

Rancang Bangun Media Drone Sebagai Produk Unggulan Polman Bandung Yang Bernilai Bisnis

Duddy Arisandi¹, Tamara Maharani², Muhammad Rijalulhaq Sofyan³, Dian Evani⁴

^{1,2}Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi / Mekatronika, ^{3,4}Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Aerial Nirawak Politeknik Manufaktur Bandung

Email: duddy@polman-bandung.ac.id, tamarasiswadhi@gmail.com, rijalsofyan05@gmail.com, dianevani27@gmail.com

Informasi Artikel:

ABSTRAK

Perkembangan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) meningkatkan kebutuhan media pembelajaran sistem propulsi yang mampu menampilkan karakteristik *thrust* secara terukur. Namun, media pembelajaran berbasis *thrust test rig* di lingkungan pendidikan masih terbatas akibat kompleksitas sistem dan biaya pengadaan yang relatif tinggi. Penelitian ini bertujuan merancang PropDyno sebagai *thrust test rig* berbasis *load cell* untuk mendukung pembelajaran sistem propulsi UAV dengan pendekatan sistem yang modular dan relatif ekonomis. Metode penelitian dilakukan melalui tahapan identifikasi kebutuhan sistem, studi literatur, perancangan mekanik dan elektronik, serta analisis teoritis hubungan PWM, *thrust*, dan konsumsi daya listrik pada motor BLDC A2212. Sistem dirancang menggunakan *load cell* 10 kg, modul HX711, Arduino Uno, ESC 30A, *servo tester*, dan *watt meter* untuk menampilkan parameter *thrust*, tegangan, arus, dan daya secara real-time. Hasil analisis awal menunjukkan bahwa peningkatan PWM diperkirakan meningkatkan *thrust* akibat kenaikan kecepatan putar motor, sedangkan konsumsi daya meningkat secara non-linear akibat pengaruh beban aerodinamika propeller. Berdasarkan spesifikasi sensor dan pendekatan literatur, sistem diperkirakan memiliki potensi error pengukuran awal yang rendah sehingga berpotensi digunakan sebagai media pembelajaran sistem propulsi UAV. Selain itu, pendekatan desain modular yang digunakan memungkinkan sistem dikembangkan lebih lanjut dengan biaya implementasi yang relatif terjangkau untuk kebutuhan laboratorium pendidikan. Penelitian lanjutan diperlukan pada tahap manufaktur dan validasi eksperimental untuk mengevaluasi performa sistem secara menyeluruh.

Keywords:

ABSTRACT

Kata Kunci: UAV, thrust test rig, load cell, BLDC motor, Arduino Uno, propulsion system, educational media.

The development of *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) technology has increased the need for educational media capable of presenting propulsion system characteristics in a measurable manner. However, *thrust test rig*-based learning media in educational environments are still limited due to system complexity and relatively high procurement costs. This study aims to design PropDyno as a load cell-based thrust test rig to support UAV propulsion system learning through a modular and relatively cost-effective system approach. The research method was conducted through system requirement identification, literature study, mechanical and electronic system design, and theoretical analysis of the relationship between PWM, thrust, and electrical power consumption in an A2212 BLDC motor system. The proposed system utilizes a 10 kg load cell, HX711 module, Arduino Uno, ESC 30A, servo tester, and watt meter to display thrust, voltage, current, and power parameters in real-time. The preliminary analysis indicates that increasing PWM is expected to increase thrust due to higher motor rotational speed, while power consumption increases non-linearly because of propeller aerodynamic loading. Based on sensor specifications and literature-based analysis, the system is estimated to have low initial measurement error potential, indicating its feasibility as an educational medium for UAV propulsion systems. In addition, the modular design

approach allows further system development with relatively affordable implementation costs for laboratory-scale educational purposes. Further research is required for the manufacturing stage and experimental validation to comprehensively evaluate system performance.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dalam beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan yang pesat pada bidang pemetaan, pengawasan, dokumentasi udara, logistik, dan pendidikan teknologi. Pada sistem UAV multirotor, performa penerbangan sangat dipengaruhi oleh sistem propulsi yang terdiri dari motor *brushless DC* (BLDC), *electronic speed controller* (ESC), dan propeller. Sistem propulsi berperan dalam menghasilkan gaya dorong (*thrust*) yang menentukan kemampuan angkat, stabilitas, efisiensi energi, dan kemampuan manuver UAV [2][4]. Oleh karena itu, pemahaman karakteristik sistem propulsi menjadi salah satu aspek penting dalam pembelajaran teknologi UAV, khususnya pada bidang sistem aerial nirawak.

Dalam proses pembelajaran di lingkungan pendidikan teknik, pemahaman mengenai hubungan antara parameter listrik, kecepatan putar motor, dan gaya *thrust* masih cenderung bersifat teoritis. Mahasiswa umumnya belum memiliki media praktikum yang mampu menunjukkan hubungan antara PWM, *thrust*, tegangan, arus, dan konsumsi daya secara langsung dan terukur. Selain itu, media pembelajaran berbasis *thrust test rig* yang tersedia umumnya memiliki konfigurasi instrumentasi yang relatif kompleks dan biaya pengadaan yang cukup tinggi, sehingga implementasinya pada laboratorium pendidikan di Indonesia masih terbatas. Kondisi tersebut menyebabkan proses pembelajaran sistem propulsi UAV belum sepenuhnya mampu memberikan pemahaman praktis mengenai karakteristik performa propeller dan efisiensi sistem propulsi.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan alat uji *thrust* berbasis *load cell* untuk menganalisis performa propeller UAV [5][7]. Penelitian tersebut umumnya berfokus pada analisis performa propulsi, pengujian aerodinamika, dan peningkatan akurasi pengukuran dengan sistem instrumentasi yang relatif kompleks. Selain itu, beberapa sistem dirancang untuk kebutuhan riset performa UAV sehingga kurang mempertimbangkan aspek kesederhanaan sistem, modularitas,

