

PERANCANGAN ALAT UJI STATIS *PROPELLER THRUST GAUGE* UNTUK UAV LISTRIK SKALA KECIL

Yoan Ario Suwandito¹, Bobie Suhendra², Deri Teguh Santoso³,

^{1,2,3} Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

email: ¹arioyoan4@gmail.com, ²bobie.suhendra@staff.unsika.ac.id, ³deri.teguh@ft.unsika.ac.id.

Abstract

Static testing of the propeller is necessary to take into account the amount of thrust generated by the propeller before it is attached to the propulsion system. However, for small-scale static testing, especially on the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) propulsion system, it is still difficult to find. So the purpose of this research is to design and manufacture a static test tool for propeller thrust combined with a DC brushless motor, especially in the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) propulsion system. This test tool uses the Arduino Uno Atmega 328 as its microcontroller which is directly integrated with the load cell sensor which functions as the main measuring tool for the amount of thrust generated by the propeller rotation. In the load cell, there is a change in voltage in the strain gauge resulting in a change in resistance, then the results of the change will be read by the HX711 module. The HX711 module will convert the analog signal generated by the load cell into a digital signal, making it easier for Arduino to read data. Measurement results in data from Arduino will be displayed via the 16x2 LCD. This research proposes a simple propeller thrust gauge static test that can measure forces from 0 N to 49 N with an error rate of 0.479%.

Keywords: *thrust, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), propeller*

1. PENDAHULUAN

Selama dekade terakhir, *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau biasa disebut *drone* telah menjadi aset berharga dan telah digunakan pada industri, akademisi, serta penghobi. Hal ini dipicu oleh kemajuan dalam aplikasi mikrokontroler, teknologi penginderaan, serta sistem kontrol. Oleh karena itu UAV dengan cepat menjadi kebutuhan penting terutama di bidang militer [1]. Sebagian besar UAV membutuhkan baling-baling pada sistem propulsinya, baling-baling tersebut dikombinasikan dengan *motor brushless* karena jenis motor ini memiliki putaran yang sangat tinggi namun tidak memerlukan banyak konsumsi energi dari baterai, motor ini juga tidak cepat panas karena sudah tidak disertai sikat untuk penghantar arus listriknya [2]. Efisiensi motor berkaitan dengan daya tahan terbang pada suatu pesawat, mengingat daya baterai yang digunakan terbatas [3]. Karena sumber energi utama pada UAV adalah baterai, maka penggunaan energi pada baterai sangat penting dan perlu diperhatikan. Tenaga dari baterai merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi performa UAV dalam melakukan penerbangan [4].

Untuk mengoptimalkan durasi terbang (*flytime*) pada UAV, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah pemilihan *motor brushless* dan pemilihan baling-baling yang tepat [5]. Hal tersebut memungkinkan pesawat dapat terbang lebih lama dalam melakukan misi penerbangan. Propulsi UAV yang optimal memiliki target dengan konsumsi energi yang kecil namun menghasilkan gaya dorong yang cukup besar. Dengan hal ini durasi terbang pada UAV dapat lebih panjang, serta efisiensi propulsi pada UAV dapat dikatakan efisien [6]. Untuk menentukan performa propulsi yang optimal, maka harus dilakukan eksperimen pengujian untuk menentukan output yang dihasilkan pada propulsi UAV yang akan digunakan.

Pengujian kinerja baling-baling dan *motor brushless* dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji pengukur gaya dorong statis. Keberadaan alat uji masih terbatas dan belum banyak ditemukan pada beberapa laboratorium. Meskipun ada beberapa alat yang dapat ditemukan di *e-commerce*, namun harga alat tersebut cukup mahal. Oleh karena itu peneliti melakukan pembuatan alat uji gaya dorong secara mandiri.

Alat uji statis *thrust gauge* ini dirancang untuk menentukan sistem propulsi yang efisien. Pengujian

prinsip ini dapat dikatakan cukup murah dan mudah dalam melakukan pengukuran kinerja sistem propulsi UAV elektrik. Penelitian yang dilakukan untuk menguji kinerja baling-baling dilakukan dengan cara membandingkan data hasil perhitungan dengan data eksperimen [7]. Kinerja teoritis pada motor dan baling-baling dihitung dan dilakukan perbandingan dengan temuan hasil eksperimen pada pengujian gaya dorong statis. Hal ini dilakukan untuk memeriksa keakuratan model dan mempermudah pemilihan sistem propulsi seperti pemilihan motor serta pemilihan baling-baling yang tepat sebelum digunakan untuk aplikasi penerbangan.

