

Rancang Bangun Alat Uji Gaya Dorong *Propeller* untuk Karakterisasi Motor Pada Sistem Propulsi *Unmanned Aerial Vehicle*

Himmawan Sabda Maulana*, Raden Sanggar Dewanto, Eko Henfri Binugroho

Teknik Mekatronika, Departemen Teknik Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jl. Raya ITS, Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

*E-mail: himmawan@pens.ac.id

Abstract

Unmanned Aerial Vehicle research and development, there are a lot of research and development focuses that will be carried out, one of which is on the propulsion system. This propulsion system is further divided into several important components, namely the motor, controller, and propeller. This research is focusing on how to characterize the UAV motor and make a propeller thrust bench test that can be used for UAV propulsion systems with various types of propellers. This research starts by designing the mechanical part of the bench test and then analyzing it with computer simulation software to see the strength and durability of the bench test. After that, the next step is the manufacturing process of the design that has been designed and then assembled. After completing the bench test assembly, the testing of the UAV propulsion system and data logging of thrust, RPM, voltage, and current for motor characterization can be started. The result of the data testing obtained the characteristic of the motor that has been tested both directly using thrust bench test. The result of characteristic data at this research which later can be reprocessed according to community needs or further research.

Kata kunci: Propulsion System, UAV Motor, Motor Characterization, Thrust Bench Test.

Abstrak

Penelitian dan pengembangan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), banyak sekali fokus penelitian dan pengembangan yang akan dilakukan, salah satunya pada sistem propulsi. Sistem penggerak ini dibagi lagi menjadi beberapa komponen penting yaitu motor, controller, dan baling-baling. Penelitian ini fokus pada bagaimana mengkarakterisasi motor UAV dan membuat uji *propeller Thrust Bench* yang dapat digunakan untuk sistem propulsi UAV dengan berbagai jenis *propeller*. Penelitian ini diawali dengan merancang bagian mekanis dari bench test kemudian menganalisisnya dengan software simulasi komputer untuk melihat kekuatan dan ketahanan dari *bench test*. Setelah itu tahap selanjutnya adalah proses pembuatan desain yang telah dirancang kemudian dirakit. Setelah perakitan *bench test* selesai, pengujian sistem propulsi UAV dan pencatatan data gaya dorong, RPM, tegangan, dan arus untuk karakterisasi motor dapat dimulai. Hasil pengujian data diperoleh karakteristik motor yang telah diuji baik secara langsung menggunakan uji dorong bangku. Hasil karakteristik data pada penelitian ini yang nantinya dapat diolah kembali sesuai kebutuhan masyarakat atau penelitian lebih lanjut.

Kata kunci: Propulsion System, UAV Motor, Motor Characterization, Thrust Bench Test.

1. Pendahuluan

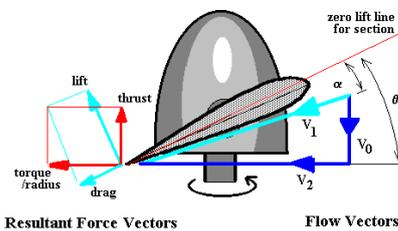
Kemajuan teknologi saat ini berkembang pesat. Banyak perusahaan besar di seluruh dunia telah mulai meneliti dan mengembangkan *drone* atau disebut dengan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Pesawat tanpa awak makin dikembangkan untuk memudahkan pekerjaan manusia. Hal yang paling baru adalah pengembangan UAV sebagai wahana pemadam kebakaran dengan mengangkat APAR (Alat Pemadam Api Ringan) dengan menggunakan UAV [1][2] Hal tersebut menjadikan UAV banyak dimanfaatkan untuk keperluan militer ataupun sipil [3]. Pada tahun 2017, jumlah *drone* komersial yang dijual di seluruh dunia melebihi 3,5 juta dan terus meningkat. Pesawat tanpa awak dapat digunakan untuk misi-misi yang memerlukan pantauan dari udara [4]. Salah satu faktor kunci yang perlu dipertimbangkan selama penelitian drone adalah kemampuan drone dalam menangani gaya aerodinamis yang ada di udara. Dalam sistem operasi drone khususnya drone jenis copter terdapat beberapa subsistem salah satunya adalah sistem propulsi. Umumnya komponen yang digunakan pada sistem penggerak copter antara lain motor Brushless Direct Current (BLDC) dimana motor BLDC memiliki tiga sensor hall effect yang terpasang dekat stator dan memiliki kontroler elektronik dalam motor untuk mengatur komutasi daya yang mengalir dalam kumparan stator [5], Electronic Speed Control (ESC), baling-baling, baterai, dan komponen pendukung lainnya. Pada hakekatnya komponen-komponen pada sistem penggerak berfungsi sebagai input dan output. Input dapat berupa tegangan dan arus, sedangkan output berupa gerakan atau gaya yang menghasilkan gaya traksi atau gaya dorong [6]. Setiap komponen pada sistem propulsi perlu menjalani pengujian untuk mengetahui kesesuaian dan keamanannya saat digunakan pada drone.