kemudahan operasional, dan efisiensi biaya untuk kegiatan praktikum dasar.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, masih terdapat kebutuhan pengembangan media pembelajaran sistem propulsi UAV yang mampu memberikan visualisasi parameter *thrust*, tegangan, arus, dan daya listrik secara lebih sederhana, terukur, dan mudah dioperasikan. Kebutuhan ini menjadi penting untuk mendukung peningkatan kompetensi praktikum mahasiswa pada bidang sistem aerial nirawak, khususnya dalam memahami karakteristik performa propeller dan efisiensi sistem propulsi UAV. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang PropDyno sebagai *thrust test rig* berbasis *load cell* dengan pendekatan modular untuk mendukung pembelajaran sistem propulsi UAV. Sistem dirancang menggunakan konfigurasi instrumentasi yang relatif sederhana dan berpotensi dikembangkan dengan biaya implementasi yang lebih terjangkau dibandingkan sistem pengujian komersial. Selain sebagai media pembelajaran, rancangan sistem ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan laboratorium pengujian sistem propulsi UAV pada lingkungan pendidikan vokasi dan penelitian lanjutan di bidang sistem aerial nirawak.

2. Metode Penelitian

2.1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian difokuskan pada pengembangan awal sistem PropDyno sebagai *thrust test rig* untuk pembelajaran sistem propulsi UAV menggunakan pendekatan *engineering design*. Proses pengembangan meliputi identifikasi kebutuhan praktikum, perancangan mekanik dan elektronik, integrasi sistem akuisisi data, serta analisis teoritis hubungan PWM, *thrust*, dan konsumsi daya pada motor BLDC. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi potensi implementasi sistem sebagai media pembelajaran propulsi UAV skala laboratorium.

Penelitian ini tidak berfokus pada validasi eksperimental penuh, melainkan pada pengembangan konsep sistem, analisis desain, dan evaluasi awal terhadap potensi implementasi PropDyno sebagai media pembelajaran sistem propulsi UAV.

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di lingkungan Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi/Mekatronika dan Program Studi Teknologi Rekayasa Aerial Nirawak Politeknik Manufaktur Bandung. Proses penelitian meliputi studi literatur, identifikasi kebutuhan sistem, perancangan mekanik dan elektronik, penyusunan diagram sistem, serta analisis teoritis performa sistem. Penelitian dilakukan pada periode semester genap tahun akademik 2025/2026.

2.3. Objek Penelitian

Objek penelitian pada penelitian ini adalah sistem PropDyno sebagai *thrust test rig* berbasis *load cell* untuk pembelajaran sistem propulsi UAV. Sistem dirancang untuk menampilkan hubungan antara parameter PWM, gaya *thrust*, tegangan, arus, dan daya listrik pada sistem propulsi UAV berbasis motor *brushless DC* (BLDC). Sistem PropDyno terdiri dari beberapa subsistem utama, yaitu:

- a. Sistem mekanik berupa rangka berbasis aluminium profile.
- b. Sistem propulsi berupa motor BLDC A2212, ESC 30A, dan propeller.
- c. Sistem instrumentasi berupa *load cell* 10 kg dan modul HX711.
- d. Sistem akuisisi data menggunakan Arduino Uno.
- e. Sistem monitoring menggunakan LCD I2C dan *watt meter*.

2.4. Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

2.4.1. Data Primer

Data primer diperoleh melalui:

- a. Identifikasi kebutuhan media pembelajaran sistem propulsi UAV.
- b. Observasi kebutuhan praktikum pada lingkungan laboratorium.
- c. Analisis spesifikasi komponen sistem PropDyno.
- d. Perhitungan teoritis parameter sistem propulsi.

2.4.2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui:

- a. Studi literatur dari jurnal ilmiah terkait *thrust test rig* dan sistem propulsi UAV.
- b. Datasheet komponen elektronik seperti *load cell*, HX711, ESC, dan motor BLDC.
- c. Referensi teori aerodinamika propeller dan sistem instrumentasi.
- d. Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengujian *thrust* propeller UAV.

2.5. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

2.5.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh referensi mengenai:

- a. Sistem propulsi UAV.
- b. Karakteristik motor BLDC dan propeller.
- c. Prinsip kerja *load cell* dan HX711.
- d. Sistem akuisisi data berbasis Arduino.
- e. Penelitian terdahulu terkait *thrust test rig* UAV.

2.5.2. Identifikasi Kebutuhan Sistem

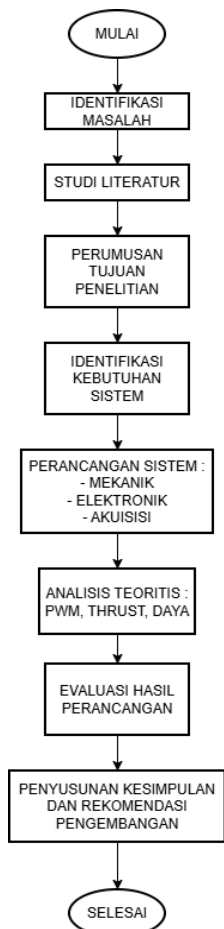
Identifikasi kebutuhan dilakukan untuk menentukan spesifikasi sistem PropDyno yang sesuai untuk kebutuhan pembelajaran. Tahapan ini meliputi identifikasi parameter yang perlu diukur, kebutuhan media praktikum, kemudahan operasional, serta potensi implementasi pada laboratorium pendidikan.

2.5.3. Analisis Spesifikasi Komponen

Analisis spesifikasi dilakukan terhadap komponen utama yang digunakan pada sistem, seperti motor BLDC, ESC 30A, *load cell*, HX711, Arduino Uno, LiPo *Battery*, *Servo Tester*, LCD I2C dan *watt meter*. Analisis dilakukan untuk menentukan kesesuaian spesifikasi komponen terhadap kebutuhan sistem pengukuran *thrust*.

