

PERANCANGAN INSTRUMENTASI ALAT UJI *TEST BENCH ELECTRONIC DUCTED FAN (EDF)* MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560

Tabah Priangkoso*, Bahriansyah Fahrureza, Muhammad Abdul Wahid

Universitas Wahid Hasyim

Jl. Mayaran-Gunungpati, Nongkosawit, Semarang 50236.

*Email: tabah@unwahas.ac.id

Abstrak

Electric ducted fan (EDF) menjadi alternatif bagi mesin pendorong wahana terbang yang menggunakan baterai sebagai sumber energi. Terdapat dua faktor yang harus diperhatikan dalam penerapan EDF ke wahana terbang, yaitu gaya dorong (*thrust*) dan gaya guling (*rolling*) yang disebabkan oleh putaran sudu (*blade*) EDF. Selain itu, temperatur motor EDF operasi juga memerlukan perhatian karena mempengaruhi kinerja EDF. Selain menurunkan efisiensi, temperatur tinggi juga berpotensi merusak motor. Tujuan perancangan ini adalah menerapkan instrumen pengukuran gaya dorong, gaya guling, dan temperatur motor EDF pada alat uji (*test bench*) EDF. Sensor pengukuran gaya dorong dan guling menggunakan load cell masing-masing berkapasitas 5 kg dan 1 kg, sedangkan pengukuran suhu menggunakan sensor MLX90614. Untuk memastikan instrumen pengukuran menunjukkan hasil pengukuran tepat, maka dilakukan kalibrasi. Hasil kalibrasi sensor load cell 1 kg dan 5 kg menunjukkan error sebesar 0,237% dan 0,050%, sedangkan hasil kalibrasi sensor MLX90614 didapatkan rata-rata error yaitu 0,92%. Dengan demikian instrumen ini dapat digunakan dalam pengujian kinerja EDF.

Kata kunci: EDF, gaya dorong, gaya guling, temperatur.

PENDAHULUAN

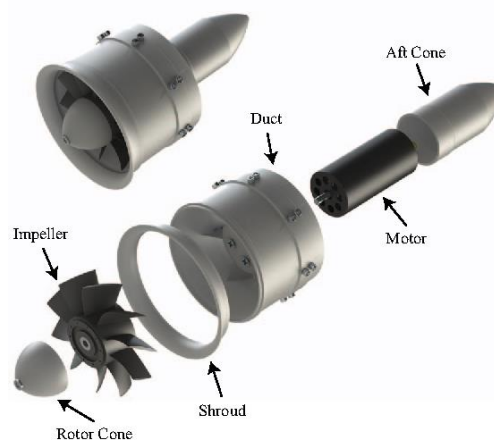
Electric ducted fan (EDF) semakin populer diterapkan pada wahana terbang sebagai propulsi dengan ukuran yang bervariasi dari kecil sampai besar. Prisacariu, et al. (2013), menyatakan EDF sebagai propulsi yang layak di gunakan untuk pesawat *flying wing* dengan kemampuan manuver standar dan ketinggian terbang rendah

Konstruksi EDF terdiri dari motor listrik dan kipas (*impeller*) berada di dalam *duct* (Brusell, Andrikopoulos, & Nikolakopoulos, 2017) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. *Duct* meningkatkan efisiensi gaya dorong (*thrust*) dan mengurangi tekanan yang terjadi pada ujung *impeller* (Andrikopoulos & Nikolakopoulos, 2019).

Dalam perkembangan wahana terbang dalam bentuk pesawat model dan drone, EDF dapat ditemui di pasar dalam berbagai model dan ukuran dengan klaim gaya dorong tertentu. Spesifikasi yang diberikan pabrik pembuat EDF sangat terbatas hanya berupa dimensi dan gaya dorong EDF saja.

Penerapan EDF dalam wahana terbang selain memberikan gaya dorong juga memberikan gaya guling (*rolling*) sebagai reaksi dari putaran *impeller* EDF yang menyebabkan

wahana terbang terpuntir. Selain itu, temperatur motor EDF ikut mempengaruhi kinerja motor EDF yang berujung mempengaruhi kinerja EDF itu sendiri.



Gambar 1 Desain EDF terpasang dan terpisah komponennya.