Penelitian ini mengusulkan sebuah alat pengujian statis baling-baling dan *motor brushless* sederhana yang dapat digunakan untuk melakukan eksperimen baling-baling serta *motor brushless* dalam skala kecil, terutama melakukan percobaan di rumah maupun dalam lingkup pendidikan. Konsep perancangan menggunakan sensor *load cell* untuk membaca tegangan yang terjadi pada sistem propulsi berupa sinyal analog [8] yang kemudian diteruskan ke modul HX711 untuk diterjemahkan menjadi sinyal digital sebelum diproses oleh mikrokontroler [9]. Hasil pembacaan dari sensor tersebut kemudian diolah pada mikrokontroler Arduino atmega 328 kemudian ditampilkan langsung melalui LCD 16x2.

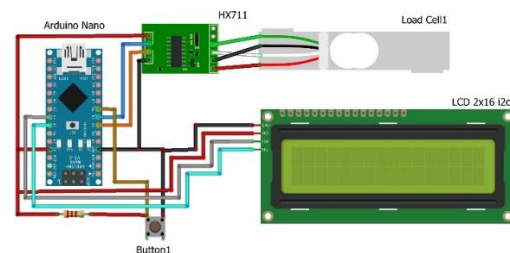
2. METODE PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem pengukuran yang sesuai dalam melakukan pengukuran parameter dari beberapa kombinasi sistem propulsi pada UAV yang akan digunakan pada *drone singlerotor* maupun *multirotor*. Data hasil pengukuran akan digunakan untuk mendapat persamaan matematis yang menggambarkan perilaku terhadap baling-baling dalam kondisi yang berbeda. Parameter tersebut biasanya daya yang dihasilkan terhadap gaya dorong, kecepatan putar baling-baling, dan arus listrik yang dibutuhkan oleh propulsi terhadap gaya dorong yang dihasilkan.

A. PERANCANGAN SISTEM

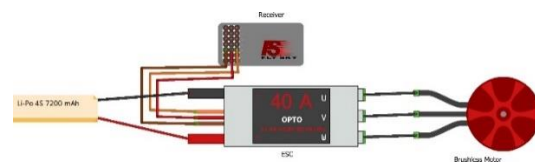
Untuk pengaturan alat uji, penulis menggunakan *Arduino UNO Atmega 328* sebagai mikrokontrolernya yang terintegrasi langsung dengan sensor *load cell* dengan kapasitas beban maksimal sebesar 5kg. Hasil pengukuran pada *load cell* akan ditampilkan langsung pada LCD yang terhubung

dengan mikrokontroler sehingga hasil dapat langsung diketahui saat melakukan eksperimen. Untuk bahan uji yang akan dilakukan pengujian, peneliti menggunakan *motor brushless EMAX ECO II 2306 2400KV* yang dikombinasikan dengan baling-baling *Gemfan 5226* yang memiliki 3 buah bilah. Untuk mengoperasikan *motor brushless* peneliti menggunakan baterai jenis *Li-Po (Lithium Polymer)* empat sel dengan kapasitas 7200mAh dan *ESC* sebesar 40A. Sedangkan untuk mengontrol parameter propulsi menggunakan pengontrol jarak jauh dengan transmitter frekuensi 2.4 Ghz. Hal ini dilakukan untuk faktor keamanan sehingga dilakukan pengontrolan dengan jarak yang cukup aman. Kemudian alat pengujian dirangkai dengan skema terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Load Cell

Kemudian untuk bahan uji memiliki rangkaian terpisah dengan alat uji. Karena bahan uji memiliki spesifikasi yang berbeda serta perlakuan yang berbeda. Sehingga bahan uji dirangkai menggunakan skema pada gambar 2.