2.6. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara bertahap mulai dari identifikasi masalah hingga analisis hasil perancangan sistem. Alur penelitian ditunjukkan pada flowchart penelitian pada gambar 1. Tahapan penelitian meliputi:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.7. Perancangan Sistem Mekanik

PropDyno dirancang sebagai alat uji *thrust* statis untuk menganalisis performa sistem propulsi UAV. Sistem mekanik menggunakan aluminium profile sebagai struktur utama untuk menopang motor BLDC, propeller, dan sensor *load cell*.

Penggunaan aluminium profile dipilih karena memiliki struktur yang relatif ringan, rigid, serta mudah dirakit secara modular. Struktur yang rigid diperlukan untuk mengurangi vibrasi selama proses pengukuran sehingga pembacaan sensor menjadi lebih stabil.

Sistem propulsi menggunakan motor BLDC A2212 yang dikendalikan menggunakan ESC 30A. Pengaturan kecepatan motor dilakukan menggunakan sinyal PWM melalui *servo tester*. Ketika nilai PWM meningkat, ESC akan meningkatkan suplai daya ke motor sehingga kecepatan putar propeller meningkat dan menghasilkan gaya *thrust* yang lebih besar.

2.8. Perancangan Sistem Elektronik dan Instrumentasi

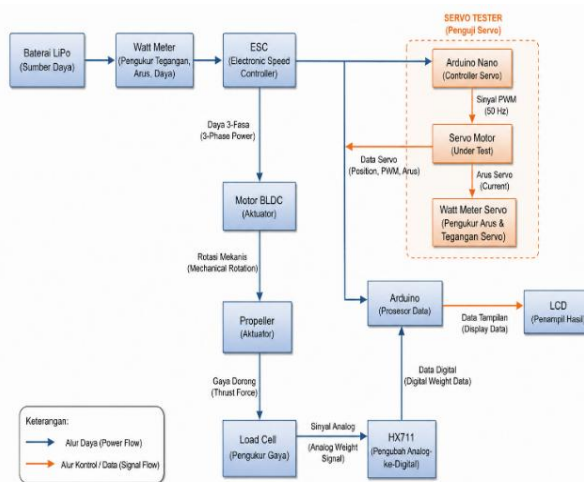
Sistem pengukuran *thrust* menggunakan *load cell* 10 kg berbasis *strain gauge*. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan resistansi akibat deformasi mekanik ketika menerima gaya dari propeller.

Karena sinyal keluaran *load cell* berada pada orde miliVolt, digunakan modul HX711 sebagai penguat sinyal sekaligus *analog-to-digital converter* (ADC) 24-bit. Penggunaan HX711 memungkinkan pembacaan gaya dilakukan dengan resolusi yang lebih tinggi sehingga perubahan gaya kecil masih dapat terdeteksi.

Data hasil pembacaan sensor diproses menggunakan Arduino Uno untuk dikonversi menjadi parameter massa dan gaya *thrust*. Selain itu, sistem menggunakan *watt meter* untuk memantau parameter listrik berupa tegangan, arus, dan daya.

Sistem juga dilengkapi LCD I2C sebagai media tampilan hasil pengukuran secara langsung.

2.9. Diagram Blok Sistem



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem digunakan untuk menggambarkan hubungan antar subsistem pada PropDyno. Sistem terdiri dari:

- Baterai LiPo sebagai sumber daya utama.
- Watt meter* untuk membaca tegangan, arus, dan daya.
- ESC 30A sebagai pengendali motor BLDC.
- Motor BLDC A2212 sebagai aktuator utama.
- Propeller sebagai penghasil gaya *thrust*.
- Load cell* sebagai sensor gaya.
- Modul HX711 sebagai penguat sinyal dan ADC.

- h. Arduino Uno sebagai pengolah data.
- i. LCD I2C sebagai penampil parameter sistem.

2.10. Flowchart Cara Kerja Sistem



Gambar 3. Flowchart Cara Kerja Sistem

Flowchart sistem digunakan untuk menjelaskan alur kerja PropDyno selama proses pengukuran. Sistem diawali dengan proses inisialisasi Arduino Uno, HX711, LCD I2C, ESC, dan *load cell*. Setelah proses inisialisasi selesai, dilakukan proses *tare* dan pendekatan kalibrasi awal untuk meminimalkan kesalahan pembacaan sensor.

Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal PWM menggunakan *servo tester* menuju ESC untuk mengatur kecepatan motor BLDC. Motor

kemudian memutar propeller sehingga menghasilkan gaya *thrust* yang diterima oleh *load cell*.

Sinyal keluaran *load cell* diperkuat dan dikonversi menjadi data digital oleh modul HX711, kemudian diproses oleh Arduino Uno untuk memperoleh nilai *thrust*. Parameter pengukuran berupa *thrust*, tegangan, arus, dan daya ditampilkan melalui LCD I2C dan *watt meter*.

2.11. Kalibrasi Sistem

Kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan faktor konversi antara nilai ADC hasil pembacaan HX711 dengan massa aktual. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan beberapa beban referensi yang diketahui nilainya.

Hubungan konversi diperoleh melalui persamaan:

$$C = \frac{ADC}{m}$$

dengan:

- C = faktor kalibrasi
- ADC = nilai digital hasil pembacaan HX711
- m = massa referensi

Hasil pendekatan kalibrasi digunakan untuk mengubah data pembacaan sensor menjadi satuan massa aktual. Berdasarkan spesifikasi sensor dan pendekatan literatur, sistem diperkirakan memiliki potensi error pengukuran awal yang relatif rendah.