Oleh karena itu, sangat penting bagi pengguna untuk mencari data secara online dan atau melakukan static thrust tes mereka sendiri [7]. Sehingga, untuk memenuhi kebutuhan pengujian gaya dorong dan menganalisis karakteristik suatu sistem propulsi, maka dirancang suatu alat yang dapat digunakan untuk mengukur gaya dorong dan mengamati karakteristik motor dalam sistem propulsi. Sistem propulsi pada *drone* dipengaruhi oleh gaya dorong atau *thrust* yang mampu dihasilkan oleh motor penggerak. Beberapa penelitian sebelumnya menyatakan bahwa setiap motor dan baling-baling pada UAV memiliki tipe yang sama, maka cukup mengetes satu motor saja untuk menentukan dorong dan torsi yang dihasilkan [8].

Prinsip dasar pada gaya dorong yang dihasilkan oleh sistem penggerak hingga mencapai ketinggian tertentu yang diinginkan adalah menggunakan turunan dari hukum newton yang kedua, yaitu sebuah benda dengan massa (m) mengalami resultan gaya sebesar (F) akan mengalami percepatan (a) yang arahnya akan sama dengan arah gaya dan besarnya akan berbanding lurus terhadap F dan berbanding terbalik terhadap (m). [9]. Prinsip dasar dari pengukuran *thrust* ini didasari pada rumus thrust utama yang dimana [10]:

$$T = C_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \tag{1}$$

Dimana T adalah Thrust Propeller (N), (C_T) koefisien Thrust propeller, (ρ) kerapatan udara (1.225 Kg/m³), (n)RPM Propeller dan (D)Diameter propeller (m). Prinsip dasar gaya yang terdapat pada *propeller* yang sedang bekerja adalah V_0 menunjukkan sebagai aliran aksial yang bekerja pada *propeller*, V_2 adalah aliran kecepatan angular, dan V_1 adalah aliran lokal dari propeller yang bekerja atau merupakan hasil kalkulasi dari V_2 dan V_0 . [11]. Ilustrasi gaya dan aliran vektor dari *propeller* dapat dilihat pada Gambar 1.



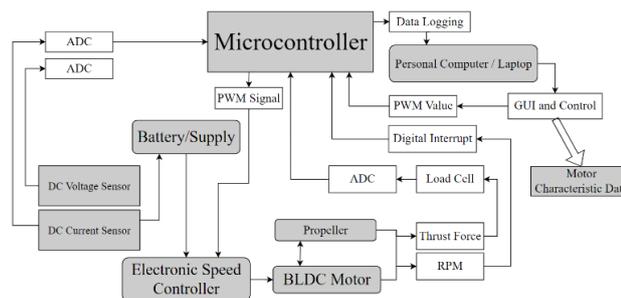
Gambar 1. Resultan gaya dan aliran vektor dari *propeller* yang bekerja [11].

Arti dari alat uji adalah alat untuk menguji (mengukur) kualitas, maka arti alat uji gaya dorong adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk menguji atau mengukur suatu kualitas atau besaran gaya dorong dari suatu sistem atau suatu benda [12]. Seperti penelitian terdahulu yang pernah dilakukan menggunakan komponen utama yaitu motor BLDC, propeller APC 9 x 6 inch, baterai, Electronic Speed Controller (ESC) bertujuan untuk mengambil data pada 10 RPM yang berbeda dengan menggunakan sensor RPM dan Load cell yang telah terhubung kepada arduino yang nantinya akan membaca RPM dan gaya dorong (thrust) serta menampilkan hasil bacaan tersebut pada LCD screen [13]. Kemudian penelitian yang pernah dilakukan dengan tujuan untuk menguji karakterisasi propeller pesawat model dengan menggunakan modul Arduino UNO ATmega328P dengan pengendali utama adalah kontroler P yang digunakan untuk pengendali kecepatan putar motor BLDC sebagai pemutar propeller [14].

