

TUGAS AKHIR - EE184801

**DESAIN DAN PROTOTIPE SISTEM PEMBANGKIT
MANDIRI MENGGUNAKAN BLDC GENERATOR UNTUK
APLIKASI UNMANNED AERIAL VEHICLE**

DHONI WAHYU SYARIFUDIN

NRP 07111840000197

Dosen Pembimbing

Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D

NIP 198006032006041003

Prof. Dr. Ir. Soediby, M.MT.

NIP 195512071980031004

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - EE184801

**DESAIN DAN PROTOTIPE SISTEM PEMBANGKIT
MANDIRI MENGGUNAKAN BLDC GENERATOR UNTUK
APLIKASI UNMANNED AERIAL VEHICLE**

DHONI WAHYU SYARIFUDIN

NRP 07111840000197

Dosen Pembimbing

Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D

NIP 198006032006041003

Prof. Dr. Ir. Soediby, M.MT.

NIP 195512071980031004

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - EE184801

**DESIGN AND PROTOTYPE OF SELF POWER PLANT
USING BLDC GENERATOR FOR UNMANNED AERIAL
VEHICLE APPLICATION**

DHONI WAHYU SYARIFUDIN

NRP 07111840000197

Advisor

Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D

NIP 198006032006041003

Prof. Dr. Ir. Soediby, M.MT.

NIP 195512071980031004

Electrical Engineering Undergraduate Program

Department of Electrical Engineering

Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN DAN PROTOTIPE SISTEM PEMBANGKIT MANDIRI MENGGUNAKAN BLDC GENERATOR UNTUK APLIKASI UNMANNED AERIAL VEHICLE


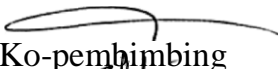


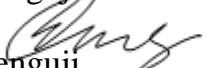
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Sarjana Teknik Elektro
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **DHONI WAHYU SYARIFUDIN**

NRP. 07111840000197

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|----|---|--|
| 1. | Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D | 
Pembimbing |
| 2. | Prof. Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. | 
Ko-pembimbing |
| 3. | Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi H., S.T., M.T. | 
Penguji |
| 4. | Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc | 
Penguji |
| 5. | Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T. | 
Penguji |

SURABAYA

Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

DESIGN AND PROTOTYPE OF SELF POWER PLANT USING BLDC GENERATOR FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE APPLICATION





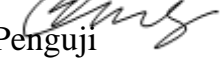
FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a Bachelor of Engineering degree at
Electrical Engineering Undergraduate Program
Department of Electrical Engineering
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **DHONI WAHYU SYARIFUDIN**

NRP 07111840000197

Approved by Final Project Proposal Examiner Team:

- | | | |
|----|---|--|
| 1. | Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D | 
Pembimbing |
| 2. | Prof. Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. | 
Ko-pembimbing |
| 3. | Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi H., S.T., M.T. | 
Penguji |
| 4. | Prof. Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc | 
Penguji |
| 5. | Dr. Dimas Fajar Uman Putra, S.T., M.T. | 
Penguji |

SURABAYA

Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Dhoni Wahyu Syarifudin / 07111840000197
Program studi : S-1 Teknik Elektro
Dosen Pembimbing / NIP : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D /
198006032006041003

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**DESAIN DAN PROTOTIPE SISTEM PEMBANGKIT MANDIRI MENGGUNAKAN BLDC GENERATOR UNTUK APLIKASI UNMANNED AERIAL VEHICLE**” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2022

Mahasiswa



Dhoni Wahyu Syarifudin
NRP. 07111840000197

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of Studen / NRP : Dhoni Wahyu Syarifudin / 07111840000197
Departement : Electrical Engineering Undergraduate Program
1st Advisor / NIP : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D /
198006032006041003

Hereby declare that the Final Project with the title of “**DESIGN AND PROTOTYPE OF SELF POWER PLANT USING BLDC GENERATOR FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE APPLICATION**” is the result of my own work, original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement. Then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, July 2022

Student



Dhoni Wahyu Syarifudin
NRP. 07111840000197

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRAK

DESAIN DAN PROTOTIPE SISTEM PEMBANGKIT MANDIRI MENGGUNAKAN BLDC GENERATOR UNTUK APLIKASI UNMANNED AERIAL VEHICLE

Nama Mahasiswa / NRP : Dhoni Wahyu Syarifudin / 0711184000197
Departemen : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Dosen Pembimbing : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D

Abstrak

Teknologi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* kini semakin banyak dikembangkan. Penelitian dan pengembangan dilakukan untuk menghasilkan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* menjadi semakin efektif dan efisien dalam mengatasi keterbatasan sumber yang selama ini hanya mengandalkan baterai sebagai sumber utama. Tidak dapat dipungkiri bahwa pembangkit mandiri dalam hal ini sangat dibutuhkan untuk *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* mampu terbang lebih lama dengan daya jelajah yang lebih jauh. Penggunaan *BLDC Generator* sebagai pembangkit listrik mandiri menjadi sebuah pilihan karena dari segi konstruksi yang tidak memerlukan perawatan khusus, mudah dibawa kemanapun serta harga yang cukup murah.

Berdasarkan latar belakang tersebut, Penelitian ini akan membahas sebuah desain, perancangan hingga proses pembuatan prototipe sistem pembangkit mandiri menggunakan *BLDC Generator*. Desain sistem pembangkit terdiri dari *BLDC Generator* dan *Gasoline Engine* yang terkopel satu sama lain dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Setelah semua komponen sistem prototipe telah terancang akan dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan tanpa beban dan berbeban. Pada pengujian tanpa beban didapatkan tegangan maksimal sebesar 80 volt dc dengan kecepatan 11050 rpm, dan daya output yang terukur dalam keadaan berbeban sebesar 515 watt dengan kecepatan 6100 rpm.

Dari hasil penelitian didapatkan implementasi perancangan prototipe sistem pembangkit *BLDC Generator* dapat bekerja sesuai desain yang diinginkan, daya yang terukur sebesar 515 watt sudah memenuhi akumulasi perhitungan kebutuhan daya relative *UAV* jenis *quadcopter* saat *takeoff*.

Kata kunci: *BLDC Generator, Prototipe, Unmanned Aerial Vehicle (UAV).*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRACT

DESIGN AND PROTOTYPE OF SELF POWER PLANT USING BLDC GENERATOR FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE APPLICATION

Student Name / NRP : Dhoni Wahyu Syarifudin / 0711184000197
Department : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Advisor : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D

Abstract

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology is now increasingly being developed. Research and development is carried out to produce Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to be more effective and efficient in overcoming resource limitations which so far have only relied on batteries as the main source. It is undeniable that an independent generator in this case is very much needed for an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to be able to fly longer with a longer cruising range. The use of a BLDC Generator as an independent power plant is an option because in terms of construction that does not require special maintenance, is easy to carry anywhere and the price is quite cheap.

Based on this background, this research will discuss a design, design to the process of prototyping a self-supporting generation system using a BLDC Generator. The design of the generating system consists of a BLDC Generator and Gasoline Engine that are closely coupled with each other with predetermined specifications. After all the components of the prototype system have been designed, testing will be carried out. Testing is carried out without load and weight. In the no-load test, a maximum voltage of 80 volts dc with a speed of 11050 rpm was obtained, and the rated output power in a loaded state of 515 watts with a speed of 6100 rpm.

From the results of the study, it was obtained that the implementation of the design of the BLDC Generator generation system prototype could work according to the desired design, the measured power of 515 watts has met the accumulated calculation of the relative power needs of the quadcopter type UAV during takeoff.

Keywords: *BLDC Generator, Prototype, Unmanned Aerial Vehicle (UAV).*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. Karena atas limpahan rahmat, nikmat, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul “Desain dan Prototipe Sistem Pembangkit Mandiri Menggunakan Bldc Generator Untuk Aplikasi Unmanned Aerial Vehicle”. Penulisan buku penelitian ini dilakukan dengan penuh kesungguhan agar penelitian ini dapat bermanfaat di masa mendatang. Penulis menyadari bahwa penelitian yang telah dilakukan masih jauh dari kata sempurna. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna perbaikan di masa yang akan datang.

Penulisan buku penelitian ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberikan doa, dukungan dan bimbingan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang selalu memberikan kekuatan, kesehatan, perlindungan, kelancaran, dan kemudahan.
2. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, nasihat, dan doa kepada penulis.
3. Bapak Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D dan Prof. Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan sebaik mungkin.
4. Teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik yang selalu memberikan bantuan, dukungan dan semangat.
5. Teman-teman e58 yang telah berjuang bersama semenjak awal masuk perkuliahan.
6. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pembaca pada umumnya dan mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya.

Surabaya, Juli 2022



Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
STATEMENT OF ORIGINALITY	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	1
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu.....	3
2.2 Dasar Teori.....	3
2.2.1 BLDC Generator	3
2.2.2 Rangkaian Penyearah.....	5
2.2.3 Gasoline - Electric Hybrid Propulsion System	5
2.2.4 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)	7
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM DAN PEMBUATAN PROTOTIPE.....	9
3.1 Perancangan Sistem	9
3.1.1 Sistem Generator.....	10
3.1.2 Desain Kopel.....	10
3.2 Penentuan Spesifikasi Sistem.....	11
3.2.1 Generator BLDC	11
3.2.2 Gasoline Engine	12
3.2.3 Rangkaian Penyearah.....	13
3.2.4 Pembebanan Pengujian	14

3.3 Pembuatan Prototipe	15
3.4 Penyusunan Alat Pengujian.....	16
3.4.1 Penyusunan pengujian tanpa beban	16
3.4.2 Penyusunan pengujian dengan beban	17
3.4.3 Penyusunan pengujian capture waveform.....	19
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Realisasi Prototipe.....	21
4.2 Pengujian Tanpa Beban.....	21
4.3 Pengujian Berbeban	22
4.3.1 Pengujian Berbeban Lampu	22
4.3.2 Pengujian Berbeban Kawat Nikelin	24
4.4 Pengujian Bentuk Gelombang tegangan output.....	28
4.4.1 Bentuk gelombang tegangan output tanpa beban	28
4.4.2 Bentuk gelombang dengan beban	30
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	37
BIODATA PENULIS	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Coupling Circuit Equations in BLDC Modeling	3
Gambar 2. 2	Three-phase induced emf back generated from BLDC generator	4
Gambar 2. 3	Rectifier Circuit	5
Gambar 2. 4	Schematic layout of the hybrid propulsion-based UAV	5
Gambar 2. 5	Gasoline Configuration - Electric Hybrid Propulsion System	6
Gambar 3. 1	Flowchart	9
Gambar 3. 2	(a) Skema keseluruhan sistem , (b) Sistem Generator	10
Gambar 3. 3	Desain 3D sistem generator	11
Gambar 3. 4	BLDC T-Motor P80III KV120	12
Gambar 3. 5	Gasoline Engine (DLE-30)	13
Gambar 3. 6	Rectifier SQL100A	14
Gambar 3. 7	Bohlan pijar	14
Gambar 3. 8	Kawat Nikelin	15
Gambar 3. 9	(a) Kopel sisi Mesin Gasoline , (b) Kopel sisi BLDC Generator	16
Gambar 3. 10	Hasil instalasi sistem BLDC Generator beserta kopel dan plat	16
Gambar 3. 11	Pengujian tanpa beban	17
Gambar 3. 12	Pengujian berbeban lampu seri	17
Gambar 3. 13	Pengujian berbeban lampu paralel	18
Gambar 3. 14	Pengujian berbeban kawat nikelin	18
Gambar 3. 15	Pengujian bentuk gelombang tegangan output	19
Gambar 4. 1	Kurva tegangan dan kecepatan tanpa beban	22
Gambar 4. 5	kurva tegangan dan kecepatan dengan beban lampu paralel	23
Gambar 4. 6	kurva arus dan kecepatan dengan beban lampu paralel	23
Gambar 4. 7	kurva daya dan kecepatan dengan beban lampu paralel	24
Gambar 4. 8	kurva tegangan dan kecepatan dengan beban nikelin 3 ohm	25
Gambar 4. 9	kurva arus dan kecepatan dengan beban nikelin 3 ohm	26
Gambar 4. 10	kurva daya dan kecepatan dengan beban nikelin 3 ohm	26
Gambar 4. 11	kurva tegangan dan kecepatan dengan beban nikelin 5 ohm	27
Gambar 4. 12	kurva arus dan kecepatan dengan beban nikelin 5 ohm	27
Gambar 4. 13	kurva daya dan kecepatan dengan beban nikelin 3 ohm	28
Gambar 4. 14	Pengujian bentuk gelombang tegangan output tanpa beban 1 fasa.	28
Gambar 4. 15	Pengujian bentuk gelombang tegangan output tanpa beban 2 fasa.	29
Gambar 4. 16	Pengujian bentuk gelombang tegangan output tanpa beban 3 fasa.	29
Gambar 4. 17	Pengujian bentuk gelombang tegangan output dengan beban 1 fasa	30
Gambar 4. 18	Pengujian bentuk gelombang tegangan output dengan beban 2 fasa	30
Gambar 4. 19	Pengujian bentuk gelombang tegangan output dengan beban 3 fasa	31

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Motor BLDC T-Motor P80III KV120	11
Tabel 3. 2 Spesifikasi Gasoline Engine (DLE-30).....	12
Tabel 3. 3 Spesifikasi Rangkaian Penyearah SQL100A.....	13
Tabel 3. 4 Spesifikasi bohlam lampu pijar.....	14
Tabel 3. 5 Spesifikasi Kawat Nikelin.....	15
Tabel 4. 1 Data pengujian tanpa beban	21
Tabel 4. 3 Data Berbeban Lampu Paralel (3 x 60 watt, 24 volt)	22
Tabel 4. 3 Data Berbeban Lampu Paralel (3 x 60 watt, 24 volt)	23
Tabel 4. 4 Data Berbeban Kawat Nikelin Resistansi 3ohm.....	24
Tabel 4. 5 Data Berbeban Kawat Nikelin Resistansi 5ohm.....	26

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri dirgantara selalu terlibat dalam pengoptimalan sistem untuk meningkatkan keandalan, mengurangi bobot, dan kemudahan perawatan. Konsep Brushless DC (BLDC) mesin telah mendapatkan penerimaan luas di ruang angkasa industri untuk memenuhi kebutuhan daya yang meningkat ini. Tujuan menggunakan Generator Brushless DC (BLDC) karena memiliki sistem pergantian yang dikendalikan secara magnetis alih-alih sistem pergantian mekanis berbasis sikat. BLDC Generator dapat menghasilkan arus searah yang menghilangkan kebutuhan sikat atau cincin slip yang pada gilirannya mengurangi pemeliharaan (Rajaraman et al., 2016).