Gambar 2. Skema Propulsi

B. PERALATAN PENELITIAN

Pada penelitian ini dibutuhkan peralatan berupa bor tangan, obeng, dan kunci *hex*. Sedangkan bahan yang diperlukan, yaitu: *motor brushless*, *ESC*, *arduino nano*, baterai *Li-Po*, *load cell*, modul *hx711*, mur dan baut.

C. PEMROGRAMAN

Program ini disematkan ke mikrokontroler, dalam hal ini *arduino nano* sebagai mikrokontrolernya yang berfungsi sebagai capaian

keluaran yang diharapkan. Mikrokontroler ini sebagai pusat pengolahan data hasil input dari sensor yang terintegrasi, sedangkan program/ perintah yang di tanamkan merupakan suatu implementasi dari apa yang peneliti inginkan dalam proses pengukuran sehingga diperoleh hasil yang diinginkan. Sketsa program diperlihatkan pada gambar 3.

```
Code: Thrust_Motor
//Local Storage
//Define Digital Weight Scale HWT11 Load Cell Module
#include "HWT11.h" // Define HWT11 Load Cell Module
#include "Wire.h"
#include "LiquidCrystal_I2C.h" // LiquidCrystal_I2C library
HWT11 hwt11; // HWT11 Load Cell Module
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // LCD address 0x27
int w = 0;
int n = 0;

void setup() {
  pinMode (pin, OUTPUT);
  hwt11.begin(); // Start connection to HWT11
  hwt11.waitForStable(); // Load cells get 300ms of time to stabilize
  // Calibrate your LOAD CELL with 100g weights, and change the value according to readings
  // hwt11.setFactor(100);
  // hwt11.setFactor(100); // Change the factor according to the load cell
  lcd.begin(16, 2); // Start connection to the LCD module
  lcd.setCursor(0, 0); // Move on the backlight
  lcd.setCursor(0, 0); // Set cursor to first row
  lcd.print("THRUST ME"); // print out to LCD
  lcd.setCursor(0, 1); // Set cursor to first row
  lcd.print("BTCH"); // print out to LCD
  delay(1000);
  lcd.clear();
}

void loop() {
  lcd.setCursor(0, 0); // Set cursor to first row
  lcd.print("Digital Scale"); // print out to LCD
  hwt11.update(); // retrieve data from the load cell
}
```

Gambar 3. Pemrograman Sensor *Load Cell*

D. LANGKAH PENELITIAN

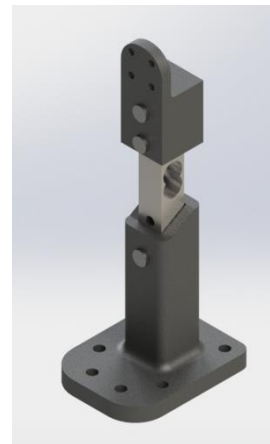
Pembuatan alat dimulai dari persiapan seperti kelengkapan alat dan bahan, kalibrasi sensor alat ukur, kalibrasi kontrol bahan uji hingga proses desain alat uji. Kemudian dilanjutkan dengan proses perancangan yang telah direncanakan terkait alat uji yang dapat melakukan pengujian gaya dorong (*thrust*) statis. Setelah semua terpenuhi berdasarkan rancangan yang telah dibuat, kemudian dilakukan pemasangan rangkaian elektronik beserta bahan uji nya. Setelah alat uji siap digunakan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian dan simulasi disertai dengan pengambilan data dan perhitungan untuk menentukan tingkat keberhasilan pengukuran pada alat uji yang telah dibuat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. IMPLEMENTASI HASIL PERANCANGAN

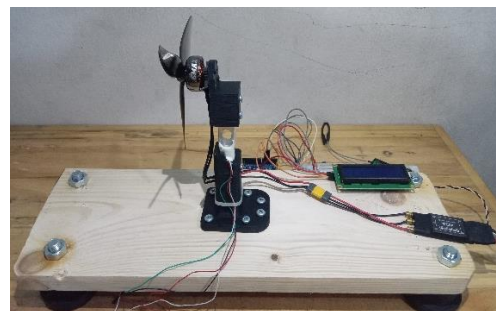
Desain yang telah dirancang pada aplikasi CAD (*Computer Aided Design*) kemudian di cetak menggunakan printer 3 dimensi menggunakan material ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) untuk selanjutnya dilakukan pemasangan sensor *load cell* yang telah di rangkai sesuai skema yang telah di buat sebelumnya. Alat ukur yang telah dirancang kemudian dipasangkan pada landasan supaya alat ukur dapat menahan gaya dorong yang dihasilkan oleh propulsi karena dapat memengaruhi hasil pengukuran. Berikut ini adalah hasil desain yang

dilakukan pada aplikasi CAD sebelum di cetak menggunakan printer 3 dimensi.



