



TUGAS AKHIR - SF184801

RANCANG BANGUN GENERATOR LOW RPM DENGAN MODEL BLCD

Ahmad Wildan Ilhami
NRP 0111164000077

Dosen Pembimbing:
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Muhammad Arief Bustomi, M.Si.

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TUGAS AKHIR – SF 184801

**RANCANG BANGUN GENERATOR LOW
RPM DENGAN MODEL BLCD**

Ahmad Wildan Ilhami
NRP 0111164000077

Dosen Pembimbing:
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Muhammad Arief Bustomi, M.Si.

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL PROJECT – SF 184801

**DESIGN OF LOW RPM GENERATOR
MOTOR WITH BLCD MODEL**

**Ahmad Wildan Ilhami
NRP 0111164000077**

**Advisor:
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Muhammad Arief Bustomi, M.Si.**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALITICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN GENERATOR LOW RPM DENGAN MODEL BLCD

TUGAS AKHIR

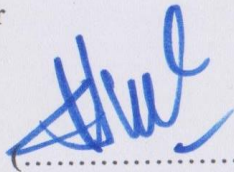
Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas
Akhir Program Strata 1

Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
AHMAD WILDAN ILHAMI
NRP 0111164000077

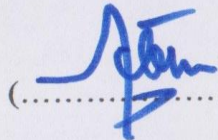
Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing
Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
NIP. 19610404 199102.1.001



(.....)

Dosen Pembimbing
Muhammad Arief Bustomi, M.Si.
NIP. 19730418 199802.1.001



(.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RANCANG BANGUN GENERATOR LOW RPM DENGAN MODEL BLCD

Nama Mahasiswa : Ahmad Wildan Ilhami
NRP : 0111164000077
Departemen : Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, ITS
Pembimbing I : Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Pembimbing II : Muhammad Arief Bustomi, M.Si.

ABSTRAK

Telah dilakukan rancang bangun Generator BLDC dengan spesifikasi strator berdimensi sebesar 20 x 20 x 5 cm memiliki jumlah 9 buah kumparan dengan bahan kawat tembaga, roda magnet berdimensi jari-jari 20 cm dan tinggi 3cm berisi 8 magnet, menggunakan variasi kecepatan (0-900) rpm, dan variasi pembebanan resistor rentang (0,25 – 15) Ω . Untuk rpm set 200 menghasilkan tegangan sebesar (0,963 \pm 0,001) V, arus sebesar (429,6 \pm 0,01) mA, dan daya sebesar (0,414 \pm 0,004) Watt, dan untuk rpm set 900 menghasilkan tegangan sebesar (5,869 \pm 0,001) V, arus sebesar (2315,3 \pm 0,01) mA, dan daya sebesar (13,588 \pm 0,004) Watt. Besar daya dari uji pembebanan daya pengujian pada 900 rpm. Hasil pada saat 15 Ω di dapatkan nilai tegangan (5,865 \pm 0.001) V, arus (1862,30 \pm 0.01) mA, dan daya (10,922 \pm 0.002) Watt, pada 0,25 Ω di dapatkan nilai tegangan (4,168 \pm 0.001) V, arus (4621,40 \pm 0.01) mA, dan daya (19,262 \pm 0.004) Watt, dan hasil daya tertinggi pada pembebanan 3 Ω dengan tegangan (5,683 \pm 0,001) V, arus (3976,20 \pm 0,01) mA, dan daya sebesar (22,596 \pm 0,004) Watt.

Kata Kunci: Generator, Tegangan, Arus, BLDC, Hukum Lenz

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DESIGN OF LOW RPM GENERATOR MOTOR WITH BLCD MODEL

Name : Ahmad Wildan Ilhami
NRP : 0111164000077
Department : Physics Department, Faculty of Natural
Sciences and Data Analytics, ITS
Advisor I : Drs. Bachtera Indarto, M.Si.
Advisor II : Muhammad Arief Bustomi, M.Si.

ABSTRACT

The design of the BLDC Generator with a strator specification with dimensions of 20 x 20 x 5 cm has been carried out with 9 pieces of copper wire material, a magnetic wheel with a radius of 20 cm and a height of 3 cm containing 8 magnets, using variations in speed (0-900) rpm, and the variation of the resistor loading range (0.25 - 15) Ω . For 200 rpm set the voltage is (0.963 ± 0.001) V, the current is (429.6 ± 0.01) mA, and the power is (0.414 ± 0.004) Watt, and for the 900 set rpm produces a voltage of (5.869 ± 0.001) V, the current is (2315.3 ± 0.01) mA, and the power is (13.588 ± 0.004) Watt. The magnitude of the power from the test loading power testing at 900 rpm. Results when 15 Ω get the voltage value (5.865 ± 0.001) V, current (1862.30 ± 0.01) mA, and power (10.922 ± 0.002) Watt, at 0.25 Ω get the voltage value (4.168 ± 0.001) V, current (4621.40 ± 0.01) mA, and power (19.262 ± 0.004) Watt, and the highest power yield at loading 3 Ω with voltage (5.683 ± 0.001) V, current (3976.20 ± 0.01) mA, and power of $(22,596 \pm 0,004)$ Watts.

Keywords: *Generator, Voltage, Current, BLDC, Lenz's Law*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, petunjuk-Nya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“RANCANG BANGUN GENERATOR LOW RPM DENGAN MODEL BLCD”** dengan optimal dan tepat waktu. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Drs. Bachtera Indarto, M.Si dan M. Arief Bustomi, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman serta memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
2. Bapak, Ibu, Kakak, dan Adik tercinta, dan segenap keluarga yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak dalam kandungan hingga saat ini.
3. Penghuni Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi khususnya mas Arya, mas Gilang, Deo, Adnan, Barok, Randy, Anza, Yusuf, Afif, Cucu, Sakti dan yang telah membantu dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Anggota UKM Robotika dan Tim ARNAWAJENDRA Khususnya Hirsto, Arif, Dimas dan teman-teman yang telah memberi dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

5. Fiska 2016 SIRIUS dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Instrumentasi dan Elektronika. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, 27 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR – SF 184801	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir	2
1.4 Manfaat Tugas Akhir	2
1.5 Batasan Masalah	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Generator DC.....	5
2.2 Generaotr AC.....	7
2.2.1 Generator 1 fasa	8
2.2.2 Generator 3 fasa	8
2.3 Prinsip Umum Generator	8
2.3.1 Hukum Magnet	8
2.3.2 Kaidah Tangan Kiri.....	9
2.3.3 Kaidah Tangan Kanan.....	10
2.4 Gaya Gerak Listrik (GGL Induksi).....	11

2.4.1 Hukum Faraday	11
2.5 Strator	12
2.6 Rotor	13
2.7 Tipe Alternator.....	14
2.7.1 Alternator Sikat.....	14
2.7.2 Alternator Tanpa Sikat.....	15
BAB III METODOLOGI	17
3.1 Tahap-tahap Tugas akhir	17
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Perancangan Generator BLDC	23
3.4 Skema Rangkaian Generator BLDC.....	25
3.5 Skema alat uji Generator BLDC	25
3.6 Pengolahan Data	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Realisasi Desain Generator BLDC	27
4.2 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik.....	29
4.3 Daya Listrik yang Dihasilkan	32
BAB V KESIMPULAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembangkit Tegangan Induksi	5
Gambar 2. 2 Tegangan Rotor	6
Gambar 2. 3 Hukum magnet	8
Gambar 2. 4 Kaidah Tangan Kiri	9
Gambar 2. 5. Kaidah Tangan Kanan	10
Gambar 2. 6. (a) <i>Single-fasa</i> (b) <i>Three-fasa</i>	13
Gambar 2. 7. <i>Rotor Magnets Cross-Sections</i>	14
Gambar 2. 8. Alternator Sikat	15
Gambar 2. 9. Alternator Tanpa Sikat	15
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3. 2. PETG Filament	18
Gambar 3. 3. <i>Kawat Tembaga</i>	19
Gambar 3. 4. <i>Neodymium Magnet</i>	19
Gambar 3. 5. <i>Dioda</i>	20
Gambar 3. 6. <i>Multimeter</i>	20
Gambar 3. 7. <i>Tachometer</i>	21
Gambar 3. 8. <i>Arduino UNO</i>	21
Gambar 3. 9. Modul BTS7960	22
Gambar 3. 10. Motor DC	22
Gambar 3. 11. Resistor	23
Gambar 3. 12. Desain rancang bangun <i>Generator BLDC</i>	24
Gambar 3. 13. Desain rangkaian <i>Generator BLDC</i>	25
Gambar 3. 14. Skema elektronik motor uji Generator BLDC	26
Gambar 4. 1. Rancang bangun Generator BLDC	27
Gambar 4. 2. Strator Generator BLDC	28
Gambar 4. 3. Roda Magnet Generator BLDC	28
Gambar 4. 4. Grafik pengujian rpm set terhadap rpm real.....	29
Gambar 4. 5. Grafik pengujian tegangan terhadap rpm real.....	30
Gambar 4. 6. Grafik pengujian arus terhadap rpm real.....	30
Gambar 4. 7. Grafik pengujian daya terhadap rpm real.....	31
Gambar 4. 8. Grafik pengujian torsi terhadap rpm real	32
Gambar 4. 9. Grafik pembebanan Generator BLDC.....	33