Upaya penghematan energi menjadi tantangan dalam perancangan sebuah teknologi, salah satunya pada perancangan UAV. Tantangan ini berupa cara merancang sebuah UAV yang hemat energi. Upaya penghematan energi dilakukan agar UAV menjadi lebih efektif dan efisien. Penghematan energi dapat dilakukan dengan memilih komponen-komponen pendukung UAV yang dapat menghemat konsumsi energi sehingga dengan sumber energi yang terbatas, sebuah UAV mampu terbang lebih lama dan memiliki daya jelajah yang lebih jauh (Prasetyo & Wahyuni Fajar Arum, 2021).

Pada sebuah UAV kebutuhan daya merupakan komponen penting dan selama ini daya hanya mengandalkan suplai oleh baterai. Beberapa jenis UAV diharapkan mampu terbang dengan daya yang cukup untuk menempuh jarak jelajah yang lebih jauh. Dan tidak dapat dipungkiri bahwa pembangkit mandiri dalam hal ini sangat dibutuhkan. Oleh karena itu diperlukan studi pembuatan prototype terkait sistem pembangkit mandiri menggunakan BLDC generator pada pengaplikasian UAV. Pada penelitian ini berfokus kepada pembuatan prototipe pembangkit mandiri berbasis BLDC Generator. Desain dari BLDC generator ini akan menggunakan parameter yang ditetapkan sehingga sesuai untuk pengaplikasian pada UAV. Hasil pembuatan prototype akan diuji serta dianalisis. Pengujian dan analisis dimaksudkan untuk mengetahui performa prototipe BLDC Generator sehingga bisa diaplikasikan pada Unmanned Aerial Vehicle (UAV).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini adalah bagaimana desain dan perancangan prototype system pembangkit mandiri berbasis BLDC Generator dengan performa dan karakteristik yang sesuai untuk diaplikasikan pada Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dengan pertimbangan bahan yang ada di Indonesia.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Implementasi dan pengujian alat disesuaikan dengan komponen-komponen yang terdapat di pasaran dan peralatan uji Laboratorium Konversi Energi Listrik.
2. Semua analisis dan perhitungan dilakukan dalam mode tunak (steady state)
3. Pengujian prototype menggunakan beban lampu dan kawat nikelin.

4. Pengujian menggunakan peralatan yang tersedia di Laboratorium Konversi Energi Listrik-Teknik Elektro ITS.

1.4 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Membuat desain hingga proses pembuatan prototipe sistem pembangkit mandiri berbasis BLDC Generator untuk Unmanned Aerial Vehicle (UAV).
2. Membandingkan dan menganalisis hasil performa prototipe sistem pembangkit berbasis BLDC Generator untuk Unmanned Aerial Vehicle (UAV).

1.5 Manfaat

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan sistem pembangkit mandiri berbasis generator BLDC.
2. Dapat digunakan sebagai referensi yang dapat menunjang perkembangan teknologi khususnya di bidang energi terbarukan dan aplikasi UAV.
3. Sebagai bahan referensi untuk pengerjaan tugas akhir dengan topik serupa bagi mahasiswa lainnya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menjelaskan mengenai hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini beserta dasar teori yang diperlukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Sejumlah peneliti telah melakukan beberapa penelitian membahas tentang sistem pembangkit mandiri menggunakan Generator BLDC. Pada Penelitian tugas akhir Almizan Aryanto sebelumnya membahas desain dan implementasi system pembangkit mandiri menggunakan Generator BLDC yang mana pada penelitian tersebut perancangan desain system terdapat 2 sistem yaitu system generator dan system konverter. Untuk memodelkan generator BLDC digunakan 2 buah motor BLDC dengan spesifikasi yang sama dan dikopel satu sama lain, 1 buah motor berperan sebagai penggerak mekanis sedangkan motor yang lain berperan sebagai generator (Almizan et al., 2020). Sedangkan penelitian ini berfokus pada desain dan prototype pembangkit mandiri berbasis Generator BLDC dengan perancangan system menggunakan Motor BLDC dan Gasoline Engine yang saling terkopel satu sama lain. Hasil pembuatan prototype akan dilakukan pengujian serta analisis dimaksudkan untuk mengetahui performa BLDC Generator yang sesuai untuk aplikasi UAV.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 BLDC Generator

Generator BLDC adalah generator energi modern, meskipun penggunaan genset BLDC belum banyak. Penelitian model generator BLDC perlu dilakukan untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional. Terkait dengan potensi sumber daya energi Indonesia seperti air terjun, angin, batu bara, panas bumi, energi matahari, dan lainnya, penggunaan genset BLDC cukup menjanjikan (Indarto et al., 2021).

Mesin Brushless DC dapat diartikan sebagai mesin sinkron multi fasa, yang dapat dioperasikan dengan kecepatan dan frekuensi yang bervariasi dan tidak beroperasi di kecepatan sinkron. Di sisi lain, medan magnet dan putaran rotor adalah sinkron. Karena memakai magnet permanen, maka tidak memakai sikat arang dan komutator untuk membangkitkan medan, dan mudah dalam hal perawatan. Generator BLDC memiliki densitas energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin magnet permanen konvensional. Untuk memperkecil rugi-rugi arus Eddy, konstruksi stator dilaminasi (Onar et al., 2009).

Dalam pemodelan BLDC, persamaan rangkaian terkopel pada belitan stator dapat digambarkan sebagai :

$$\begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{as} \\ e_{bs} \\ e_{cs} \end{bmatrix}$$

Gambar 2. 1 Coupling Circuit Equations in BLDC Modeling

Dimana R_s adalah resistansi stator per fasa, L_{ij} adalah induktansi diri sendiri pada stator dan bernilai sama untuk fasa a, b, dan c. e_{as} , e_{bs} , e_{cs} adalah emf terinduksi yang

berbentuk trapesium. Nilai puncak dari gelombang trapesium dilambangkan sebagai E_p , dan nilai puncak dari emf terinduksi dapat digambarkan sebagai

$$E_p = \lambda_p \omega_m \quad (2.1)$$

Dimana λ_p adalah flux terinduksi dari magnet, dan ω_m adalah kecepatan angular. Torsi elektromagnetik terinduksi dari BLDC dapat dituliskan sebagai:

$$T_e = [e_{as}i_{as} + e_{bs}i_{bs} + e_{cs}i_{cs}] / \omega_m \quad (2.2)$$

Back emf terinduksi dapat dituliskan dengan fungsi sudut fasa:

$$e_{as} = f_{as}(\theta_r)\lambda_p\omega_m \quad (2.3)$$

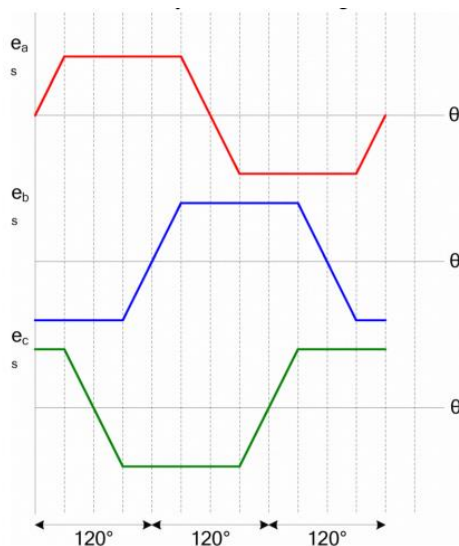
Persamaan akhir dari torsi elektromagnetik dapat dituliskan:

$$T_e = \lambda_p [f_{as}(\theta_r)i_{as} + f_{bs}(\theta_r)i_{bs} + f_{cs}(\theta_r)i_{cs}] \quad (2.4)$$

Persamaan gerak untuk generator BLDC dapat dituliskan:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m = (T_m - T_e) \quad (2.5)$$

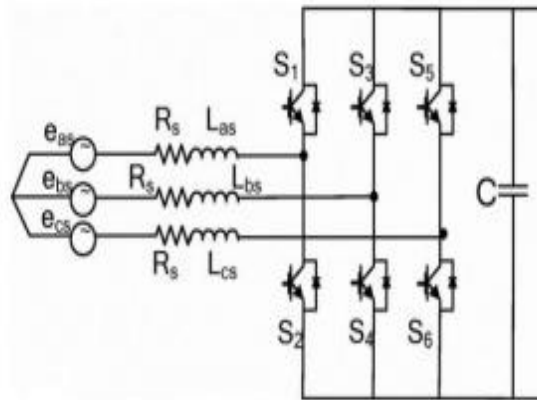
Dimana J adalah inersia gabungan, B adalah koefisien gesekan gabungan untuk generator terkopel, dan T_m adalah torsi mekanis yang memutar generator (Onar et al., 2009).



Gambar 2. 2 Three-phase induced emf back generated from BLDC generator

2.2.2 Rangkaian Penyearah

Densitas daya dan efisiensi dari generator BLDC dapat ditingkatkan dengan menggunakan rangkaian penyearah. Rangkaian penyearah disambungkan dengan generator BLDC dan dikontrol untuk memperoleh daya maksimum yang dihasilkan oleh generator dengan mengontrol arus masukan. Skema rangkaian dari penyearah sinkron terdiri dari 6 buah MOSFET dan 1 buah kapasitor yang dipasang di output (Onar et al., 2009).

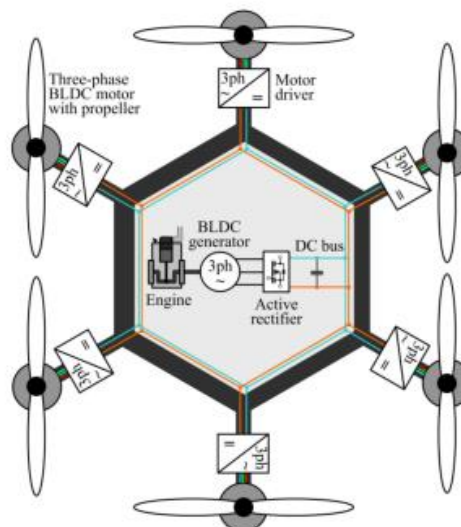


Gambar 2. 3 Rectifier Circuit

2.2.3 Gasoline - Electric Hybrid Propulsion System

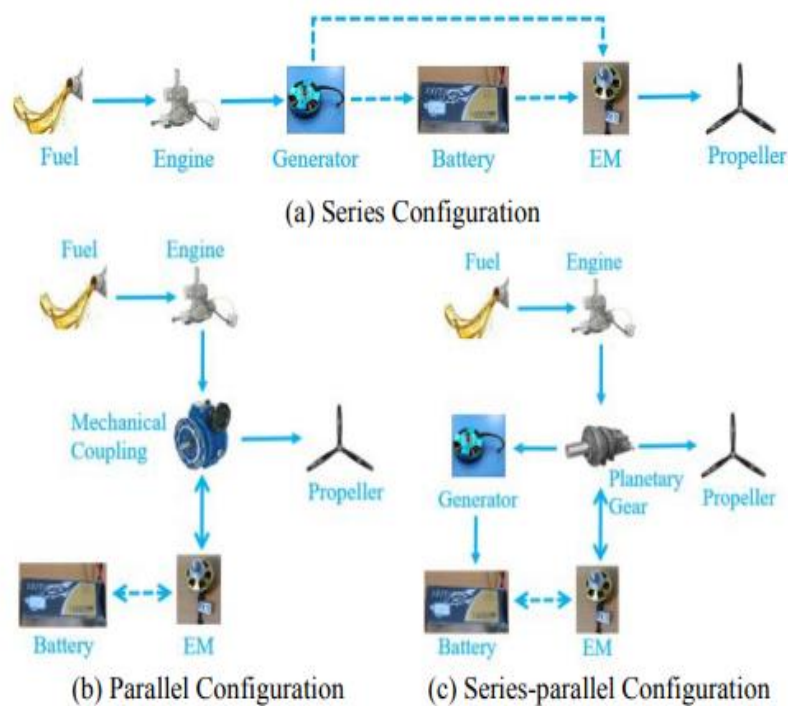
Bagian ini menyajikan model matematika dari sistem propulsi hibrida yang terdiri dari mesin pembakaran internal yang digabungkan dengan generator BLDC dan dilengkapi dengan penyearah aktif yang memasok bus DC umum (Krznar et al., 2021).