Berdasarkan uraian diatas perlu sebuah alat uji untuk mendapatkan karakteristik motor BLDC dalam menghasilkan gaya dorong. Motor BLDC dipilih karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan torsi awal yang tinggi, karena rotor terbuat dari magnet permanen. Sehingga penelitian ini dibuat dengan tujuan untuk merancang desain mekanik untuk alat uji gaya dorong propeller penggerak UAV berbasis load cell, untuk memperoleh karakteristik penggerak UAV.

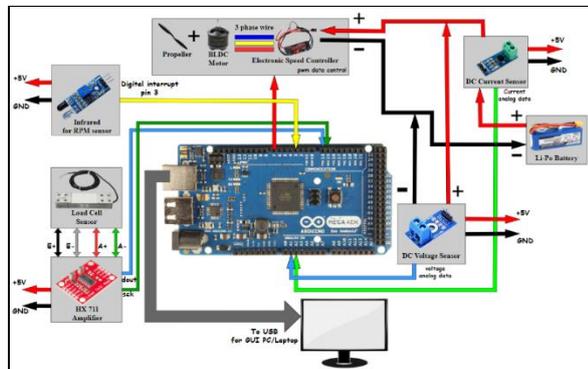
2. Material dan metode penelitian

Penelitian ini adalah penelitian percobaan (*experimental research*). Dalam pembuatan alat ini terdapat perencanaan pembuatan alat secara keseluruhan. Diagram alur dari keseluruhan sistem dapat diketahui dari Gambar 2. Pada *propeller* test bench disini mencoba sedemikian rupa untuk membuat sama persis seperti sistem propulsi pada UAV dimana terdapat ESC 40A 2-4s untuk mengontrol kecepatan dari motor dan menggunakan baterai Li-Po 3s 35C sebagai suplai utama penggerak motor dan propeller mulai dari ukuran 10inch hingga 12inch dengan pitch yang sama yaitu 4,5 dan bahan yang berbeda yaitu abs plastic dan carbon fiber.



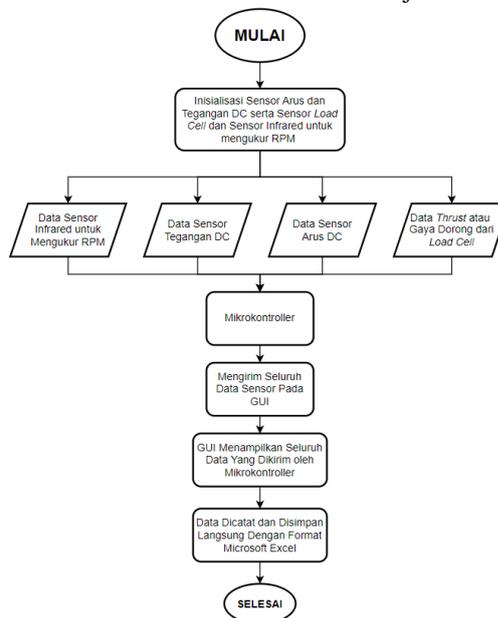
Gambar 2. Diagram alur alat uji gaya dorong *propeller* untuk karakterisasi motor

Pada propeller test bench disini juga menggunakan mikrokontroler Arduino Mega2560 yang dimana berfungsi sebagai kontroller utama dari pembangkit sinyal PWM untuk sinyal data dari ESC yang dibutuhkan dalam menggerakkan motor BLDC. Sinyal PWM ini dapat diatur pada GUI yang telah terkoneksi dengan mikrokontroler dan dapat diatur mulai dari range 0% hingga 100%. Mikrokontroler Arduino juga sebagai pengambil data seluruh sensor yang digunakan pada propeller thrust bench. Perancangan sisitem elektrik dapat dilihat pada Gambar 3. Pada bagian elektrik, Alat ini akan menggunakan baterai sebagai sumber tegangan dan arus. Mikrokontroler akan mendapat sumber dari Komputer atau Laptop. Pada mikrokontroler akan mendapatkan data dari beberapa sensor yaitu sensor tegangan dan arus yang digunakan untuk menggerakkan motor BLDC serta data sensor load cell didapatkan dari gaya dorong atau thrust yang dihasilkan oleh propeller yang berputar.