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Tabel dan Grafik Uji Generator.....	39
Lampiran 2. Kode program sistem Uji Motor	42

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki jumlah penduduk yang tergolong tinggi dalam konsumsi energi listrik. Menurut Menteri ESDM Arifin Tasrif menargetkan pada 2024 konsumsi listrik per kapita Indonesia akan menjadi 1.408 kilowatt hour (kWh). Pemerintah berencana melakukan program-program yang berkaitan dengan keseimbangan listrik daerah-daerah yang berada di Indonesia bagian timur. Berdasarkan data Kementerian ESDM, capaian konsumsi listrik pada 2019 baru sebesar 1.084 kWh per kapita, adapun targetnya sebesar 1.200 kWh per kapita. Sementara itu, target konsumsi listrik pada 2020 sebesar 1.142 kWh per kapita (Eka.W,2020).

Dari pernyataan diatas dapat dikatakan bahwa indonesia memerlukan pembangkit energi guna menunjang produksi energi listrik untuk memenuhi kebutuhan pembangkit sendiri meliputi beberapa faktor salah satunya yaitu generator. Oleh karena karena itu dalam upaya pengembangan di sektor pembangkit dilakukan lah penelitian tentang generator dengan basis model BLDC.

Oleh karena itu Generator model BLDC adalah generator pembangkit energi listrik yang tergolong modern. Meskipun penggunaan Generator BLDC belum banyak. Dalam hal ini perlu dilakukan penelitian Generator model BLDC untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan daya yang dihasilkan pada kecepatan low rpm. Sebab generator low rpm dapat menunjang potensi alam yang ada di Indonesia meliputi sumber energi mekanik bisa berupa turbin, mesin uap, mesin pembakaran dalam, turbin pada air terjun, dan lain sebagainya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis melakukan beberapa analisa kinerja dengan permasalahan yang ditemukan sebagai berikut:

1. Berapakah hasil tegangan, arus, daya dan torsi maksimum pada Generator BLDC pada rentang (200 – 900) rpm ?
2. Bagaimana karakteristik Generator BLDC ?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Menentukan rancang bangun Generator BLDC yang baik untuk menghasilkan listrik dengan rpm yang rendah dengan rentang (200 – 900) rpm.
2. Mengetahui daya optimal yang dihasilkan pada generator BLDC.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang diharapkan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah menghasilkan sebuah alat Generator BLDC yang dapat digunakan untuk menghasilkan daya listrik pada rpm rendah. Selain itu digunakan untuk mengetahui karakteristik Generator BLDC serta mengetahui spesifikasi Daya pada Generator BLDC yang telah dibuat.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model Generator yang dibuat adalah Model BLDC.
2. RPM yang akan diuji maksimal pada 900 rpm.
3. Jumlah kumparan pada strator yang di gunakan berjumlah 9 unit.
4. Magnet yang di gunakan berjenis Magnet Neodium N32.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka berisi tentang teori dan konsep dasar penunjang penelitian mengenai *Generator BLDC*.

BAB III : Metodologi

Bab Metodologi berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab Pembahasan ini berisi inti dari penulisan laporan tugas akhir tentang rancang bangun dan prinsip kerja *Generator BLDC*.

BAB VI : Penutup

Bab Penutup ini berisi kesimpulan umum dari hasil analisa dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya.

LAMPIRAN :Lampiran berisi beberapa Gambar penunjang penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

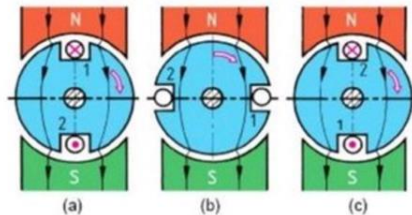
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator DC

Generator DC memiliki komponen yang sama persis dengan motor listrik DC, rotor generator disematkan dengan sebuah kawat angker penghantar listrik (*armature*) yang membentuk persegi panjang. Pada kedua ujung kawat angker terpasang komutator berbentuk lingkaran yang terbelah menjadi dua, komponen ini sering kita dengar dengan sebutan cincin belah. Cincin belah termasuk bagian dari rotor, sehingga ia ikut berputar dengan rotor. Sedangkan strator generator tersusun atas dua magnet dengan kutub berbeda yang saling berhadapan. Pada bagian yang kontak langsung dengan cincin belah, strator dilengkapi dengan *brushes* karbon yang berfungsi untuk arus listrik yang dibangkitkan pada kawat angker ke rangkaian diluar generator.

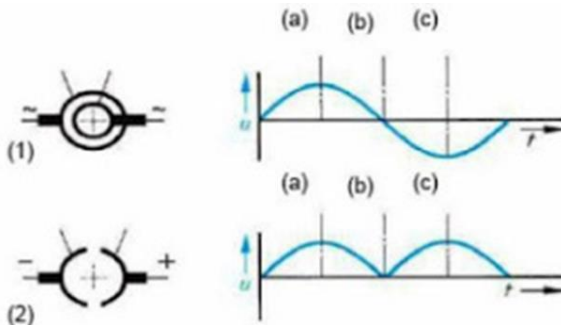
Prinsip kerja Generator DC pada pembangkitan tegangan induksi oleh sebuah generator diperoleh melalui dua cara, yaitu menggunakan cincin-seret yang menghasilkan tegangan induksi bolak-balik dan dengan menggunakan komutator, menghasilkan tegangan DC. Proses pembangkitan tegangan induksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1. Pembangkitan Tegangan Induksi (Hage,2009)

Gambar 2.1 menunjukkan pembangkitan tegangan induksi jika rotor diputar dalam pengaruh medan magnet, maka akan terjadi perpotongan medan magnet oleh lilitan kawat pada rotor. Hal ini

akan menimbulkan tegangan induksi. Tegangan induksi terbesar terjadi saat rotor menempati posisi seperti Gambar 2.1 (a) dan (c). Pada posisi ini terjadi perpotongan medan magnet secara maksimum oleh penghantar. Sedangkan posisi jangkar pada Gambar 2.1 (b), akan menghasilkan tegangan induksi nol. Hal ini karena tidak adanya perpotongan medan magnet dengan penghantar pada jangkar atau rotor. Daerah medan ini disebut daerah netral. Tengan rotor yang di tunjukan oleh Gambar 2.2



Gambar 2.2. Tegangan Rotor yang dihasilkan melalui cincin-seret dan komutator (Hage,2009)

Gambar 2.2 menunjukkan tegangan rotor yang dihasilkan melalui cincin-seret dan komutator jika ujung belitan rotor dihubungkan dengan slip-ring berupa dua cincin (disebut juga dengan cincin seret), seperti ditunjukkan Gambar 2.2 (a), maka dihasilkan listrik AC (arus bolak-balik) berbentuk sinusoidal. Bila ujung belitan rotor dihubungkan dengan komutator satu cincin Gambar 2.2 (b) dengan dua belahan, maka dihasilkan listrik DC dengan dua gelombang positif;

- Rotor dari generator DC akan menghasilkan tegangan induksi bolak-balik. Sebuah komutator berfungsi sebagai penyearah tegangan AC.

- Besarnya tegangan yang dihasilkan oleh sebuah generator DC, sebanding dengan banyaknya putaran dan besarnya arus eksitasi (arus penguat medan). (Hage, 2009)

2.2 Generaotr AC

Generator AC berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik. Generator arus bolak-balik berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik. Generator Arus Bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator, generator AC (*alternating current*), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada strator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada strator. Generator ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub-kutub rotor tidak dapat tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala-jala.