Ikhtisar Sistem Propulsi Hibrida pada gambar dibawah mengilustrasikan kemungkinan realisasi topologi UAV berbasis propulsi hibrida untuk kasus hex-rotorcraft hipotetis (terdiri dari enam drive baling-baling). Sistem tenaga hibrida onboard menggunakan mesin pembakaran internal sebagai penggerak utama yang terhubung ke generator DC brushless, yang aliran daya keluarannya dikendalikan oleh penyearah aktif (konverter daya AC / DC) (Krznar et al., 2021).



Gambar 2. 4 Schematic layout of the hybrid propulsion-based UAV

Teknologi propulsi hibrida-listrik menggabungkan keuntungan dari dua atau lebih sumber daya untuk mengembangkan sistem propulsi yang lebih efisien. Teknologi propulsi hibrida-listrik memiliki keunggulan dari konsumsi bahan bakar jarak jauh dan rendah, tetapi ada proses pembangkit listrik bahan bakar, yang efisiensi konversinya rendah. Berdasarkan lima jenis energi dan daya di atas, sistem propulsi hibrida bensin-listrik telah dirancang dan diimplementasikan dalam VTOL karena memiliki keunggulan daya tahan panjang dan efisiensi tinggi dan semua energi digunakan secara langsung. Komponen dasar dari sistem propulsi hibrida-listrik untuk UAV termasuk baling-baling, motor dc, baterai, mesin dan fosil fuels (Lu et al., 2017).



Gambar 2. 5 Gasoline Configuration - Electric Hybrid Propulsion System

Pembangkit listrik hybrid terdiri dari mesin, brushless dc generator, dan baling-baling yang dihubungkan secara seri. Konfigurasi ini memberikan kondisi pengoperasian yang paling fleksibel baik sebagai bahan bakar maupun energi listrik dapat habis secara bersamaan, memaksimalkan daya tahan terbang. Mesin kemudian dapat dimatikan selama periode ketika propulsi atau pembangkit listrik tidak diperlukan dan generator dapat dijalankan secara terbalik untuk menghidupkan mesin ketika diperlukan, menghilangkan kebutuhan akan motor starter terpisah. Menghidupkan dan mematikan mesin sesuai kebutuhan menjaga mesin tetap di bawah beban konstan dan efisiensi maksimum, dan mempertahankan baterai dalam rentang operasi yang berguna. Ini adalah teknik umum dalam pengendalian kendaraan listrik hibrida (Recoskie et al., 2013).

Tiga konfigurasi yang umum di antara listrik hibrida kendaraan jalan adalah seri, paralel, dan power split (kombinasi seri dan paralel). Konfigurasi ideal untuk balon UAV akan meminimalkan jumlah komponen (yaitu, berat) dan akan meminimalkan konversi dan transformasi energi (yaitu, kerugian). Konfigurasi seri membutuhkan dua konversi energi proses yang mengurangi efisiensi dan mencegah mesin dari berkontribusi pada total daya propulsi yang tersedia. Sebuah paralel konfigurasi akan membutuhkan mekanisme kopling

yang dapat dikontrol untuk pisahkan motor listrik dari mesin untuk mencegahnya dari mengemudi kembali. Berat dua motor dc brushless 40-g dan pemasangannya ternyata lebih ringan daripada menambahkan a kopling, sedangkan motor listrik tambahan meningkatkan total daya propulsi yang tersedia (Recoskie et al., 2013).

2.2.4 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Dengan perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir, pesawat tak berawak kendaraan (UAV) telah menjadi bagian pertumbuhan penting dari industri kedirgantaraan global. UAV dapat dibagi menjadi tiga kategori utama: fixed wing, the helicopter and the multi-rotor (Lu et al., 2017).

Ada banyak jenis UAV yang telah diproduksi, baik oleh pabrikan maupun hasil rakitan. Pada umumnya, UAV digerakkan oleh motor penggerak agar dapat terbang menjelajah. Ada dua jenis motor penggerak yang digunakan pada UAV, yaitu motor berbahan bakar minyak dan motor listrik. Motor listrik yang digunakan pada UAV berjenis brushless motor dengan sumber energi utama dari baterai. Baterai harus diisi daya sebelum digunakan untuk menerbangkan UAV. Oleh karena itu, kemampuan terbang UAV dengan brushless motor sangat bergantung pada sumber energi dari baterai. Energi listrik yang disimpan dalam baterai sangat terbatas sehingga perlu adanya penghematan konsumsi energi agar UAV mampu terbang lebih lama (Prasetyo & Wahyuni Fajar Arum, 2021).

Popularitas UAV jenis multicopter terutama disebabkan oleh keserhanaan mekanis dan mobilitas yang tinggi (Nie et al., 2013). Namun, daya tahan terbang dari multi-helikopter bertenaga baterai sebagian besar di bawah satu jam, yang sangat membatasi pengaplikasiannya. Tanpa terobosan besar dalam teknologi baterai, daya tahan penerbangan yang terbatas akan tetap ada salah satu kelemahan utama dari multicopters. Untuk meningkatkan daya tahan terbang multicopter telah dikembangkan multicopter hybrid. Multicopters hibrida adalah sebuah multicopter listrik, yang baterainya diisi oleh modul engine-generator selama penerbangan, sehingga meningkatkan daya tahan terbang (Kimoto & Iwase, 2018).

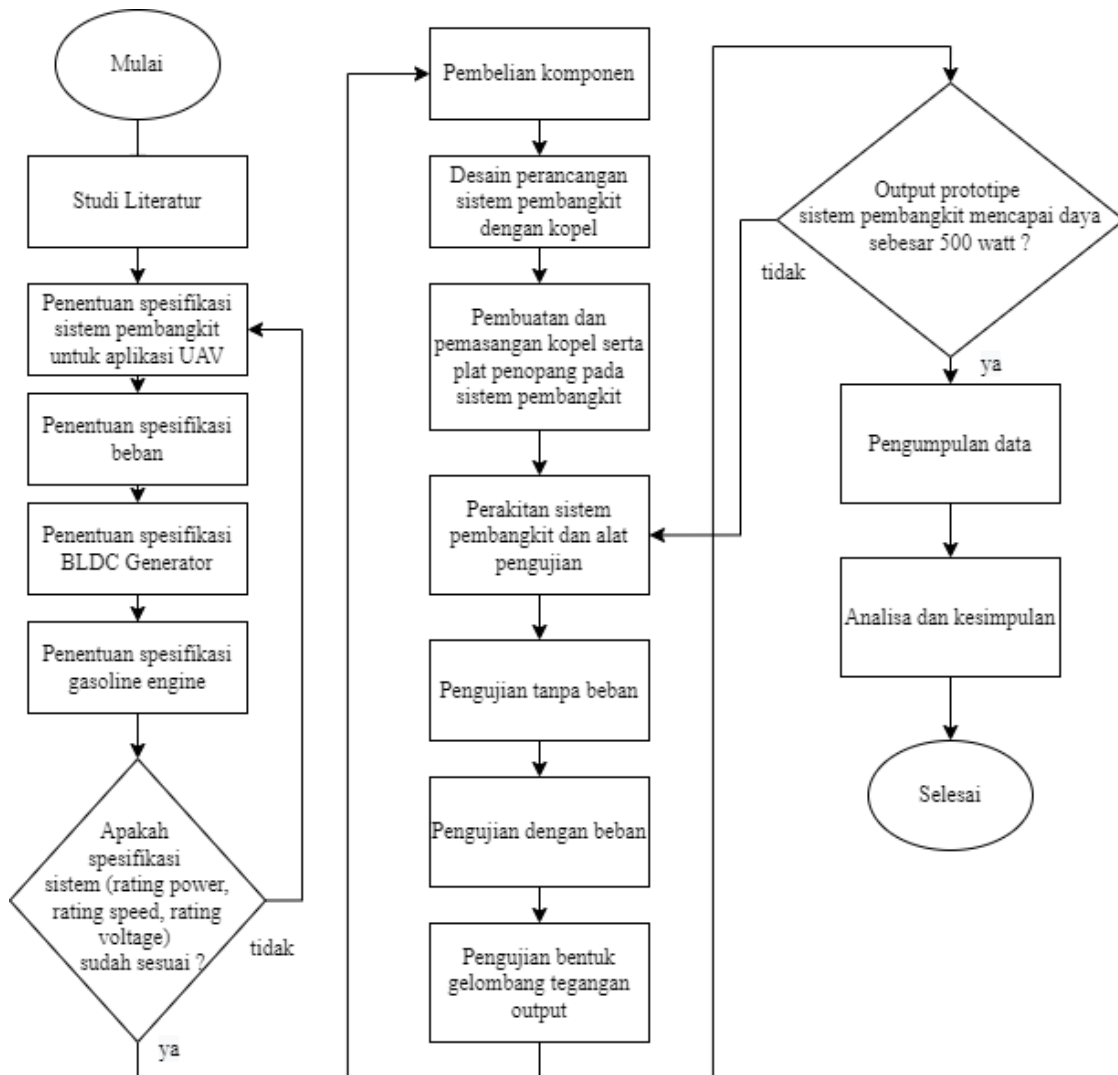
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3 PERANCANGAN SISTEM DAN PEMBUATAN PROTOTIPE

3.1 Perancangan Sistem

Setelah memahami literatur dan konsep dasar yang dibutuhkan, pada bab ini akan membahas tentang metodologi penelitian mengenai perancangan sistem keseluruhan dari desain hingga pembuatan prototipe sistem pembangkit mandiri berbasis generator BLDC untuk aplikasi unmanned aerial vehicle. Konsep dasar pada tugas akhir ini adalah membuat sebuah desain dan prototipe system pembangkit mandiri dari sebuah motor BLDC yang dialih fungsikan menjadi sebuah Generator BLDC. Generator BLDC disini membutuhkan sebuah primemover untuk beroperasi sehingga pada perancangannya dikopel dengan sebuah gasoline engine. Outputan yang dihasilkan dari generator ini diserahkan oleh sebuah rectifier untuk diaplikasikan pada uav jenis quadcopter.

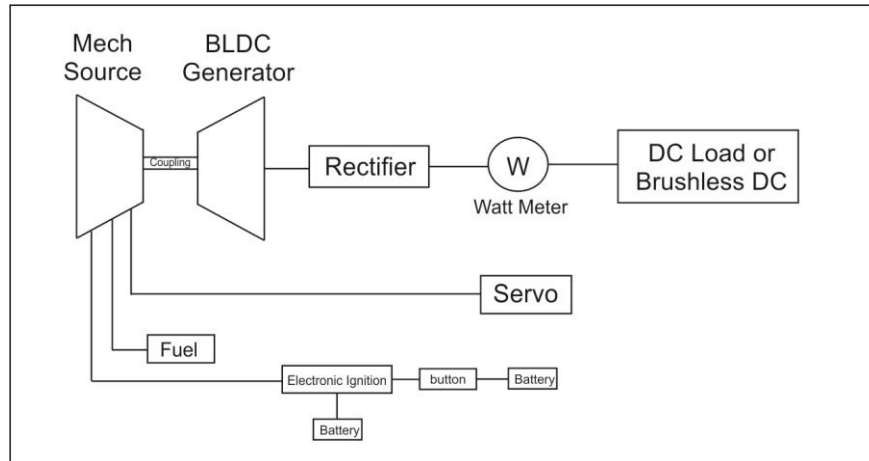
Penelitian diawali dengan perancangan system menentukan spesifikasi komponen serta melakukan proses desain yang diperlukan dalam system. Pembuatan prototype dilanjutkan setelah semua komponen tersusun dan untuk urutan metodologi dapat dilihat pada flowchart berikut.



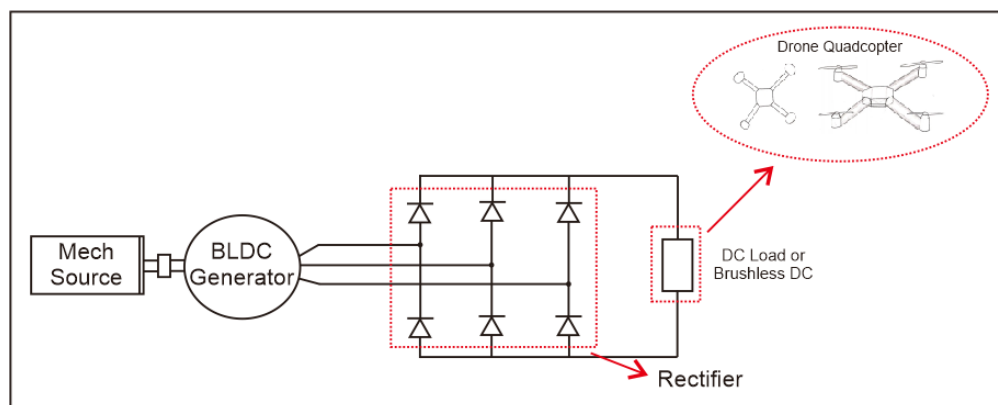
Gambar 3. 1 Flowchart

3.1.1 Sistem Generator

Topologi sistem seperti gambar dibawah terdiri dari system generator dengan komponen pendukung yaitu sumber mekanis dari Gasoline Engine, generator BLDC, dan rangkaian penyearah, hingga beban. Untuk kompenen pendukung terdiri dari baterai,fuel, watt meter, servo dan DC load / brushless DC.



