
II.3.4 Gaya Hambat ( <i>Drag</i> ).....	II-8
II.3.5 Gaya Putar ( <i>Torque</i> ) .....	II-9
II.4 Contoh Grafik Pengaruh Gaya Dorong.....	II-9
II.4.1 Pengaruh Gaya Dorong Terhadap <i>Rotation Speed</i> (RPM).....	II-10
II.4.2 Pengaruh Gaya Dorong Terhadap <i>Propeller Efficiency</i> .....	II-10
II.4.3 Pengaruh Gaya Dorong Terhadap <i>Motor Efficiency</i> .....	II-11
II.5 Gaya Sentrifugal.....	II-11
II.6 Pengembangan <i>Thrust Stand</i> .....	II-12
II.6.1 Pengembangan <i>Thrust Stand</i> Menggunakan <i>Load Cell</i> .....	II-12
II.6.2 Pengembangan <i>Thrust Stand</i> Menggunakan <i>Wind Tunnel</i> .....	II-13
II.7 Metodologi Perancangan VDI 2206 .....	II-14
II.8 Metodologi Penilaian VDI 2225 .....	II-17
II.9 Tinjauan Alat .....	II-17
II.9.1 <i>Load Cell</i> CZL-601 .....	II-17
II.9.2 <i>Infrared Sensor</i> FC-51 .....	II-18
II.9.3 Arduino Nano .....	II-19
II.9.4 <i>Converter</i> HX711 .....	II-20
II.9.5 Sensor ACS 712.....	II-20
<b>BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH .....</b>	<b>III-1</b>
III.1 <i>Requirement</i> .....	III-2
III.1.1 Identifikasi Masalah.....	III-2
III.1.2 Perhitungan Awal .....	III-6
III.1.3 Daftar Tuntutan .....	III-8

III.2 <i>System Design</i> .....	III-9
III.2.1 Identifikasi Mekanisme Kerja Alat .....	III-9
III.2.2 Fungsi dan Sub-Fungsi.....	III-11
III.2.3 Variasi Konsep Setiap Domain.....	III-12
III.2.4 Pemilihan Alternatif Fungsi Setiap Domain .....	III-24
III.3 <i>Domain-Specific Design</i> .....	III-30
III.3.1 Domain Mekanik.....	III-30
III.3.2 Domain Elektronika .....	III-43
III.3.3 Domain Informatika .....	III-43
III.4 <i>System Intergration</i> .....	III-52
III.5 <i>Verification/ Validation</i> .....	III-53
III.6 <i>Modelling &amp; Model Analysis</i> .....	III-54
III.6.1 Analisis Simulasi Rangka.....	III-54
III.6.2 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Hasil Simulasi Rangka.....	III-58
III.6.3 Analisis Simulasi <i>Bracket Motor</i> .....	III-59
III.7 <i>Product</i> .....	III-62
III.7.1 Spesifikasi Teknis Alat .....	III-62
III.7.2 <i>Bill Of Material</i> .....	III-64
III.7.3 Gambar Kerja .....	III-64
<b>BAB IV KINERJA ALAT .....</b>	<b>IV-1</b>
IV.1 Pengujian Kinerja Alat .....	IV-1
IV.1.1 Tujuan Pengujian Kinerja Alat .....	IV-1
IV.1.2 Parameter Kinerja yang Diuji.....	IV-1
IV.1.3 Spesifikasi Sistem Propulsi yang Diuji .....	IV-1
IV.2 Prosedur Pengujian.....	IV-2
IV.2.1 Persiapan Alat dan Objek Uji .....	IV-2
IV.2.2 Pengoperasian Sistem.....	IV-5
IV.2.3 Prosedur Keamanan dan Pasca-Pengujian .....	IV-7