Gambar 3. Diagram sistem elektrik

Pada alat ini terdapat proses pengambilan data berat atau thrust, data tegangan dan arus listrik DC, serta data putaran propeller dalam RPM yang dilakukan oleh Arduino dan menjadi sebuah datalog yang disimpan pada file microsoft excel sehingga data tersebut dapat diolah kembali dan digunakan untuk kepentingan yang lainnya. Alur sistem penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Proses ini diawali dengan inisialisasi seluruh sensor serta Mikrokontroler yang akan menerima data dari seluruh sensor. Sensor tegangan dan arus akan menerima data dari tegangan dan arus yang digunakan untuk menggerakkan motor BLDC dan sensor load cell akan menerima tekanan atau thrust dari efek propeller yang berputar dan dimana tekanan yang diterima oleh load cell tersebut akan menjadi sebuah data.

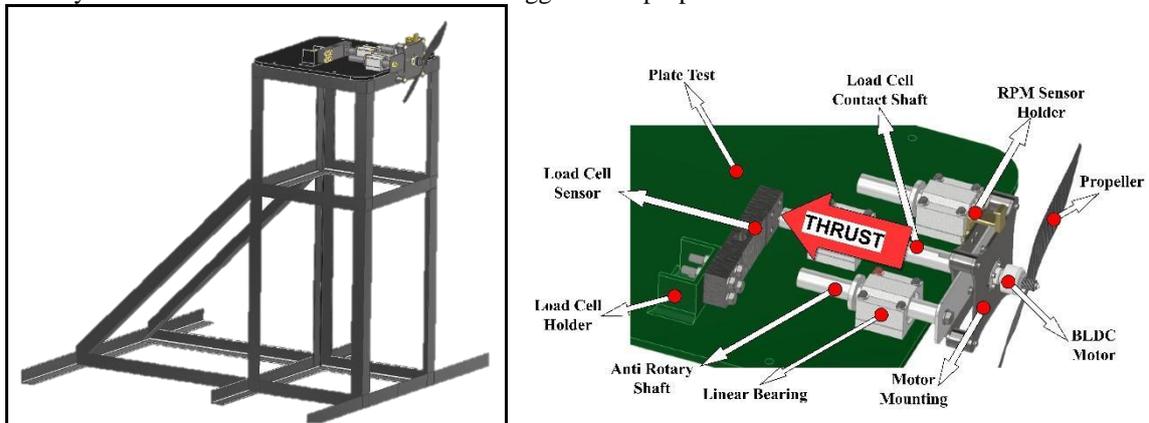


Gambar 4. Diagram alur sistem

Setelah mikrokontroler menerima data tersebut maka selanjutnya akan ditampilkan menjadi grafik yang nantinya akan dihubungkan pada GUI dan tampil grafik perubahan tegangan, arus, putaran propeller dalam RPM, dan thrust secara real time. Untuk Program GUI data logging, digunakan software Visual Studio Basic yang dimana pada software tersebut dapat dirancang sebuah tampilan atau interface yang bertujuan untuk melihat seluruh data sensor yang didapat dan juga pada data yang tampil pada interface tersebut dapat di-convert atau disimpan langsung menjadi format Microsoft Excel.

Desain sistem mekanik dari propeller thrust bench test menggunakan besi hollow ukuran 4x4 cm dengan tebal 4mm dan dimensi panjang lebar dan tinggi dari frame penahan adalah 1meter. Serta plate test bench yang dimana memiliki dimensi total 420 x 500 mm dan terdapat komponen linear bearing untuk menahan dari shaft serta loadcell dan holdernya.

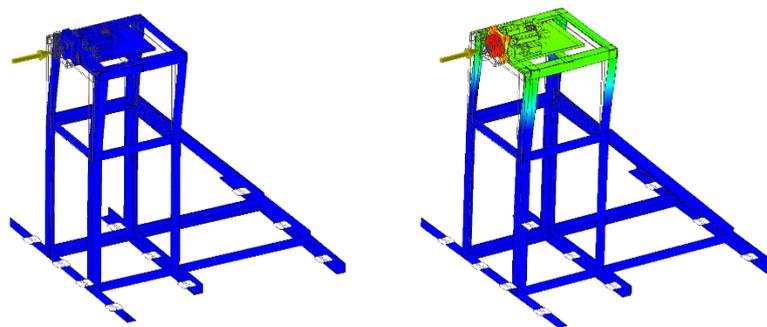
Desain sistem mekanik dapat dilihat pada Gambar 5, penempatan base akan diletakkan pada dasar berupa rangka untuk menumpu Load cell Contact Plate. Contact Plate akan ditempatkan pada bagian atas rangka base dan gaya dorong yang terjadi akan berada pada bagian tersebut dan rangka akan membantu menahan gaya dorong dari propeller tersebut. Gaya dorong terjadi secara horizontal pada salah satu arah. Mounting motor akan digunakan sebagai tempat kedudukan dari motor yang nantinya motor tersebut akan memutar atau menggerakkan propeller.