(a)



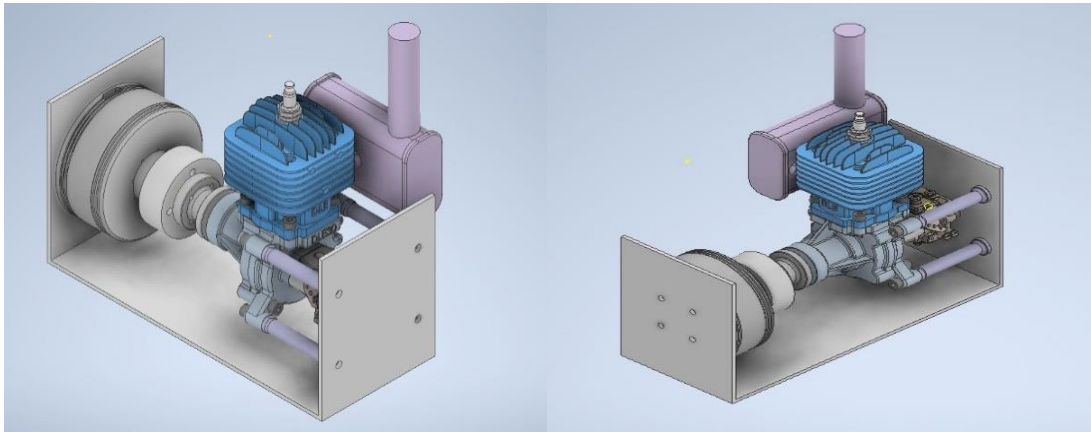
(b)

Gambar 3. 2 (a) Skema keseluruhan sistem , (b) Sistem Generator

Untuk memodelkan *BLDC generator* pada penelitian ini digunakan 1 buah *BLDC Motor* dan dikopel satu sama lain dengan mesin bensin (*Gasoline Engine*). Mesin bensin (*Gasoline Engine*) berperan sebagai penggerak mekanis sedangkan motor BLDC berperan sebagai generator. Kemudian output 3 fasa AC dari BLDC Generator masuk ke rectifier menjadi DC yang kemudian di sambung beban DC.

3.1.2 Desain Kopel

Pada penelitian ini menggunakan kopel jenis inline yang merupakan salah satu dari kopleng tetap yang menggunakan baut untuk menghubungkan kedua porosnya dengan tujuan menstransmisikan daya mekanis. Kopel terbagi menjadi 2 sisi yaitu sisi Gasoline Engine sebagai penggerak mekanis dan sisi motor BLDC. Kedua kopel tersebut dihubungkan dengan menggunakan baut satu sama lain untuk menguatkan.



Gambar 3. 3 Desain 3D sistem generator

3.2 Penentuan Spesifikasi Sistem

Penentuan spesifikasi mempertimbangkan kebutuhan beban. Untuk kebutuhan beban drone ditentukan yaitu T motor U5 kv400 dengan daya satuan 95,46 watt per motor. Jika diakumulasikan kebutuhan saat konfigurasi quadcopter ada 4 motor adalah $95,46 \times 4 = 381,84$ watt, dengan takeoff current sebesar 4,3 amp pada throttle 50%. karakteristik drone saat diterbangkan umumnya berada pada throttle 75% dengan current 11,6 amp. Maka kebutuhan daya relative saat drone diterbangkan adalah 1030 watt.

Maka dipilihlah Generator BLDC dengan jenis T Motor P80 III 120kv dengan daya output sebesar 2831 watt, kemudian untuk Gasoline Engine dipilihkan DLE 30cc dengan daya 2760 watt dan rating rpm 8500. Dengan asumsi bahwa ketika engine dijalankan kecepatan rendah terkopel dengan generator yang akan melaju sama dengan 3000 rpm sebesar 1100 watt yang sudah mencukupi untuk kebutuhan beban.

3.2.1 Generator BLDC

Pada penelitian ini menggunakan satu buah motor BLDC. Berikut spesifikasi dari motor BLDC yang digunakan :

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Motor BLDC T-Motor P80III KV120*

No.	Parameter	Value
1.	Type	BLDC
2.	Model	T-MOTOR P80III
3.	Test Item	KV120
4.	Motor Dimensions	91,6 x 43 mm
5.	Lead	14 AWG Silicone wire
6.	Shaft Diameter	15 mm
7.	Idle Current (10V)	2.0 A
8.	Max. Power (180s)	3600 W
9.	Weight (incl. cable)	649 g
10.	Internal Resistance	36- 41 mΩ
11.	Configuration	36N42P
12.	Rated Voltage (lipo)	6 - 12 s
13.	Peak Current (180s)	70 A



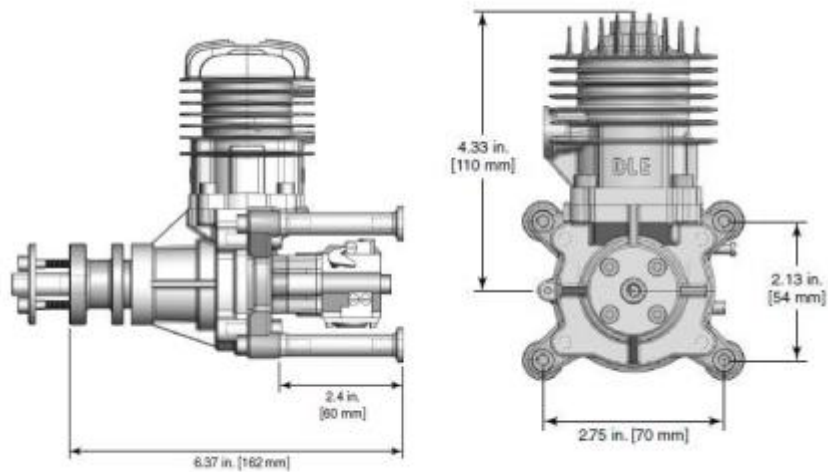
Gambar 3. 4 BLDC T-Motor P80III KV120

3.2.2 Gasoline Engine

Berikut merupakan Gasoline Engine yang digunakan dengan merk *DLE 30* sebagai penggerak mekanis yang akan dikopel dengan Generator BLDC.

Tabel 3. 2 Spesifikasi *Gasoline Engine (DLE-30)*

No.	Parameter	Value
1.	<i>Displacement</i>	<i>30.5 cc (1.86 cu.in)</i>
2.	<i>Performance</i>	<i>3.7 HP / 8500 rpm</i>
3.	<i>Idle Speed</i>	<i>1600 rpm</i>
4.	<i>Ignition Style</i>	<i>Electronic Ignition</i>
5.	<i>Recommended Propeller</i>	<i>18x8, 18x10, 20x8</i>
6.	<i>Spark Plug Type</i>	<i>CM6 (gap) 0.0018 in – 0.020 in (0.45 mm – 0.51 mm)</i>
7.	<i>D x Stroke</i>	<i>1.4 in (36 mm) x 1.18 in (30mm)</i>
8.	<i>Compression Ratio</i>	<i>7.6 : 1</i>
9.	<i>Carborator</i>	<i>DLE with manual choke</i>
10.	<i>Weight</i>	<i>Main engine (910 g) Muffler (60 g) Electronic ignition (120 g) Engine mount standoffs (20 g)</i>
11.	<i>Fuel</i>	<i>87-93 Oktan Gasoline with 30:1 gas oil mixture</i>



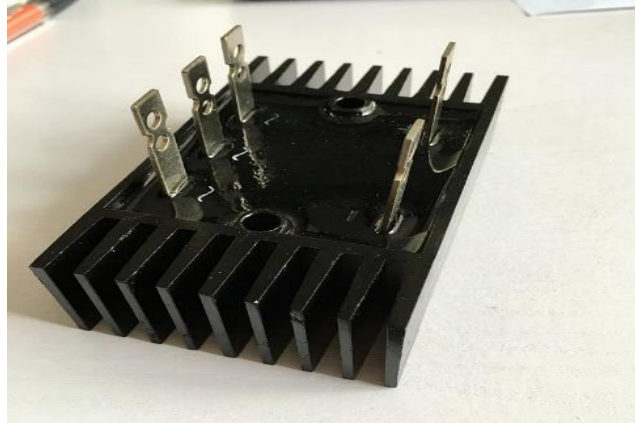
Gambar 3. 5 Gasoline Engine (DLE-30)

3.2.3 Rangkaian Penyearah

Rangkaian penyearah yang digunakan pada penelitian ini adalah *three phase uncontrolled full wave rectifier*. Dengan topologi ini, rangkaian ini menyearahkan tegangan AC 3 fasa gelombang penuh dan tegangan output yang tidak dapat dikontrol.

Tabel 3. 3 Spesifikasi Rangkaian Penyearah *SQL100A*

No.	Paramater	Value
1.	Model	<i>SQL100A</i>
2.	Phase	<i>Three phase</i>
3.	Color	<i>Black</i>
4.	Rectifier component	<i>Full bridge</i>
5.	Power aracteristic	<i>High power</i>
6.	Frequency aracteristic	<i>High frequency</i>
7.	Insulation Voltage	<i>1200 V</i>
8.	Positive peak voltage	<i>1600 V</i>
9.	Reverse repeat peak voltage	<i>100 A</i>
10.	AC DC input/output voltage	<i>1600 V</i>
11.	DC output current	<i>100 A</i>
12.	Working temperature	<i>40-160 Celcius</i>
13.	Size	<i>As the picture</i>
14.	Weight	<i>234 g</i>



Gambar 3. 6 Rectifier SQL100A

3.2.4 Pembebanan Pengujian

3.2.4.1 Beban Lampu bohlam pijar

Berikut merupakan salah satu pembebanan yang akan digunakan dalam pengujian. Pengujian dilakukan dengan rangkaian paralel yang tersusun 3 lampu.

Tabel 3. 4 Spesifikasi bohlam lampu pijar

No.	Parameter	Value
1.	Jenis	Lampu bohlam PS-55
2.	Tegangan	24 Volt
3.	Daya	60 Watt



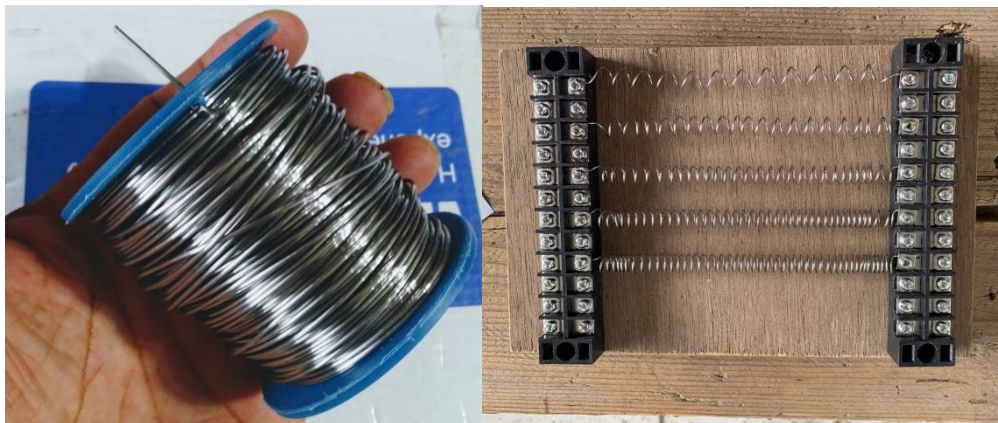
Gambar 3. 7 Bohlam pijar

3.2.4.2 Beban Kawat Nikelin

Berikut juga merupakan salah satu jenis pembebanan yang digunakan dalam pengujian. Tujuan pemilihan beban kawat nikelin ini untuk memudahkan implementasi dan menggantikan beban asli yaitu T motor U5 kv400. Dan beban kawat nikelin ini diuji dengan akumulasi kebutuhan quadcopter yaitu sampai ± 400 watt untuk take off.

Tabel 3. 5 Spesifikasi Kawat Nikelin

No.	Parameter	Value
1.	Diameter	0,7 mm
2.	Max Suhu	1000 Celcius
3.	Resistansi	5 ohm per meter



Gambar 3. 8 Kawat Nikelin

3.3 Pembuatan Prototipe

Proses pembuatan prototipe dimulai dari mencetak komponen kopel system generator dengan mesin bubut CNC yang nantinya menjadi penghubung Gasoline Engine dengan BLDC Generator. Untuk pemasangan kopel dengan system generator yang nantinya akan terhubung satu sama lain dilakukan secara manual. Setelah proses pemasangan kopel selesai dilanjutkan pemasangan system generator yang sudah terkopel diatas alas plat yang menopang generator tersebut.