2.12. Metode Analisis Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan secara teoritis untuk memperoleh hubungan antara parameter sistem propulsi UAV.

2.12.1. Perhitungan Thrust

Perhitungan gaya *thrust* dilakukan menggunakan persamaan:

$$F = m \times g$$

dengan:

- F = gaya thrust (N)
- m = massa hasil pembacaan (kg)
- g = percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)

2.12.2. Perhitungan Daya Listrik

Daya listrik dihitung menggunakan persamaan:

$$P = V \times I$$

dengan:

- P = daya listrik (W)
- V = tegangan (Volt)
- I = arus (Ampere)

2.12.3. Perhitungan Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem dihitung menggunakan rasio thrust terhadap daya:

$$\eta = \frac{F}{P}$$

2.12.4. Analisis Teoritis Propeller

Secara teoritis, gaya *thrust* propeller dipengaruhi oleh densitas udara, diameter propeller, dan kecepatan putar motor. Hubungan tersebut dapat dinyatakan melalui persamaan:

$$T = C_T \rho n^2 D^4$$

Dengan:

- T = gaya *thrust*
- C_T = koefisien *thrust*
- ρ = densitas udara
- n = putaran propeller
- D = diameter propeller

Sedangkan kebutuhan daya propeller secara teoritis dinyatakan melalui:

$$P = C_P \rho n^3 D^5$$

Dengan:

- P = daya propeller
- C_P = koefisien daya
- ρ = densitas udara
- n = putaran propeller
- D = diameter propeller

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan RPM menyebabkan kebutuhan daya meningkat lebih cepat dibandingkan kenaikan *thrust*, sehingga efisiensi sistem cenderung menurun pada kondisi operasi tinggi.

3. Hasil Perancangan dan Pembahasan

3.1. Hasil Identifikasi Kebutuhan Sistem

Tahap identifikasi kebutuhan dilakukan untuk menentukan spesifikasi dan fungsi utama PropDyno sebagai media pembelajaran sistem propulsi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Identifikasi dilakukan melalui studi literatur,

observasi kebutuhan praktikum pada lingkungan laboratorium, serta analisis kebutuhan pembelajaran sistem propulsi UAV.

Berdasarkan hasil identifikasi, proses pembelajaran sistem propulsi UAV pada praktikum dasar masih cenderung bersifat teoritis sehingga mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami hubungan antara parameter PWM, kecepatan putar motor, gaya *thrust*, tegangan, arus, dan konsumsi daya listrik secara langsung. Selain itu, media pembelajaran berbasis *thrust test rig* yang tersedia umumnya memiliki konfigurasi sistem yang relatif kompleks dan biaya implementasi yang cukup tinggi. Hasil identifikasi kebutuhan sistem ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Hasil Identifikasi Kebutuhan Sistem

Kebutuhan Sistem	Deskripsi
Visualisasi <i>Thrust</i>	Sistem mampu menampilkan perubahan thrust secara langsung
Monitoring Parameter Listrik	Sistem mampu menampilkan tegangan, arus, dan daya
Kemudahan Operasioanl	Sistem mudah digunakan pada praktikum dasar
Struktur Modular	Sistem mudah dikembangkan dan dimodifikasi
Biaya Implementasi	Sistem memiliki biaya yang relatif terjangkau
Keamanan Sistem	Struktur mampu menopang motor dan propeller dengan aman

Berdasarkan kebutuhan tersebut, PropDyno dirancang menggunakan pendekatan modular dengan konfigurasi instrumentasi yang relatif sederhana agar dapat digunakan sebagai media pembelajaran sistem propulsi UAV pada bidang aerial nirawak.

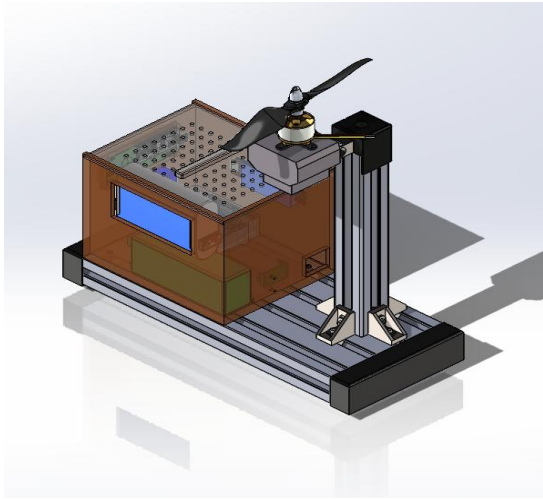
3.2. Hasil Perancangan Sistem Mekanik

Perancangan mekanik PropDyno dilakukan untuk menghasilkan struktur yang rigid, modular, dan mampu menopang sistem propulsi UAV selama proses pengukuran *thrust*. Struktur utama

menggunakan aluminium profile karena memiliki massa yang relatif ringan, kekuatan yang baik, serta kemudahan proses perakitan.

Rancangan mekanik terdiri dari:

- Dudukan motor BLDC.
- Dudukan *load cell*.
- Struktur penopang utama.
- Dudukan sistem elektronik.
- Sistem pengunci dan pengaman.



Gambar 4. Desain Mekanik

Motor BLDC A2212 dipasang pada ujung struktur untuk menghasilkan gaya *thrust* yang diterima oleh *load cell*. Posisi *load cell* dirancang sejajar dengan arah gaya dorong agar pembacaan sensor lebih stabil dan mengurangi pengaruh momen mekanik.

Selain itu, penggunaan aluminium profile memungkinkan sistem dikembangkan untuk berbagai konfigurasi propeller dan motor UAV skala kecil.

3.2.1. Analisis Estimasi Thrust

Motor BLDC A2212 dengan propeller 10x4.5 inch berdasarkan datasheet dan literatur memiliki estimasi *thrust* maksimum sekitar 850 gram.