Gambar 5. Desain sistem mekanik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini adalah sistem mekanik dengan sistem elektrik yang terintegrasi dengan GUI yang sudah dibuat, sebelum melakukan pengerjaan mekanik terlebih dahulu dilakukan simulasi numerik untuk mengetahui kekuatan dari mekanik, sehingga didapatkan hasil mekanik yang mampu melakukan uji *thrust* dengan baik. Hasil simulasi numerik dari desain mekanik dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah.



Gambar 6. Analisa stress dan displacement

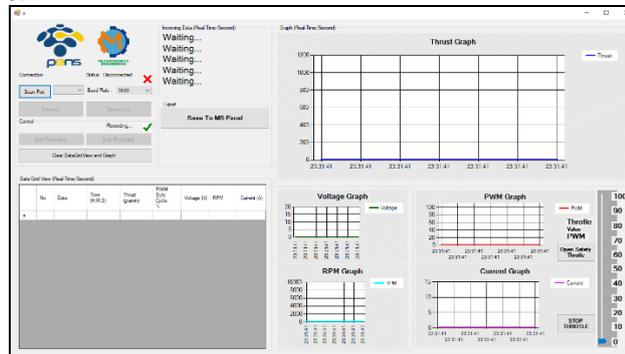
Pada Analisa *stress* alat yang telah dilakukan *assembly* didapatkan *safety factor* sebesar 15,00 dan minimal 11,07. Seperti pada penjelasan sebelumnya, pada analisis ini mendapatkan hasil bahwa yang akan menerima beban dorongan adalah pada bagian *motor mounting*, *contact plate*, dan bagian *frame base* tepat di bawah *contact plate*. Sedangkan pada analisa *displacement* mendapatkan hasil seperti yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu pada bagian *motor mounting*, *contact plate*, dan *frame base* yang berada tepat di bawah *contact plate*. Setelah melakukan simulasi pembuatan sistem mekanik dihasilkan purwarupa sistem mekanik sebagaimana terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil realisasi sistem mekanik

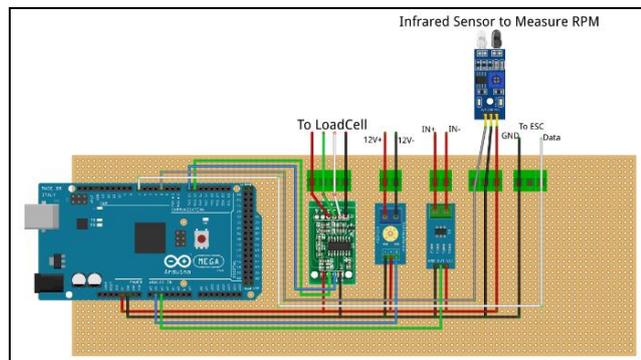
Setelah pembuatan sistem mekanik, dilakukan pengujian untuk melakukan integrasi pengambilan data dan melihat data karakteristik dari motor yang nantinya akan dianalisa untuk ditentukan karakteristik dari motor tersebut. Pada

pengujian ini menggunakan 3 jenis *propeller* dengan ukuran dan bahan yang berbeda. Pada percobaan ini menggunakan BLDC motor dengan tipe TAROT 700KV dengan ESC 40A dan baterai 3 cell 35C. Pada Sistem Pengambilan data terdapat program GUI yang diharapkan dapat memudahkan pengguna mengontrol dan melihat data yang telah diberikan oleh Alat Uji Gaya Dorong Propeller UAV. Desain tampilan sistem pengambilan data ini menggunakan *software* “Visual Studio” yang dimana pada software tersebut disediakan program untuk membuat tampilan atau GUI, hasil tampilan lebih detail dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil tampilan sistem pengambilan data