Sebelum menerapkan EDF pada wahana terbang, penting untuk diketahui lebih dahulu kinerja EDF. Dengan mengetahui kinerja EDF dapat diterapkan susunan EDF dan alat kontrol

penerbangan yang sesuai untuk wahana terbang. Untuk mengetahui kinerja EDF diperlukan suatu alat uji guna mengukur gaya dorong, gaya guling, dan temperatur motor EDF.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang instrumentasi pengukuran gaya dorong, gaya guling, dan temperatur motor EDF pada alat uji (*test bench*) EDF.

METODE PENELITIAN

Proses perancangan diawali dengan penetapan spesifikasi instrumen pengukuran pada *test bench* EDF, yaitu:

1. Menggunakan load cell dilengkapi modul HX711 sebagai sensor untuk mengukur gaya dorong dengan maksimal yang dapat diukur 5 kg;
2. Menggunakan load cell dilengkapi modul HX711 sebagai sensor untuk mengukur gaya rolling dengan maksimal yang dapat diukur 1 kg;
3. Menggunakan sensor temperatur MLX90614 GY-906 dengan maksimal yang dapat diukur 100°C;
4. Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk mengolah data input dari sensor menjadi data output, dilengkapi LCD 16x2 Keypad Shield;
5. Menggunakan PC/Laptop untuk menampilkan data pengukuran;
6. *Test bench* dapat digunakan untuk menguji EDF diameter 70 s.d. 90 mm;

Langkah selanjutnya adalah merangkai perangkat keras sesuai pada Gambar 2.

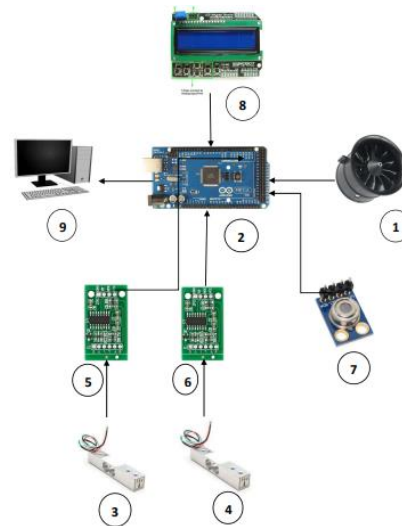
Perangkat keras tidak dapat berkeja tanpa perangkat lunak sebagai pengolah data input sensor menjadi output data yang berguna. Perangkat lunak berfungsi untuk mengendalikan keseluruhan sistem dari perangkat keras tersebut. Perangkat lunak ini berisikan program yang nantinya disimpan pada mikrokontroler Mikrokontroler Arduino Mega 2560. Penulisan program menggunakan perangkat lunak Arduino IDE versi 1.8.57.

Penulisan program dilakukan berdasarkan diagram alir pada Gambar 3.

Untuk memastikan penulisan program sudah benar dilakukan uji program untuk melihat apakah terdapat kesalahan (*error*) pada pemrograman. Jika terjadi kesalahan, maka dilakukan perbaikan penulisan program.

Langkah selanjutnya adalah melakukan kalibrasi instrumen pengukuran. Kalibrasi pengukuran gaya dorong dan gaya guling

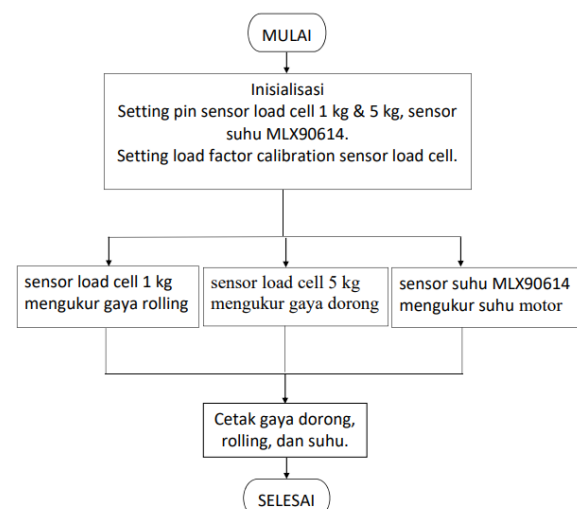
menggunakan neraca dengan ketelitian 1 gram, sedangkan kalibrasi pengukuran temperatur menggunakan termometer infra merah. Kalibrasi dilakukan untuk memastikan hasil pengukuran dapat diterima karena sesuai dengan kenyataan.