IV.3 Hasil Data Pengukuran Gaya Dorong ( <i>Thrust</i> ) .....	IV-9
IV.3.1 Hasil Pengukuran Gaya Dorong.....	IV-10
IV.3.2 Data Pengukuran Gaya Dorong.....	IV-10
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>V-1</b>
V.1 Kesimpulan .....	V-1
V.2 Saran .....	V-2
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>xxi</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Data Rentang Ukuran <i>Propeller</i> pada <i>Drone</i> Komersial .....	I-3
Tabel II.1 Klasifikasi <i>Drone</i> Berdasarkan Beratnya [12].....	II-3
Tabel II.2 Contoh Tabel Penilaian VDI 2225 .....	II-17
Tabel II.3 Spesifikasi <i>Load Cell</i> CZL-601 .....	II-18
Tabel II.4 Spesifikasi Arduino Nano .....	II-20
Tabel II.5 Spesifikasi Sensor ACS 712 .....	II-21
Tabel III.1 Data Rentang Ukuran <i>Propeller</i> pada <i>Drone</i> Komersial (Referensi Tabel I.1) .....	III-4
Tabel III.2 Contoh Harga Produk <i>Existing Thrust Stand</i> .....	III-5
Tabel III.3 Klasifikasi <i>Drone</i> Berdasarkan Beratnya [12] (Referensi Tabel II.1) .....	III-6
Tabel III.4 Perhitungan Awal Gaya Dorong.....	III-7
Tabel III.5 Daftar Tuntutan .....	III-8
Tabel III.6 Alternatif Konsep Penyangga.....	III-13
Tabel III.7 Alternatif Konsep Pengukuran .....	III-17
Tabel III.8 Alternatif Konsep Pengatur Kecepatan dan Pengolahan Data .....	III-20
Tabel III.9 Alternatif Konsep Penyaji Data.....	III-23
Tabel III.10 Kotak Morfologi Domain Mekanik.....	III-25
Tabel III.11 Penilaian Variasi Konsep Domain Mekanik.....	III-27
Tabel III.12 Spesifikasi Arduino Nano (Referensi Tabel II.4) .....	III-30
Tabel III.13 Verifikasi Daftar Tuntutan .....	III-53
Tabel III.14 Model Sebelum dan Sesudah Simplifikasi Rangka.....	III-55
Tabel III.15 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Hasil Simulasi Rangka .....	III-59
Tabel III.16 Spesifikasi Teknis Alat Uji .....	III-62
Tabel IV.1 Komponen Sistem Propulsi yang Digunakan.....	IV-2
Tabel IV.2 Data Pengujian Gaya Dorong .....	IV-11
Tabel V.1 Verifikasi Daftar Tuntutan.....	V-1

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Desain Rancangan Alat Uji Penelitian Intan, dkk [3] .....	I-2
Gambar II.1 Contoh <i>Drone Multirotor</i> [9] .....	II-2
Gambar II.2 Contoh <i>Drone Fixed-Wing</i> [9] .....	II-2
Gambar II.3 Contoh <i>Drone Vertical Take-Off Landing</i> [11] .....	II-2
Gambar II.4 <i>Drone Global Hawk</i> [13] .....	II-3
Gambar II.5 <i>Drone A-160</i> [14] .....	II-3
Gambar II.6 <i>Raven Drone</i> [15] .....	II-3
Gambar II.7 <i>Drone DJI FlyCart 30</i> [16] .....	II-3
Gambar II.8 <i>Drone Dragon Eye</i> [12] .....	II-3
Gambar II.9 Contoh <i>Propeller</i> dengan Dua Bilah [17] .....	II-4
Gambar II.10 Contoh <i>Brushless DC Motor</i> [20] .....	II-5
Gambar II.11 Contoh <i>Electronic Speed Control</i> .....	II-6
Gambar II.12 Contoh Baterai LiPo .....	II-7
Gambar II.13 Gaya-Gaya Pada <i>Drone</i> .....	II-7
Gambar II.14 Gaya Putar ( <i>Torque</i> ) Pada <i>Drone</i> .....	II-9
Gambar II.15 Contoh Grafik Pengaruh Gaya Dorong Terhadap <i>Rotation Speed</i> (RPM) [25] .....	II-10
Gambar II.16 Contoh Grafik Pengaruh Gaya Dorong Terhadap <i>Propeller Efficiency</i> [25] .....	II-10
Gambar II.17 Contoh Grafik Pengaruh Gaya Dorong Terhadap <i>Motor Efficiency</i> [25] .....	II-11
Gambar II.18 Gaya Yang Terjadi Pada Turbin Angin [26] .....	II-11
Gambar II.19 Contoh <i>Thrust Stand</i> Menggunakan <i>Load Cell</i> [28] .....	II-13
Gambar II.20 Contoh <i>Thrust Stand</i> Menggunakan <i>Wind Tunnel</i> [29] .....	II-14
Gambar II.21 Model V pada Metodologi VDI 2206 [31] .....	II-15
Gambar II.22 <i>Load Cell CZL-601</i> .....	II-18
Gambar II.23 <i>Infrared Sensor FC-51</i> .....	II-18
Gambar II.24 <i>Arduino Nano</i> .....	II-19
Gambar II.25 <i>Converter HX711</i> .....	II-20
Gambar II.26 <i>Sensor ACS 712</i> [34] .....	II-21