Konversi gaya *thrust* dilakukan menggunakan persamaan:

$$F = m \times g$$

Dengan :

- $m = 0.85 \text{ kg}$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Maka:

$$F = 0.85 \times 9.81$$

$$F = 8.34 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil tersebut, digunakan *load cell* 10 kg untuk memberikan faktor keamanan pengukuran yang lebih besar.

3.2.2. Analisis Faktor Keamanan Sensor

Kapasitas maksimum *load cell*:

$$F_{max} = 10 \text{ kg}$$

Estimasi gaya sistem :

$$F_{sistem} = 0.85 \text{ kg}$$

Faktor keamanan sensor dihitung menggunakan:

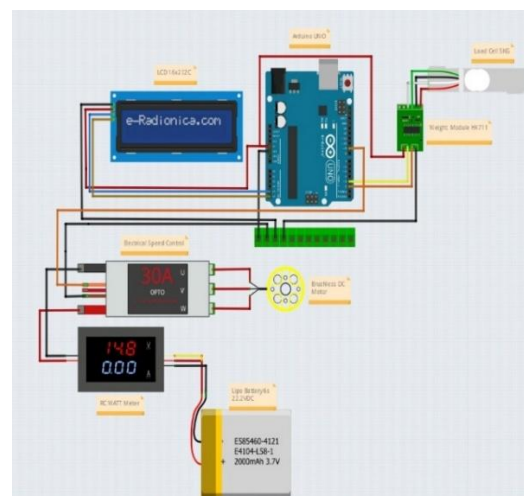
$$SF = \frac{10}{0.85}$$

$$SF = 11.76$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa *load cell* memiliki kapasitas yang mencukupi untuk pengembangan sistem dan mengurangi risiko overload selama pengujian.

3.3. Hasil Perancangan Sistem Elektronik dan Instrumentasi

Sistem elektronik PropDyno dirancang untuk melakukan pengukuran parameter gaya *thrust* dan parameter listrik secara real-time.

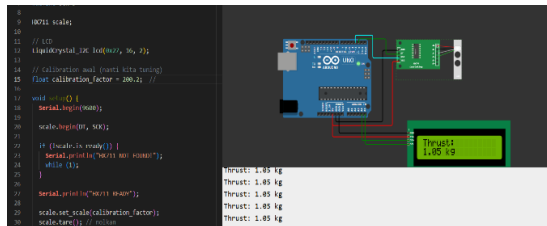


Gambar 5. Wiring Elektronik

Sistem terdiri dari Arduino Uno sebagai pengolah data utama, modul HX711 sebagai penguat sinyal

dan ADC, ESC 30A sebagai pengendali motor BLDC, *servo tester* sebagai pengatur PWM, serta *watt meter* untuk membaca tegangan, arus, dan daya listrik.

Prinsip kerja sistem dimulai ketika *servo tester* menghasilkan sinyal PWM menuju ESC untuk mengatur kecepatan putar motor BLDC. Ketika RPM meningkat, propeller menghasilkan gaya *thrust* yang diterima oleh *load cell*. Sinyal keluaran *load cell* kemudian diperkuat oleh HX711 sebelum diproses oleh Arduino Uno.



Gambar 6. Simulasi Pembacaan *Load Cell* pada Web Wokwi

Data hasil pengukuran berupa *thrust*, tegangan, arus, dan daya ditampilkan melalui LCD I2C dan *watt meter*.

3.3.1. Analisis Pemilihan ESC

Motor BLDC A2212 memiliki arus maksimum sekitar 12 A berdasarkan datasheet. Oleh karena itu digunakan ESC 30A untuk memberikan margin keamanan operasi. Faktor keamanan ESC dihitung menggunakan:

$$SF = \frac{I_{ESC}}{I_{motor}}$$

Dengan:

- $I_{ESC} = 30 \text{ A}$
- $I_{motor} = 12 \text{ A}$

Maka:

$$SF = \frac{30}{12}$$

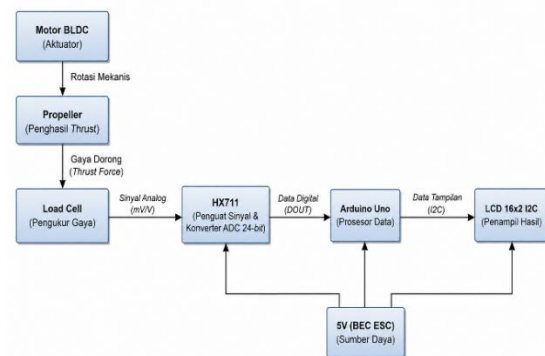
$$SF = 2.5$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa ESC memiliki kapasitas arus yang mencukupi sehingga risiko overcurrent dapat dikurangi.

3.4. Hasil Perancangan Sistem Akuisisi Data

Sistem akuisisi data dirancang untuk membaca perubahan gaya *thrust* dan parameter listrik secara kontinu. Modul HX711 digunakan sebagai penguat sinyal *load cell* sekaligus konverter ADC 24-bit sehingga pembacaan sensor memiliki resolusi yang lebih tinggi.

Arduino Uno digunakan untuk memproses data hasil pembacaan sensor sebelum ditampilkan pada LCD I2C.



Gambar 7. Diagram Akuisisi Data

Untuk meningkatkan kestabilan pembacaan sensor, digunakan pendekatan *averaging* pada proses pembacaan data. Pendekatan tersebut dilakukan karena sistem propulsi UAV menghasilkan vibrasi mekanik dan turbulensi udara yang dapat menyebabkan fluktuasi pembacaan sensor.