Gambar 2 Rangkaian perangkat keras

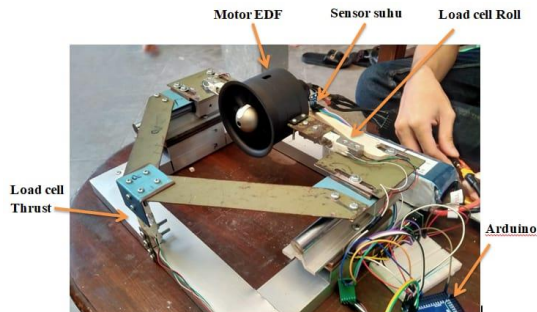
Keterangan:

1. Motor EDF
2. Mikrokontroler Arduino Mega 2560
3. Load cell 5 kg
4. Load cell 1 kg
5. Modul HX711
6. Modul HX711
7. Sensor temperatur MLX90614 GY-906
8. LCD 16x2 Keypad Shield
9. PC/Laptop



Gambar 3 Diagram alir program mikrokontroler

Setelah dilakukan kalibrasi, langkah selanjutnya adalah menerapkan instrumen pengukuran ke alat uji EDF sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4 Alat uji (*test bench*) EDF

Selanjutnya dilakukan uji coba untuk mengukur gaya dorong, gaya guling, dan temperatur motor EDF dengan diameter 80 mm untuk mengetahui kinerja instrumen pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Program mikrokontroler

Hasil *compile* menggunakan perangkat lunak Arduino IDE menunjukkan program mikrokontroler normal dan tidak terdapat kesalahan sebagaimana ditunjukkan LCD 16x2 Keypad Shield pada Gambar 4. LCD menunjukkan angka 0 (nol) pada pengukuran gaya dorong (t) dan gaya guling (R) karena *load cell* belum dibebani, sedangkan temperatur (T) menunjukkan angka 30.1°C yang merupakan temperatur udara ambien.



Gambar 5 Tampilan LCD 16x2 Keypad Shield

Kalibrasi

Proses kalibrasi dilakukan untuk memastikan dan mengatur ulang tingkat akurasi dari alat uji gaya dorong motor EDF dengan mikrokontroler Arduino dengan cara

membandingkan hasil pengukuran dengan alat ukur lain yang terstandar sehingga pengukuran pada saat pengujian dapat menghasilkan data yang akurat dan konsisten.

Hasil kalibrasi pengukuran gaya dorong disajikan pada Tabel 1 dan gaya guling disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1 Hasil kalibrasi pengukuran sensor gaya dorong maksimal 5 kg

Pembebanan sensor (g)	Pembacaan sensor (g)	Kesalahan (%)
0	0	0,000
500	500	0,000
1000	1000	0,000
1500	1499	0,067
2000	2002	0,100
2500	2499	0,040
3000	3003	0,100
3500	3501	0,029
4000	3999	0,025
4500	4496	0,089
Rata-rata kesalahan (%)		0,050

Tabel 2 Hasil kalibrasi pengukuran sensor gaya guling maksimal 1 kg

Pembebanan sensor (g)	Pembacaan sensor (g)	Kesalahan (%)
0	0	0,000
250	249	0,400
500	504	0,800
750	751	0,133
1000	1003	0,300
Rata-rata kesalahan (%)		0,327

Kalibrasi dilakukan dengan membebani sensor *load cell* 5 kg secara bertahap dari 500 gram sampai 4500 gram dengan langkah 500 gram. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa kesalahan rata-rata *load cell* dalam menerima beban adalah 0,050% dengan kesalahan terbesar pada pengukuran 2000 gram dan 3000 gram masing-masing sebesar 0,100%. Angka ini sangat kecil sehingga hasil pengukuran gaya dorong yang ditunjukkan oleh instrumen pengukuran Arduino dapat diterima.