Gambar III.1 Tahapan Metodologi Perancangan VDI 2206 .....	III-2
Gambar III.2 Desain Rancangan Alat Uji Penelitian Intan, dkk [3] (Referensi Gambar I.1) .....	III-3
Gambar III.3 Diagram <i>Black Box</i> dan <i>Glass Box</i> Alat Uji Kinerja pada <i>Propeller</i> dan Motor <i>Drone</i> .....	III-11
Gambar III.4 Diagram Pohon Fungsi Alat Uji Kinerja <i>Propeller</i> dan Motor <i>Drone</i> .....	III-11
Gambar III.5 Variasi Konsep 1 .....	III-25
Gambar III.6 Variasi Konsep 2 .....	III-26
Gambar III.7 Variasi Konsep 3 .....	III-27
Gambar III.8 Implementasi Konsep Terpilih .....	III-31
Gambar III.9 <i>Draft</i> Rancangan .....	III-31
Gambar III.10 Ilustrasi <i>Thrust to Weight</i> pada <i>Drone</i> .....	III-32
Gambar III.11 DBB Rangka .....	III-33
Gambar III.12 <i>Deflection Beam</i> [37] .....	III-34
Gambar III.13 DBB Tegangan Bending Rangka .....	III-35
Gambar III.14 Tegangan Bending [37] .....	III-36
Gambar III.15 DBB Tegangan Geser Rangka .....	III-37
Gambar III.16 Tegangan Geser [37] .....	III-37
Gambar III.17 Gaya Yang Terjadi Pada Turbin Angin [26] (Referensi Gambar II.14) .....	III-40
Gambar III.18 DBB Manual <i>Clamp</i> .....	III-41
Gambar III.19 Diagram Wiring .....	III-43
Gambar III.20 Konsep Tampilan <i>Human Machine Interface</i> (HMI) .....	III-44
Gambar III.21 Diagram Alir Proses Sistem .....	III-47
Gambar III.22 Diagram Alir <i>Button 1</i> .....	III-48
Gambar III.23 Diagram Alir <i>Button 2</i> .....	III-48
Gambar III.24 Diagram Alir <i>Button 3</i> .....	III-49
Gambar III.25 Diagram Alir <i>Check Box RPM</i> .....	III-49
Gambar III.26 Diagram Alir <i>Check Box Thrust</i> .....	III-49
Gambar III.27 Diagram Alir <i>Check Box Torque</i> .....	III-50
Gambar III.28 Diagram Alir <i>Check Box Efficiency</i> .....	III-50