Wiring diagram yang telah dirancang pada Blank PCB. Setelah proses wiring, sistem akan dicoba menggerakkan motor BLDC dan melihat apakah seluruh data dari sensor telah masuk dan terbaca ke dalam program arduino yang nantinya akan ditampilkan pada GUI. Sumber power ESC disini menggunakan baterai Li-Po dengan spesifikasi 3 cell 35C kapasitas 3000mAh yang dimana memiliki range tegangan 11,1 hingga 12,6 Volt DC dan kabel untuk data PWM ESC terhubung pada pin digital 7 pada arduino yang nantinya pin tersebut akan mengeluarkan sinyal PWM dari konversi parsing data yang diberikan dari slider throttle kontrol pada GUI. Arduino terhubung pada PC atau laptop agar mendapat power 5 Volt dan dapat memberikan data sensor yang nantinya akan ditampilkan pada GUI serta dapat dilakukan pengambilan data pada sistem pengambilan data (data logging) yang ada pada GUI. Hasil wiring komponen elektrik dapat dilihat pada Gambar 9 dibawah.



Gambar 9. Realisasi Wiring Diagram Elektrik Pada Blank PCB

Pengujian, dilakukan dengan prosedur Menyiapkan seluruh alat dan bahan yang akan digunakan pada percobaan. Memasang seluruh komponen dan bahan percobaan dengan baik, aman, dan benar. Menyiapkan GUI atau Interface pada laptop atau komputer. Menghubungkan GUI dan mikrokontroler alat lalu mencoba konektivitas dengan melihat apakah COM PORT mikrokontroler sudah terbaca pada GUI. Melakukan percobaan dan pengambilan data secara bertahap agar mendapatkan data dari percobaan dengan maksimal. Menyimpan data hasil percobaan menggunakan fitur yang tersedia pada GUI yang dapat langsung tersimpan menjadi file format excel.

Pengujian dilakukan dengan tiga fariabel sesuaidengan prosedur yang telah dijelaskan, untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1-3. Pada percobaan 1 mendapatkan data seperti yang tertera pada grafik dan tabel untuk thrust maksimal dari propeller ukuran 10inch dengan pitch 4,5 bahan abs plastik mendapatkan nilai rata-rata 540gram.

Tabel 1. Hasil percobaan 1

No	Thrust (gram)	PWM Duty Cycle %	Voltage (V)	RPM	Current (A)
1	71,532	20	12,029	2092	0,373
2	191,816	40	11,828	3032	1,652
3	293,137	60	11,612	3356	3,422
4	392,410	80	11,669	3921	4,693
5	540,531	100	10,788	4943	7,187

Pada percobaan 2 mendapatkan data seperti yang tertera pada grafik dan tabel untuk thrust maksimal dari propeller ukuran 12inch dengan pitch 4,5 bahan abs plastik mendapatkan nilai rata-rata 732gram.