3.5. Analisis Hubungan PWM terhadap Thrust

Secara teoritis, peningkatan nilai PWM menyebabkan peningkatan kecepatan putar motor BLDC sehingga gaya *thrust* yang dihasilkan propeller juga meningkat. Hubungan teoritis *thrust* propeller dapat dinyatakan menggunakan:

$$T = C_T \rho n^2 D^4$$

Dengan:

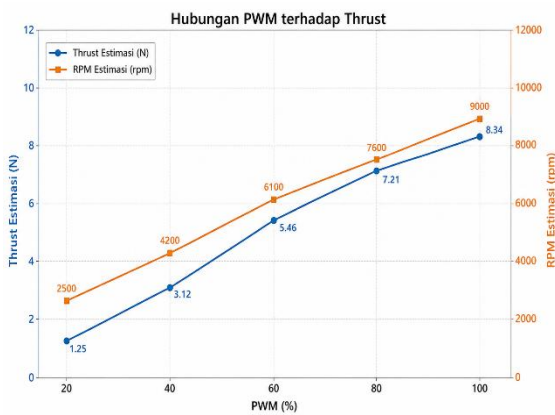
- $T = \text{gaya thrust}$
- $C_T = \text{koefisien thrust}$
- $\rho = \text{densitas udara}$
- $n = \text{putaran propeller}$
- $D = \text{diameter propeller}$

Berdasarkan hubungan tersebut, *thrust* meningkat secara kuadratik terhadap RPM propeller.

Tabel 3.5 menunjukkan estimasi hubungan PWM terhadap *thrust* berdasarkan pendekatan teoritis.

Tabel 3.5 Estimasi Hubungan PWM terhadap Thrust

PWM(%)	RPM Estimasi	Thrust Estimasi (N)
20	2500	1.25
40	4200	3.12
60	6100	5.46
80	7600	7.21
100	9000	8.34



Gambar 8. Grafik hubungan PWM terhadap Thrust

Hasil analisis menunjukkan bahwa kenaikan PWM menghasilkan peningkatan *thrust* yang signifikan. Namun, pada kondisi throttle tinggi, hubungan tersebut mulai mengalami deviasi akibat meningkatnya beban aerodinamika propeller dan kebutuhan torsi motor.

3.6. Analisis Hubungan Thrust Terhadap Konsumsi Daya

Konsumsi daya listrik sistem propulsi dipengaruhi oleh tegangan dan arus yang disuplai menuju motor BLDC. Daya listrik dihitung menggunakan:

$$P = V \times I$$

Dengan:

- P = Daya listrik
- V = Tegangan
- I = Arus

Sistem menggunakan baterai LiPo 3S dengan tegangan nominal sebesar 11.1 V.

Berdasarkan datasheet motor A2212, arus maksimum sistem diperkirakan mencapai 10 A. Maka:

$$P = 11.1 \times 10$$

$$P = 111 \text{ W}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem diperkirakan membutuhkan daya maksimum sekitar 111 W pada kondisi throttle tinggi. Hubungan teoritis daya propeller dapat dinyatakan menggunakan:

$$P = C_p \rho n^3 D^5$$

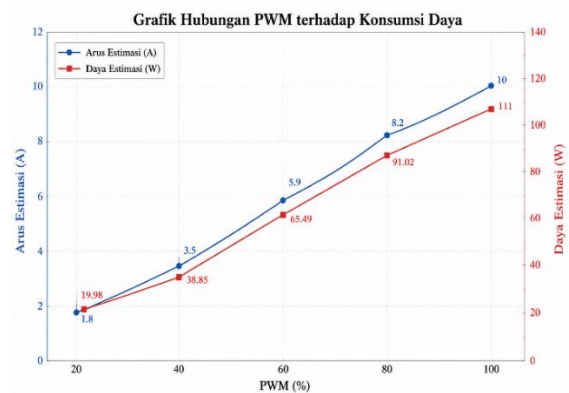
Dengan:

- P = daya propeller
- C_p = koefisien daya
- ρ = densitas udara
- n = putaran propeller
- D = diameter propeller

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan daya meningkat lebih cepat dibandingkan peningkatan *thrust* akibat pengaruh beban aerodinamika propeller.

Tabel 3.6 Estimasi Hubungan PWM terhadap Konsumsi Daya

PWM(%)	Arus Estimasi (A)	Daya Estimasi (W)
20	1.8	19.98
40	3.5	38.85
60	5.9	65.49
80	8.2	91.02
100	10	111



Gambar 9. Grafik Hubungan PWM terhadap Konsumsi Daya

Karakteristik tersebut sesuai dengan teori performa propeller yang menyatakan bahwa

kebutuhan daya meningkat secara eksponensial terhadap RPM [2].

3.7. Analisis Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem dianalisis menggunakan rasio antara gaya *thrust* terhadap daya listrik.

$$\eta = \frac{F}{P}$$

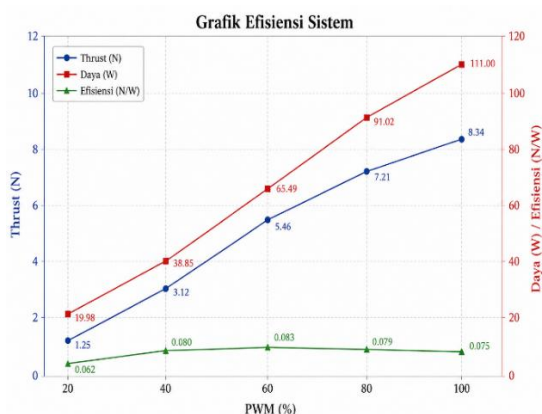
Pada kondisi PWM rendah hingga menengah, peningkatan daya listrik masih menghasilkan kenaikan *thrust* yang signifikan sehingga efisiensi sistem relatif lebih baik.

Namun, pada kondisi throttle tinggi, peningkatan daya listrik tidak diikuti kenaikan *thrust* secara proporsional akibat meningkatnya losses sistem seperti panas motor, turbulensi udara, dan rugi-rugi mekanik.