Kalibrasi pengukuran gaya guling dilakukan dengan membebani sensor *load cell* 1 kg secara bertahap dengan langkah 250 gram. Hasil kalibrasi menunjukkan kesalahan rata-rata pengukuran sebesar 0,327% dengan kesalahan

terbesar pada pengukuran 500 gram sebesar 0,800% sehingga masih dapat diterima.

Kalibrasi pengukuran temperatur dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan termometer infra merah dengan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil kalibrasi pengukuran sensor temperatur maksimal 100°C

Termometer (°C)	Pembacaan sensor (°C)	Kesalahan (%)
90,1	91,35	1,39
101,6	102,57	0,95
105,4	104,97	0,41
Rata-rata kesalahan (%)		0,92

Dengan kesalahan 0,92%, kesalahan pengukuran temperatur instrumen pengukuran temperatur masih dapat diterima.

Uji instrumen test bench

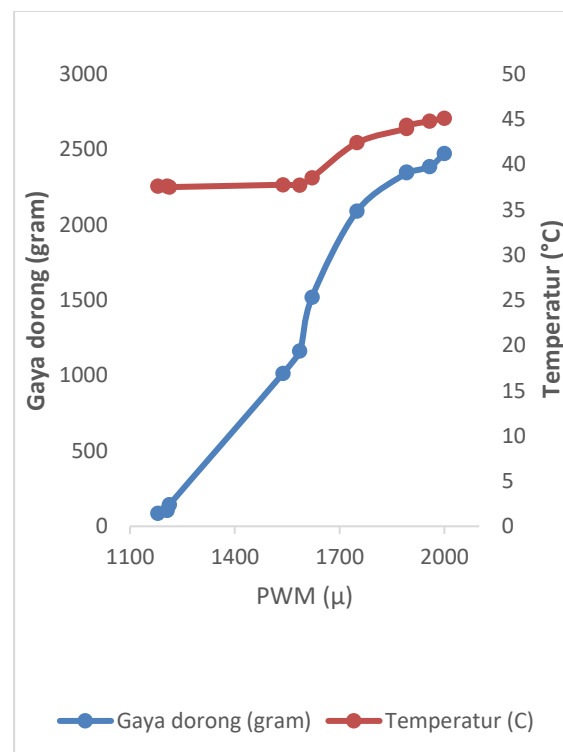
Pengujian dilakukan untuk melihat perilaku instrumen ketika digunakan untuk menguji performa gaya dorong, gaya guling, dan temperatur motor EDF. Pengujian dilakukan dengan merangkai EDF pada test bench sesuai Gambar 3.

Gaya dorong, gaya guling, dan temperatur motor EDF dipengaruhi oleh kecepatan putar motor EDF yang memutar impeller EDF. Semakin cepat putaran impeller, semakin besar gaya dorong yang dihasilkan. Konsekuensinya, gaya guling sebagai reaksi putaran impeller juga semakin besar, demikian juga temperatur motor akan semakin meningkat.

Tabel 4 Hasil pengujian instrumen pengukuran

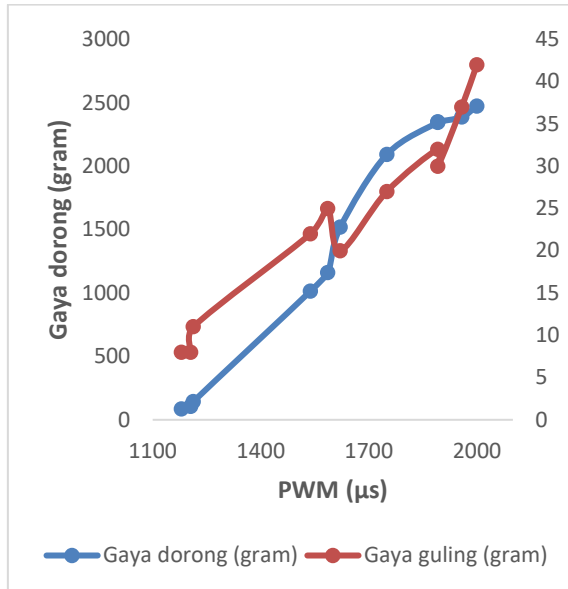
PWM (μs)	Temperatur (°C)	Gaya guling (gram)	Gaya dorong (gram)
1180	37,63	8	86
1206	37,61	8	106
1213	37,51	11	144
1538	37,77	22	1014
1586	37,71	25	1162
1621	38,55	20	1520
1750	42,41	27	2092
1892	43,99	32	2346
1892	44,33	30	2350
1958	44,81	37	2387
2000	45,13	42	2474

