

ANALISIS TEMPERATUR BLDC MOTOR ROTOMAX 150 CC DENGAN PARAMETER POWER, RPM, DAN FORCE

¹Aria Bima, ²Erwan Eko Prasetyo, ³M. Faiz Alfatih

^{1,2,3}Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

Abstrak

Penggunaan motor BLDC pada UAV pada hari ini semakin banyak, hal ini dikarenakan nilai efisiensi yang relatif baik jika dibandingkan dengan jenis motor lain. Adapun kelebihan dari motor BLDC yaitu mudah dalam melakukan perawatan, suara yang relatif tidak terlalu bising serta ramah lingkungan karena tidak mengeluarkan residu. Namun seiring lama waktu BLDC beroperasi maka akan meningkatkan temperatur pada motor BLDC, sehingga perlu analisis temperatur untuk memastikan BLDC masih batas aman penggunaan. Dengan adanya analisis tersebut diharapkan dapat meningkatkan umur dari BLDC serta menghindari penggunaan BLDC yang overload. Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian untuk mengamati temperatur BLDC terhadap variasi power, RPM, dan force yang dihasilkan. Adapun penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimen dengan menyusun alat pengukur sedemikian rupa agar mengetahui performa dari BLDC. Untuk keperluan validasi maka dalam pengambilan data dilakukan 2 kali pengulangan, sehingga untuk mendapatkan kesimpulan dapat dilakukan dengan mencari rata-rata. Dari hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi nilai power, RPM, dan force maka akan meningkatkan temperature dari BLDC. Karakteristik dari peningkatan dari setiap masing-masing parameter yaitu linier. Dari hasil pengujian untuk temperature terendah dicapai pada 36.65 °C pada kondisi power 14.75 W, RPM 500 dan force 0.3 kgf. Sedangkan paling tinggi mencapai 41.75 °C pada kondisi power 214.93 W, RPM 3150 dan force 10.27 kgf.

Kata Kunci: BLDC, temperatur, power, RPM, force.

Abstract

The use of BLDC motors in UAVs today is increasing, this is because the efficiency value is relatively good when compared to other types of motors. The advantages of the BLDC motor are that it is easy to maintain, the sound is relatively not too noisy and is environmentally friendly because it does not emit residue. However, over time the BLDC operates, the temperature of the BLDC motor will increase, so a temperature analysis is needed to ensure that the BLDC is still within the safe limits for use. With this analysis, it is hoped that it will increase the lifespan of the BLDC and avoid the use of an overloaded BLDC. In this study, several tests were carried out to observe the BLDC temperature for variations in power, RPM, and the resulting force. This research was conducted experimentally by arranging measuring devices in such a way as to determine the performance of the BLDC. For validation purposes, data collection is carried out 2 times, so that to get a conclusion, it can be done by looking for the average. The results of the study show that the higher the value of power, RPM, and force, the temperature of the BLDC will increase. Characteristics of the improvement of each of each parameter is linear. From the test results, the lowest temperature was reached at 36.65 °C at a power condition of 14.75 W, RPM 500 and force 0.3 kgf. While the highest reached 41.75 °C at power conditions of 214.93 W, RPM 3150 and force 10.27 kgf.

Keywords: BLDC, temperature, power, RPM, force.

Pendahuluan

Teknologi dikembangkan utamanya untuk membantu kerja manusia agar menjadi lebih mudah dan dapat dilakukan dengan cepat. Perkembangan teknologi banyak diterapkan diseluruh kehidupan manusia, salah satunya yang berkembang pesat adalah motor penggerak. Pada dasarnya motor digunakan untuk menggerakkan sesuatu dengan efisien dan mudah, sehingga dapat memperingan kerja manusia. Berdasarkan jenisnya maka motor dibagi menjadi dua yaitu motor bahan bakar dan motor listrik. Motor bahan bakar dapat bergerak ketika terdapat suatu tambahan bahan bakar, percikan api dan udara. Kemudian motor listrik merupakan motor dengan sumber listrik untuk menggerakkan medan magnet didalam dinamo.

¹Email Address: 180102019@students.sttkd.ac.id

Received 5 Agustus 2022, Available Online 30 Desember 2022

 <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i2.629>

Motor listrik pada saat ini semakin berkembang pesat, hal ini dikarenakan motor listrik dinilai lebih ramah lingkungan dan membutuhkan perawatan yang lebih mudah. Kemudian motor listrik juga tidak membutuhkan bahan bakar fosil yang keberadaannya akan semakin habis. Salah satu motor listrik yang sering dipakai dalam kehidupan sehari-hari yaitu motor BLDC (brush less direct current). Motor ini sudah banyak digunakan dalam kendaraan listrik, industri, dan peralatan sehari-hari (Garniwa *et al.*, 2019). Salah satu penerapannya digunakan pada UAV, hal ini dikarenakan memiliki performa yang baik. Menurut (Arinando dan Rohman 2020) BLDC mempunyai efisiensi yang relatif tinggi, dimensi yang relatif kecil, dan perawatan yang mudah. Dengan demikian maka banyak UAV yang menggunakan motor BLDC sebagai mesin penggerak utama. Kemudian masalah utama dari BLDC yaitu ketika terjadi overheating, dimana akan menyebabkan efisiensi dari kinerja BLDC akan menjadi berkurang.

Dengan demikian maka perlu adanya analisis lebih lanjut mengenai pemantauan temperatur pada BLDC sehingga dapat diketahui kondisi yang efektif untuk penggunaan BLDC yang digunakan, maksud dari kondisi yang efektif yaitu BLDC memiliki performa temperature yang baik ketika diberikan beban. Penelitian yang dilakukan oleh (Hardianto 2019) juga melakukan *monitoring* pada motor BLDC untuk memastikan kondisi motor dalam keadaan baik. Pada penelitian ini dilakukan pengujian beberapa kondisi pada BLDC dengan parameter power, RPM dan gaya. Kemudian dilakukan pengamatan pada temperatur BLDC yang sedang beroperasi, sehingga dapat diketahui kondisi yang ideal untuk BLDC yang digunakan.

Metodologi Penelitian

UAV

Unmanned aerial vehicle adalah suatu pesawat tanpa awak yang dikendalikan secara jarak jauh untuk tujuan tertentu. Pada awalnya UAV digunakan untuk kepentingan militer namun seiring berkembangnya zaman, penggunaan UAV semakin banyak penerapannya (Dermawan *et al.*, 2018).

UAV fix wing

UAV fix wing merupakan jenis pesawat tanpa awak yang memiliki sayap seperti pesawat terbang pada umumnya. Adapun UAV jenis ini memiliki endurance terbang yang lebih lama daripada jenis UAV lain. Berdasarkan pernyataan oleh Irmawan dan Mulyono (2018) tipe *fixed wing* memiliki efisiensi karena memiliki kemampuan untuk *gliding*. Hal ini dikarenakan adanya wing yang dapat memberikan gaya angkat selain dari motor yang digunakan.

UAV quadcopter

UAV jenis ini memiliki 4 lengan yang masing-masing lengannya terdapat rotor sebagai penghasil gaya angkat. Menurut (Dermawan *et al.* 2018) UAV tipe quadcopter memiliki 4 buah rotor sebagai penghasil gaya angkat. Kemudian untuk bergerak maka UAV ini memanipulasi arah sudut dari propeller, sehingga dapat memiliki gerakan yang bebas.

UAV tilt-rotor

UAV ini memiliki kemampuan untuk mengubah arah dari rotor, sehingga tidak perlu menggerakkan komponen lain untuk mengubah arah gaya dari rotor. UAV *tilt rotor* memiliki kemampuan untuk mengubah gerakan rotor sampai dengan 90 derajat tanpa mengubah komponen lain (Irmawan, 2017). UAV jenis ini memiliki konfigurasi yang rumit dan harus memperhatikan letak pusat tumpuan agar ketika sedang terbang dapat bergerak secara stabil.

UAV tilt-wing

Kemudian untuk UAV jenis ini memiliki kemampuan untuk mengubah arah dari sayap, biasanya penggunaan konfigurasi ini dikombinasikan dengan UAV tipe fix wing, dengan sayap yang bisa

bergerak maka memungkinkan UAV untuk melakukan vertical take-off landing. Menurut (Irmawan 2017) kemampuan dari UAV *tilt wing* sangat adaptif sehingga diperlukan kendali yang adaptif juga. Untuk konfigurasi UAV ini harus memiliki konstruksi yang baik, hal ini dikarenakan harus menggerakkan sayap.

Motor Listrik

Motor listrik adalah motor yang sumber tenaganya berasal dari listrik AC ataupun DC. Pada saat ini semakin banyak penggunaan motor listrik, hal ini dikarenakan bahan bakar yang suatu saat akan habis. Dengan demikian maka harus mulai ada pengembangan agar tidak selalu bergantung pada bahan bakar fosil. Menurut (Suendri et al. 2018) eksploitasi pada sumber bahan bakar fosil, suatu saat akan habis. Pada saat ini sudah mulai banyak penggunaan motor listrik sebagai ganti dari motor bahan bakar fosil, namun belum terlalu populer di kalangan masyarakat, karena memerlukan sumber daya listrik yang relatif besar.

Kemudian pada saat ini penggunaan motor listrik kebanyakan digunakan pada UAV. Hal ini dikarenakan bentuk motor listrik yang tidak terlalu besar dan memiliki performa yang baik. Kemampuan terbang UAV yang terbatas harus dikompensasi dengan komponen-komponen yang ringan namun memiliki fungsi yang maksimal, hal ini juga menjadi alasan pemilihan motor listrik untuk pembuatan UAV. Selain itu penggunaan motor listrik juga lebih ramah terhadap lingkungan, karena tidak menimbulkan emisi.

Brush Less Direct Current

BLDC merupakan salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan pada kendaraan elektrik. Salah satu penerapannya yaitu pada UAV, pada saat ini penggunaan BLDC paling banyak di bidang UAV. Hal ini dikarenakan kemudahan dalam pemasangan dan pengaturan pada UAV yang akan dibuat. Kemudian prinsip kerja dari BLDC yaitu bersumber dari daya baterai, dimana sumber daya baterai yang memiliki arus DC akan diubah menjadi arus AC. Menurut Prasetyo dan Arum (2021) perubahan arus DC menjadi AC pada BLDC diproses oleh inverter 3 fasa, dimana terdapat elektromagnet dibagian stator dan magnet permanen pada bagian rotor.

Prinsip kerja dari BLDC yaitu memanfaatkan perbedaan kutub magnet, dimana apabila 2 buah magnet yang memiliki kutub yang berbeda akan saling Tarik menarik, sedangkan apabila 2 magnet yang memiliki kutub yang sama akan menyebabkan tolakan. Akibat tolakan antara 2 magnet yang memiliki kutub yang sama, maka akan terjadi pergerakan secara berkelanjutan. Menurut (Irawan dan Perdana 2020) pada BLDC terdapat sebuah kontroler yang mengatur arus ke bagian stator (elektromagnet) yang akan memutar motor akibat adanya perbedaan jenis kutub magnet.

Performa BLDC

Performa dari BLDC erat kaitannya hasil dari gaya yang diberikan untuk mengangkat beban tertentu. Dimana semakin tinggi hasil dari gaya yang dihasilkan akan membuat performa dari BLDC semakin baik, namun memiliki konsekuensi boros baterai. Sehingga perlu diperhatikan dalam gaya yang dibutuhkan agar cukup menghasilkan gaya tertentu. Menurut (Prasetyo dan Arum 2021) perhitungan untuk gaya yang dihasilkan dari BLDC dapat diukur menggunakan *thrust meter*, dimana gaya dorong dari BLDC disambungkan dengan timbangan untuk mengetahui perubahan gaya yang dihasilkan. Kemudian hasil dari pembacaan timbangan dikalikan dengan percepatan gravitasi, sehingga akan menghasilkan gaya.

$$F = m \cdot a$$

Dimana:

F = Gaya (N) ; m = Massa (Kg) ; a = Percepatan gravitasi (m/s^2)

kemudian setelah mendapatkan gaya yang dihasilkan maka dapat diketahui daya yang digunakan. Menurut (Azizi *et al.* 2020) perhitungan daya yang dihasilkan dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$P = V \cdot I$$

Dimana:

P = Power (watt); V = Tegangan input (V); I = Arus input (Ampere)

Pembahasan

Hasil Pengujian Power terhadap Temperatur BLDC

Pada percobaan 1 yang tertampil pada Tabel 1. menunjukkan semakin tinggi penggunaan power maka akan meningkatkan temperature BLDC. Temperature tertinggi dicapai pada power tertinggi yaitu 41.10 °C, sedangkan untuk power yang paling rendah temperaturnya 36.30 °C.

Tabel 1. Percobaan 1 pengujian power

Power (W)				T _{BLDC} (°C)			
P1S1	P1S2	P1S3	Rata-rata	P1S1	P1S2	P1S3	Rata-rata
15.94	16.08	17.86	16.63	31.90	38.50	38.50	36.30
22.16	30.24	29.85	27.42	33.30	38.60	38.60	36.83
32.74	49.95	50.54	44.41	35.20	39.70	39.20	38.03
51.66	93.38	92.73	79.26	37.30	38.70	39.60	38.53
78.25	155.34	160.54	131.37	37.60	39.00	40.70	39.10
113.29	232.93	244.25	196.82	38.50	40.90	40.80	40.07
142.65	261.98	260.13	221.58	40.40	41.80	41.10	41.10

Kemudian pada percobaan 2 yang tertampil pada Tabel 2. pada tabel menunjukkan power rata-rata yang lebih rendah dari percobaan 1. Dimana nilai rata-rata power paling rendah 12.87 W, sedangkan paling tinggi 208.27 W. Namun untuk temperature pada percobaan 2 relatif lebih tinggi, untuk rata-rata temperature paling rendah mencapai 37 °C, sedangkan paling tinggi 42.4 °C.

Tabel 2. Percobaan 2 pengujian power

Power (W)				T _{BLDC} (°C)			
P2S1	P2S2	P2S3	Rata-rata	P2S1	P2S2	P2S3	Rata-rata
12.75	13.66	12.19	12.87	32.30	38.20	40.50	37.00
24.15	22.45	24.28	23.63	33.50	38.70	40.80	37.67
40.34	38.64	39.98	39.65	34.40	39.20	41.10	38.23
71.38	71.15	70.09	70.87	36.80	40.80	41.70	39.77
123.97	122.16	111.39	119.17	39.00	41.90	42.70	41.20
191.42	198.00	171.22	186.88	39.80	42.30	43.00	41.70
227.53	202.71	194.58	208.27	41.10	43.00	43.10	42.40

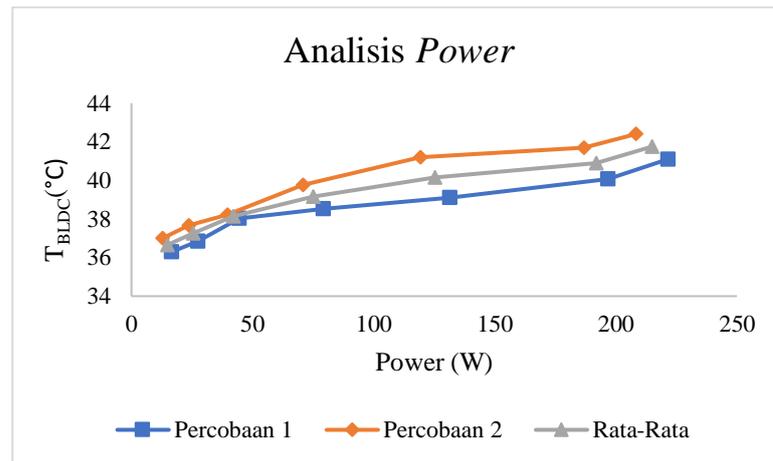
Pada Tabel 3. merupakan hasil rata-rata dari pengujian 1 dan 2, dari tabel terlihat bahwa semakin tinggi *power* yang dikeluarkan maka akan meningkatkan *temperature* BLDC. Untuk *temperature* paling tinggi mencapai 41.75 °C pada *power* 214.93 W.

Tabel 3. Rata-rata pengujian power 1 dan 2

Power (W)	T _{BLDC} (°C)
14.75	36.65
25.52	37.25
42.03	38.13
75.07	39.15

Power (W)	T_{BLDC} (°C)
125.27	40.15
191.85	40.88
214.93	41.75

Kemudian untuk memudahkan analisis maka tabel hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik, pada Gambar 1. merupakan hasil konversi dari data pada Tabel 1, 2 dan 3. Terlihat bahwa untuk percobaan 2 temperaturnya dan *power* paling tinggi jika dibandingkan dengan percobaan 1. Namun perbedaan tersebut dapat diwakilkan oleh hasil rata-rata, dimana semakin tinggi dari *power* yang digunakan akan meningkatkan *temperature* dari BLDC.



Gambar 1. Grafik analisis power

Dari Grafik yang tertampil pada Gambar 1. bahwa *power* dengan *temperature* berbanding lurus, dimana semakin tinggi *power* yang dikeluarkan maka *temperature* dari BLDC akan meningkat.

Hasil Pengujian RPM Terhadap Temperatur BLDC

Pada Tabel 4. Menunjukkan hasil percobaan 1 dengan parameter RPM, terlihat bahwa semakin tinggi RPM maka akan meningkatkan *temperature* dari BLDC. Dari tabel terlihat bahwa untuk RPM tertinggi yaitu 3133, pada BLDC mengalami *temperature* 41.10 °C. Sedangkan pada RPM terendah suhu yang dicapai 36.30 °C.

Tabel 4. Percobaan 1 pengujian RPM

RPM				T_{BLDC} (°C)			Rata-rata
P1S1	P1S2	P1S3	Rata-rata	P1S1	P1S2	P1S3	
500	500	500	500	31.90	38.50	38.50	36.30
1000	1000	1000	1000	33.30	38.60	38.60	36.83
1500	1500	1500	1500	35.20	39.70	39.20	38.03
2000	2000	2000	2000	37.30	38.70	39.60	38.53
2500	2500	2500	2500	37.60	39.00	40.70	39.10
3000	3000	3000	3000	38.50	40.90	40.80	40.07
3200	3100	3100	3133	40.40	41.80	41.10	41.10

Pada Tabel 5. merupakan hasil percobaan 2, untuk *temperature* tertinggi dicapai pada RPM tertinggi juga. Dimana untuk temperaturnya mencapai 42.40 °C. sedangkan untuk *temperature* terendah hanya mencapai 37 °C.

Tabel 5. Percobaan 2 pengujian RPM

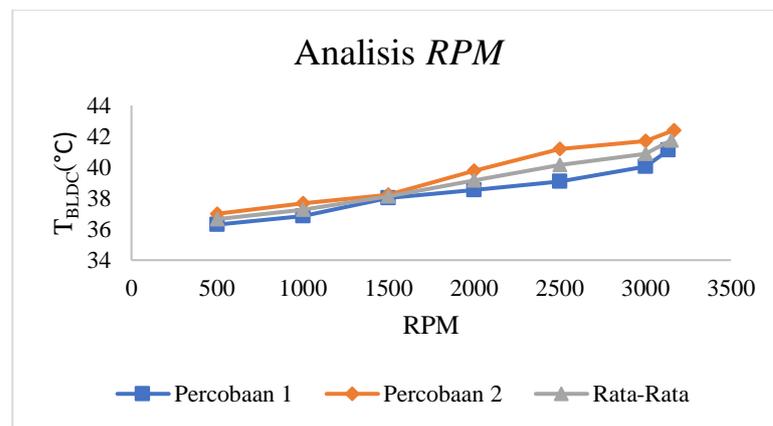
P2S1	RPM			Rata-rata	T _{BLDC} (°C)			Rata-rata
	P2S2	P2S3			P2S1	P2S2	P2S3	
500	500	500	500	500	32.30	38.20	40.50	37.00
1000	1000	1000	1000	1000	33.50	38.70	40.80	37.67
1500	1500	1500	1500	1500	34.40	39.20	41.10	38.23
2000	2000	2000	2000	2000	36.80	40.80	41.70	39.77
2500	2500	2500	2500	2500	39.00	41.90	42.70	41.20
3000	3000	3000	3000	3000	39.80	42.30	43.00	41.70
3200	3200	3100	3167	3167	41.10	43.00	43.10	42.40

Pada Tabel 6 merupakan hasil rata-rata pengujian 1 dan 2, dari hasil rata-rata menunjukkan bahwa *temperature* rata-rata tertinggi mencapai 41.75 °C pada RPM 3150. Sedangkan untuk yang terendah mencapai 36.65 °C pada RPM 500.

Tabel 6. Rata-rata pengujian RPM 1 dan 2

RPM	T _{BLDC} (°C)
500.00	36.65
1000.00	37.25
1500.00	38.13
2000.00	39.15
2500.00	40.15
3000.00	40.88
3150.00	41.75

Untuk mengetahui hubungan antara RPM dengan *temperature* BLDC maka dapat ditampilkan pada Gambar 2. Dari grafik terlihat bahwa kecenderungan semua tren mengalami kenaikan, sehingga semakin tinggi RPM maka akan meningkatkan *temperature* dari BLDC.

**Gambar 2. Grafik analisis RPM**

Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai RPM pada BLDC, akan meningkatkan *temperature* dari BLDC secara linier.

Hasil Pengujian Force Terhadap Temperatur BLDC

Tabel 7. merupakan hasil percobaan 1 dengan parameter *force*, dari hasil pengujian menunjukkan semakin besar *force* yang dikeluarkan maka akan meningkatkan *temperature* dari BLDC. Dari hasil

percobaan terlihat bahwa *force* terbesar dapat dicapai 10.13 kgf dengan nilai *temperature* 41.10 °C. Kemudian untuk *force* terendah mencapai 0.27 kgf dengan *temperature* 36.30 °C.

Tabel 7. Percobaan 1 pengujian *force*

Force (kgf)				T _{BLDC} (°C)			
P1S1	P1S2	P1S3	Rata-rata	P1S1	P1S2	P1S3	Rata-rata
0.20	0.20	0.40	0.27	31.90	38.50	38.50	36.30
0.80	1.00	1.20	1.00	33.30	38.60	38.60	36.83
2.20	2.40	2.20	2.27	35.20	39.70	39.20	38.03
4.00	4.20	4.40	4.20	37.30	38.70	39.60	38.53
6.20	6.40	6.80	6.47	37.60	39.00	40.70	39.10
8.80	9.00	9.40	9.07	38.50	40.90	40.80	40.07
10.40	10.00	10.00	10.13	40.40	41.80	41.10	41.10

Tabel 8. merupakan hasil percobaan 2 dengan parameter *force*, dari tabel terlihat memiliki karakteristik dari percobaan 1. Namun pada percobaan 2 memiliki nilai *temperature* yang lebih tinggi, dimana untuk *force* tertinggi mencapai 10.40 kgf dengan *temperature* dari BLDC 42.40 °C. Sedangkan untuk *temperature* terendah mencapai 37 °C dengan nilai gaya 0.33 kgf.

Tabel 8. Percobaan 2 pengujian *force*

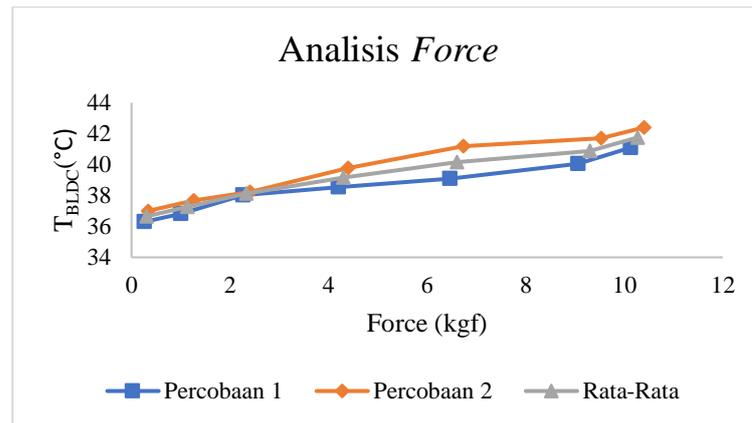
Force (kgf)				T _{BLDC} (°C)			
P2S1	P2S2	P2S3	Rata-rata	P2S1	P2S2	P2S3	Rata-rata
0.40	0.40	0.20	0.33	32.30	38.20	40.50	37.00
1.20	1.20	1.40	1.27	33.50	38.70	40.80	37.67
2.20	2.40	2.60	2.40	34.40	39.20	41.10	38.23
4.40	4.40	4.40	4.40	36.80	40.80	41.70	39.77
7.00	6.80	6.40	6.73	39.00	41.90	42.70	41.20
9.80	9.40	9.40	9.53	39.80	42.30	43.00	41.70
10.80	10.40	10.00	10.40	41.10	43.00	43.10	42.40

Kemudian untuk hasil rata-rata dari pengujian 1 dan 2 dengan parameter *force* tertampil pada Tabel 4.9. Dari tabel terlihat bahwa untuk *force* tertinggi dicapai pada 10.27 kgf dengan *temperature* 41.75 °C. Sedangkan untuk yang terendah hanya menghasilkan 0.3 kgf dengan *temperature* 36.65 °C.