Gambar III.29 Diagram Alir <i>Button Volume</i> .....	III-51
Gambar III.30 Diagram Alir <i>Text Box (Throttle Number)</i> .....	III-51
Gambar III.31 Diagram Alir <i>Display Box 2</i> .....	III-51
Gambar III.32 Diagram Alir <i>Display Box 3</i> .....	III-52
Gambar III.33 Diagram Alir <i>Display Box 4</i> .....	III-52
Gambar III.34 Alat Uji Yang Sudah Terintegrasi .....	III-53
Gambar III.35 Mendefinisikan Material Rangka .....	III-55
Gambar III.36 Mendefinisikan Tumpuan Rangka .....	III-56
Gambar III.37 Menentukan Gaya Pada Rangka .....	III-56
Gambar III.38 <i>Meshing</i> Rangka.....	III-57
Gambar III.39 Hasil Simulasi <i>Displacement</i> Rangka .....	III-57
Gambar III.40 Hasil Simulasi <i>Von Mises</i> Rangka .....	III-58
Gambar III. 41 Hasil Simulasi <i>Safety Factor</i> Rangka.....	III-58
Gambar III.42 Mendefinisikan Material <i>Bracket</i> .....	III-59
Gambar III.43 Mendefinisikan Tumpuan <i>Bracket</i> .....	III-60
Gambar III.44 Menentukan Gaya Pada <i>Bracket</i> .....	III-60
Gambar III.45 <i>Meshing Bracket</i> .....	III-61
Gambar III.46 Hasil Simulasi <i>Displacement Bracket</i> .....	III-61
Gambar III.47 Hasil Simulasi <i>Von Mises Bracket</i> .....	III-62
Gambar III.48 Hasil Simulasi <i>Safety Factor Bracket</i> .....	III-62
Gambar IV.1 Pemasangan Alat Uji ke <i>Base</i> .....	IV-2
Gambar IV.2 Pemasangan Motor <i>Brushless</i> ke <i>Bracket</i> .....	IV-3
Gambar IV.3 Pemasangan <i>Propeller</i> ke Motor <i>Brushless</i> .....	IV-3
Gambar IV.4 Koneksi Kabel Motor <i>Brushless</i> ke ESC.....	IV-3
Gambar IV.5 Koneksi Kabel ESC ke Baterai.....	IV-4
Gambar IV.6 Pemeriksaan Kabel Setiap Komponen .....	IV-4
Gambar IV.7 Koneksi <i>Microcontroller</i> ke PC.....	IV-4
Gambar IV.8 Tampilan HMI Pada PC.....	IV-5
Gambar IV.9 Pemeriksaan Awal Pada HMI .....	IV-5
Gambar IV.10 Mengaktifkan Sistem Pada HMI .....	IV-6
Gambar IV.11 Memilih Parameter Pada HMI.....	IV-6
Gambar IV.12 Pengaturan Kecepatan Motor .....	IV-7

Gambar IV.13 Pemantauan Data <i>Real-Time</i> .....	IV-7
Gambar IV.14 Penurunan Kecepatan Motor .....	IV-8
Gambar IV.15 Penonaktifan Sistem .....	IV-8
Gambar IV.16 Memutuskan Sambungan Kabel ESC dan Baterai .....	IV-8
Gambar IV.17 Memutuskan Sambungan Kabel Motor dan ESC.....	IV-9
Gambar IV.18 Melepas <i>Propeller</i> Dari Motor .....	IV-9
Gambar IV.19 Melepas Motor Dari <i>Bracket</i> .....	IV-9
Gambar IV.20 Hasil Pengukuran Gaya Dorong .....	IV-10
Gambar IV.21 Grafik Data Pengujian Gaya Dorong .....	IV-10

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b>	Data Diri
<b>Lampiran 2</b>	Data Penelitian
<b>Lampiran 3</b>	Penilaian Konsep
<b>Lampiran 4</b>	Perhitungan Kontruksi
<b>Lampiran 5</b>	Analisis Simulasi
<b>Lampiran 6</b>	Harga Komponen & Fabrikasi
<b>Lampiran 7</b>	<i>Draft &amp; Gambar Kerja</i>

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Konteks : Gaya Dorong		
Simbol	Keterangan	Satuan
$m_{D1}$	Berat <i>Drone</i> Terkecil	kg
$m_{D2}$	Berat <i>Drone</i> Terbesar	kg
$g$	Nilai Gravitasi Bumi	m/s <sup>2</sup>
$F_{Min}$	Gaya Dorong Minimum	N
$F_{Max}$	Gaya Dorong Maksimum	N
$F_{PropMin}$	Gaya Dorong <i>Propeller</i> Minimum	N
$F_{PropMax}$	Gaya Dorong <i>Propeller</i> Maksimum	N
Konteks : Rangka		
Simbol	Keterangan	Satuan
$E_{AL}$	Modulus Elastisitas Aluminium 6061	GPa
$L_{Rangka}$	Panjang Rangka	mm
$L_{Rangka2}$	Panjang Beban ke Tumpuan	mm
$L_{LoadCell}$	Panjang <i>Load Cell</i>	mm
$L_{Bearing}$	Panjang <i>Bearing Block</i>	mm
$I_{Rangka}$	Momen Inersia Rangka	mm <sup>4</sup>
$M_{PropMax}$	Momen <i>Load Cell</i>	Nmm
$\theta_{MaxRangka}$	<i>Slope</i> Maksimum Rangka	<i>Degree</i> (°)
$v_{MaxRangka}$	<i>Deflection</i> Maksimum Rangka	mm
$c_{Rangka}$	Jarak Terhadap Sumbu Netral Rangka	mm
$M_{Rangka}$	Momen Rangka	Nmm
$\sigma_{BendingRangka}$	Tegangan Bending Rangka	MPa
$A'_{Rangka}$	Luas Bagian Penampang Rangka	mm <sup>2</sup>
$y'_{Rangka}$	Jarak dari Sumbu Netral ke Sentroid dari Luas A'	mm