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa peningkatan PWM memberikan peningkatan gaya dorong EDF. Hal ini dapat dimaklumi karena peningkatan PWM memberikan tegangan lebih besar pada motor sehingga memutar *impeller* lebih cepat sehingga memberikan gaya dorong yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan eksperimen yang dilakukan oleh Dzulfikar et al. (2022) bahwa peningkatan PWM akan meningkatkan arus ke motor sehingga meningkatkan daya untuk memutar *impeller* lebih cepat yang mengakibatkan meningkatnya gaya dorong EDF.



Gambar 6 Kurva gaya dorong dan temperatur motor EDF

Pengaturan kecepatan putar motor EDF dilakukan dengan mengatur *pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur kecepatan motor dengan mengatur daya masuk motor melalui *electronic speed controller* (ESC). Motor EDF mulai aktif berputar saat diberikan input PWM ke ESC sebesar 1180 μs. PWM ditambahkan hingga maksimum dengan rasio 100% atau sebesar 2000 μs kemudian ditahan. Pencatatan data dilakukan dengan menahan PWM pada suatu posisi selama 5 detik. Hasil pengujian instrumen pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 7 Kurva gaya dorong dan gaya guling

Pemberian daya lebih besar pada motor menimbulkan panas yang lebih besar. Pada Gambar 6 dapat dilihat jika peningkatan gaya dorong mengakibatkan peningkatan temperatur motor. Peningkatan temperatur pada PWM rendah sampai dengan sekitar 1600 μs tidak memberikan kenaikan temperatur motor yang signifikan dan tetap berada di sekitar 37-38°C. Namun, pada PWM yang lebih besar lebih dari 1600 μs terdapat kenaikan temperatur sesuai dengan peningkatan PWM. Hal ini disebabkan pada PWM di bawah 1600 μs , angin dari impeller mampu membuang panas motor sehingga temperaturnya stabil di sekitar 37-38°C. Sedangkan peningkatan PWM di atas 1600 μs , angin dari impeller tidak mencukupi membuang panas sehingga terjadi peningkatan temperatur. Namun demikian, pada PWM 100% (2000 μs) angin dari impeller mampu menahan temperatur motor tetap di sekitar 45°C.

Sesuai dengan Gambar 7, semakin besar gaya dorong yang dihasilkan, gaya rolling yang terjadi juga semakin besar. Gaya guling terjadi karena putaran motor saat memutar *impeller* untuk menghasilkan gaya dorong. Putaran poros motor menarik EDF untuk ikut berputar searah putaran motor. Efek guling ini akan membuat wahana terbang terpuntir sehingga diperlukan sistem kontrol yang memadai untuk mengantisipasi efek guling ini.

PENUTUP

Kesimpulan

Rancangan instrumen *test bench* mempunyai kesalahan (*error*) yang rendah ketika dilakukan kalibrasi. Hasil uji instrumen pengukuran juga menunjukkan hasil dan kecenderungan yang sama dengan hasil pengujian peneliti terdahulu. Dengan demikian instrumen pengukuran yang dirancang ini dapat digunakan untuk mendapatkan data uji gaya dorong, gaya roling, dan temperatur motor EDF.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrikopoulos, G. & Nikolakopoulos, G., (2019), Vortex Actuation via Electric Ducted Fans: An Experimental Study, *Intelligent & Robotic Systems*, pp. 955-973.
- Brusell, A., Andrikopoulos, G. & Nikolakopoulos, G., (2017), Novel Considerations on the Negative Pressure Adhesion of Electric Ducted Fans: An Experimental Study, *25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*.
- Dzulfikar, M., Priangkoso, T., Setiawan, J. D. & Sportyawan, C., (2022), Analisis Propulsi Statik dari Elektrik Ducked Fan dengan Metode Eksperimental, *Jurnal Ilmiah Momentum*, Volume 18, p. 1.
- Prisacariu, V., Boscoianu, M. & Circiu, I., (2013), Flying Wing With Electric Ducted Fan (EDF) Propulsion.