Prinsip dasar generator AC menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Generator ini secara sederhana dapat dijelaskan bahwa tegangan akan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya. Hukum tangan kanan berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet, dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tengah menunjukkan arah aliran elektron yang terinduksi. Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan. (Hage, 2009)

Berdasarkan sistem pembangkitannya generator AC dapat sebagai contoh yaitu:

2.2.1 Generator 1 fasa

Generator 1 fasa dalam sistem melilitnya hanya terdiri dari satu kumpulan kumparan yang hanya dilukiskan dengan satu garis dan dalam hal ini tidak diperhatikan banyaknya lilitan. Ujung kumparan atau fasa yang satu dijelaskan dengan huruf besar X dan ujung yang satu lagi dengan huruf U.

2.2.2 Generator 3 fasa

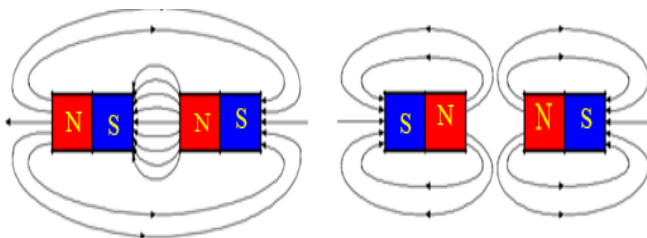
Generator 3 fasa dalam sistem melilitnya terdiri dari tiga kumpulan kumparan yang mana kumparan tersebut masing-masing dinamakan lilitan fasa. Pada stratornya ada lilitan fasa yang ke satu ujungnya diberi tanda U – X; lilitan fasa yang ke dua ujungnya diberi tanda dengan huruf V – Y dan akhirnya ujung lilitan fasa yang ke tiga diberi tanda dengan huruf W – Z.

2.3 Prinsip Umum Generator

Generator mengubah energi listrik menjadi energi mekanik menggunakan prinsip elektromagnetik. Metode konversi energi pada dasarnya sama di semua generator.

2.3.1 Hukum Magnet

Kutub magnet menghasilkan garis gaya magnet yang tak terlihat yang mengalir dari kutub utara ke kutub selatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.

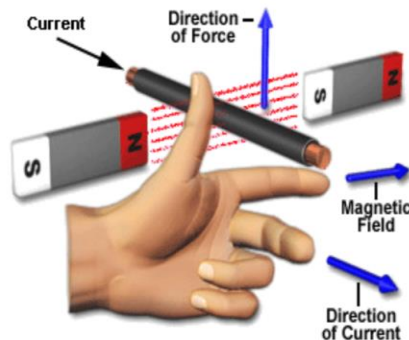


Gambar 2.3. Hukum Magnet (Naas,2012)

Gambar 2.3 menunjukkan kutub magnet dari kutub yang berlawanan berhadapan satu sama lain, mereka menghasilkan gaya yang menarik, sedangkan kutub seperti menghasilkan gaya yang repulsif. (Naas et al. 2012)

2.3.2 Kaidah Tangan Kiri

Arus dalam sebuah konduktor menghasilkan medan magnet. Menempatkan konduktor di sekitar magnet yang terpisah dapat menghasilkan gaya yang mencapai puncaknya ketika konduktor berada pada 90° ke medan eksternal. Aturan tangan kiri dapat membantu pengguna menentukan arah gaya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4. Kaidah Tangan Kiri (Sim,2018)

Gambar 2.4 menunjukkan kaidah tangan kanan besarnya gaya dapat dihitung dari persamaan di bawah ini:

$$F = BIL \sin\theta \quad (2.1)$$

Dengan:

- F = gaya elektromagnetik,
- B = densitas medan magnet,
- I = arus konduktor,
- L = panjang konduktor, dan

θ = perbedaan sudut antara B dan I. (Naas et al. 2012)

Torsi adalah produk dari gaya tangensial yang bekerja pada radius dengan satuan gaya yang dikalikan panjangnya. Jika ada belitan terus menerus N, dan berdasarkan pada parameter, torsi yang dihasilkan sama dengan:

$$TD = 2rFN = 2rBILN = K T I \quad (2.2)$$

dengan:

TD = torsi elektromagnetik (Nm)

r = jarak antara sumbu OO' dan konduktor (m)

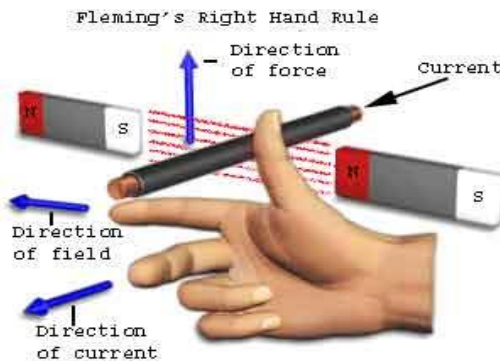
N = jumlah belitan berliku

KT = $2rBLN$ adalah konstanta torsi ($N \cdot m / A$)

(Naas et al. 2012)

2.3.3 Kaidah Tangan Kanan

Pergerakan konduktor di medan magnet menginduksi gaya gerak listrik yang dikenal sebagai BEMF. Aturan tangan kanan dapat menentukan arah gaya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5. Kaidah Tangan Kanan (Sim,2018)

Gambar 2.5 menunjukkan kaidah tangan kanan: rentangkan tangan kanan dengan empat jari dan ibu jari pada bidang yang sama, telapak tangan menghadap kutub utara medan magnet luar, dan ibu

jari menunjuk ke arah kecepatan v . Keempat jari menunjuk ke arah gaya gerak listrik yang diinduksi. Besarnya gaya gerak listrik induksi dapat dihitung sebagai:

$$E = Blv \sin \theta \quad (2.3)$$

Ketika motor berputar pada kecepatan sudut ω (rad / s) dan ada belitan N , total gaya gerak listrik adalah:

$$E = 2BlvN = 2Bl \omega rN = Ke\omega \quad (2.4)$$

(Naas et al. 2012)

2.4 Gaya Gerak Listrik (GGL Induksi)

Gaya gerak listrik induksi adalah timbulnya gaya gerak listrik di dalam kumparan yang di dalam kumparan yang mencakup sejumlah fluks garis gaya medan magnetik yang mana banyaknya fluks garis gaya mencakup sejumlah fluks garis gaya medan magnetik, maka banyaknya fluks garis gaya itu divariasi. Dengan kata lain, akan timbul gaya gerak listrik di dalam kumparan apabila itu divariasi. Dengan kata lain, akan timbul gaya gerak listrik di dalam kumparan apabila kumparan itu berada di dalam medan magnetik yang kuat medannya berubah-ubah terhadap kumparan itu berada di dalam medan magnetik yang kuat medannya berubah-ubah terhadap waktu.

2.4.1 Hukum Faraday

Hukum induksi Faraday (singkatnya, hukum Faraday) adalah hukum dasar elektromagnetisme yang memprediksi bagaimana medan magnet akan berinteraksi dengan sirkuit listrik untuk menghasilkan gaya gerak listrik (EMF) —suatu fenomena yang dikenal sebagai induksi elektromagnetik. Ini adalah prinsip operasi dasar transformator, induktor, dan banyak jenis motor listrik, generator dan solenoida. Hukum Faraday diketahui fluks magnet:

$$d\phi = \bar{B} \cdot d\bar{A} \quad (2.5)$$

Diketahui GGL induksi dari persamaan dari hukum faraday:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon = -\frac{dB}{dt} \cdot dA + B \cdot \frac{dA}{dt} \quad (2.7)$$

Pada persamaan 2.7 diketahui bahwa nilai dA bernilai 0 maka dapat di sederhanakan menjadi:

$$\varepsilon = -\frac{dB}{dt} \cdot dA \quad (2.8)$$

$$\varepsilon \cdot dt = -dB \cdot 2\pi r \quad (2.9)$$

Maka didapatkan persamaan fluks pada generator di dapatkan:

$$\phi = -\frac{I\mu_o}{2r} \cdot 2\pi r \quad (2.10)$$

Dengan:

A = Luas permukaan

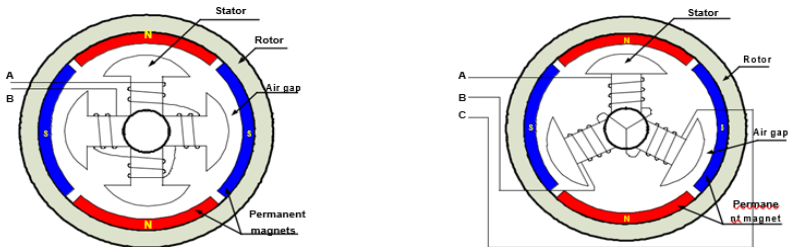
B = Medan magnet

ε = GGL

Φ = Fluks

2.5 Strator

Ada tiga klasifikasi dari Generator BLDC: fase tunggal, dua fase dan tiga fase. Mengasumsikan bahwa strator untuk setiap jenis memiliki jumlah yang sama gulungan. Generator fase tunggal dan tiga fase adalah yang paling banyak digunakan. pada penampang sederhana dari fase tunggal dan Generator BLDC tiga fase. Rotor memiliki magnet permanen untuk membentuk 2 pasang kutub magnetik, dan mengelilingi strator, yang memiliki gulungan di tujukan oleh gambar 2.6.