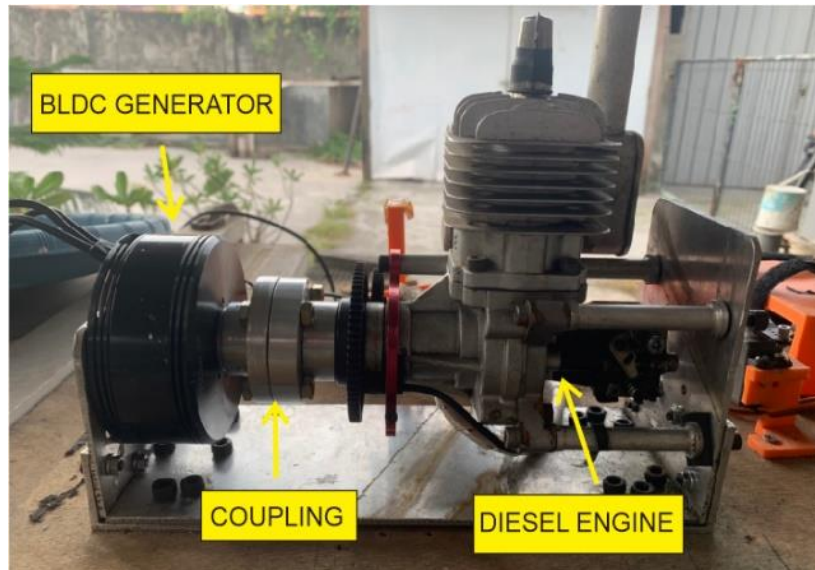


(a)



(b)

Gambar 3. 9 (a) Kopel sisi Mesin Gasoline , (b) Kopel sisi BLDC Generator



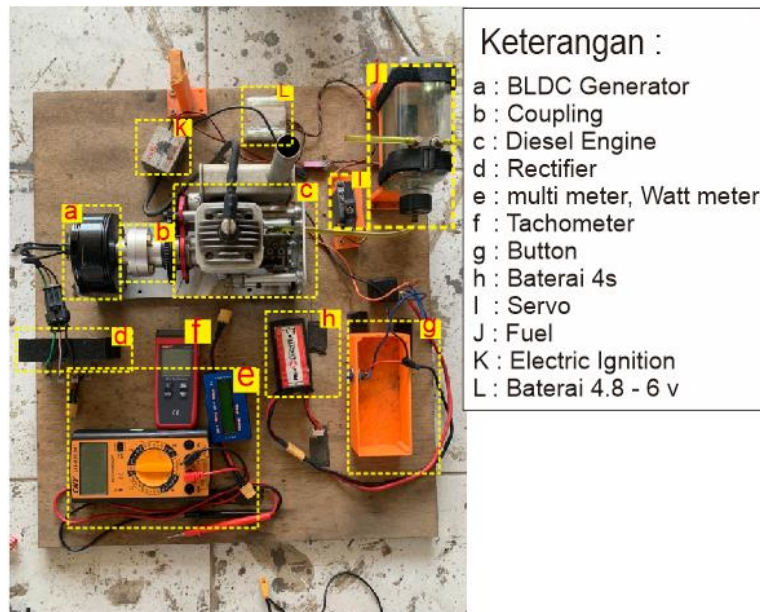
Gambar 3. 10 Hasil instalasi sistem BLDC Generator beserta kopel dan plat.

3.4 Penyusunan Alat Pengujian

Pada penelitian ini, pengujian dibagi menjadi pengujian tanpa beban dan pengujian berbeban serta pengujian capture waveform tegangan output. Pengujian terhadap Generator BLDC menggunakan baterai sebagai sumber tegangan starter awal Gasoline Engine (penggerak mekanik) dan beberapa peralatan pendukung pengukuran lainnya.

3.4.1 Penyusunan pengujian tanpa beban

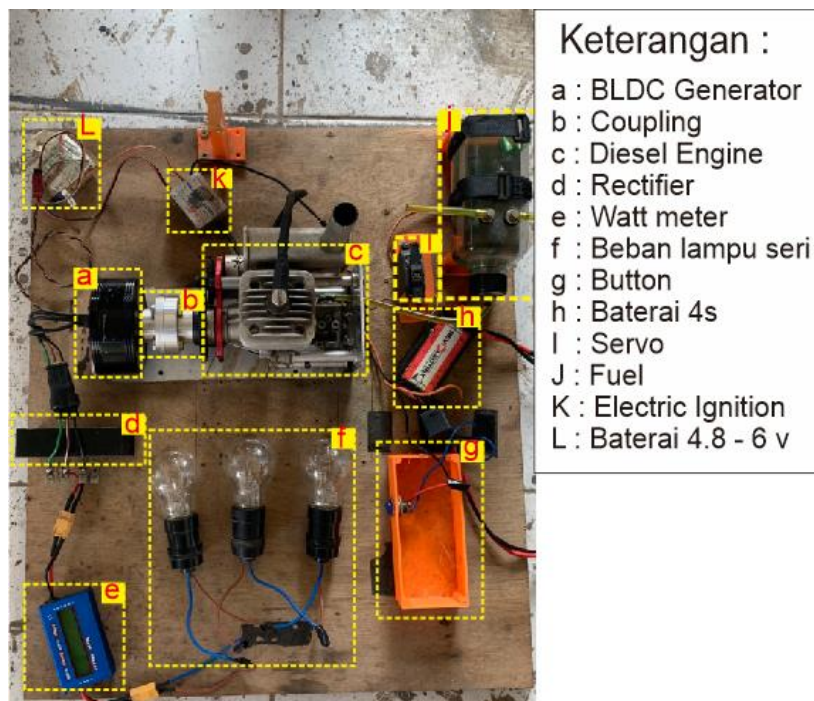
Pada pengujian tanpa beban, Generator BLDC dijalankan dengan menggunakan sistem throttle dalam bentuk servo dan pengaturan kecepatan diatur mulai dari keadaan idle hingga yang ditentukan. Tujuan pengujian tanpa beban ini untuk memperoleh data berupa rated speed dan rated voltage. pengukuran kecepatan menggunakan tachometer dan tegangan menggunakan multimeter.



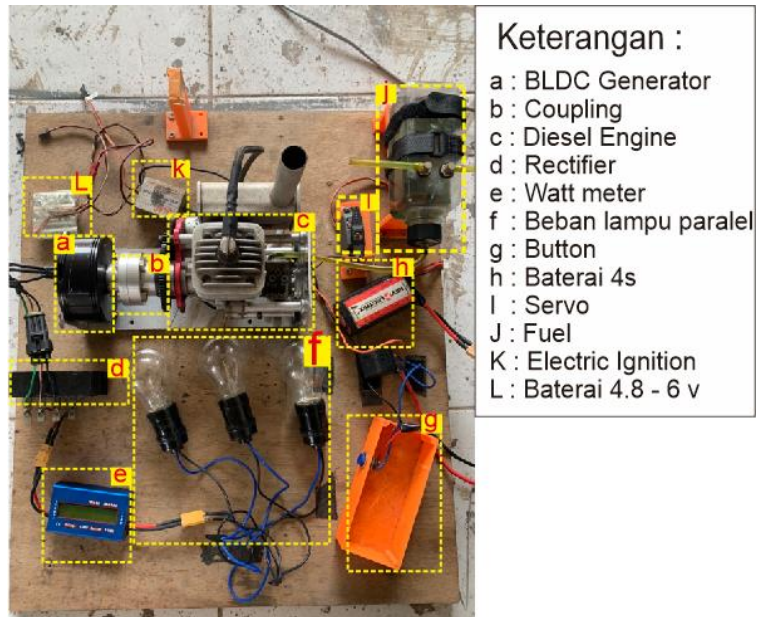
Gambar 3. 11 *Pengujian tanpa beban*

3.4.2 Penyusunan pengujian dengan beban

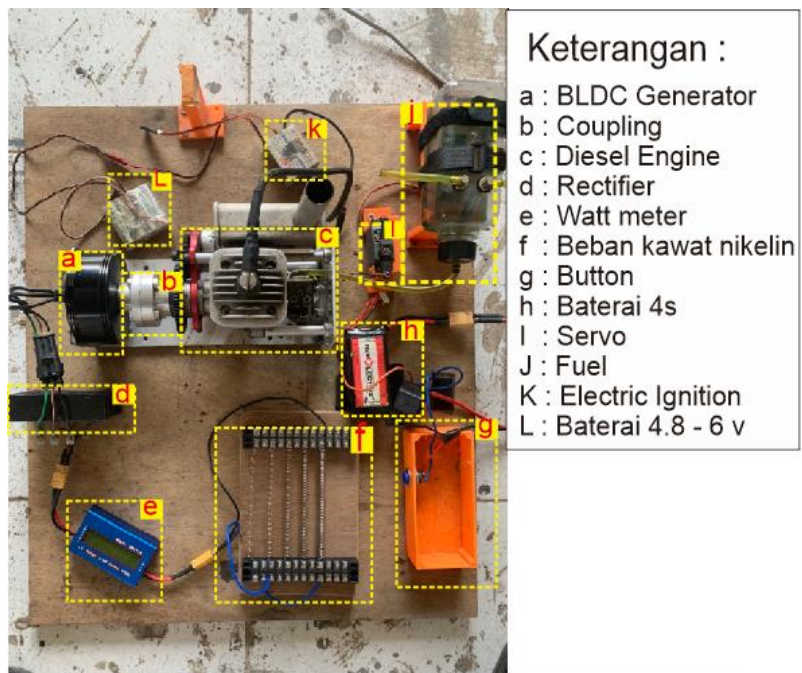
Pada pengujian dengan beban, Generator BLDC dijalankan dengan penambahan beban yang divariasikan pengujian dan jenis bebannya yaitu beban lampu rangkaian seri dan lampu rangkaian paralel dan kawat nikelin dengan resistansi 3 ohm dan 5 ohm. Tujuan dari pengujian ini untuk memperoleh data berupa daya output dari Generator BLDC. Parameter yang diambil adalah tegangan output, arus output dan kecepatan.



Gambar 3. 12 *Pengujian berbeban lampu seri*



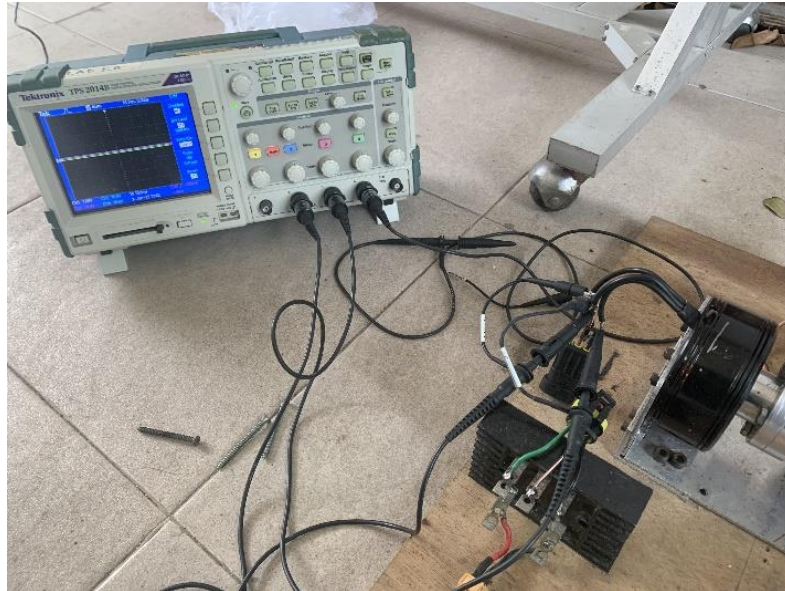
Gambar 3. 13 Pengujian berbeban lampu paralel



Gambar 3. 14 Pengujian berbeban kawat nikelin

3.4.3 Penyusunan pengujian capture waveform

Pada pengujian capture waveform tegangan output dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bentuk gelombang secara visual pada osiloskop. Pengujian ini juga dilakukan dengan tanpa beban dan berbeban serta dilakukan dari 1 phase, 2 phase dan 3 phase. Data hasil pengujian akan dibandingkan dan dianalisis karakteristik nya.



Gambar 3. 15 Pengujian bentuk gelombang tegangan output

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Prototipe

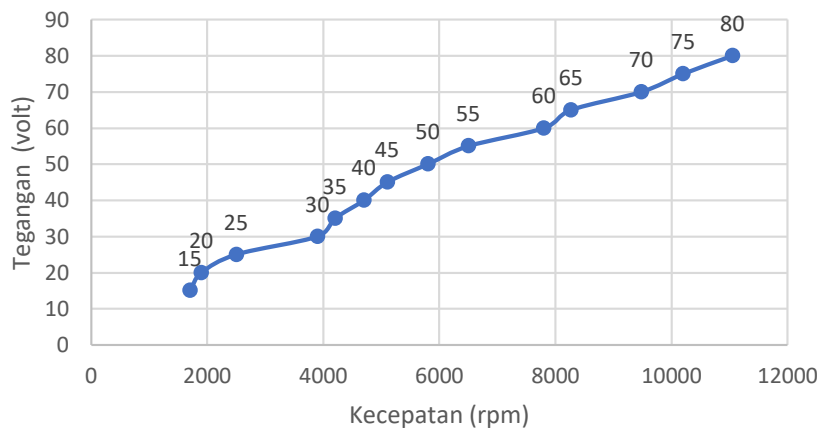
Di dalam bab 4 ini akan menjelaskan mengenai hasil pengujian dan analisis pembahasan data terhadap prototipe system pembangkit mandiri berbasis BLDC Generator. hasil pengujian realisasi prototipe menggunakan peralatan uji mandiri. Selanjutnya pengambilan data hasil pengujian tanpa beban menggunakan tachometer dan multimeter, kemudian dilanjutkan pengujian dengan beban. Selanjutnya data hasil pengukuran capture waveform untuk setiap fasa. Pada hasil pengujian data yang didapatkan dari pengujian dibandingkan dan dianalisis dengan teori.