$t_{Rangka}$	Lebar Penampang Rangka	mm
$V_{Rangka}$	Gaya Geser Rangka	N
$Q_{Rangka}$	<i>First Moment of Area</i> Rangka	mm <sup>3</sup>
$\tau_{GeserRangka}$	Tegangan Geser Rangka	MPa
$\sigma_x$	Tegangan <i>Axial</i>	MPa
$\tau_{xy}$	Tegangan <i>Radial</i>	MPa
$\sigma_1$	Tegangan Utama 1	MPa
$\sigma_2$	Tegangan Utama 2	MPa
$\sigma_{VM}$	Tegangan <i>Von Mises</i>	MPa
$\sigma_{YAL6061}$	<i>Yield Strength</i> Aluminium 6061	MPa
$SF_{Rangka}$	<i>Safety Factor</i> Rangka	-
<b>Konteks : Gaya Sentrifugal</b>		
<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
$m_{Propeller}$	Berat <i>Propeller</i>	kg
$r_{Propeller}$	Jari-Jari <i>Propeller</i>	m
$RPM$	Kecepatan Putar <i>Propeller</i>	RPM
$v_{Propeller}$	Kecepatan Linier	m/s
$F_{Sentrifugal}$	Gaya Sentrifugal	N
<b>Konteks : Kontrol Baut Manual <i>Clamp</i></b>		
<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
$m_{Bracket}$	Berat Total <i>Bracket</i> Sensor	kg
$F_B$	Gaya Total <i>Bracket</i>	N
<b>Konteks : Gaya Pengencangan</b>		
<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
$F_{SP}$	Beban Aksial Baut	kN
$F_C$	Gaya Pengencangan	kN
$F_S$	Gaya Gesek	kN
$\mu_s$	Koefisien Gaya Gesek	-

# BAB I PENDAHULUAN

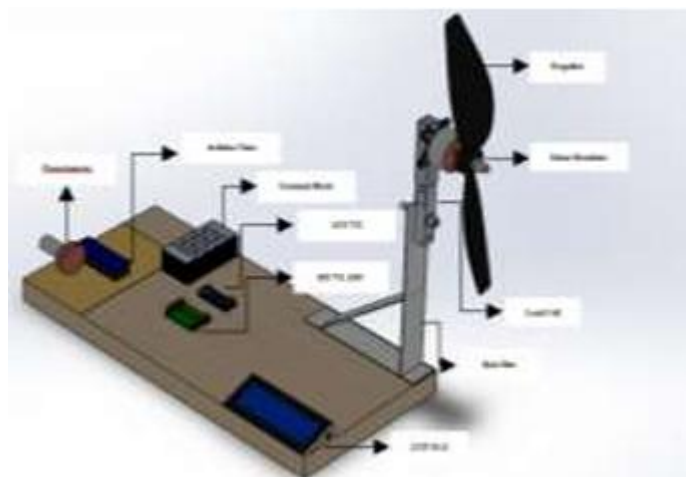
## I.1 Latar Belakang

Teknologi *Unmanned Air Vehicles* (UAV) atau yang sering disebut dengan *drone* mengalami perkembangan pesat dalam beberapa dekade terakhir. *Drone* banyak dimanfaatkan di berbagai bidang seperti pemantauan lalu lintas, pencarian dan penyelamatan, pengiriman barang, pengawasan dan pertanian [1]. Kemampuan *drone* dalam melakukan tugas-tugas tersebut sangat bergantung pada sistem propulsi. Khususnya pada *drone* berbasis *multirotor*, yang mengandalkan sistem propulsi rotor, menjadi sangat dominan karena kemampuannya dalam lepas landas, pendaratan, serta *manuver* yang fleksibel. Sistem propulsi merupakan elemen utama dari *drone*, sistem ini memiliki fungsi untuk menghasilkan gaya dorong (*thrust*) yang dibutuhkan *drone* untuk terbang vertikal maupun horizontal [2]. Semakin besar gaya dorong yang dihasilkan oleh *propeller* dan *torque* yang dihasilkan oleh motor, maka semakin besar beban yang dapat diangkat oleh *drone* [3]. Oleh karena itu, optimasi kinerja sistem propulsi *drone* sangat penting karena akan meningkatkan waktu terbang, kapasitas muatan, jarak tempuh maksimum, dan kecepatan maksimum pada *drone* [4].