Gambar 4. Desain Alat Ukur

Pada ujung sensor *load cell* akan di pasang sebuah propulsi UAV elektrik yang akan dilakukan pengukuran. Pada pengujian ini akan dilakukan variasi kecepatan putar pada propulsi sehingga akan dihasilkan perbedaan hasil gaya dorong yang terjadi. Hasil akhir dari perancangan alat ukur ini dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pelaksanaan

Menurut aturan ISO-13342 tentang “Pengukuran Dorong Statis Pada Motor Tempel” bahwa pengukuran gaya dorong harus dilakukan secara horizontal dengan satuan gaya (Newton) dan tanpa halangan baik di depan maupun di belakang bahan uji pada jarak 3 meter [10]. Sehingga penulis membuat rancangan alat uji sedemikian rupa. Kemudian dilanjutkan dengan proses pengujian alat uji menggunakan propulsi yang akan dilakukan pengujian.

B. HASIL PENGUKURAN SENSOR LOAD CELL

Pengujian sistem pengukuran gaya dorong menggunakan sensor load cell ini dilakukan dengan cara mengukur gaya dorong pada propulsi UAV elektrik dengan variasi kecepatan putar yang berbeda. Dimana propulsi UAV elektrik tersebut akan berputar dan menghasilkan gaya dorong yang langsung diterima oleh sensor load cell pada alat pengukuran tersebut. Selanjutnya, saat propulsi tersebut berputar dan menghasilkan gaya dorong, maka LCD akan menampilkan hasil ukur sensor load cell tersebut. Hasil pengukuran pada pengujian yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Ukur Kecepatan 15300 rpm

Pengukuran ke	Hasil Ukur (N)	Error (%)
1	3,94	0,896
2	3,91	0,128
3	3,89	0,384
4	3,93	0,640
5	3,92	0,384
6	3,92	0,384
7	3,9	0,128
8	3,89	0,384
9	3,87	0,896
10	3,88	0,640
Rata - rata hasil	3,91	0,487

Berdasarkan hasil pada tabel 1 diperoleh persentase simpangan (error) pada masing – masing pengukuran memiliki nilai error yang bervariasi. Sehingga rata – rata nilai error dari 10 pengukuran diperoleh sebesar 0,487%, sehingga sesuai toleransi yang diperbolehkan dimana nilai maksimum sebesar 5%. Pengujian alat ukur gaya dorong propulsi UAV elektrik kembali dilakukan dengan variasi kecepatan putar yang berbeda dan hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Ukur Kecepatan 13900 rpm

Pengukuran ke	Hasil Ukur (N)	Error (%)
1	3	0,334
2	2,98	0,334
3	2,97	0,668
4	3,02	1,000
5	2,98	0,334
6	3,01	0,668
7	2,96	1,000
8	2,98	0,334
9	3,01	0,668
10	2,99	0,000
Rata - rata hasil	2,99	0,534

Berdasarkan hasil pada tabel 2 diperoleh persentase simpangan (error) pada masing – masing pengukuran memiliki nilai error yang bervariasi. Sehingga rata – rata nilai error dari 10 pengukuran diperoleh sebesar 0,534%, sedangkan toleransi yang diperbolehkan dimana nilai maksimum sebesar 5%. Pengujian alat ukur gaya dorong propulsi UAV elektrik kembali dilakukan dengan variasi kecepatan putar yang berbeda dan hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Ukur Kecepatan 21400 rpm

Pengukuran ke	Hasil Ukur (N)	Error (%)
1	6,78	0,803
2	6,70	0,387
3	6,77	0,654
4	6,74	0,208
5	6,74	0,208
6	6,70	0,387
7	6,72	0,089
8	6,69	0,535
9	6,74	0,208
10	6,68	0,684
Rata - rata hasil	6,73	0,416

Berdasarkan hasil pada tabel 3 diperoleh persentase simpangan (error) pada masing – masing pengukuran memiliki nilai error yang bervariasi. Sehingga rata – rata nilai error dari 10 pengukuran diperoleh sebesar 0,416%, sehingga sesuai toleransi yang diperbolehkan dimana nilai maksimum sebesar 5%.