4.2 Pengujian Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban adalah pengujian yang dilakukan pada sistem generator saat belum terpasang oleh beban sesuai dengan gambar 3.10 Pada pengujian ini dapat dilihat karakteristik tegangan dan kecepatan (rpm) yang dihasilkan oleh generator BLDC. Kecepatan Generator diatur menggunakan sistem throttle dalam bentuk servo manual. Servo bekerja dengan cara menaikkan ke arah kiri dan menurunkan ke arah kanan. Pengukuran tegangan dilakukan dengan multimeter dan pengukuran kecepatan putar dilakukan dengan tachometer digital. hasil dari pengukuran adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Data pengujian tanpa beban

Tegangan	Kecepatan
15	1700
20	1900
25	2500
30	3900
35	4200
40	4700
45	5100
50	5800
55	6500
60	7800
65	8269
70	9480
75	10202
80	11050



Gambar 4. 1 Kurva tegangan dan kecepatan tanpa beban

Berdasarkan hasil pengujian pada subbab 4.1.1 dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari Generator BLDC saat bekerja. Pengujian ini mendapatkan hasil berupa tegangan (V) dan kecepatan putar (Rpm) yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

Pengujian dilakukan mulai dari keadaan engine saat idle dengan tegangan 15 volt dengan kecepatan 1700 rpm hingga pada tegangan 80 volt dengan 11050 Rpm, Berdasarkan hasil pada table didapatkan kecepatan putar mempengaruhi tegangan, ketika kecepatan putar meningkat maka tegangan akan semakin naik. Hal ini membuktikan bahwa Generator BLDC sangat dipengaruhi oleh rotasi kecepatan putar atau rpm.

4.3 Pengujian Berbeban

Pada pengujian ini dilakukan penambahan beban pada sistem generator. Pengaruh beban akan mempengaruhi karakteristik dari sistem sebelum menggunakan beban. pada tahap ini akan dilakukan beberapa pengujian yaitu pengujian berbeban lampu dan pengujian berbeban kawat nikelin.

4.3.1 Pengujian Berbeban Lampu

Pada pengujian ini berbeda dengan pengujian sebelumnya yaitu ditambahkan dengan pemberian beban menggunakan lampu dengan tegangan 24 volt tiap lampu namun hasil yang dianalisis hanya rangkaian secara parallel. Pada pengujian ini juga memperoleh data power output dari BLDC Generator. Berikut hasil pengukuran yang didapat :

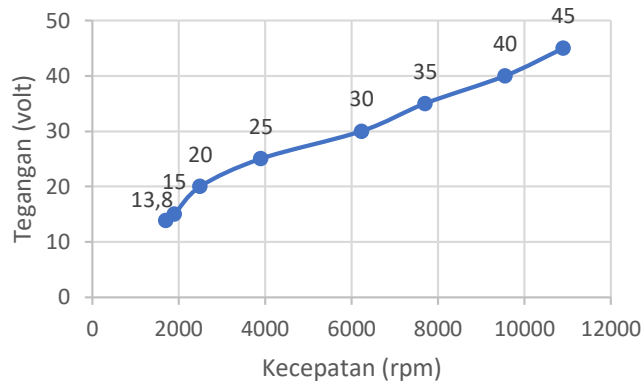
Tabel 4. 2 Data Berbeban Lampu Paralel (3 x 60 watt, 24 volt)

Tegangan	Kecepatan	Arus	Daya
13,8	1700	1,69	23,322
15	1900	1,83	27,45
20	2500	2,03	40,6

Tabel 4. 3 Data Berbeban Lampu Paralel (3 x 60 watt, 24 volt)

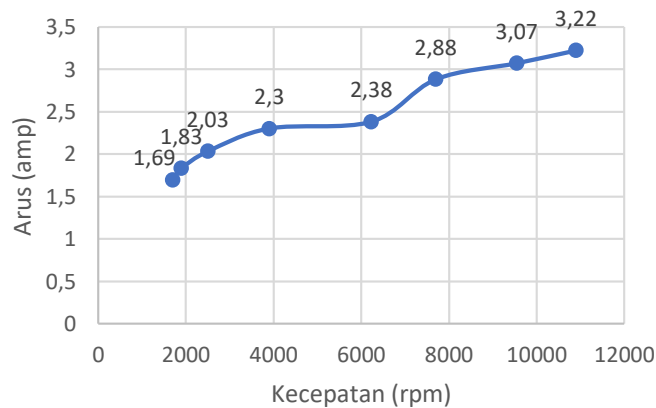
Tegangan	Kecepatan	Arus	Daya
25	3900	2,3	57,5
30	6230	2,38	71,4
35	7700	2,88	100,8
40	9550	3,07	122,8
45	10900	3,22	144,9

Pada pengujian berbeban lampu paralel ini rating tegangan lampu tetap di nilai 24 volt sedangkan pada permintaan arus paralel 3 menjadi 2,5 amp x 3 menjadi 7,5 amp namun rating tiap lampu masing masing lampu adalah 2,5 amp sehingga pada pengujian ini saat arus mencapai tegangan 45 volt dengan arus 3,22 amp beban lampu tersebut putus.



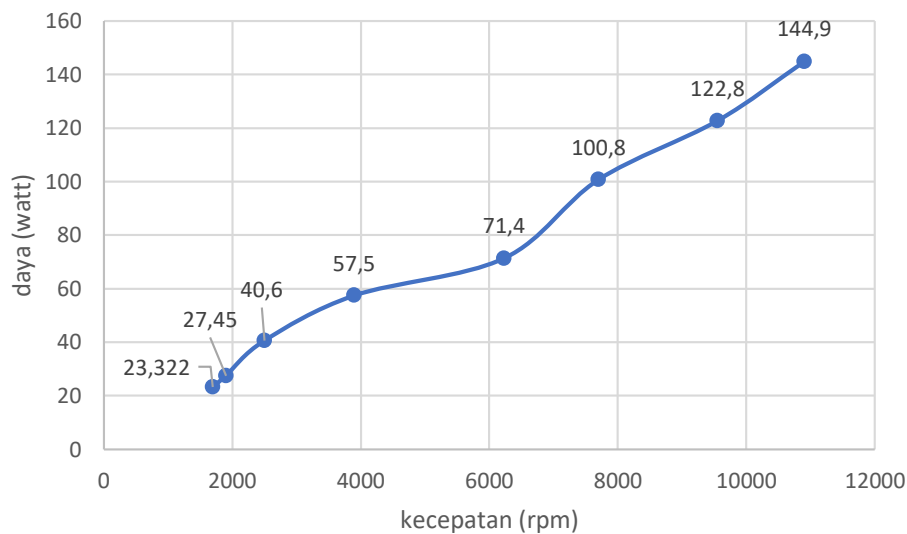
Gambar 4. 2 kurva tegangan dan kecepatan dengan beban lampu paralel

Pada gambar diatas tegangan berbanding lurus dengan kecepatan putar dimana didapatkan tegangan awal sebesar 13,8 volt dengan kecepatan 1700 rpm. Hasil tegangan awal pada rangkaian paralel ini sedikit lebih besar dari rangkaian seri.



Gambar 4. 3 kurva arus dan kecepatan dengan beban lampu paralel

Pada gambar diatas arus juga berbanding lurus dengan kecepatan putar diperoleh arus sebesar 1,69 dengan kecepatan awal 1700 rpm dan arus maksimal yang dihasilkan sebesar 3,22 amp dengan kecepatan sebesar 10900 rpm.



Gambar 4. 4 kurva daya dan kecepatan dengan beban lampu paralel

Begitu juga daya output yang berbanding lurus dengan kecepatan rpm disertai dengan kenaikan arus dan juga tegangan. Namun pada rangkaian paralel ini daya output yang dihasilkan sedikit lebih besar dari rangkaian seri. Dapat dilihat output maksimal yang dihasilkan dalam pengujian beban lampu rangkian paralel ini sebesar 144,9 watt dengan kecepatan 10900 rpm.

Dari kedua percobaan berbeban lampu baik rangkaian seri dan rangkaian paralel ini dapat disimpulkan perbandingannya dari sisi tegangan sama sama mengalami drop tegangan namun lebih besar pada rangkaian seri. Dari sisi arus lebih besar pada rangkaian paralel sesuai karakteristik beban dari rangkaian tersebut. Untuk daya lebih besar pada rangkian paralel hal ini dipengaruhi oleh permintaan arus yang besar. Hal ini membuktikan bahwa arus yang dikeluarkan oleh generator besarnya mengikuti permintaan dari beban. oleh

4.3.2 Pengujian Berbeban Kawat Nikelin

Pada pengujian ini diberikan kawat nikelin dengan variasi resistansi 3 ohm dan 5 ohm sebagai pengganti beban motor dc untuk mempermudah implementasi. Pengujian dilakukan sampai tegangan output mencapai 500 watt dimana dengan asumsi sudah melewati tegangan minimal kebutuhan quadcopter sebesar ± 400 watt untuk take off dengan throttle 50%. Hasil pengujian sebagai berikut :

4.3.3.1 Kawat Nikelin (Diameter 0,7 mm, Resistansi 3 ohm, Panjang 1 meter)

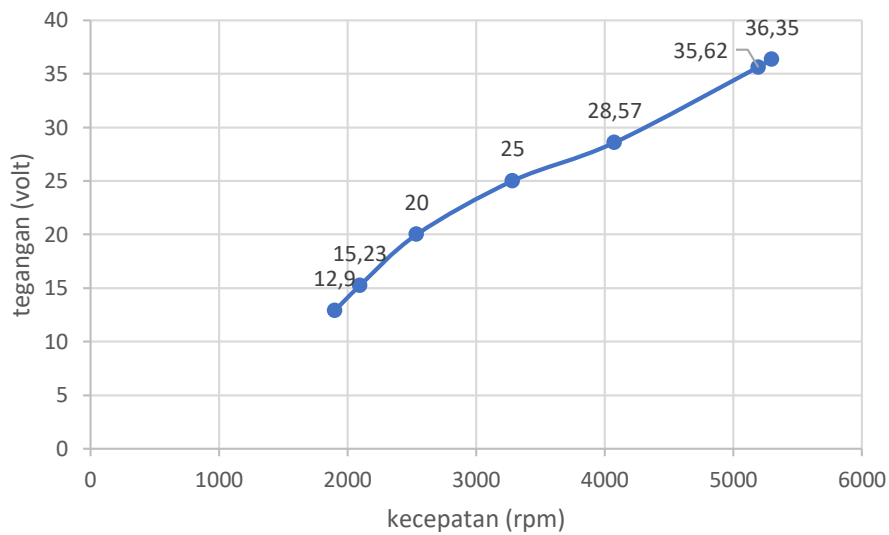
Tabel 4. 4 Data Berbeban Kawat Nikelin Resistansi 3ohm

Tegangan	Kecepatan	Arus	Daya
12,9	1900	3,3	42,57

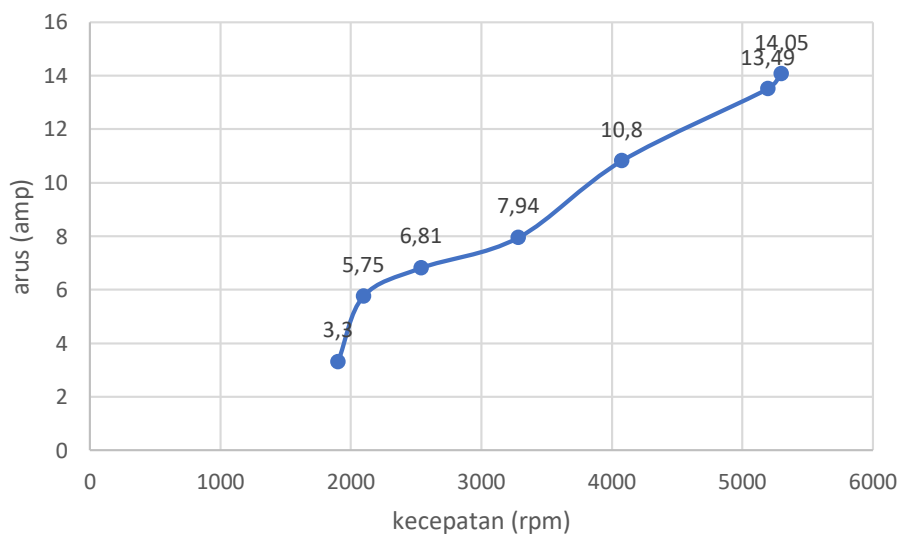
Tabel 4. 5 Data Berbeban Kawat Nikelin Resistansi 3ohm

Tegangan	Kecepatan	Arus	Daya
15,23	2095	5,75	87,57
20	2537	6,81	136,2
25	3283	7,94	198,5
28,57	4075	10,8	308,5
35,62	5194	13,49	480,5
36,35	5300	14,05	510,7

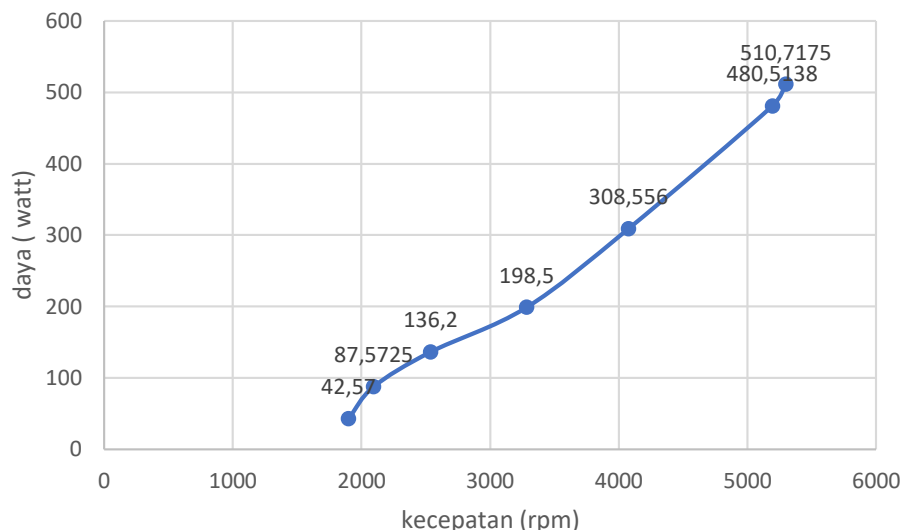
Dari hasil pada tabel 4.4 didapatkan tegangan output minimal sebesar 12,9 watt dengan tegangan 12,9 volt, kecepatan 1900 rpm. Kemudian untuk tegangan output maksimal sebesar 510,7 watt dengan tegangan 36,35 volt, kecepatan 5300 rpm.