Tabel 3.7 menunjukkan estimasi efisiensi sistem berdasarkan hubungan *thrust* dan daya.

Tabel 3.7 Estimasi Efisiensi Sistem

PWM(%)	Arus Estimasi (A)	Daya Estimasi (W)	Efisiensi (N/W)
20	1.8	19.98	0.062
40	3.5	38.85	0.080
60	5.9	65.49	0.083
80	8.2	91.02	0.079
100	10	111	0.075



Gambar 10. Grafik Efisiensi Sistem

Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi sistem mencapai kondisi relatif optimal pada

rentang PWM menengah sebelum mengalami penurunan pada kondisi throttle tinggi.

3.8. Analisis Sistem Instrumentasi

Penggunaan *load cell* sebagai sensor gaya memberikan kemampuan pengukuran *thrust* secara langsung. Integrasi HX711 24-bit memungkinkan pembacaan sensor memiliki resolusi yang lebih tinggi sehingga perubahan gaya kecil masih dapat terdeteksi.

Namun, sistem pengukuran dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti:

- a. Vibrasi mekanik.
- b. Turbulensi udara propeller.
- c. Noise listrik.
- d. Ketidakseimbangan propeller.

Untuk mengurangi fluktuasi pembacaan sensor, digunakan struktur aluminium profile yang rigid serta pendekatan *averaging* pada proses akuisisi data.

3.8.1. Estimasi Resolusi Pengukuran

Load cell 10 kg memiliki sensitivitas sekitar 1 mV/V. Dengan tegangan eksitasi 5 V, maka tegangan keluaran maksimum sensor:

$$V_{out} = 1 \times 5$$

$$V_{out} = 5 \text{ mV}$$

Dengan ADC HX711 24-bit, sistem memiliki kemampuan pembacaan sinyal kecil yang lebih baik dibandingkan ADC internal Arduino Uno.

3.8.2. Estimasi Error Pengukuran

Berdasarkan karakteristik modul HX711 sebagai ADC 24-bit untuk *load cell* serta spesifikasi sensor yang digunakan, sistem diperkirakan memiliki potensi error pengukuran awal pada rentang $\pm 2-3\%$. Estimasi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti noise elektronik, vibrasi mekanik akibat putaran propeller, turbulensi udara, serta proses kalibrasi awal sensor.

Untuk meningkatkan kestabilan pembacaan data, sistem menggunakan pendekatan *averaging* pada proses akuisisi data sehingga fluktuasi pembacaan dapat dikurangi. Nilai *error* aktual sistem akan dianalisis lebih lanjut melalui proses kalibrasi dan pengujian eksperimental pada tahap implementasi.

3.9. Analisis Kelayakan Implementasi

Selain aspek teknis, dilakukan analisis kelayakan implementasi untuk mengevaluasi potensi penggunaan PropDyno sebagai media pembelajaran laboratorium.

Estimasi kebutuhan biaya sistem ditunjukkan pada Tabel 3.9

Tabel 3.9 Estimasi kebutuhan biaya sistem

Komponen	Estimasi Harga (Rp)
Arduino Uno	65.000
Load Cell 10 kg	45.000
HX711	20.000
ESC 30A	85.000
Motor BLDC A2212	255.000
Propeller	25.000
Watt meter	120.000
LCD I2C	35.000
Aluminium Profile	100.000
Baterai LiPo	250.000
Komponen Pendukung	100.000
Total	Rp 1.100.000

Berdasarkan hasil estimasi tersebut, PropDyno memiliki biaya implementasi yang relatif lebih terjangkau dibandingkan sistem *thrust test rig* komersial.

Selain itu, desain modular memungkinkan sistem dikembangkan lebih lanjut untuk berbagai kebutuhan praktikum dan penelitian UAV skala kecil.

3.10. Potensi Implementasi Sebagai Media Pembelajaran

PropDyno memiliki potensi implementasi yang baik sebagai media pembelajaran sistem propulsi UAV karena mampu menampilkan hubungan antara PWM, *thrust*, tegangan, arus, dan daya listrik secara langsung.

Melalui sistem tersebut, mahasiswa dapat memahami:

- Karakteristik motor BLDC.
- Hubungan RPM terhadap *thrust*.
- Konsumsi daya sistem propulsi.
- Prinsip kerja *load cell* dan HX711.
- Sistem akuisisi data berbasis Arduino.
- Konsep efisiensi energi pada sistem propulsi UAV.

Selain digunakan pada pembelajaran sistem propulsi UAV, PropDyno juga berpotensi digunakan pada pembelajaran sensor, instrumentasi, dan sistem kendali pada bidang mekatronika dan otomasi.

Keunggulan utama sistem meliputi:

- Struktur modular.
- Biaya implementasi relatif rendah.
- Mudah dioperasikan.
- Mudah dikembangkan.
- Mendukung visualisasi parameter sistem secara real-time.

3.11. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, yaitu:

- Penelitian masih berada pada tahap perancangan dan analisis awal.
- Sistem belum memasuki tahap manufaktur penuh.
- Belum dilakukan validasi eksperimental secara menyeluruh.
- Analisis performa masih menggunakan pendekatan teoritis dan spesifikasi komponen.
- Belum dilakukan pengujian multi-konfigurasi propeller.

Meskipun demikian, hasil perancangan dan analisis menunjukkan bahwa PropDyno memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai media pembelajaran sistem propulsi UAV.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menghasilkan rancangan awal PropDyno sebagai *thrust test rig* berbasis *load cell* untuk pembelajaran sistem propulsi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Sistem dirancang menggunakan motor BLDC A2212, ESC 30A, *load cell* 10 kg, modul HX711, Arduino Uno, *servo tester*, *watt meter*, dan LCD I2C untuk menampilkan parameter *thrust*, tegangan, arus, dan daya listrik secara real-time melalui pendekatan instrumentasi yang modular dan sederhana.