C. ANALISA PENGUJIAN

Berdasarkan tabel 1, tabel 2, dan tabel 3, perbedaan hasil ukur pada alat pengukuran tersebut untuk mengukur propulsi UAV elektrik dengan variasi kecepatan yang berbeda dapat ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Ukur Propulsi UAV Elektrik

Kecepatan Putar (rpm)	Rata - rata Hasil Ukur (N)	Rata - rata Error (%)
13900	2,99	0,534
15300	3,91	0,487
21400	6,73	0,416

Berdasarkan data yang ditampilkan pada tabel 4, dapat diperoleh hasil rata – rata error dari keseluruhan pengukuran adalah sebesar 0,479 % sehingga alat ukur yang penulis rancang mendekati nilai sebenarnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Proses kalibrasi sensor load cell sangat berpengaruh terhadap besarnya nilai error (simpangan), sehingga pada proses pemrograman terdapat faktor pengali yang digunakan untuk melakukan kalibrasi dan menentukan nilai ketelitian dari hasil pengukuran.
- Pada alat pengukuran yang penulis rancang sudah dilengkapi fitur Fungsi TARE, yang berfungsi untuk mengabaikan bobot yang tidak diperlukan dalam proses pengukuran.
- Besar nilai error (simpangan) pada alat yang dirancang penulis masih sesuai dengan nilai toleransi yang diperbolehkan, yaitu sebesar 0,479 % sedangkan nilai toleransi maksimalnya adalah sebesar 5%.

5. REFERENSI

- [1] M. P. S. T. Martin, "UAV Market," in *UNMANNED AERIAL VEHICLES: FUNDAMENTALS, COMPONENTS, MECHANICS, AND REGULATIONS*, London, Nova Science Publisher, 2021, pp. 13-15.
- [2] K. Ozer and M. Yilmaz, "Design and Analysis of a High Power Density Brushless DC Motor for a Multi-Rotor Unmanned Aircraft," *International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, vol. X, pp. 1-3, 2021.
- [3] M. H. Bilgehan, H. Mustafa and K. Hakan, "Estimation of UAV flight time and Battery Consumption for photogrammetric application using multiple machine learning algorithms," *Engineering Research Express*, vol. IV, pp. 2-3, 2022.
- [4] N. Mehendale, "Investigating the Battery Life Issues in Unmanned Aerial Vehicles: An Analysis of Challenges and Proposed Solutions," *K. J. Somaiya College of Engineering*, vol. IX, pp. 2-3, 2023.
- [5] C. Cruzatty, E. Sarmiento, E. Valencia and E. Cando, "Design methodology of a UAV propeller implemented in monitoring activities," *ELSEVIER Materials Today: Proceeding*, vol. X, pp. 1-2, 2022.
- [6] A. Elghazali and S. S. Dol, "Aerodynamic Optimization of Unmanned Aerial Vehicle through Propeller Improvements," *Journal of Applied Fluid Mechanics*, vol. XII, pp. 1-3, 2019.
- [7] M. Scanavino, A. Vilaridi and G. Guglieri, "An Experimental Analysis on Propeller Performance in a Climate-controlled Facility," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. V, pp. 3-4, 2020.
- [8] A. Wibowo and L. A. Supriyono, "ANALISIS PEMAKAIAN SENSOR

LOADCELL DALAM PERHITUNGAN BERAT BENDA PADAT DAN CAIR BERBASIS MICROCONTROLLER," *ELKOM*, vol. XII, p. 1, 2019.

- [9] Y. Mukhammad, A. Santika and S. Haryuni, "Analisis Akurasi Modul Amplifier HX711 untuk Timbangan Bayi," *Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia*, vol. IV, p. 26, 2022.

[10] *International Standard ISO 13342*, 2019.