Gambar 4. 5 kurva tegangan dan kecepatan dengan beban nikelin 3 ohm



Gambar 4. 6 kurva arus dan kecepatan dengan beban nikelin 3 ohm



Gambar 4. 7 kurva daya dan kecepatan dengan beban nikelin 3 ohm

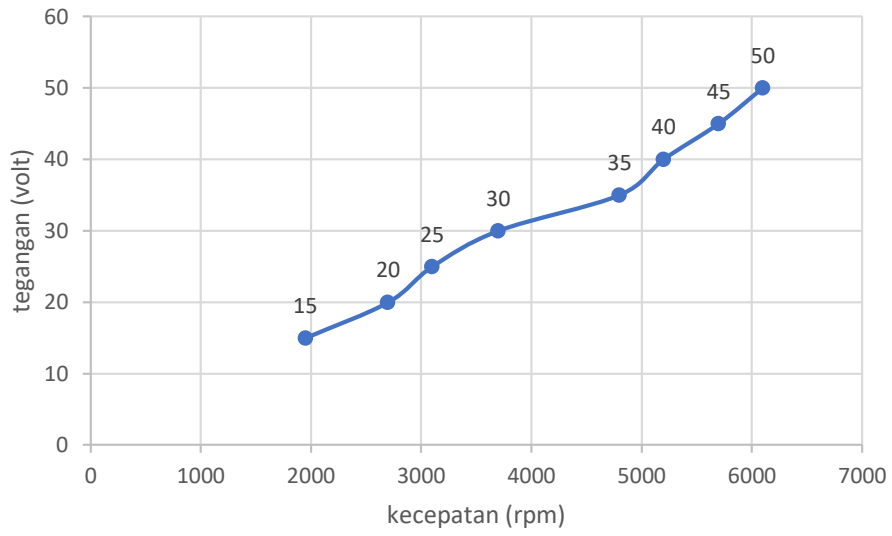
Berdasarkan gambar 4.8 , 4.9 dan 4.10 menunjukkan bahwa kecepatan generator berbanding lurus dengan tegangan, arus dan daya output. Semakin naik kecepatan putar generator maka semakin naik pula tegangan, arus dan daya output yang dihasilkan.

4.3.3.2 Kawat Nikelin (Diameter 0,7 mm, Resistansi 5 ohm, Panjang 1 meter)

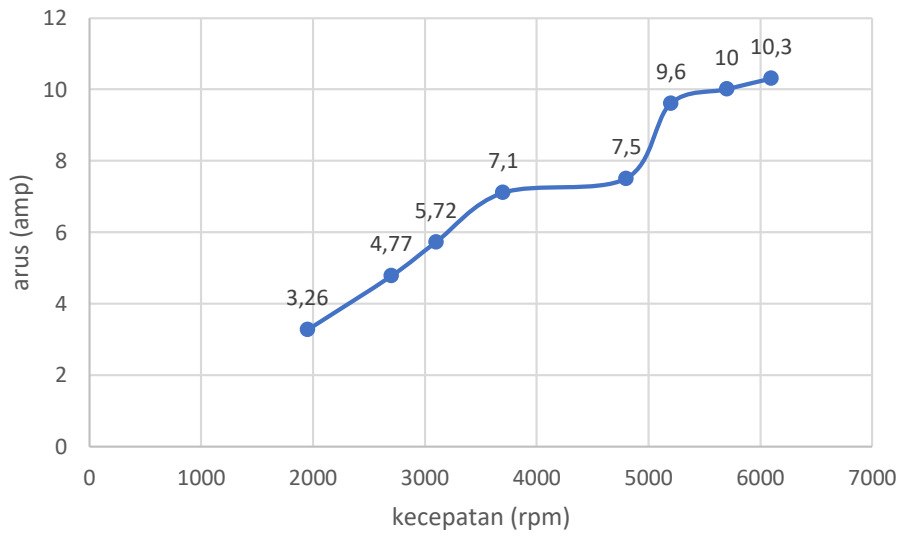
Tabel 4. 6 Data Berbeban Kawat Nikelin Resistansi 5ohm

tegangan	kecepatan	arus	daya
15	1950	3,26	48,9
20	2700	4,77	95,4
25	3100	5,72	143
30	3700	7,1	213
35	4800	7,5	262,5
40	5200	9,6	384
45	5700	10	450
50	6100	10,3	515

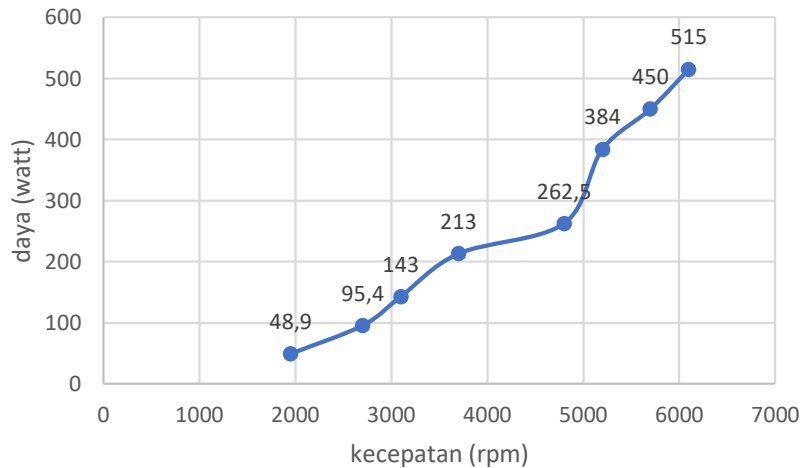
Dari hasil pada tabel 4.5 didapatkan tegangan output minimal sebesar 48,9 watt dengan tegangan 15 volt, kecepatan 1950 rpm. Kemudian untuk tegangan output maksimal sebesar 515 watt dengan tegangan 50 volt, kecepatan 6100 rpm



Gambar 4. 8 kurva tegangan dan kecepatan dengan beban nikelin 5 ohm



Gambar 4. 9 kurva arus dan kecepatan dengan beban nikelin 5 ohm



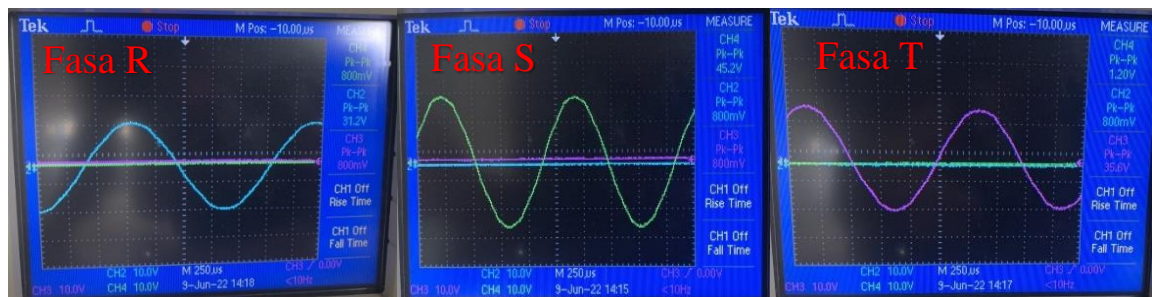
Gambar 4. 10 kurva daya dan kecepatan dengan beban nikelin 3 ohm

Berdasarkan gambar 4.11 , 4.12 dan 4.13 hasil pengukuran nikelin resistansi 5 ohm juga menunjukkan bahwa kecepatan generator berbanding lurus dengan tegangan, arus dan daya output. Semakin naik kecepatan putar generator maka semakin naik pula tegangan, arus dan daya output yang dihasilkan.

4.4 Pengujian Bentuk Gelombang tegangan output

4.4.1 Bentuk gelombang tegangan output tanpa beban

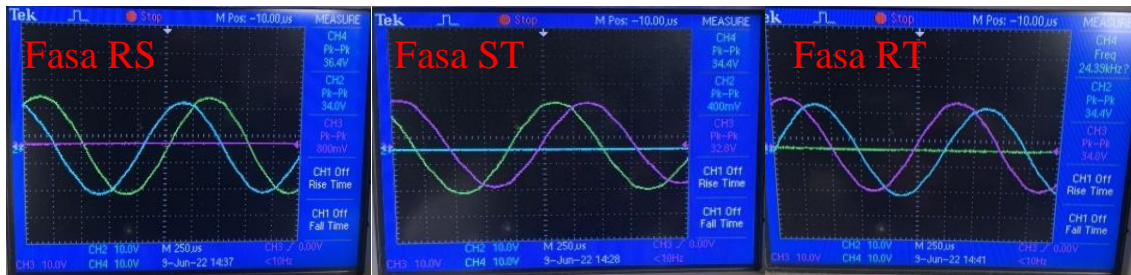
4.4.1.2 Satu Phase



Gambar 4. 11 Pengujian bentuk gelombang tegangan output tanpa beban 1 fasa.

Dari gambar 4.14 diperoleh data yaitu besarnya tegangan output 1 fasa tanpa beban yang dihasilkan dalam bentuk gelombang. Pengujian dilakukan dengan perbesaran magnification 10x, volt/dif sebesar 10 V dan time dif sebesar 250 micro sekon. Hasil gelombang yang terukur adalah gelombang sinus dengan setiap fasa yang cukup berbeda yaitu dengan tegangan peek to peek masing masing 31,2 V untuk fasa R, 35,6 V untuk fasa S dan 45,2 V untuk fasa T. berdasarkan data tegangan untuk masing masing fasa didapatkan bahwa ada ketidakseimbangan tegangan antar fasa. Hal ini disebabkan bahwa tidak adanya kontrol tegangan pada sistem.

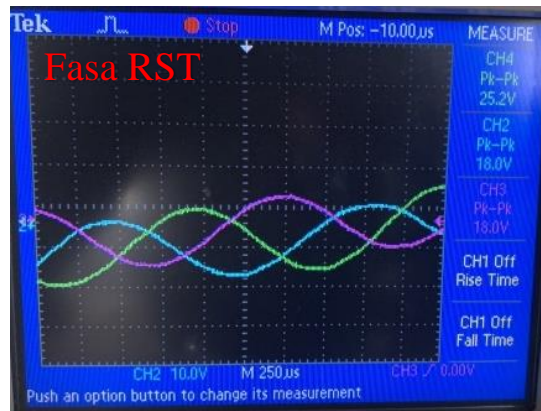
4.1.3.1.2 Dua Phase



Gambar 4. 12 Pengujian bentuk gelombang tegangan output tanpa beban 2 fasa.

Dari gambar 4.15 diperoleh data yaitu besarnya tegangan output 2 fasa tanpa beban yang dihasilkan dalam bentuk gelombang. Pengujian dilakukan dengan perbesaran magnification 10x, volt/dif sebesar 10 V dan time dif sebesar 250 micro sekon. Diperoleh gelombang sinus setiap 2 phasa yang relative sama juga dengan tegangan pk-pk masing masing 34,4 V dan 34,6 V untuk phasa RS, 32,8 V dan 34,4 V untuk phasa ST, 34 V dan 36,2 V untuk phasa RT. berdasarkan data tegangan untuk masing masing 2 fasa didapatkan bahwa ada ketidakseimbangan tegangan antar 2 fasa namun selisih tidak sebesar 1 fasa. Hal ini juga disebabkan bahwa tidak adanya kontrol tegangan pada sistem.

4.1.3.1.3 Tiga Phase



Gambar 4. 13 Pengujian bentuk gelombang tegangan output tanpa beban 3 fasa.