Berdasarkan hasil analisis teoritis dan perhitungan desain, motor BLDC A2212 dengan propeller 10x4.5 diperkirakan menghasilkan gaya *thrust* maksimum sebesar 8.34 N dengan kebutuhan daya maksimum sekitar 111 W pada

kondisi throttle tinggi. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa peningkatan PWM menyebabkan kenaikan *thrust* akibat meningkatnya kecepatan putar motor, sedangkan konsumsi daya meningkat secara non-linear karena pengaruh beban aerodinamika propeller dan peningkatan kebutuhan torsi motor pada RPM tinggi. Selain itu, penggunaan *load cell* 10 kg dan ESC 30A menunjukkan kapasitas yang mencukupi dengan faktor keamanan sistem yang relatif baik untuk mendukung pengembangan alat uji propulsi UAV skala laboratorium.

Pada aspek instrumentasi, integrasi HX711 24-bit memungkinkan pembacaan sinyal *load cell* dilakukan dengan resolusi yang lebih tinggi sehingga sistem memiliki sensitivitas yang cukup baik terhadap perubahan gaya *thrust*. Berdasarkan spesifikasi sensor dan pendekatan literatur, sistem diperkirakan memiliki potensi error pengukuran awal pada rentang $\pm 2-3\%$ akibat pengaruh vibrasi mekanik, turbulensi udara, dan noise listrik. Penggunaan struktur aluminium profile dan metode *averaging* pada pembacaan sensor diperkirakan mampu meningkatkan kestabilan pengukuran selama proses pengoperasian sistem.

Dari aspek implementasi, PropDyno memiliki potensi sebagai media pembelajaran sistem propulsi UAV karena mampu memberikan visualisasi hubungan antara PWM, *thrust*, tegangan, arus, dan daya listrik secara langsung. Sistem juga berpotensi digunakan pada pembelajaran sensor, instrumentasi, akuisisi data, dan efisiensi energi pada bidang mekatronika dan otomasi. Berdasarkan estimasi biaya material dan proses manufaktur awal, sistem diperkirakan membutuhkan biaya implementasi sekitar Rp1.100.000 sehingga memiliki potensi pengembangan dengan biaya yang relatif lebih terjangkau dibandingkan *thrust test rig* komersial. Dengan pendekatan modular dan kemudahan operasional, PropDyno berpotensi menjadi alternatif media praktikum sistem propulsi UAV pada lingkungan pendidikan vokasi.

Namun, penelitian ini masih berada pada tahap perancangan dan analisis awal sehingga belum dilakukan proses manufaktur penuh dan validasi eksperimental secara menyeluruh. Oleh karena itu, hasil analisis pada penelitian ini masih menggunakan pendekatan teoritis dan

estimasi berdasarkan spesifikasi komponen serta studi literatur.

4.2. Saran

Penelitian selanjutnya diperlukan untuk tahap manufaktur dan validasi eksperimental sistem guna mengevaluasi akurasi pengukuran, kestabilan pembacaan sensor, performa sistem propulsi, serta kesesuaian antara hasil teoritis dan kondisi aktual. Pengembangan lebih lanjut juga dapat dilakukan dengan menambahkan fitur *data logging*, pengukuran RPM secara langsung, monitoring berbasis komputer, serta integrasi perangkat lunak visualisasi data secara real-time. Selain itu, sistem dapat dikembangkan untuk mendukung pengujian berbagai konfigurasi motor dan propeller UAV sehingga mampu digunakan sebagai media pembelajaran maupun media pengujian awal sistem propulsi UAV skala kecil secara lebih luas.

5. Referensi

- [1] J.B. Brandt, R.W. Deters, G.K. Ananda, O.D. Dantsker, and M.S. Selig (insert date downloaded), UIUC Propeller Database, Vols 1-4, University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Aerospace Engineering, retrieved from <https://m-selig.ae.illinois.edu/props/propDB.html>.
- [2] Aminuddin AB, Salim WSW. Aerodynamic Analysis of Propeller for Heavy Lifting Drone Applications Using Blade Element Momentum Analysis. Progress in Aerospace and Aviation Technology. 2022. <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/pa/article/view/13138/5531>
- [3] J. D. Anderson, *Introduction to Flight*, 8th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2015, ISBN 978-0078027673.
- [4] R. Austin, *Unmanned Aircraft Systems: UAVs Design, Development and Deployment*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010. [Online]. Available: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/MILITARY%20PLATEFORM%20DESIGN/Unmanned%20Aircraft%20Systems.pdf>
- [5] Y. A. Suwandito, "Perancangan alat uji statis propeller thrust gauge untuk UAV listrik skala kecil," *J-ENSITEC (Journal of Engineering and*

Sustainable Technology), vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.31949/j-ensitec.v10i01.5803.

[6] A. Faishal and I. T. Setyadewi, "Comparative study of propeller thrust force on unmanned aerial vehicle using ground testing methods and theoretical calculations," *Engineering Proceedings*, vol. 84, no. 1, p. 59, 2025, doi: 10.3390/engproc2025084059. <https://www.mdpi.com/3182002>

[7] E. E. Prasetyo, "A Simple Brushless Motor and Propeller Test Stand for Experiment from Home," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2111, no. 1, p. 012005, 2021. doi: 10.1088/1742-6596/2111/1/012005. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2111/1/012005/pdf>

[8] M. Chen, "Static Thrust Measurement for Propeller-driven Light Aircraft," in *Proc. 2012 Int. Conf. Comput. Aid. Des. Antennas Propag. (ICCASM)*, 2012. doi: 10.2991/iccasm.2012.165. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/645/1/012017/pdf>

[9] Avia Semiconductor, "HX711 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales Datasheet," 2018. [Online]. Available: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf