

Modifikasi Motor *Brushless* Berbasis Lilitan pada Sistem Propulsi untuk Meningkatkan Performa Terbang *Unmanned Aerial Vehicle*

Ilham Riska Subekti¹, Isnan Nur Rifai^{1,*}

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; Ilham.riska.subekti@mail.ugm.ac.id,

*Korespondensi: isnan.nur@ugm.ac.id

Abstract — Development of unmanned aerial vehicle (UAV) technology has rapidly opened up new opportunities in various applications, including aerial monitoring and mapping. One critical factor influencing UAV performance is the motor's capacity to generate sufficient thrust. This research aims to enhance the thrust of UAVs by modifying the brushless motor. The focus of the modifications lies in the winding aspects, such as changing the wire type, diameter, quantity, and winding in the motor. In this experiment, the Hellenic wire with a 0.2 mm diameter was used, with each winding consisting of 15 wires and 6 windings per pole on the stator. The system operates by passing current through the windings, resulting in a strong magnetic field in the stator. The opposing forces between the magnetic fields in the stator and rotor cause the brushless motor to rotate. The new brushless motor has a speed of 10,146 rpm, and the speed ratings measured is 603 rpm/volt. Testing the new brushless motor with a propeller model 1407 yielded a maximum thrust of 2,507 grams with a power of 942.7 watts and a current of 66.3 amperes. The new brushless motor has lower power and current compared to factory-made brushless motors under the same thrust conditions.

Keywords — Hellenic, magnetic field, brushless motor, propulsion system, unmanned aerial vehicle

Abstrak — Pesatnya perkembangan teknologi *unmanned aerial vehicle* (UAV) telah membuka peluang baru dalam berbagai aplikasi, termasuk pemantauan udara dan pemetaan. Salah satu faktor kunci yang memengaruhi kinerja UAV adalah kemampuan motor yang digunakan untuk menghasilkan *thrust* yang cukup. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan *thrust* pada UAV dengan memodifikasi motor *brushless*. Fokus modifikasi berada pada aspek lilitan, seperti pergantian jenis kawat, diameter, jumlah, dan lilitan pada motor tersebut. Dalam eksperimen ini, jenis kawat yang digunakan adalah *Hellenic* dengan diameter 0,2 mm. Setiap lilitan berjumlah 15 kawat dengan 6 lilitan setiap *pole* pada stator. Sistem ini bekerja dengan mengalirkan arus pada lilitan, sehingga dihasilkan kuat medan magnet pada stator. Gaya tolak-menolak antara medan magnet pada stator dengan medan magnet pada rotor menyebabkan motor *brushless* berputar. Motor *brushless* lilitan baru memiliki kecepatan 10146 rpm dan *rating* kecepatan sebesar 603 rpm/volt. Pengujian motor *brushless* lilitan baru dengan *propeller* model 1407 menghasilkan *thrust* maksimal sebesar 2.507 gram dengan daya 942,7 watt dan arus 66,3 ampere. Motor *brushless* lilitan baru memiliki daya dan arus yang lebih kecil dibandingkan motor *brushless* pabrikan pada kondisi *thrust* sama.

Kata kunci — Hellenic, medan magnet, motor *brushless*, sistem propulsi, *unmanned aerial vehicle*

I. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi UAV (*unmanned aerial vehicle*) atau pesawat tanpa awak telah membuka peluang baru dalam berbagai aplikasi, termasuk pemantauan udara, pemetaan, pengawasan, dan penyelidikan di berbagai bidang [1]. Dalam konteks ini, salah satu faktor kunci yang memengaruhi kinerja UAV adalah kemampuan motor yang digunakan untuk menghasilkan *thrust* yang cukup. Motor *brushless* telah menjadi pilihan yang populer dalam mendorong UAV, karena keandalan, efisiensi, dan kontrol yang tinggi yang mereka tawarkan [2].

Dalam upaya untuk meningkatkan performa terbang UAV, penelitian intensif terus dilakukan untuk mengoptimalkan komponen-komponen utama, termasuk motor *brushless* [3]. Metode *pulse width modulation* (PWM) pada motor *brushless* telah diimplementasikan dengan metode *back electromotive force* menggunakan mikrokontroler [4]. Selain menggunakan PWM, pengendalian motor *brushless* dengan metode sinusoidal mampu meningkatkan kecepatan motor *brushless* secara *linear* dengan frekuensi 20 s.d. 120 Hz dalam keadaan tanpa beban maupun dengan beban [5].

Salah satu aspek yang penting dalam motor *brushless* adalah lilitan *coil* yang memainkan peran kunci dalam menghasilkan gaya dorong yang diperlukan untuk menjaga

UAV tetap terangkat dan bergerak dengan baik. Modifikasi pada lilitan *coil* dapat menjadi solusi untuk meningkatkan *thrust* pada UAV [6].

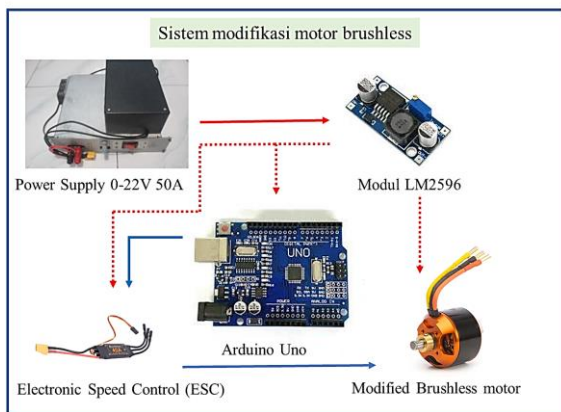
Perancangan lilitan telah diaplikasikan ke motor induksi tiga fase 220/380 V karena banyaknya motor induksi tiga fase yang terbakar kumparan/lilitannya [7], hal tersebut di dikarenakan usia motor yang sudah sangat lama ataupun ada kendala dalam sambungan fase maupun korsleting sabungan kumparan. Lilitan *coil* pada motor *brushless* memiliki beberapa karakteristik yang dapat dimodifikasi, seperti jenis kawat, diameter kawat, jumlah kawat, dan jumlah lilitan [8]. Optimalisasi desain motor BLDC *hoverboard* pernah dilakukan dengan mengubah slot *depth stator*, *tooth width stator*, jumlah *strands in hand*, dan jumlah lilitan dengan peningkatan torsi terbaik pada perubahan desain *slot depth* dan *tooth width* [9]. Dengan memahami dan menerapkan prinsip-prinsip desain yang diterapkan pada motor induksi tiga fase, perancangan dan modifikasi ini dapat menghasilkan perubahan yang signifikan dalam performa motor, termasuk kecepatan putaran, efisiensi, dan daya dorong yang dihasilkan [10]. Oleh karena itu, penelitian terkait modifikasi lilitan *coil* pada motor *brushless* menjadi relevan dan penting dalam upaya untuk meningkatkan kemampuan UAV dalam berbagai aplikasi.

Pada penelitian ini dilakukan perubahan diameter lilitan motor *brushless* yang diharapkan menambah performa dari motor *brushless*. Modifikasi yang dilakukan meliputi penggantian jenis kawat, diameter kawat, jumlah kawat, dan jumlah lilitan. Tahapan yang harus dilakukan sebelum melakukan modifikasi yaitu harus dapat menentukan perhitungan kumparan serta langkah-langkah yang akan dilakukan selanjutnya. Setelah semuanya dilakukan maka akan menghasilkan motor *brushless* dengan lilitan baru, maka akan dilakukan beberapa tahapan pengujian di antaranya yaitu tegangan, arus, daya, kecepatan, *thrust*, dan suhu sehingga dapat diketahui tingkat efisiensi dari motor *brushless* dengan lilitan baru dapat bekerja normal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pentingnya modifikasi lilitan pada *coil* pada motor *brushless* sebagai strategi untuk meningkatkan *thrust* UAV. Melalui eksperimen dan analisis yang cermat, kita dapat lebih memahami dampak modifikasi lilitan pada *coil* terhadap kinerja motor *brushless* dan, akhirnya, kinerja keseluruhan UAV. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga bagi pengembang UAV dan ilmuwan dalam mengoptimalkan teknologi yang mendukung aplikasi UAV yang semakin berkembang.

II. METODOLOGI

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem modifikasi motor *brushless* dan Gambar 2 merupakan blok diagram sistem instrumen pengujian. Motor *brushless* dikendalikan dengan menggunakan Arduino Uno melalui *electronic speed controller* (ESC). Untuk mendukung operasinya, catu daya yang kuat sebesar 50 A mampu memberikan daya yang diperlukan untuk menjaga motor beroperasi secara optimal. Untuk menjaga stabilitas tegangan dan arus, regulator LM2596 juga digunakan dalam rangkaian, memastikan bahwa motor *brushless* menerima pasokan daya yang tepat untuk menjalankan tugasnya [11].



Gambar 1. Blok diagram sistem (sistem modifikasi motor *brushless*)

Motor *brushless* dapat bekerja ketika stator diberikan arus tiga fase. Stator merupakan bagian diam dari suatu motor *brushless*. Stator pada motor induksi pada prinsipnya sama dengan motor sinkron. Inti stator terbuat dari bahan baja silikon atau besi lunak yang disusun berlapis-lapis. Bagian

luar stator dibuat bersirip-sirip untuk memperluas daerah pelepasan panas motor. Setiap lilitan pada stator jika diberi tegangan akan menghasilkan kuat medan magnet yang menyebabkan motor *brushless* berputar [9]. Arus yang melewati kumparan pada stator menghasilkan kuat medan magnet (B) dirumuskan dengan (1).



Gambar 2. Blok diagram sistem (instrumen pengujian)

$$B = \mu Ni2l \tag{1}$$

Dengan,

- N : jumlah lilitan
- i : arus
- l : panjang lilitan
- μ : permeabilitas bahan

Nilai medan magnet dan polarisasi akan berubah-ubah setiap saat dikarenakan arus yang diberikan ke motor *brushless* berupa arus AC tiga fase. Adanya perubahan polarisasi tersebut dan besar medan magnet setiap kumparan menyebabkan terjadinya medan putar magnet dengan kecepatan.

A. Desain Perangkat Keras untuk Pengujian

Perancangan perangkat keras terdiri dari dua bagian yaitu perancangan elektronis dan perancangan mekanis. Perancangan elektronis bertujuan untuk menggabungkan komponen-komponen elektronis agar terlihat lebih sederhana. Selain itu perancangan elektronis juga memudahkan dalam perbaikan jika terjadi kerusakan. Perancangan elektronis dengan menentukan jenis lilitan berdasarkan stator yang digunakan dan *printed circuit board* (PCB).

Penentuan jenis lilitan bertujuan untuk merancang bagaimana motor *brushless* dapat di modifikasi ulang. Tahapan ini menentukan jenis kawat, diameter kawat, jumlah kawat, dan jumlah lilitan berdasarkan stator yang digunakan. Jenis kawat yang digunakan Hellenic 0,2 mm. Kawat Hellenic dipilih karena memiliki tekstur yang lebih aman digunakan, khususnya untuk lilitan secara manual [12]. Selain itu kawat Hellenic memiliki kandungan tembaga yang lebih banyak daripada kawat motor *brushless* pada umumnya.

Gulungan kawat tersebut kemudian diletakan pada slot pada stator yang merupakan tempat untuk menaruh gulungan lilitan. Pole stator berbentuk lubang panjang dan terbuat dari lempengan baja yang sudah ditata sedemikian rupa. Kawat pada motor *brushless* disusun dengan rangkaian bintang yaitu rangkaian tiga fase yang terdiri dari 3-unit atau bagian lilitan yang membentuk seperti huruf "Y". Cara menyusun kawat diawali dengan membentangkan beberapa kawat yang kemudian dijadikan menjadi satu. Salah satu ujung kawat di ikat supaya tidak lepas dan lilitan pertama di mulai dari ujung kawat yang berbeda. Supaya lebih mudah mengatur kerapatan dan menyusun lilitan maka yang diputar adalah bagian statornya. Setiap ujung pada rangkaian start tersambung sebagai *line* dan bagian tengahnya adalah bagian netral.

B. Desain Perangkat Lunak untuk Pengujian

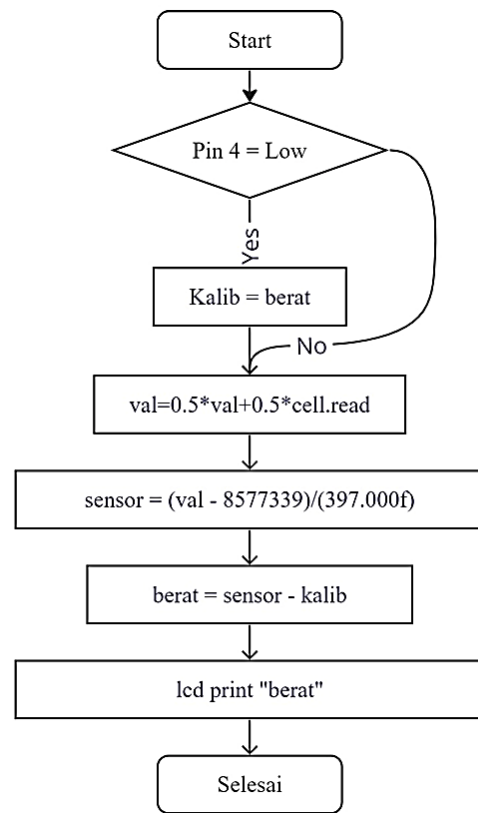
Perancangan perangkat lunak merupakan serangkaian instruksi yang tertulis untuk melakukan suatu perintah atau fungsi tertentu. Perangkat lunak yang dimaksud berupa program berupa urutan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah yang diimplementasikan dengan menggunakan bahasa pemrograman. Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan perancangan program *monitoring thrust* dan perancangan program persentase *throttle*. Perancangan program *monitoring thrust* bertujuan untuk memantau data *thrust* yang dihasilkan saat pengujian. Gambar 3 menunjukkan diagram alir *monitoring thrust*. Perancangan program dilakukan dengan Arduino IDE agar program dapat berfungsi seperti yang diinginkan. Program dimulai dengan inialisasi *variable*. Kemudian dilanjutkan dengan inialisasi I2C LCD dan pin 4 yang digunakan sebagai *input* yang dilakukan pada *void setup*. Pada *void loop* pin 4 digunakan sebagai tombol kalibrasi yang dapat dilakukan di luar program. Data yang dihasilkan *load cell* kemudian ubah menjadi satuan gram supaya mudah dalam pembacaannya. Data tersebut kemudian dikalibrasi supaya dapat bernilai 0. Hasil dari kalibrasi kemudian di tampilkan pada LCD 16x2 dalam satuan gram.

Perancangan perangkat lunak yang kedua adalah pembuatan program persentase *throttle* yang bertujuan untuk *monitoring* data *throttle* yang dilakukan saat pengujian. Gambar 4 menunjukkan diagram alir *monitoring thrust*. Program dimulai dengan inialisasi variabel, dilanjutkan dengan inialisasi I2C LCD dan pin 9 digunakan sebagai *output* yang dilakukan pada *void setup*. Nilai ADC dari potensiometer dibaca pada pin A0. Hasil pembacaan ADC 1-1023 kemudian di *mapping* menjadi 944-1986 yang di simpan pada variabel *pot*. Kemudian dilakukan *mapping* dari data *pot* 944-1986 menjadi 1-100 yang di simpan pada variabel *throttle*. Data yang *pot* di jadikan keluaran pada *ch3* dan data *throttle* di tampilkan pada LCD.

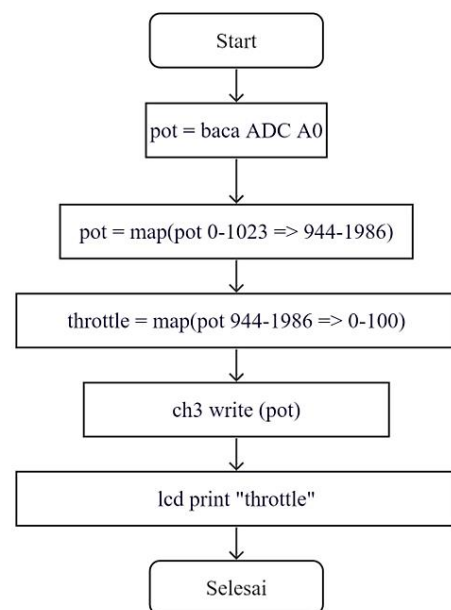
C. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan membandingkan performa motor *brushless* pabrikan dengan motor *brushless* lilitan baru. Data yang diambil berupa tegangan, arus, daya, kecepatan, *thrust*, dan suhu pada setiap *variasi throttle* 40% sampai 100%. Pengambilan data dimulai dari 40% karena merupakan *throttle* minimal yang digunakan UAV untuk

take-off. Hasil data yang diperoleh akan dianalisis untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dari sistem, sehingga dapat diketahui apakah sistem yang dibuat sudah sesuai yang diinginkan atau masih terdapat *error*.



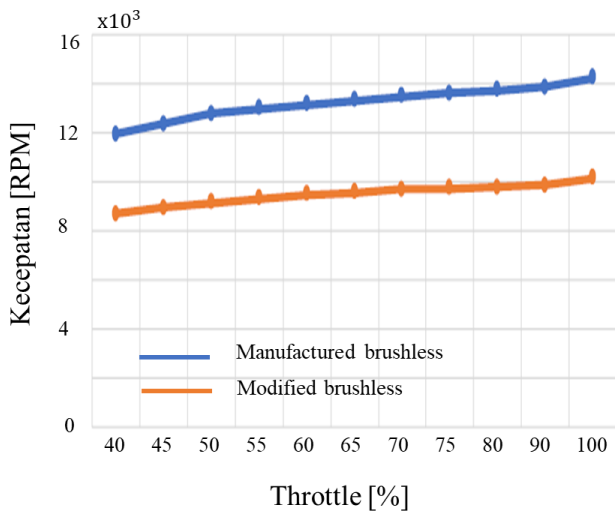
Gambar 3. Diagram alir monitoring thrust



Gambar 4. Diagram alir monitoring throttle

Pada saat motor berputar magnet permanen pada rotor bergerak melewati kumparan stator dan menginduksi potensial listrik dalam kumparan tersebut. Jenis belitan yang terletak pada hubungan antara *koil* dan belitan stator bertujuan untuk memberikan *electromotive force* (EMF) atau gaya gerak listrik yang berbeda. EMF balik (BEMF) adalah tegangan balik yang dihasilkan oleh belitan motor *brushless* pada saat motor berputar yang menyebabkan polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan sumber tegangan. EMF dipengaruhi oleh kecepatan motor, medan magnet pada rotor, dan banyaknya belitan pada stator.

Perubahan BEMF mempengaruhi torsi motor *brushless*. Apabila kecepatan yang dihasilkan motor *brushless* melebihi kecepatan rata-rata, maka EMF balik lebih besar daripada tegangan potensial pada belitan stator yang menyebabkan arus pada stator akan turun. BEMF berbanding lurus dengan *rating* kecepatan motor dan di tentukan dalam KV. Perhitungan nilai BEMF diperlihatkan pada (2) dan perhitungan KV diperlihatkan pada (3).



Gambar 5. Perbandingan throttle dan kecepatan tanpa propeller

$$RPM = KV \times V \tag{2}$$

$$BEMF = RPMKV \tag{3}$$

Dengan,

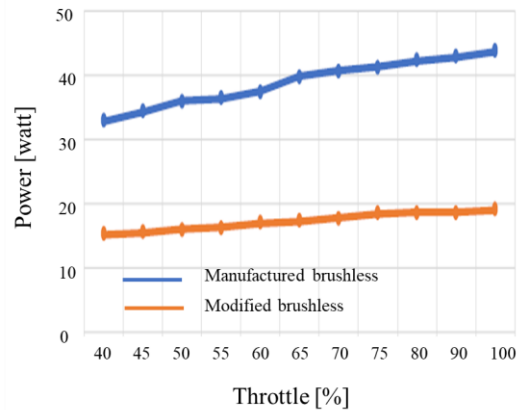
- RPM : *revolution per Minute*
- KV : *rating* kecepatan motor dalam rpm/volt
- V : tegangan
- BEMF : *back electromotive force*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat dua hasil pengujian pada penelitian ini. Hasil pengujian yang pertama merupakan hasil pengujian motor *brushless* pabrikan dan motor *brushless* hasil modifikasi tanpa *propeller*, dan yang kedua merupakan hasil pengujian motor *brushless* pabrikan dan motor *brushless* lilitan baru dengan *propeller* model 1407.

A. Hasil Pengujian dan Pembahasan Motor Brushless tanpa Propeller

Pengujian motor *brushless* tanpa *propeller* dilakukan dengan pengambilan data daya dan kecepatan, terhadap variasi *throttle*. Dalam setiap pengujian diambil 11 data dengan variasi *throttle* antara 40% sampai 100%. Gambar 5 menunjukkan perbandingan antara *throttle* dengan daya yang menampilkan data motor *brushless* pabrikan dan motor *brushless* lilitan baru. Daya yang di hasilkan motor *brushless* pabrikan lebih besar dibandingkan motor *brushless* lilitan baru yaitu 32,8 watt pada variasi *throttle* 40% dan 43,7 watt pada variasi 100%. Pada motor *brushless* lilitan baru memiliki daya yang lebih kecil yaitu dari 15,1 watt pada variasi *throttle* 40% dan 18,9 watt pada variasi 100%.



Gambar 6. Perbandingan throttle dan daya tanpa propeller

Gambar 6 menunjukkan perbandingan antara *throttle* dengan kecepatan yang dihasilkan setiap variasi *throttle*. Kecepatan dari motor *brushless* pabrikan lebih besar dibandingkan motor *brushless* lilitan baru yaitu 11.936 rpm pada variasi *throttle* 40% dan 14.240 rpm pada variasi 100%. Pada motor *brushless* lilitan baru memiliki kecepatan yang lebih kecil yaitu 8687 rpm pada variasi *throttle* 40% dan 10146 rpm pada variasi 100%. Nilai arus dan daya yang dibutuhkan motor *brushless* menghasilkan kecepatan yang berbeda.

B. Hasil Pengujian dan Pembahasan Motor Brushless dengan Propeller

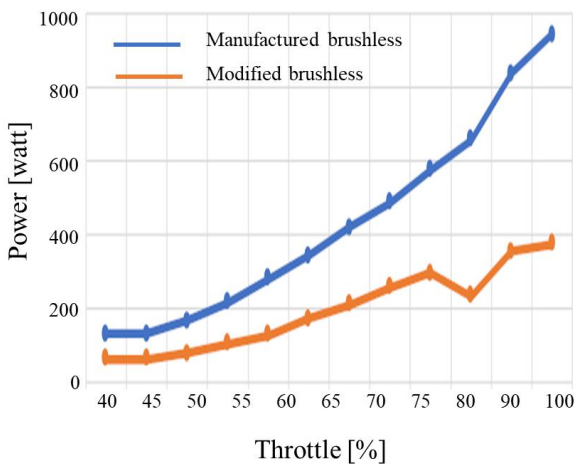
Pengujian motor *brushless* selanjutnya dilakukan dengan *propeller* model 1407. Pengambilan data dilakukan dengan mencatat hasil daya dan kecepatan pada motor *brushless* untuk menghasilkan *thrust* yang dilakukan dengan variasi *throttle*. Dari hasil daya dan *thrust* yang didapat maka akan di hasilkan nilai efisiensi dari motor *brushless*. Dalam setiap pengujian diambil 11 data dengan variasi *throttle* antara 40% sampai 100%.

Gambar 7 menunjukkan hasil perbandingan antara *throttle* dengan daya yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Motor *brushless* pabrikan memiliki daya yang lebih besar yaitu 942,7 watt, sedangkan motor *brushless* lilitan baru membutuhkan daya 378 watt pada variasi *throttle* 100%.

Gambar 8 menunjukkan *throttle* dan kecepatan yang dihasilkan kedua motor *brushless*. Pada saat menggunakan *propeller* maka kecepatan maksimal motor *brushless*

pabrikan sebesar 8.598 rpm, sedangkan motor *brushless* pabrikan sebesar 6.965 rpm. Dari grafik tersebut kecepatan motor *brushless* lilitan selalu di bawah motor *brushless* pabrikan. Kedua motor *brushless* memiliki kecepatan yang hampir sama akan tetapi dengan *throttle* yang berbeda, yaitu pada *throttle* 50% untuk motor *brushless* pabrikan dan *throttle* 65% pada motor *brushless* lilitan baru.