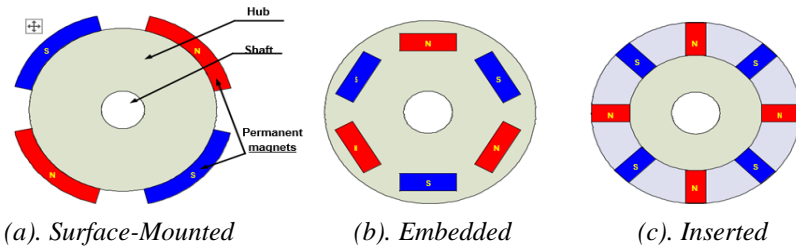


Gambar 2.6. (a). *Single-fasa* (Zhao dan Yangwaei 2011) (b). *Three-fasa*

Gambar 2.6 (a) menunjukkan Generator fase tunggal memiliki satu strator lilitan baik searah jarum jam atau berlawanan di sepanjang masing-masing lengan strator-untuk menghasilkan empat kutub magnetik. Gambar 2.6 (b) menunjukkan sebagai perbandingan, generator tiga fase memiliki tiga gulungan. Setiap fase menyala secara berurutan untuk membuat rotor berputar. Ada dua jenis gulungan strator: trapesium dan sinusoidal, yang mengacu pada bentuk sinyal kembali *electromotive force* (EMF). Bentuk EMF ditentukan oleh interkoneksi kumparan yang berbeda dan jarak celah udara. Selain EMF, fase saat ini juga mengikuti bentuk trapesium dan sinusoidal. Sebuah Generator sinusoidal menghasilkan torsi elektromagnetik halus daripada Generator trapesium, meskipun pada biaya yang lebih tinggi karena penggunaan mereka gulungan tembaga tambahan. Sebuah Generator BLDC menggunakan struktur disederhanakan dengan strator trapesium windings. (Zhao and Yangwei,2011)

2.6 Rotor

Sebuah rotor terdiri dari poros dan hub dengan magnet permanen diatur untuk membentuk antara dua sampai delapan tiang pasang yang bergantian antara Kutub Utara dan Selatan. Di tujukan oleh Gambar 2.8.



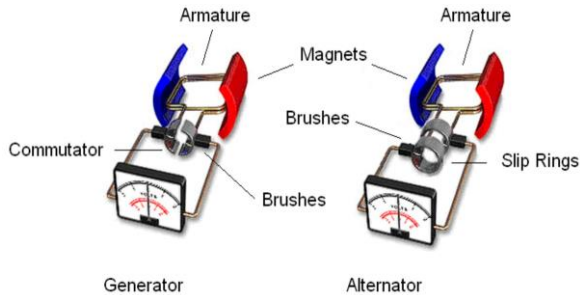
(a). *Surface-Mounted* (b). *Embedded* (c). *Inserted*
Gambar 2.7. *Rotor Magnets Cross-Sections* (Zhao dan Yangwaei 2011)

Gambar 2.7 (a) menunjukkan jenis pengaturan magnet jenis *Surface-Mounted* yang letak magnetnya berada di luar rotornya. Gambar 2.7 (b) menunjukkan jenis pengaturan magnet jenis *Embedded* yang letak magnetnya di tanamkan pada rotornya. Gambar 2.7 (c) menunjukkan jenis pengaturan magnet jenis *Inserted* yang letak magnetnya di pasang di bagian dalam rotor. (Zhao dan Yangwaei, 2011)

2.7 Tipe Alternator

2.7.1 Alternator Sikat

Alternator yang menggunakan sikat (atau sikat karbon) untuk membantu menghantarkan listrik melalui alternator atau generator. Sikat bertindak sebagai kontak listrik untuk membantu memindahkan arus dari alternator ke yang membutuhkan daya. Mereka melakukan ini dengan mentransfer arus saat mereka berputar dengan rotor alternator. Meskipun alternator yang disikat berguna untuk menggerakkan arus listrik, mereka membutuhkan banyak perawatan. Alternator yang disikat memiliki banyak bagian bergerak yang berfungsi bersama, dan jika salah satu dari bagian ini menjadi rusak atau tidak berfungsi, itu dapat mempengaruhi bagian-bagian alternator lainnya. Karbon, atau kadang-kadang sikat grafit, aus dari waktu ke waktu dan mengumpulkan debu, yang berarti bahwa mereka harus diganti setiap beberapa tahun. Alternator di tunjukan oleh Gambar 2.8.

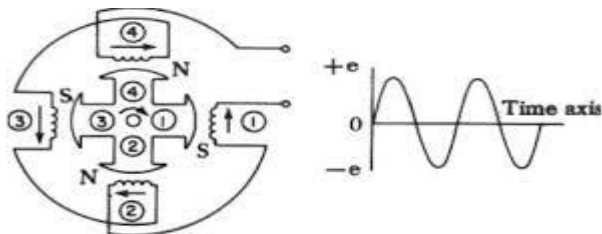


Gambar 2.8. Alternator Sikat

Gambar 2.8 menunjukkan alternator sikat pada Generator.
(Jackson key,2017)

2.7.2 Alternator Tanpa Sikat

Alternator tanpa sikat lebih cocok untuk penggunaan jangka panjang yang konstan karena tidak ada sikat untuk diganti atau diperbaiki, dan memiliki lebih sedikit bagian internal yang dapat rusak. Alternator tanpa sikat memiliki dua set rotor yang berputar bersama untuk menghasilkan dan mentransfer arus listrik. Tapi bagaimana cara mencapai arus tanpa sikat? Alternator brushless memiliki generator kedua yang lebih kecil di ujung peralatan, bukan brush, yang digunakan untuk mentransfer arus listrik. Alternator tanpa sikat dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Alternator Tanpa Sikat

Gambar 2.9 menunjukkan alternator tanpa sikat pada generator BLDC. (Jackson C.,2017)

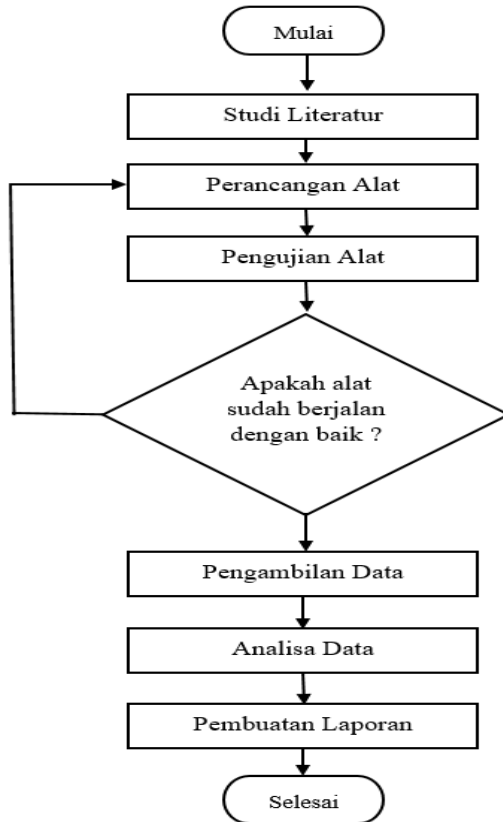
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Tahap-tahap Tugas akhir

Diagram alir tugas akhir seperti ditunjukkan oleh Gambar

3.1



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1. menunjukkan diagram alir tugas akhir terdapat beberapa tahapan. Pertama yaitu studi literatur dilanjutkan dengan

perancangan alat. Setelah itu pengujian alat, jika terdapat masalah/tidak berfungsi maka di lakukan perancangan alat kembali. Jika semua sudah berjalan dengan baik maka dimulai pengambilan data berupa tegangan, arus, dan rpm. Data yang telah diambil di lakukan analisa data dan dibuat laporannya.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam rancang bangun Generator model BLDC adalah sebagai berikut ini.

1. PETG (*Polyethylene Terephthalate*)

PETG (*Polyethylene Terephthalate*) adalah salah satu polimer, dengan bentuk benang plastik di tunjukan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. PETG (*Polyethylene Terephthalate*) Filament

Gambar 3.2 menunjukkan benang plastik PETG yang digunakan untuk membuat *base* cetak 3d guna menghasilkan *base* yang presisi dan mempermudah untuk pencetakan.

2. Kawat Tembaga

Kawat tembaga pada BLDC generator ini digunakan untuk lilitan pada pembentukan kumparan pada strator generator BLDC ditunjukan Gambar 3.3



Gambar 3. 3. Kawat Tembaga

Gambar 3.3 menunjukkan kawat tembaga yang digunakan jumlah lilitan sebesar 1250 tiap lubang pada strator

3. *Neodymium Magnet*

Neodymium magnet yang berfungsi sebagai sumber medan magnet pada motor generator di tunjukan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4. *Neodymium Magnet N32*

Gambar 3.4 menunjukkan *Neodymium Magnet N32* magnet ini akan di letakan pada rotor dengan 8 set row dengan 5 lapisan magnet di dalamnya.

4. Dioda

Dioda ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5. Dioda

Gambar 3.5 menunjukkan dioda yang digunakan untuk penyearah tegangan yang yang dihasilkan oleh generator BLDC.

5. Multimeter

Multimeter ditunjukkan oleh Gambar 3.6.



Gambar 3. 6. Multimeter

Gambar 3.6 menunjukan Multimeter yang digunakan sebagai alat ukur tegangan dan arus hasil dari generator BLDC yang telah dibuat.

6. Tachometer

Tachometer ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7. *Tachometer*

Gambar 3.7 menunjukan *Tachometer* sebagai alat pengukur rpm pada putaran yang dihasilkan oleh Generator.

7. Arduino UNO

Arduino UNO ditunjukkan pada gambar 3.8



Gambar 3. 8. Arduino Uno

Gambar 3.8 Menunjukkan Arduino UNO merupakan suatu modul elektronik yang berfungsi sebagai alat kontrol rpm pada motor penguji.

8. BTS7960

Modul BTS7960 ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9. Modul BTS7960

Gambar 3.9 menunjukkan modul BTS7960 yang digunakan sebagai *driver* pengatur rpm motor uji dalam penelitian Generator BLDC

9. Motor DC

Motor DC ditunjukkan pada Gambar 3.10

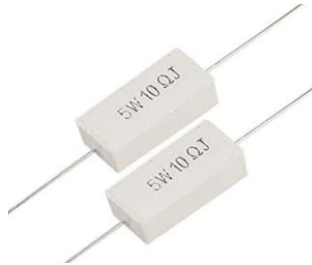


Gambar 3. 10.Motor DC

Gambar 3.10 menunjukkan Motor DC berfungsi sebagai *trigger* / alat uji putar Generator BLDC.

10. Resistor

Resistor di tunjukkan pada Gambar 3.11



Gambar 3. 11. Resistor

Gambar 3.11 menunjukkan resistor sebagai alat uji pembebanan.

11. Potensio

Potensio adalah salah satu komponen yang digunakan untuk mengatur tegangan dari *power supply* pada motor uji.

12. *Power Supply*

Power Supply digunakan sebagai *power* pada motor uji sebesar 12 V 10 A.

13. Kabel

Kabel digunakan untuk menghubungkan komponen pada Generator dc. Kabel yang digunakan adalah kabel serabut untuk rangkaian arus tinggi dan kabel Jumper untuk menghubungkan rangkaian pada Arduino.

14. Laptop

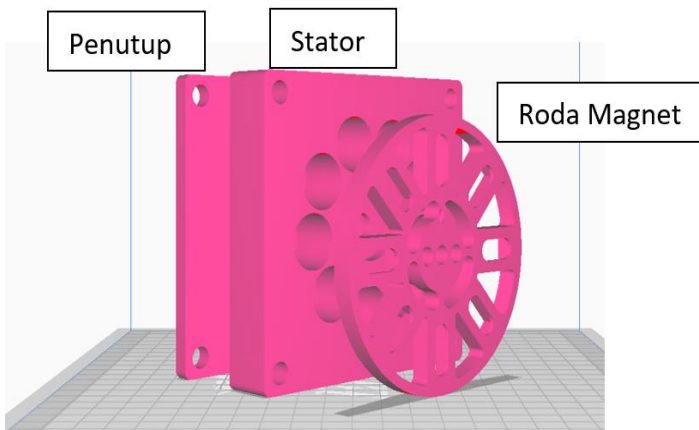
Laptop digunakan untuk mengoperasikan Arduino untuk memasukkan data pengaturan rpm.

3.3 Perancangan Generator BLDC

Generator *BLDC* yang akan dibuat memiliki beberapa bagian yaitu bagian strator, rotor, rangkaian uji dan alat ukur. Bagian

strator terdiri dari kumparan tembaga dengan diameter 0,4 mm dan jumlah lilitan sebanyak 1250 lilitan. Rotor dari *Magnet Neodimium* yang berisi 8 ruas dengan tiap ruasnya berisi 5 buah magnet. Parameter yang dikontrol adalah rpm *set* yang dihasilkan oleh motor uji dan pembebanan daya diberi variasi resistor sebesar (0,25 – 15) Ω agar didapat nilai daya pada generator BLDC.

Desain rancang bangun Generator BLDC ditunjukkan oleh Gambar 3.12.

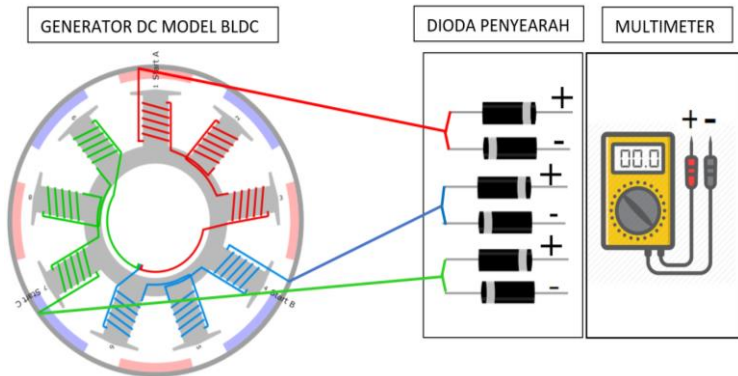


Gambar 3. 12. Desain rancang bangun Generator BLDC

Gambar 3.12 menunjukkan desain rancang bangun Generator BLDC, terbuat dari plastik PETG yang memiliki struktur kuat dan tahan panas. Rangka yang dibuat terdiri dari 2 penutup, 1 strator dan 2 rotor (roda magnet). Bagian penutup dibuat untuk menyangga *roll* dan *inner*. Bagian strator dibuat berlubang sebagai tempat kumparan tembaga. Bagian ini didesain dengan dimensi sebesar 20 x 20 x 5 cm. Bagian rotor didesain dengan dimensi jari-jari 20 cm dengan tinggi 3 cm.

3.4 Skema Rangkaian Generator BLDC

Rangkaian Generator yang dibuat ditunjukkan oleh Gambar 3.13.

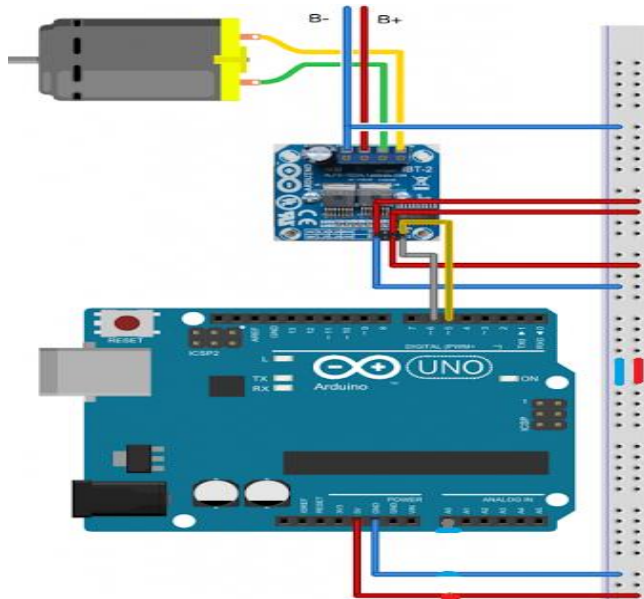


Gambar 3. 13.Desain rangkaian *Generator BLDC*

Gambar 3.13 menunjukkan desain rangkaian Generator BLDC, Kumparan pada strator yang disusun 3 blok. Tiap fasa dirangkai dengan diagram model *whye*. Setelah itu tiap *fasa* dihubungkan dengan dioda penyearah agar didapatkan hasil *output* tegangan DC pada Generator.

3.5 Skema alat uji Generator BLDC

Kontrol rpm pada motor uji di tunjukan oleh Gambar 3.14.



Gambar 3. 14. Skema elektronik motor uji Generator BLDC

Gambar 3.14 merupakan skema elektronik motor uji generator BLDC yang berfungsi sebagai pengaturan konfigurasi rpm pada arduino untuk menentukan nilai *setpoint* pada pengambilan data.

3.6 Pengolahan Data

Setelah didapatkan data tugas akhir berupa rpm, torsi, tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan Generator BLDC, kemudian dilakukan pengolahan data serta pembuatan laporan hasil dari tugas akhir yang telah dilakukan. Pengolahan data dilakukan untuk Pembuatan laporan dilakukan sebagai sarana untuk mendokumentasi kan hasil dari tugas akhir yang dilakukan. Data-data yang diperoleh kemudian diolah dan didapatkan kesimpulan dari tugas akhir yang telah dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Desain Generator BLDC

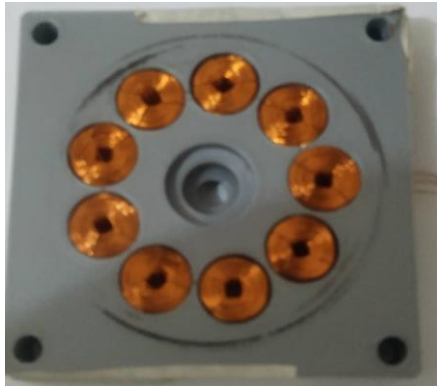
Realisasi desain Generator dapat dilihat Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Rancang bangun Generator BLDC

Gambar 4.1. menunjukkan realisasi dari desain rancang bangun Generator yang telah disesuaikan dengan dimensi dan bahan sesuai desain. Rangka Generator pada tugas akhir ini terbuat plastik PETG yang di letakan pada kotak kayu.

Realisasi desain strator dari tugas akhir ini ditunjukkan Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Strator Generator BLDC

Gambar 4.2. menunjukkan Strator sebagai tempat kumparan yang berdimensi 20 x 20 x 3 cm. Strator memiliki lubang kumparan berjumlah 9 dengan diameter masing-masing lubang sebesar 2 cm. Strator ini memiliki rangkaian diagram model *why*.

Realisasi desain roda magnet yang digunakan tugas akhir ini ditunjukkan Gambar 4.3.

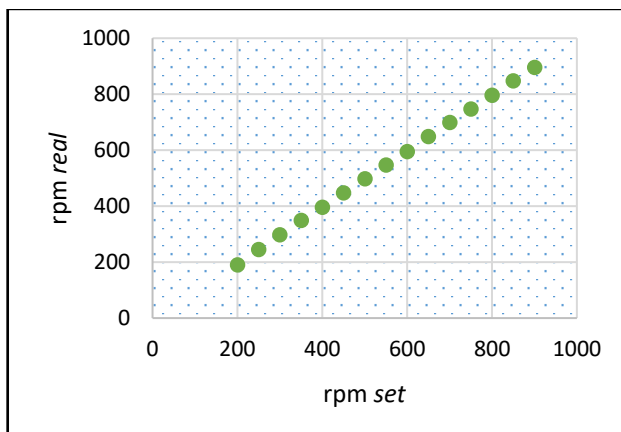


Gambar 4.3. Roda Tempat Magnet Generator BLDC

Gambar 4.3. merupakan roda tempat magnet dengan bahan PETG yang di cetak menggunakan *printer 3D* dengan dimensi jari-jari 20 cm dengan tinggi 3cm. Roda magnet ini memiliki 8 magnet dengan ukuran 1 x 2 cm.

4.2 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik

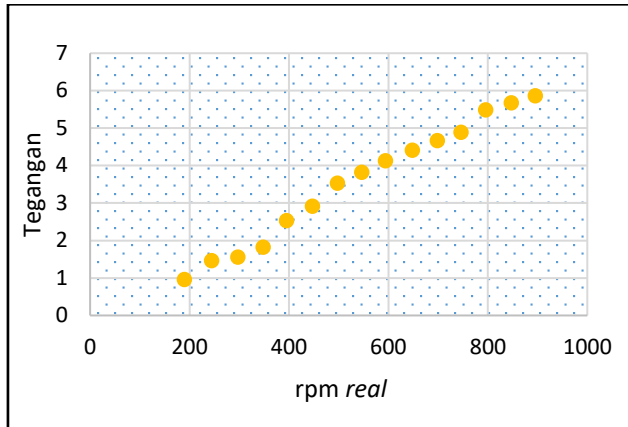
Data hasil uji rpm *set* dengan rpm *real* yang didapatkan pada tugas akhir ini ditunjukkan Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik pengujian rpm *set* terhadap rpm *real*

Gambar 4.4 menunjukkan grafik pengujian rpm *set* terhadap rpm *real* didapatkan rpm *set* dan rpm *real* mengalami perbedaan dengan rentang beda di (2 – 7) rpm. Perbedaan didapatkan dari berat masa putar pada roda magnet sehingga mengurangi putaran pada motor uji.

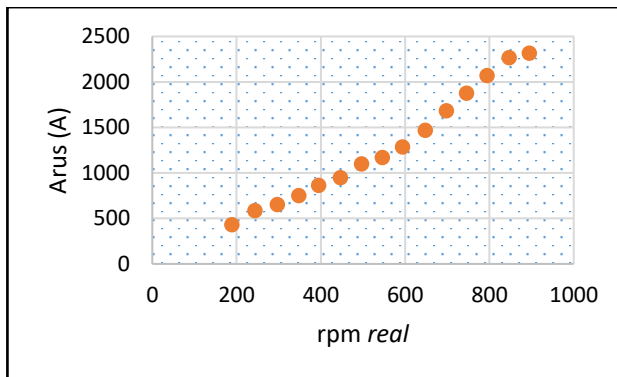
Data hasil pengujian tegangan dengan rpm *real* yang didapatkan pada tugas akhir ini ditunjukkan Gambar 4.5.



Gambar 4. 5. Grafik pengujian tegangan terhadap rpm real

Gambar 4.5 menunjukkan grafik pengujian tegangan terhadap rpm *real*, nilai tegangan dengan beban sebesar 10Ω . Pada 200 rpm didapatkan nilai tegangan $(0,963 \pm 0,001)$ V pada 200 rpm, uji tegangan pada 900 rpm di dapatkan nilai $(5,869 \pm 0,001)$ V.

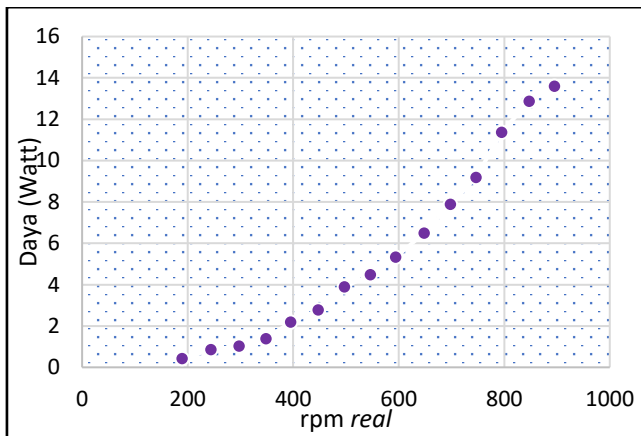
Data hasil pengujian arus dengan rpm *real* yang didapatkan pada tugas akhir ini ditunjukkan Gambar 4.6.



Gambar 4. 6. Grafik pengujian arus terhadap rpm *real*

Gambar 4.6 menunjukkan grafik pengujian tegangan terhadap rpm real, nilai tegangan di dapat sudah diarahkan oleh dioda dan dengan diberi resistor sebesar 10Ω di dapatkan nilai arus sebesar $(429,6 \pm 0,01)$ mA pada kecepatan 200 rpm. Puncak uji arus pada kecepatan 900 rpm di dapatkan nilai $(2315,3 \pm 0,01)$ mA.

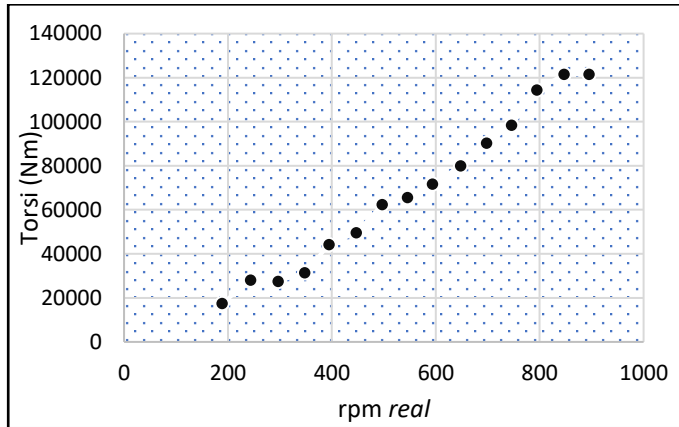
Data hasil daya dengan rpm *real* yang didapatkan pada tugas akhir ini ditunjukkan Gambar 4.7.



Gambar 4. 7. Grafik daya terhadap rpm real

Gambar 4.7. menunjukkan grafik daya terhadap rpm *real* data tersebut di dapatkan dari hasil perhitungan nilai tegangan dengan arus yang di uji hasilnya pada kecepatan 200 rpm di dapatkan daya sebesar $(0,414 \pm 0,004)$ Watt dan pada kecepatan 900 rpm di dapatkan daya sebesar $(13,588 \pm 0,004)$ Watt.

Data hasil torsi dengan rpm *real* yang didapatkan pada tugas akhir ini ditunjukkan Gambar 4.8.

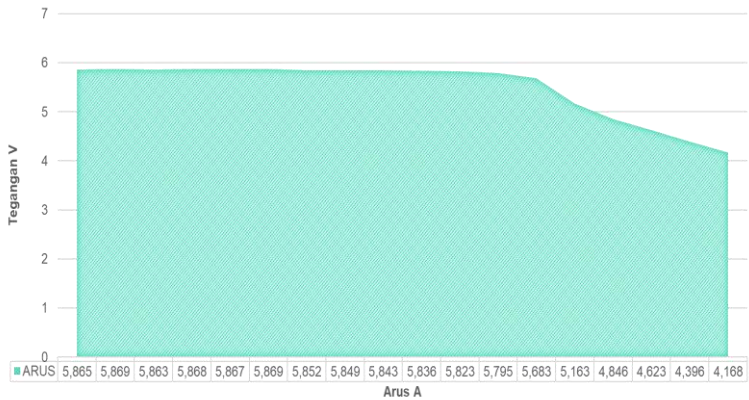


Gambar 4. 8. Grafik torsi terhadap rpm real

Gambar 4.8 menunjukkan grafik torsi terhadap rpm *real* data dari grafik tersebut di dapatkan dengan perhitungan nilai torsi yang di dapat pada kecepatan 200 rpm sebesar $(17,516 \pm 0,001)$ Nm dan pada kecepatan 900 rpm di dapatkan nilai torsi $(121,493 \pm 0,001)$ Nm.

4.3 Daya Listrik yang Dihasilkan

Data hasil pembebanan Generator BLDC yang didapatkan pada tugas akhir ini ditunjukkan Gambar 4.9.



Gambar 4. 9.Grafik Pembebanan Generator BLDC

Gambar 4.9 menunjukkan grafik pembebanan generator BLDC dengan pembebanan uji pada resistansi (0,25-15) Ω pada pengujian putaran 900 rpm. Untuk beban 15 Ω di dapat nilai tegangan ($5,865 \pm 0.001$) V, arus ($1862,30 \pm 0.01$) mA,dan daya ($10,922 \pm 0.002$) Watt. Untuk pembabanan 0,25 Ω di dapat tegangan ($4,168 \pm 0.001$) V, arus ($4621,40 \pm 0.01$) mA,dan daya ($19,262 \pm 0.004$) Watt. Hasil uji ini di dapat daya optimal pada beban 3 Ω dengan hasil tegangan ($5,683 \pm 0.001$) V, arus ($3976,20 \pm 0.01$) mA,dan Daya ($22,596 \pm 0.004$) Watt.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan tugas akhir pada rancang bangun Generator BLDC diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Generator BLDC diuji pada putaran (200-900) rpm dengan pebebanan resistor 10Ω , pada rpm set 200 menghasilkan tegangan sebesar $(0,963 \pm 0,001) \text{ V}$, arus sebesar $(429,60 \pm 0,01) \text{ mA}$, daya sebesar $(0,414 \pm 0,004) \text{ Watt}$ dan torsi $(17,516 \pm 0,001) \text{ Nm}$, untuk rpm set 900 menghasilkan tegangan sebesar $(5,869 \pm 0,001) \text{ V}$, arus sebesar $(2315,3 \pm 0,01) \text{ mA}$, daya sebesar $(13,588 \pm 0,004) \text{ Watt}$ dan torsi sebesar $(121,493 \pm 0,001) \text{ Nm}$.
2. Generator BLDC memiliki karakteristik yang di uji pada putran 900 rpm dengan variasi resistansi $(0,25-15) \Omega$ di dapatkan nilai optimal pada beban 3Ω , tegangan sebesar $(5,683 \pm 0,001) \text{ V}$, arus sebesar $(3976,20 \pm 0,01) \text{ mA}$, dan daya sebesar $(22,596 \pm 0,004) \text{ Watt}$.

5.2 Saran

Saran untuk tugas akhir pembuatan rancang bangun Generator BLDC berikutnya yaitu:

1. Perlu menggunakan jenis atau menggunakan magnet yang lebih besar .
2. Perlu merubah posisi rotor magnet.
3. Perlu mengganti kumparan dengan diameter kawat berbeda.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Halliday, David. 2008. "Fundamental of Physics (extended)". John Wiley & Sons Inc. <https://www.artikata.com/arti-Mosiori>, Cliff Orori. 2015. Microcontroller Technology. Kenya: Rift Valley Institute of Science and Technology.
- Eka Wiratmini, 2020. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20200127/44/1194201/konsumsi-listrik-per-kapita-indonesia-masih-rendah> di akses pada tanggal 13 Juni 2020
- Hage, 2009. <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/01/generator-dc.html> di akses pada tgl 13 Juni 2020
- Abu-Siada, A., and Chatura Karunar. 2012. "Transmission Line Power Transfer Capability Improvement, Case Study." In IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 8:495–99. IFAC. <https://doi.org/10.3182/20120902-4-fr-2032.00087>.
- Application, Foreign, and Priority Data. 2008. "(12) United States Patent" 2 (12).
- Iswanjo, Y B Lukiyanto, Budi Setyahandana, and Rines. 2018. "A Couple of Generator and Motor as Electric Transmission System of a Driving Shaft to Long Distance Driven Shaft." In E3S Web of Conferences, 67:1–4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186701013>.
- Maya P., S. Vidya Shree, Roopasree K., and K.P. Soman. 2015. "Discrimination of Internal Fault Current and Inrush Current in a Power Transformer Using Empirical Wavelet Transform." Procedia Technology 21: 514–19. <https://doi.org/10.1016/j.protecy.2015.10.038>.
- Method, Winding, and F O R Bldc. 2019. "(43) Pub. Date: May 30, 2019 (54)" 1.
- Sim, Hyun-Seog, Yoo-Chang Lee and Sung-Chul Cha. "Studies on Surface Defects of Enamel Coated Magnet Wires." 2018 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC) (2018): 577-580.

- Naas, Badreddine, L Nezli, Bachir Naas, M O Mahmoudi, and M Elbar. 2012. "Direct Torque Control Based Three Level Inverter-Fed Double Star Permanent Magnet Synchronous Machine." In *Energy Procedia*, 18: 521-30. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.063>.
- Praveen Kumar, L, and K Sreepal Reddy. 2016. "Adaptive Variable Speed Control Scheme for Wind Based on PFC of BLDC Drive Applications." *International Journal for Modern Trends in Science and Technology* 6 (2): 30–38.
- Vadirajacharya, and P. K. Katti. 2012. "Rural Electrification through Solar and Wind Hybrid System: A Self Sustained Grid Free Electric Power Source." In *Energy Procedia*, 14:2081–87. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1076>.
- Werner, Jens, Tobias Heß, and Peter Schegner. 2012. "Flexible Test Facility for Evaluation of the Static and Dynamic Parameters of Micro Combined Heat and Power Plants." In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC - Papers Online)*, 8: 260-65. <https://doi.org/10.3182/20120902-4-fr-2032.00047>.
- Zhao, Jian, and Yu Yangwei. 2011. "Brushless DC Motor Fundamentals Application Note." *MPS, The Future of Analog IC Technology*, no. July 2011: 7–8.
- Tipler, Paul A. 2000. "fisika untuk sains dan teknik". Jakarta. Erlanga

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Uji Percobaan

Tabel 1. Data Uji Generator BLDC pada rpm set 200 - 900 dengan resistansi 10 Ω

rpm set	rpm real	resistansi ohm	voltase (V)	ampere (mA)	P Daya	torsi	Daya (Watt)
200	189	10	0,963	429,6	630,570805	17515,856	0,4137048
250	244	10	1,463	586,3	1307,39711	28130,471	0,8577569
300	297	10	1,563	653,7	1557,3304	27528,568	1,0217331
350	348	10	1,826	749,6	2086,28507	31474,128	1,3687696
400	395	10	2,531	861,6	3323,84784	44177,725	2,1807096
450	447	10	2,918	948,3	4217,68691	49536,591	2,7671394
500	497	10	3,531	1098,6	5912,62876	62457,346	3,8791566
550	546	10	3,824	1169,3	6815,33382	65532,056	4,4714032
600	594	10	4,136	1286,6	8110,86881	71686,972	5,3213776
650	648	10	4,413	1468,6	9878,26678	80032,254	6,4809318
700	698	10	4,674	1684,3	11999,1769	90251,689	7,8724182
750	746	10	4,893	1874,6	13980,6424	98389,24	9,1724178
800	795	10	5,493	2068,3	17316,7517	114355,91	11,3611719
850	847	10	5,676	2265,3	19597,9846	121475,11	12,8578428
900	895	10	5,869	2315,3	20711,6492	121492,91	13,5884957

Tabel 2. Data Uji Pemebebanan pada rpm 800 dengan resistansi 3 -15 Ω

rpm set	Resistansi	Voltase (V)	Ampere (mA)	Daya (Watt)
800	15	5,465	1609,8	8,797557
	14	5,469	1697,6	9,2841744
	13	5,463	1734,6	9,4761198
	12	5,468	1863,5	10,189618
	11	5,467	1988,3	10,870036
	10	5,493	2068,3	11,361172
	9	5,486	2136,8	11,722485
	8	5,473	2296,4	12,568197
	7	5,464	2381,6	13,013062
	6	5,436	2509,9	13,643816
	5	5,424	2676,5	14,517336
	4	5,409	2898,6	15,678527
3	5,396	3037,9	16,392508	

Tabel 3. Data Uji Pemebebanan pada rpm 850 dengan resistansi 3 -15 Ω

rpm set	Resistansi	Voltase (V)	Ampere (mA)	Daya (Watt)
850	15	5,686	1736,6	9,8743076
	14	5,684	1849,4	10,51199
	13	5,678	1956,2	11,107304
	12	5,682	2013,3	11,439571
	11	5,683	2108,7	11,983742
	10	5,676	2265,3	12,857843
	9	5,671	2337,2	13,254261
	8	5,659	2406,4	13,617818
	7	5,646	2573,6	14,530546
	6	5,638	2984,6	16,827175
	5	5,624	3196,2	17,975429
	4	5,608	3273,9	18,360031
	3	5,589	3416,6	19,095377

Tabel 4. Data Uji Pemebebanan pada rpm 900 dengan resistansi 0,25 - 15 Ω

rpm set	Resistansi	Tegangan(V)	Arus (mA)	Daya (Watt)
900	15	5,865	1862,3	10,9223895
	14	5,869	1963,6	11,5243684
	13	5,863	2034,9	11,9306187
	12	5,868	2143,6	12,5786448
	11	5,867	2216,3	13,0030321
	10	5,869	2315,3	13,5884957
	9	5,852	2436,5	14,258398
	8	5,849	2596,4	15,1863436
	7	5,843	2876,3	16,8062209
	6	5,836	3126,6	18,2468376
	5	5,823	3452,6	20,1044898

	4	5,795	3635,6	21,068302
	3	5,683	3976,2	22,5967446
	2	5,163	4139,3	21,3712059
	1	4,846	4236,7	20,5310482
	0,5	4,623	4373,4	20,2182282
	0,33	4,396	4561,5	20,052354
	0,25	4,168	4621,4	19,2619952

Tabel 5. Data Uji Pemebebanan pada rpm 900 dengan resistansi 0,25 - 15 Ω dengan perubahan 1 kumparan

rpm set	Resistansi	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (Watt)
900	15	5,665	1892,7	10,722146
	14	5,643	1923,6	10,854875
	13	5,652	1984,9	11,218655
	12	5,636	2103,6	11,85589
	11	5,667	2149,4	12,18065
	10	5,473	2215,3	12,124337
	9	5,167	2365,3	12,221505
	8	4,749	2619,6	12,44048
	7	4,326	2896,3	12,529394
	6	3,964	3326,6	13,186642
	5	3,731	3483,8	12,998058
	4	3,419	3735,6	12,772016
	3	3,159	3947,4	12,469837
	2	2,865	4175,6	11,963094
	1	2,643	4256,3	11,249401
	0,5	2,344	4364,3	10,229919
0,33	2,056	4452,6	9,1545456	
0,25	1,669	4521,4	7,5462166	

Lampiran 2. Kode program sistem uji Generator model BLDC

```

int SENSOR_PIN = 0; // center pin of the potentiometer
int RPWM_Output = 5; // Arduino PWM output pin 5; connect to
IBT-2 pin 1 (RPWM)
int LPWM_Output = 6; // Arduino PWM output pin 6; connect to
IBT-2 pin 2 (LPWM)
void setup()
{
  pinMode(RPWM_Output, OUTPUT);
  pinMode(LPWM_Output, OUTPUT);
}
void loop()
{
  int sensorValue = analogRead(SENSOR_PIN);
  // sensor value is in the range 0 to 1023
  // the lower half of it we use for reverse rotation; the upper half
  for forward rotation
  if (sensorValue < 512)
  {
    // reverse rotation
    int reversePWM = -(sensorValue - 511) / 2;
    analogWrite(LPWM_Output, 0);
    analogWrite(RPWM_Output, reversePWM);
  }
  else
  { // forward rotation
    int forwardPWM = (sensorValue - 512) / 2;
    analogWrite(LPWM_Output, forwardPWM);
    analogWrite(RPWM_Output, 0);
  }
}
#include <Adafruit_SSD1306.h>

```

```

#include <Wire.h>
#define OLED_RESET 4
Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);
float current,prev=-99999999,freq,rpm;
bool mode=0;
void trip ()
{
  prev=current;
  current=micros();
  freq=1000000/(current-prev);

  rpm=60*freq;

  Serial.println("LOL");
}
void setup() {
Serial.begin(9600);
Serial.println(mode);
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), trip , FALLING);
pinMode(2,INPUT_PULLUP);
pinMode(3,INPUT_PULLUP);
pinMode(4,INPUT_PULLUP);
digitalWrite(13,HIGH);
}
void loop() {
  Serial.println(mode);
  if(digitalRead(3)==0)
  {
    mode=!mode;
  }

  if(digitalRead(4)==0)

```

```
{
  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0,0);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.setTextSize(3);
  if(mode==1)
  {
    display.println(rpm);
//   Serial.println("32123");
    display.setTextSize(1);
    display.print("RPM");
  }

  else
  {
    display.println(freq);
    display.setTextSize(1);
//   Serial.println("32123");
    display.print("Hz");
  }

  display.display();
}

delay(300);
Serial.println(mode);
}
```


BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Ahmad Wildan Ilhami, dengan nama panggilan Wildan. Penulis dilahirkan di Bojonegoro pada tanggal 28 Agustus 1997. Penulis merupakan anak dari pasangan Muhariyadi dengan Nurul Hidayati, anak kedua dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yaitu, TK An-Nuur lulus tahun 2004, SDN 1 Purwosari lulus tahun 2010, SMPN 1

Padangan lulus tahun 2013, SMAN 1 Bojonegoro lulus tahun 2016. Tahun 2016 masuk ke Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis mengambil bidang minat Instrumentasi Elektronika. Pengalaman semasa kuliah yaitu sebagai Asisten Laboratorium Dasar, Staff Ristek Robotika ITS 2017-2018, Staff Ristek BEM Fakultas Sains 2018, Ketua Robotika ITS 2018, Juara 3 ASEAN MATE Underwater Robot Competition 2017, Juara 2 ASEAN MATER Underwater Robot Competition 2018, PKM Karsa Cipta hingga tahap money nasional 2019, Juri Underwater Robotic Competition Oceano 2018, Juri Robotic Boat Competition Marine Icon 2018, Kepanitiaan Gempa 0.5, dan Kepanitiaan PROCOMMIT V9.0 2019. Motto hidup penulis “Jangan lupa usaha, usaha akan terpetik di akhir dan Hargai Proses” karena sejatinya segala hal dapat dilakukan jika mencobanya dan berproses terlebih dahulu.

ahwildanhami@gmail.com