Komponen pada sistem propulsi yang membuat *drone* dapat terbang adalah *propeller* dan motor, motor akan meneruskan putaran kepada *propeller* sehingga menghasilkan gaya angkat (*lift*) dan gaya dorong (*thrust*) [5]. Pemilihan *propeller* dan motor yang tepat sangat penting untuk mencapai kinerja optimal. Kinerja yang optimal ini dapat dicapai dengan beberapa parameter termasuk gaya dorong, *torque*, dan efisiensi motor [6]. Faktor terpenting dalam optimasi sistem propulsi *drone* adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh *propeller* dan *torque* yang dihasilkan oleh motor. Oleh karena itu, pengujian gaya dorong dan *torque* secara akurat dan presisi menjadi penting dalam proses pengembangan dan optimasi sistem propulsi. Data gaya dorong dan *torque* yang valid dapat digunakan pada perhitungan rasio *thrust-to-weight* yang optimal, meningkatkan waktu terbang, kapasitas muatan, jarak tempuh maksimum, dan kecepatan maksimum pada *drone*.

Saat ini terdapat berbagai metode pengujian gaya dorong yang telah dikembangkan. Salah satu metode untuk menguji gaya dorong adalah menggunakan *load cell*. Misalnya, penelitian oleh Siahaan, dkk pada tahun 2022 menggunakan alat *thrust stand* yang menggunakan alat pengukur massa sebagai pengukur gaya dorong, dengan menggunakan motor *brushless* dan tiga jenis *propeller* yang berbeda [7]. Selain itu, adapula penelitian oleh Intan, dkk pada tahun 2023 menjelaskan alat uji coba gaya dorong yang menggunakan sensor beban dan sensor arus yang dikonversi oleh *converter ADC HX711* untuk mengukur gaya dorong yang dihasilkan oleh motor *brushless* dan tiga jenis ukuran *propeller* yang berbeda [3].

Meskipun penelitian oleh Siahaan, dkk dan Intan, dkk telah menggunakan *load cell* dan *thrust stand* untuk menguji gaya dorong, namun dari sudut pandang perancangan, pengembangan alat tersebut masih belum sepenuhnya memenuhi kriteria alat pengujian yang ideal (seperti ditunjukkan pada Gambar I.1).



Gambar I.1 Desain Rancangan Alat Uji Penelitian Intan, dkk [3]

Pada penelitian tersebut menunjukkan perlunya peningkatan fleksibilitas alat uji dalam mengakomodasi variasi ukuran dan jenis motor dan *propeller drone* yang ada di pasaran. Pada pengujian *propeller*, salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan adalah ukuran diameter *propeller*. Berdasarkan data yang diperoleh dari beberapa merek *drone* populer di pasaran (terlihat pada Tabel I.1), menunjukkan beberapa varian *propeller* berdasarkan merek *drone* yang ada di pasaran. *Propeller* terkecil memiliki ukuran berdiameter 2 inci, sedangkan *propeller* terbesar mencapai diameter 14,9 inci. Namun, karena *propeller* dengan diameter 14,9 inci tidak

tersedia di pasaran Indonesia, maka akan digunakan *propeller* berdiameter 15 inci sebagai alternatif terdekat. Oleh karena itu, alat uji yang akan dikembangkan harus mampu mengakomodasi ukuran *propeller* hingga diameter 15 inci.