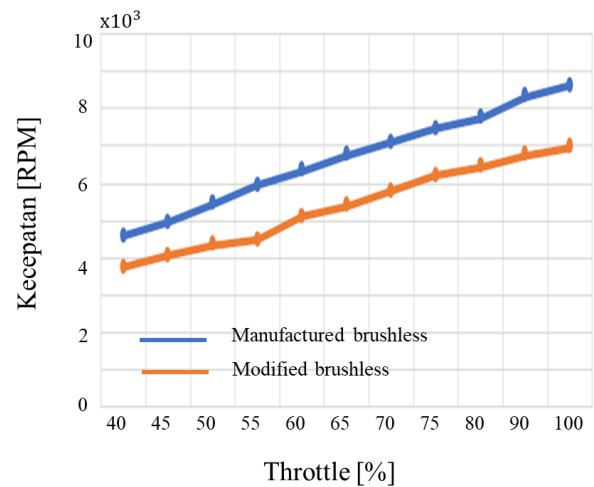
Gambar 9 menunjukkan perbandingan *thrust* dan daya dengan *propeller* antara motor *brushless* pabrikan dan motor *brushless* lilitan baru. Motor *brushless* pabrikan memiliki *thrust* dan daya maksimal yang lebih besar daripada motor *brushless* lilitan yaitu 942,7 watt untuk *thrust* sebesar 3.854 gram. Motor *brushless* lilitan baru memiliki *thrust* dan daya maksilam yang lebih rendah yaitu 378 watt untuk *thrust* 2.507 gram. Pada saat menghasilkan *thrust* yang sama, daya pada motor *brushless* lilitan baru lebih rendah. Untuk menghasilkan kisaran *thrust* sebesar 1.000 gram, motor *brushless* lilitan baru membutuhkan daya 130 watt sedangkan motor *brushless* pabrikan membutuhkan daya sebesar 134,4 watt. Kemudian pada kisaran *thrust* 1.400 gram motor *brushless* lilitan baru membutuhkan daya sebesar 212,5 gram sedangkan motor *brushless* pabrikan membutuhkan daya yang lebih besar yaitu 217,9 watt. Perbandingan yang terakhir pada *thrust* kisaran 2.500 gram motor *brushless* lilitan baru membutuhkan daya sebesar 378 watt, sedangkan motor *brushless* abrikan membutuhkan daya yang lebih besar yaitu 488,2 watt.



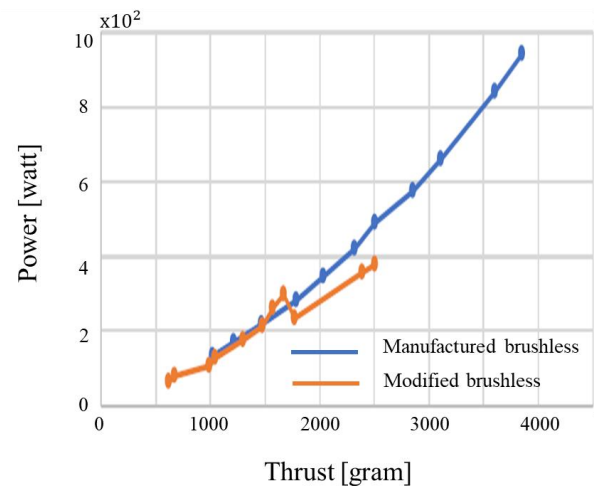
Gambar 7. Perbandingan *throttle* dan daya dengan *propeller*

Gambar 10 menunjukkan perbandingan grafik *thrust* dan efisiensi antara motor *brushless* pabrikan dengan motor *brushless* lilitan baru. Pada *thrust* yang sama motor *brushless* lilitan baru memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan motor *brushless* pabrikan yang di contohkan pada kondisi *thrust* sekitar 1.000 gram, 1.400 gram, dan 2.500 gram. Pada saat *thrust* sekitar 1000 gram motor *brushless* lilitan baru memiliki efisiensi sebesar 8,02 sedangkan motor *brushless* pabrikan memiliki efisiensi yang lebih kecil yaitu 7,6. Kemudian pada *thrust* sekitar 1.400 gram motor *brushless* lilitan baru memiliki efisiensi sebesar 6,95 sedangkan motor *brushless* pabrikan memiliki efisiensi yang lebih kecil yaitu

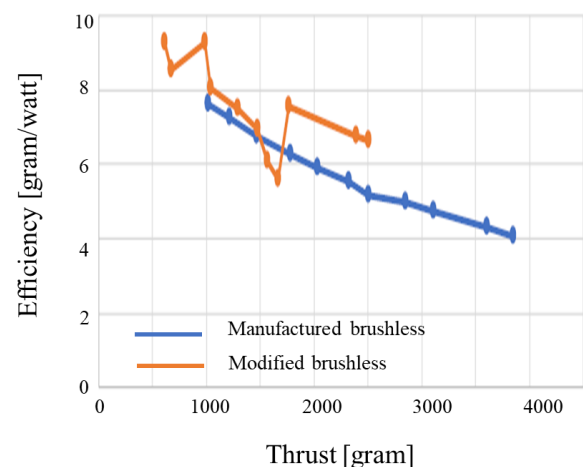
6,74. Terakhir pada *thrust* sekitar 2.500 gram motor *brushless* lilitan baru memiliki efisiensi sebesar 6,63 sedangkan motor *brushless* pabrikan memiliki efisiensi yang lebih kecil yaitu 5,14.