Dari gambar 4.16 diperoleh data yaitu besarnya tegangan output 3 fasa tanpa beban yang dihasilkan dalam bentuk gelombang. Pengujian dilakukan dengan perbesaran magnification 10x, volt/dif sebesar 10 V dan time dif sebesar 250 micro sekon. Hasil pengukuran besarnya tegangan output tanpa beban yang dihasilkan adalah sebuah gelombang sinus 3 fasa seimbang. Dengan hasil pengukuran tegangan output untuk 3 phasa RST sebesar 18 volt, 18 volt dan 25,2 volt. berdasarkan data tegangan 3 fasa bahwa ada ketidakseimbangan tegangan antar fasa yaitu fasa RS terhadap fasa T. Hal ini disebabkan bahwa tidak adanya kontrol tegangan pada sistem.

4.4.2 Bentuk gelombang dengan beban

4.1.3.2.1 Satu Phase



Gambar 4. 14 Pengujian bentuk gelombang tegangan output dengan beban 1 fasa

Pengujian dilakukan dengan perbesaran magnification 10x, volt/dif sebesar 10 V dan time dif sebesar 250 micro sekon. Dari gambar 4.17 diperoleh data yaitu besarnya tegangan output dengan beban yang dihasilkan dalam bentuk gelombang sinus ber ripple. Diperoleh gelombang sinus ber ripple setiap fasa lebih rendah dari tanpa beban dengan tegangan peek to peek masing masing 20,8 V untuk fasa R, 31.2 V untuk fasa S dan 29,2 V untuk fasa T. hal ini dikarenakan penambahan beban menurunkan tegangan output generator.

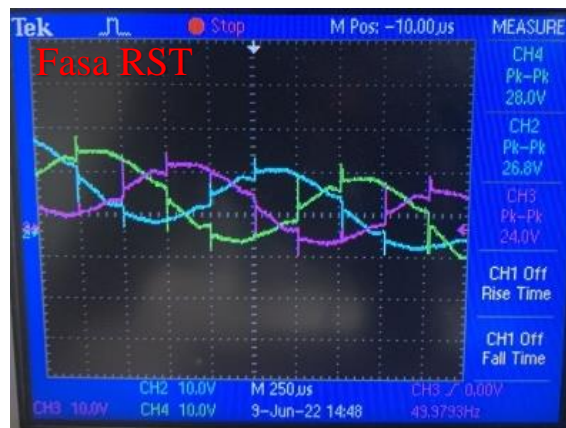
4.1.3.2.2 Dua Phase



Gambar 4. 15 Pengujian bentuk gelombang tegangan output dengan beban 2 fasa

Pengujian dilakukan dengan perbesaran magnification 10x, volt/dif sebesar 10 V dan time dif sebesar 250 micro sekon. Dari gambar 4.18 diperoleh juga data yaitu besarnya tegangan output dengan beban yang dihasilkan dalam bentuk gelombang . Diperoleh gelombang sinus setiap 2 fasa yang ber ripple dikarenakan beban resistif dengan tegangan pk-pk masing masing 32,8 V dan 31,2 V untuk fasa RS, 36,4 V dan 39,6 V untuk fasa ST, 36,8V dan 40 V untuk fasa RT

4.1.3.2.3 Tiga Phase



Gambar 4. 16 Pengujian bentuk gelombang tegangan output dengan beban 3 fasa

Pada Gambar 4.19 adalah hasil pengujian capture waveform berbeban 3 fasa. Dari gambar diatas dapat terlihat bahwa penambahan beban resistif mempengaruhi karakteristik gelombang tegangan output menjadi ada ripple disetiap fasanya. Untuk hasil pengukuran dari tegangan output 3 phasa RST sebesar 26,8 volt , 24 volt dan 28 volt. Dari hasil tegangan berbeban ini naik dari hasil tanpa beban dikarenakan untuk memperoleh gelombang tersebut kecepatan rpm generator dengan beban dinaikan sehingga tegangan output yang diperoleh juga naik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil desain, perancangan prototipe dan pengujian dari system pembangkit mandiri menggunakan BLDC Generator untuk aplikasi Unmanned Aerial Vehicle dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Implementasi perancangan system generator BLDC yang digunakan dapat bekerja sesuai desain yang diinginkan.
2. Kecepatan prototipe BLDC Generator yang terukur pada pengujian tanpa beban adalah sebesar 11050 rpm dengan tegangan sebesar 80 volt. Dan dari hasil pengujian tersebut didapatkan karakteristik performa tegangan berbanding lurus dengan naiknya kecepatan.
3. Pada pengujian berbeban kawat nikelin diperoleh karakteristik performa daya output juga berbanding lurus dengan naiknya kecepatan. Dan daya output maksimal yang terukur sebesar 515 watt dengan kecepatan 6100 rpm.
4. Daya output maksimal yang terukur sebesar 515 watt sudah memenuhi akumulasi kebutuhan daya relative quadcopter drone saat take off, yaitu minimal 381 watt dengan throttle 50%.
5. Pada pengujian capture waveform diperoleh karakteristik bentuk gelombang yang dihasilkan yaitu gelombang sinus seimbang 3 phasa pada keadaan tanpa beban. Sedangkan pada keadaan berbeban gelombang yang dihasilkan mempunyai ripple disetiap phase nya dikarenakan beban resistif.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah :

1. Pemilihan dan penggunaan jenis kopel lain yang lebih fleksibel untuk meningkatkan efisiensi sistem.
2. Pemilihan dan penggunaan motor BLDC sebagai generator memerlukan perhitungan yang lebih banyak untuk meningkatkan efisiensi sistem.
3. Pemilihan dan penggunaan sumber mekanis sebagai penggerak generator memerlukan perhitungan yang lebih banyak untuk meningkatkan efisiensi sistem
4. Apabila merancang prototipe sistem pembangkit BLDC Generator sebaiknya mempertimbangkan desain dan material yang digunakan untuk penopang sistem prototipe tersebut agar tahan terhadap distorsi mesin.
5. Selalu memperhatikan suhu prototipe generator ketika diuji, karena jika panas maka hasil pengujian akan berbeda jauh. Perlu dilakukan cooling down berkala setiap pengujian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)


DAFTAR PUSTAKA

- Almizan, A., Suryoatmojo, H., & Ashari, M. (2020). *GENERATOR BLDC BERBASIS BIDIRECTIONAL BUCK-BOOST CONVERTER DENGAN METODE*.
- Indarto, B., Ilhami, A. W., & Bustomi, M. A. (2021). Testing Low rpm BLDC Generator as Power Plant for Remote Areas. *Proceedings of the 7th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Sciences (ICRIEMS 2020)*, 528(Icriems 2020), 404–409. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210305.058>
- Kimoto, Y., & Iwase, M. (2018). Flight control of gasoline-engine driven hexacopter with variable-pitch: Towards stable and long-endurance flight. *2017 Asian Control Conference, ASCC 2017, 2018-Janua*, 377–382. <https://doi.org/10.1109/ASCC.2017.8287199>
- Krznar, M., Pavković, D., Cipek, M., & Benić, J. (2021). Modeling, controller design and simulation groundwork on multirotor unmanned aerial vehicle hybrid power unit. *Energies*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/en14217125>
- Lu, W., Zhang, D., Zhang, J., Li, T., & Hu, T. (2017). Design and implementation of a gasoline-electric hybrid propulsion system for a micro triple tilt-rotor VTOL UAV. *Proceedings of 2017 IEEE 6th Data Driven Control and Learning Systems Conference, DDCLS 2017*, 433–438. <https://doi.org/10.1109/DDCLS.2017.8068112>
- Nie, C., Pacheco Corcho, X., & Spenko, M. (2013). Robots on the move: Versatility and complexity in mobile robot locomotion. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 20(4), 72–82. <https://doi.org/10.1109/MRA.2013.2248310>
- Onar, O. C., Gurkaynak, Y., & Khaligh, A. (2009). A brushless DC generator & synchronous rectifier for isolated telecommunication stations. *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference (Proceedings)*. <https://doi.org/10.1109/INTLEC.2009.5352047>
- Prasetyo, E. E., & Wahyuni Fajar Arum. (2021). Analisis Perbandingan Kinerja Brushless Motor Menggunakan Metode Eksperimen. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 10(1), 71–76. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v10i1.987>
- Rajaraman, V., Naveen, S., Saharan, S. R. V., & Shivkumar, V. J. (2016). Voltage regulation of a high speed BLDC generator for aircraft applications. *2016 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication, ICCPEIC 2016*, 381–385. <https://doi.org/10.1109/ICCPEIC.2016.7557261>
- Recoskie, S., Fahim, A., Gueaieb, W., & Lanteigne, E. (2013). Experimental testing of a hybrid power plant for a dirigible UAV. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, 69(1–4), 69–81. <https://doi.org/10.1007/s10846-012-9764-8>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

a. Data Sheet DLE-30



Specifications

Displacement: 30.5 cc [1.86 cu. in.]

Performance: 3.7HP / 8,500 rpm

Idle Speed: 1,600 rpm

Ignition Style: Electronic Ignition

Recommended Propellers: 18×8, 18×10, 19×8, 20×8

Spark Plug Type: CM6
(Gap) 0.018in.– 0.020 in. [0.45mm – 0.51mm]

Diameter × Stroke: 1.41in. [36mm] × 1.18in. [30mm]

Compression Ratio: 7.6:1

Carburetor: DLE with Manual Choke

Weight: Main Engine – 2 lb [910g]
Muffler – 2.11oz [60g]
Electronic Ignition – 4.23oz [120g]
Engine Mount Standoffs – 0.71oz [20g]

Fuel: 87– 93 Octane Gasoline with a 30:1 gas/2-stroke (2-cycle) oil mixture

© 2010 Hobbico®, Inc. DLEG0030 Mnl

b. Data Sheet T-Motor P80III 120KV

P80 III Pin KV120	T-MOTOR MF3016	40%	47.85	4027	1.44	8.14	1964	390	10.33
		42%	47.84	4322	1.54	8.91	2034	426	10.14
		44%	47.82	4608	1.64	9.81	2103	469	9.82
		46%	47.80	5009	1.79	11.07	2197	529	9.47
		48%	47.76	5603	1.99	12.85	2318	614	9.13
		50%	47.72	6395	2.28	15.37	2473	733	8.72
		52%	47.69	6805	2.42	16.80	2553	801	8.50
		54%	47.66	7239	2.57	18.34	2637	874	8.28
		56%	47.63	7702	2.73	20.06	2715	955	8.06
		58%	47.60	8219	2.92	21.98	2796	1046	7.86
		60%	47.56	8708	3.10	24.13	2886	1148	7.59
		62%	47.53	9147	3.25	25.84	2951	1228	7.45
		64%	47.49	9526	3.39	27.85	3029	1323	7.20
		66%	47.45	10077	3.59	30.04	3102	1425	7.07
		68%	47.41	10495	3.74	32.12	3174	1523	6.89
		70%	47.37	11049	3.93	34.54	3239	1636	6.75
		76%	47.25	12441	4.44	41.62	3442	1966	6.33
82%	47.11	13813	4.96	49.58	3623	2335	5.91		
88%	46.97	15149	5.43	57.50	3798	2701	5.61		
94%	46.80	16817	5.98	67.17	3979	3143	5.35		
100%	46.61	18291	6.54	77.84	4142	3628	5.04		

c. Data Sheet U5 KV400

Load Testing Data									
Ambient Temperature			/		Voltage			DC Power Supplier	
Item No.	Voltage (V)	Prop	Throttle	Current (A)	Power (W)	Thrust (G)	RPM	Efficiency (G/W)	Operating Temperature (°C)
U5 KV400	22.2	T-MOTOR 14*4.8CF	50%	3.4	75.48	800	4300	10.60	45
			65%	6.3	139.86	1200	5400	8.58	
			75%	8.5	188.70	1500	5900	7.95	
			85%	11.4	253.08	1820	6500	7.19	
			100%	13.7	304.14	2030	6950	6.67	
		T-MOTOR 15*5CF	50%	4.3	95.46	990	4200	10.37	50
			65%	7.9	175.38	1490	5200	8.50	
			75%	11.6	257.52	1900	5700	7.38	
			85%	14.5	321.90	2220	6200	6.90	
			100%	17.2	381.84	2480	6500	6.49	
		T-MOTOR 16*5.4CF	50%	5.2	115.44	1200	4050	10.40	59
			65%	9.4	208.68	1750	4850	8.39	
			75%	13	288.60	2120	5400	7.35	
			85%	16.9	375.18	2650	5850	7.06	
			100%	20	444.00	2850	6250	6.42	

BIODATA PENULIS



Dhoni Wahyu Syarifudin, lahir di Gresik. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SMAN 1 Manyar Gresik Kemudian memutuskan untuk melanjutkan studi S-1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Pada semester 4 perkuliahan, penulis memilih bidang studi Teknik Sistem Tenaga karena ketertarikan penulis terhadap perkembangan teknologi di bidang studi tersebut. Selama masa perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan penelitian, organisasi, dan kepanitiaan yang terdapat di kampus, seperti Gerigi ITS, UKM Robotika, Hima Tektro dll. Penulis dapat dihubungi melalui kontak email : dhoniwahyu74@gmail.com