Tabel I.1 Data Rentang Ukuran *Propeller* pada *Drone* Komersial

No	Merek <i>Drone</i>	Series	Ukuran <i>Propeller</i>
1	DJI	Mavic 3 Pro	9,4 x 5,3 Inch
2		Mavic 3 Classic	9,4 x 5,3 Inch
3		Mavic 3	9,4 x 5,3 Inch
4		Mavic 2	8,7 x 4,3 Inch
5		Air 3S	8,7 x 4,7 Inch
6		Air 3	8,7 x 4,7 Inch
7		Air 2S	7,2 x 3,8 Inch
8		Air 2	7,2 x 3,8 Inch
9		Air	5,3 x 3,2 Inch
10		Mini 4 Pro	6,0 x 3,0 Inch
11		Mini 3 Pro	6,0 x 3,0 Inch
12		Mini 3	6,0 x 3,0 Inch
13		Mini 4K	4,7 x 2,6 Inch
14		Mini 2 SE	4,7 x 2,6 Inch
15		Mini 2	4,7 x 2,6 Inch
16		Mini SE	4,7 x 2,6 Inch
17		Mavic Mini	4,7 x 2,6 Inch
18		Neo	2 Inch
19		Avata 2	2,9 Inch
20		Avata	2,9 Inch
21		Inspire 2	14,9 x 5 Inch
23	Autel Robotic	Evo Lite Enterpries	8,5 Inch
24		Evo Max	11 Inch
25		Evo II Pro V3	9,5 Inch
26		Evo II Enterprise V3	10,5 Inch
27		Evo II Dual 640T V3	9,5 Inch
28		Evo II RTK V3	9,5 Inch
29		Evo II Pro V2	9,5 Inch
30		Evo II Enterprise V2	10,5 Inch
31		Evo II Dual 640T V2	9,5 Inch
32		Evo II RTK V2	9,5 Inch
33		Evo Lite	8,5 Inch
34		Evo Nano	4,9 Inch
35	RYZE	Tello	3 Inch

Pada pengujian motor, ukuran diameter motor serta kV *rating* motor menjadi faktor yang menentukan besar kecilnya gaya dorong dan *torque*. Berdasarkan data yang

diperoleh dari beberapa merek motor yang ada di pasaran (terlihat pada lampiran 2.1), menunjukkan beberapa varian motor berdasarkan merek motor yang digunakan di pasaran. Motor terkecil memiliki ukuran berdiameter 10 mm dan diameter terbesar hingga 147,5 mm. Berdasarkan data tersebut, alat uji yang akan dikembangkan harus mampu mengakomodasi ukuran motor hingga diameter 147,5 mm. Selain itu untuk menahan beban yang dihasilkan oleh variasi motor dan *propeller* yang berbeda, alat uji yang akan dikembangkan memerlukan rigiditas struktur yang memadai. Pertimbangan lain dalam merancang alat uji tersebut adalah kemudahan penggunaan, dan memiliki biaya yang terjangkau agar dapat dimanfaatkan oleh berbagai kalangan, seperti peneliti, penggemar *aeromodelling*, pelajar, dan mahasiswa.

Sehingga, diperlukan pengembangan alat pengujian gaya dorong dan *torque* yang *rigid*, mampu menguji variasi *propeller* hingga diameter 15 inci dan jenis motor yang berukuran hingga diameter 147,5 mm, mudah digunakan, dan biaya yang terjangkau. Dalam penelitian kali ini, akan dikembangkan alat uji kinerja (gaya dorong) pada *propeller* dan motor *drone*. Metode penyelesaian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perancangan alat uji, fabrikasi alat uji, dan uji fungsional dari alat tersebut. Oleh karena itu, diharapkan pengembangan alat uji kinerja pada *propeller* dan motor *drone* ini dapat memberikan kontribusi untuk meningkatkan efektifitas pada proses optimasi di sistem propulsi *drone*.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang diatas, dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat alat uji kinerja pada *propeller* dan motor *drone* yang memiliki struktur *rigid*, mampu menguji variasi *propeller* hingga diameter 15 inci dan jenis motor yang berukuran hingga diameter 147,5 mm, mudah digunakan, dan biaya terjangkau?
2. Bagaimana fungsionalitas dari alat uji kinerja pada *propeller* dan motor *drone* dalam mengukur gaya dorong yang dihasilkan oleh berbagai variasi ukuran *propeller* dan jenis motor?