Tabel 2. Hasil percobaan 2

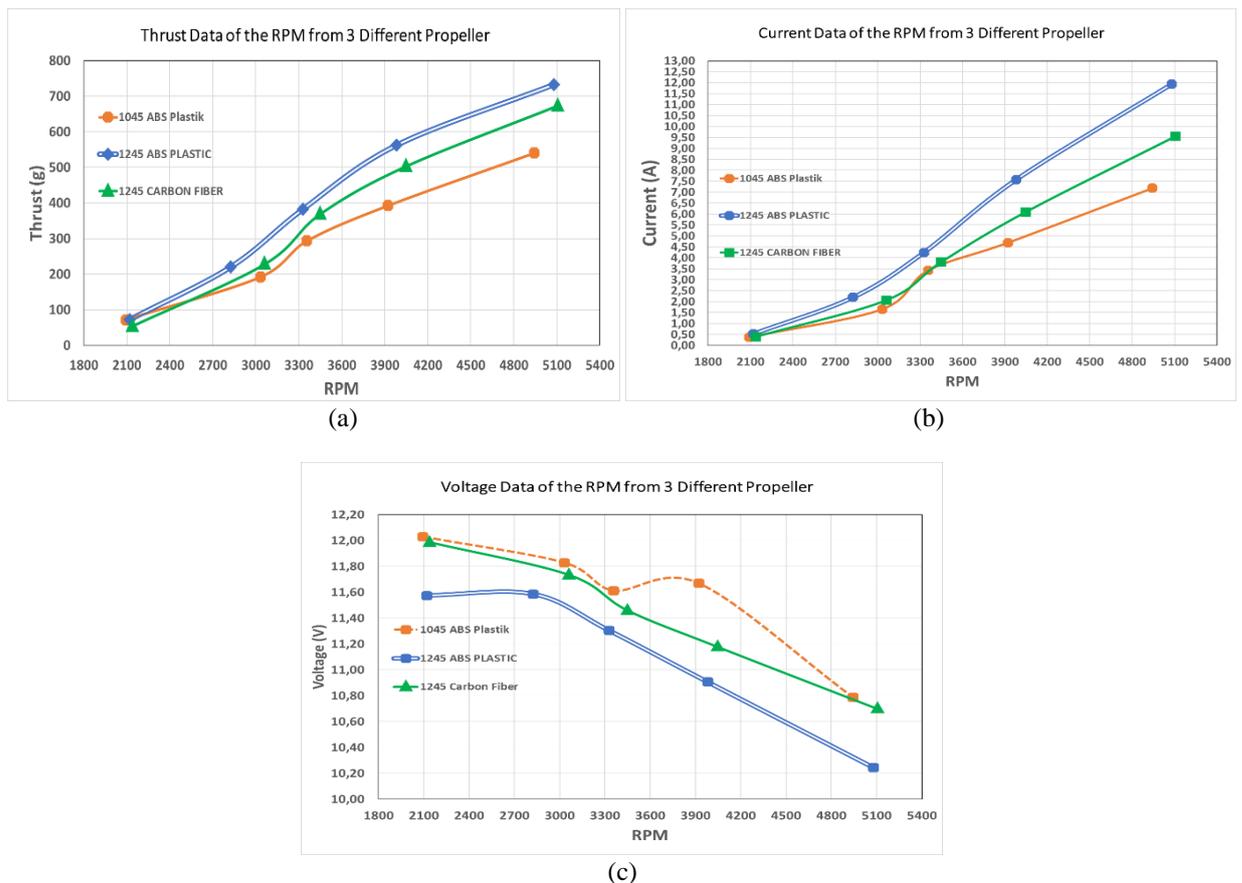
No	Thrust (gram)	PWM Duty Cycle %	Voltage (V)	RPM	Current (A)
1	72,712	20	11,575	2121	0,530
2	220,676	40	11,585	2825	2,195
3	382,291	60	11,304	3327	4,246
4	562,102	80	10,907	3980	7,574
5	732,631	100	10,246	5079	11,927

Pada percobaan 3 mendapatkan data seperti yang tertera pada grafik dan tabel untuk thrust maksimal dari propeller ukuran 12inch dengan pitch 4,5 bahan carbon fiber mendapatkan nilai rata-rata 672gram.

Tabel 3. Hasil percobaan 3

No	Thrust (gram)	PWM Duty Cycle %	Voltage (V)	RPM	Current (A)
1	53,654	20	11,985	2138	0,390
2	227,864	40	11,733	3061	2,061
3	368,418	60	11,459	3448	3,801
4	502,435	80	11,178	4046	6,088
5	672,637	100	10,699	5105	9,547

Pada tabel (1 - 3) dan juga Gambar 10 (a) menunjukkan hasil data percobaan (1)-(3) yang dimana mendapatkan data thrust maksimal 732gram pada RPM 5079 dari propeller berjenis 1245 berbahan ABS plastik. Pada Gambar 10 (b) menunjukkan data tren cenderung naik dimana setiap kenaikan RPM motor maka thrust propeller juga berbanding lurus.



Gambar 10. (a) Data Gaya Dorong Baling-Baling RPM Motor dari 3 Baling-Baling Berbeda, (b) Data Tegangan Pemakaian RPM Motor dari 3 Baling-Baling Berbeda, (c) Data Arus Pemakaian RPM Motor dari 3 Baling-Baling Berbeda