Gambar 8. Perbandingan *throttle* dan kecepatan dengan *propeller*



Gambar 9. Perbandingan *thrust* dan daya dengan *propeller*



Gambar 10. Perbandingan *thrust* dan efisiensi

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisa penelitian yang telah dilakukan dimulai dari tahap perancangan sampai dengan tahap uji coba, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Motor *brushless* lilitan baru memiliki performa yang lebih baik, meliputi efisiensi daya, dan arus pada *thrust* yang sama dengan motor *brushless* pabrikan yaitu pada kisaran 1.000 gram, 1.400 gram, dan 2.500 gram.
2. Sistem lilitan mempengaruhi tingkat kemagnetan yang berpengaruh pada performa motor *brushless*.
3. Beban maksimal yang dapat diberikan pada motor *brushless* lilitan baru tanpa mengganggu kinerja dari motor adalah 2.507 gram.
4. Motor *brushless* lilitan baru memiliki daya sebesar 130 watt, 212 watt, dan 378 watt, lebih kecil dari daya yang di hasilkan motor *brushless* pabrikan pada saat *thrust* yang sama yaitu 1.000 gram, 1.400 gram, dan 2.500 gram secara berurutan sehingga dapat meningkatkan performa terbang UAV yang meliputi waktu terbang dan jarak jelajah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.M. Handayani, & I.N. Rifai, Sistem Ground Control Station Berbasis Mobile Untuk, Semin. Nas. Teknol. Terap. 2 (2018) 23–30.
- [2] M. Yahya, T. Sukmadi, & B. Winardi, Perancangan modul pronny brake untuk penentuan karakteristik mekanik (torsi terhadapkecepatan) dan efisiensi motor induksi 3 fasa, Depaetemen Tek. Elektro, Univ. Diponogoro, Semarang. vol 5 (2016) 421.
- [3] I.N. Rifai, & F. Rozani, Pengaturan Sudut pada Modul Kendali Posisi Motor Secara Otomatis Menggunakan Kendali PID Descrete, J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput. Amplif. 5 (2015).
- [4] C.R. Harahap, E. Komalasari, & B.G. Nugroho, Pengendalian Motor Brushless Direct Current dengan Frekuensi Tinggi Pulse Width Modulation Dengan Metode Back-Electromotive Force Menggunakan Microcontroller, (n.d.).
- [5] F. Titan Syifa, E. Firmansyah, & P. -, Pengendalian Motor DC Tanpa Sikat Sederhana dengan DSC 16-bit pada Aplikasi EDF, J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf. 4 (2016) 4–8.
- [6] N.J. Putri, Analisis Pemodelan Motor Brushless Dc 1500 Rpm Untuk Aplikasi Uav (Unmanned Aerial Vehicle), in: Skripsi, Fak. Tek. Univ. Lampung, Bandar Lampung, 2018.
- [7] M. Ahyar, & Irdam, Perancangan Mesin Penggulung Kumparan Motor Listrik Sistem Otomatis Berbasis Mikrokontroler, J. Keteknikan Dan Sains. 2 (2019) 8–13.
- [8] S. Amalia, Implementasi 2 Lilitan Fasa Dan 3 Lilitan Fasa Terhubung Terhadap Tegangan Pada Motor Brushless Direct Current (Blde) Rotor Luar Dengan Analisis Anova, J. Ipteks Terap. 12 (2018) 167.
- [9] I.W. Adiyasa, Pengoptimalan Torsi dan Efisiensi pada Redesain Motor Brushless DC Hoverboard Berdaya Dasar 350W, J. Pendidik. Vokasi Otomotif. 27 (2022) 27–42.
- [10] M. Saputra, & I. Hakim, Maintenance Propeller Hartzell Pada Pesawat Cessna 172, J. Mekanova. 2 (2016) 2502–0498.
- [11] I.N. Rifai, & P.S.G. Asa, Penerapan Algoritma Kendali Proportional Integral Derivative Pada Sistem Real Time Untuk Mempelajari Tanggapan Transien, Pros. Sentia. 6 (2014) A37–A41.
- [12] R.M.A. Kurniawan, I.M. Nauri, & F.I. Kusuma, Pengaruh Lap Winding Dan Wave Winding Dengan Kawat Tembaga Hellenic Terhadap Kecepatan Dan Torsi Motor Power Window Toyota Avanza, J. Tek. Otomotif Kaji. Keilmuan Dan Pengajaran. 6 (2022) 19–28.