### I.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini berfokus pada alat pengujian kinerja pada *propeller* dan motor *drone* untuk mengukur gaya dorong yang dihasilkan. Agar penelitian lebih berfokus, maka dibuatlah ruang lingkup penelitian sebagai berikut.

Kondisi awal:

Alat uji kinerja pada *propeller* dan motor *drone* yang ada memiliki beberapa kekurangan, seperti:

1. Keterbatasan dalam menguji variasi ukuran *propeller* dan motor *drone*.
2. Harga yang relatif mahal.

Kondisi yang diharapkan:

Terciptanya alat uji kinerja pada *propeller* dan motor *drone* dengan kriteria:

1. Memiliki struktur *rigid*.
2. Mampu menguji variasi *propeller* hingga diameter 15 inci.
3. Mampu jenis motor yang berukuran hingga diameter 147,5 mm.
4. Memiliki fungsionalitas yang baik.
5. Mudah digunakan.
6. Memiliki biaya terjangkau.

Hal-hal yang menjadi kajian dalam tugas akhir:

1. Penelitian ini akan berfokus pada pengembangan alat uji kinerja pada *propeller* dan motor *drone* dengan sensor *load cell* dengan kriteria perancangan struktur yang *rigid*, mampu menguji variasi *propeller* hingga diameter 15 inci dan jenis motor yang berukuran hingga diameter 147,5 mm, mudah digunakan dan biaya terjangkau.
2. Pada penelitian ini akan menggunakan *propeller* dan motor standar untuk pengujian. Tidak ada pembahasan mengenai desain atau modifikasi *propeller* dan motor.
3. Pada penelitian ini tidak akan menjelaskan lebih dalam mengenai komponen elektronika dan informatika, tanpa mengabaikan komponen elektronika dan informatika yang digunakan.

4. Penelitian ini hanya akan menguji sampai fungsionalitas dari alat uji tersebut. Tidak sampai menganalisis dan mengevaluasi pengaruh rancangan struktur terhadap akurasi pengujian.

#### **I.4 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membuat *prototype* alat uji kinerja pada *propeller* dan motor *drone* yang memiliki struktur *rigid*, mampu menguji variasi *propeller* hingga diameter 15 inci dan jenis motor yang berukuran hingga diameter 147,5 mm, mudah digunakan dan biaya terjangkau.
2. Menguji fungsionalitas dari alat uji kinerja pada *propeller* dan motor *drone* dalam mengukur gaya dorong yang dihasilkan oleh berbagai variasi ukuran *propeller* dan jenis motor.

#### **I.5 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Pengembangan *Drone*  
Pengembangan alat uji kinerja pada *propeller* dan motor *drone* ini diharapkan dapat membantu dalam proses optimasi sistem propulsi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja *drone*.
2. Bagi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi  
Dengan data yang dihasilkan alat uji ini, diharapkan efisiensi dan kinerja *drone* dapat ditingkatkan melalui pemahaman karakteristik *propeller* dan motor yang lebih baik. Penelitian ini juga diharapkan dapat mendorong inovasi di bidang sistem propulsi *drone*, khususnya dalam hal peningkatan efisiensi, daya tahan terbang, dan kapasitas muatan.
3. Bagi Pendidikan  
Penelitian ini memberikan referensi bagi mahasiswa untuk mempelajari prinsip aerodinamika yang diterapkan pada *propeller drone*, serta meningkatkan keterampilan praktis dalam merancang dan mengoptimasi sistem propulsi.

## **I.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memberikan gambaran umum tentang isi penelitian ini, disajikan sistematika penulisan yang terdiri dari lima bab yang dilengkapi dengan daftar pustaka dan lampiran yang disusun sebagai berikut:

**BAB I PENDAHULUAN**, berisikan uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika dari penelitian yang dilakukan.

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**, berisikan bahasan mengenai teori-teori pendukung untuk memecahkan rumusan masalah pada penelitian yang didasarkan pada hasil studi literatur.

**BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH**, berisikan langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

**BAB IV KINERJA ALAT**, berisikan prosedur pengujian alat serta menyajikan hasil pengujiannya.

**BAB V PENUTUP**, berisikan kesimpulan yang didapatkan sebagai jawaban dari rumusan masalah dan tujuan awal penelitian serta pemaparan mengenai kritik dan saran perbaikan maupun kajian lanjut dari penelitian yang telah dilakukan.