Tabel 9. Rata-rata pengujian *force* 1 dan 2

Force (kgf)	T _{BLDC} (°C)
0.30	36.65
1.13	37.25
2.33	38.13
4.30	39.15
6.60	40.15
9.30	40.88
10.27	41.75

Kemudian untuk memudahkan pengamatan dalam analisis hubungan *force* dengan *temperature* maka hasil dari percobaan 1, percobaan 2, dan rata-rata ditampilkan dalam bentuk grafik. Pada semua tren dari percobaan 1, percobaan 2, dan rata-rata mengalami kenaikan seiring bertambahnya *force* dan *temperature*.



Gambar 3. Grafik analisis force

Dari grafik yang terdapat pada Gambar 3. dapat disimpulkan semakin tinggi *force* yang dihasilkan akan meningkatkan *temperature* dari BLDC. Kenaikan yang terjadi berbanding lurus antara *force* dan *temperature*.

KESIMPULAN

Hubungan antara *power* dengan temperatur yaitu semakin tinggi *power* yang digunakan maka akan meningkatkan temperatur dari BLDC. Untuk *temperature* paling tinggi mencapai 41.75 °C pada *power* 214.93 W. Sedangkan untuk *power* paling rendah dicapai 14.75 W dengan *temperature* 36.65 °C.

Semakin tinggi nilai dari RPM maka akan meningkatkan nilai dari temperatur. Dari hasil pengujian maka dapat diambil rata-rata *temperature* tertinggi mencapai 41.75 °C pada RPM 3150. Sedangkan untuk yang terendah mencapai 36.65 °C pada RPM 500.

Semakin tinggi *force* yang dihasilkan juga akan meningkatkan nilai dari temperatur motor BLDC. Dari hasil pengujian rata-rata *force* tertinggi dicapai pada 10.27 kgf dengan *temperature* 41.75 °C. Sedangkan untuk yang terendah hanya menghasilkan 0.3 kgf dengan *temperature* 36.65 °C.

Daftar Pustaka

- Azizi, M. F., Kalandro, G. D., & Widyono, H. (2020). Rancang Bangun Motor BLDC Axial Flux Menggunakan Dua Kawat Email Pada Lilitan Kumputan Stator. *Jurnal Arus Elektro Indonesia (JAEI)*, 54.
- Dermawan, Q., Sadli, M., & Bintoro, A. (2018). Penggunaan Motor Dc Brushless Sunny Sky X2212-13 KV : 980 II Pada Perancangan Quadcopter. *Jurnal Energi Elektrik*, 7(2), 38–46.
- Garniwa, I., Dipantara, B., Nugroho, M. V., Sudiarto, B., & Noorfatima, N. (2019). Analysis of the Effect of the Motor Temperature to Brushless Direct Current Motor Performance on KARLING Electric Vehicle. *Journal of Physics: Conference Series*, 1376.
- Hardianto, R. (2019). *Monitoring dan Identifikasi Kerusakan Secara Realtime pada Motor BLDC dan Baterai Untuk Aplikasi Kendaraan Skuter Listrik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Irmawan, D., & Perdana, S. P. (2020). Kontrol Motor Brushless DC (BLDC) Berbasis Algoritma AI - PID. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, 2(1), 41–48.
- Irmawan, E. (2017). KENDALI MODE TRANSISI HOVER TO CRUISE PADA PESAWAT TANPA AWAK VTOL FIXED WING. *Jurnal Teknik STTKD*, 4(2), 15–19.
- Irmawan, E., & Mulyono, P. (2018). Kendali Fuzzy-Pid Pada Sikap Longitudinal Dan Sikap Lateral Pesawat Tanpa Awak Fixed Wing. *Jurnal Teknologi Penerbangan*, 2(2), 1–7.
- Prasetyo, E. E., & Arum, W. F. (2021). Analisis Perbandingan Kinerja Brushless Motor Menggunakan Metode Eksperimen. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 10(1), 71–76.
- Suendri, N. I., Hani, S., & Priyambodo, S. (2018). Analisis Performa Brushless Motor Dc Pada Mobil Listrik Molista. *Jurnal Elektrikal*, 5(1), 18–25.
- Wahono, T., & Sutikno, T. (2016). Skema Pengendali Motor BLDC Tanpa Sensor Posisi Rotor dengan Metode Deteksi Back EMF Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 2(2), 69.