Pada Gambar 10 (b), data menunjukkan hubungan antara Tegangan dan RPM. Hal ini menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan RPM motor, penggunaan tegangan menurun, mengikuti tren sebaliknya. Gambar 9 (c) menampilkan data arus listrik yang bekerja dengan RPM motor, yang menggambarkan bahwa semakin besar RPM motor maka penggunaan arus listrik pun semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan arus listrik berbanding lurus dengan RPM motor.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian alat uji gaya dorong propeller yang telah dilakukan mendapatkan data yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa untuk membuat alat uji gaya dorong propeller dapat menggunakan sensor load cell untuk mendeteksi gaya dorong propeller, sensor tegangan dan arus listrik DC untuk mendeteksi arus dan tegangan listrik DC yang bekerja pada sistem propulsi UAV elektrik, dan sensor infrared untuk mendeteksi kecepatan RPM dari motor dan propeller. Sehingga untuk melakukan karakterisasi motor dan mendapatkan data yang teruji dapat menggunakan beberapa metode antara lain yaitu melakukan pengujian secara langsung pada alat uji gaya dorong propeller, melakukan perhitungan dengan menggunakan parameter yang sesuai, dan menggunakan metode simulasi software CFD ANSYS FLUENT untuk mendapatkan karakteristik pengujian jika menggunakan software simulasi. Oleh karena itu, Semakin besar nilai RPM maka Thrust atau gaya dorong yang dihasilkan sistem propulsi UAV elektrik akan semakin besar juga atau berbanding lurus. Semakin besar nilai RPM maka voltage atau nilai tegangan yang bekerja pada sistem propulsi UAV elektrik akan berbanding terbalik. Semakin besar nilai RPM maka current atau nilai arus yang bekerja pada sistem propulsi UAV elektrik akan semakin besar pula atau akan berbanding lurus. Dari percobaan 3 jenis propeller dapat disimpulkan jika jenis propeller 1245 dengan bahan ABS Plastik memiliki gaya dorong paling besar.

Daftar Pustaka

- [1] Qin, Hailong, et al. "Design and implementation of an unmanned aerial vehicle for autonomous firefighting missions." Control and Automation (ICCA), 2016 12th IEEE International Conference on. IEEE, 2016.
- [2] Remington, Raquel. "Multi-Purpose Aerial Drone for Bridge Inspection and Fire Extinguishing." Unpublished Thesis). Florida International University. Retrieved April 10 (2014): 2016.
- [3] Almurib, Haider AF, Premeela T. Nathan, and T. Nandha Kumar. "Control and path planning of quadrotor aerial vehicles for search and rescue." SICE Annual Conference (SICE), 2011 Proceedings of. IEEE, 2011
- [4] Oeckel, K., Angermann, S., Frahm, A., Kümritz, S., Kerscher, M., & Heilmann, G. "Validation of optoacoustic propeller noise examinations". INTER-NOISE 2019 MADRID - 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, 1–12. 2019.
- [5] F. Dinansyar, 2016, "Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC Menggunakan Kontroler Fuzzy Berbasis Linear Quadratic Regulator", Teknik Elektro: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Juni. 2022.
- [6] Alfianor, L. E. Riyanti, and A. Kurniawan, 2022, "Pengukuran Thrust dan RPM Propeller Motor Brushless Pada Unmanned Aerial Vehicle (UAV)", Langit Biru: Jurnal Ilmiah Aviasi, vol. 15, pp. 11_17, Mei. 2022.
- [7] Prior, S. D. "Optimizing Small Multi-Rotor Unmanned Aircraft". In Taylor & Francis Group. CRC Press/Balkema. <https://doi.org/10.1201/9780429428364>. 2019.
- [8] Syam R, Mappaita A, et al. "Simple Design of VTOL Hexacopter for Simple Navigation." International Journal on Smart Material and Mechatronics. IJSMM, 2017.
- [9] E. R. Hurmuzi, D. A. Prasetya, Suprayogi, 2017, "Estimasi Jarak dan Kecepatan Pada Alat Uji Statis Roket Latih Experiment dengan Pendekatan Gaya Dorong Optimal", Juni. 2022.
- [10] G. Avanzini, A. D. Nisio, A. M. L. Lanzolla dan D. Stigliano, "A testbench for battery–motor–propeller assemblies designed for multicopter vehicles," 2020 IEEE 7th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), Pisa, Italy, 2020, pp. 600–605.
- [11] Aerodynamic for Student, "Glauert Blade Element Theory", Aerospace, Mechanical, and Mechatronics Engineering, University of Sydney, Feb 2023.
- [12] R. Randis., Dharmawan, I. B., Syahrudin, S., "Rancang Bangun Alat Uji Gaya Dorong (Trust Force) Motor Brushless", Jurnal Teknologi Terpadu, vol. 5, No. 2, Oktober, 2017.
- [13] R. F. Ramadhan, 2012, "Uji Karakterisasi Gaya Dorong Propeller Untuk Pesawat Model", Skripsi Universitas Brawijaya: Teknik Elektro, Juni. 2022.
- [14] N. Hall, 2021, "What is Thrust?", Nasa Official "https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/thrust1.html", Juni. 2022.