



**PENGUJIAN *MOTOR BRUSH LESS DIRECT CURRENT* KAPASITAS
DAYA 800W DAN 1000W PADA KONDISI BERBEBAN**

SKRIPSI

Oleh

Wandra Nurcahya

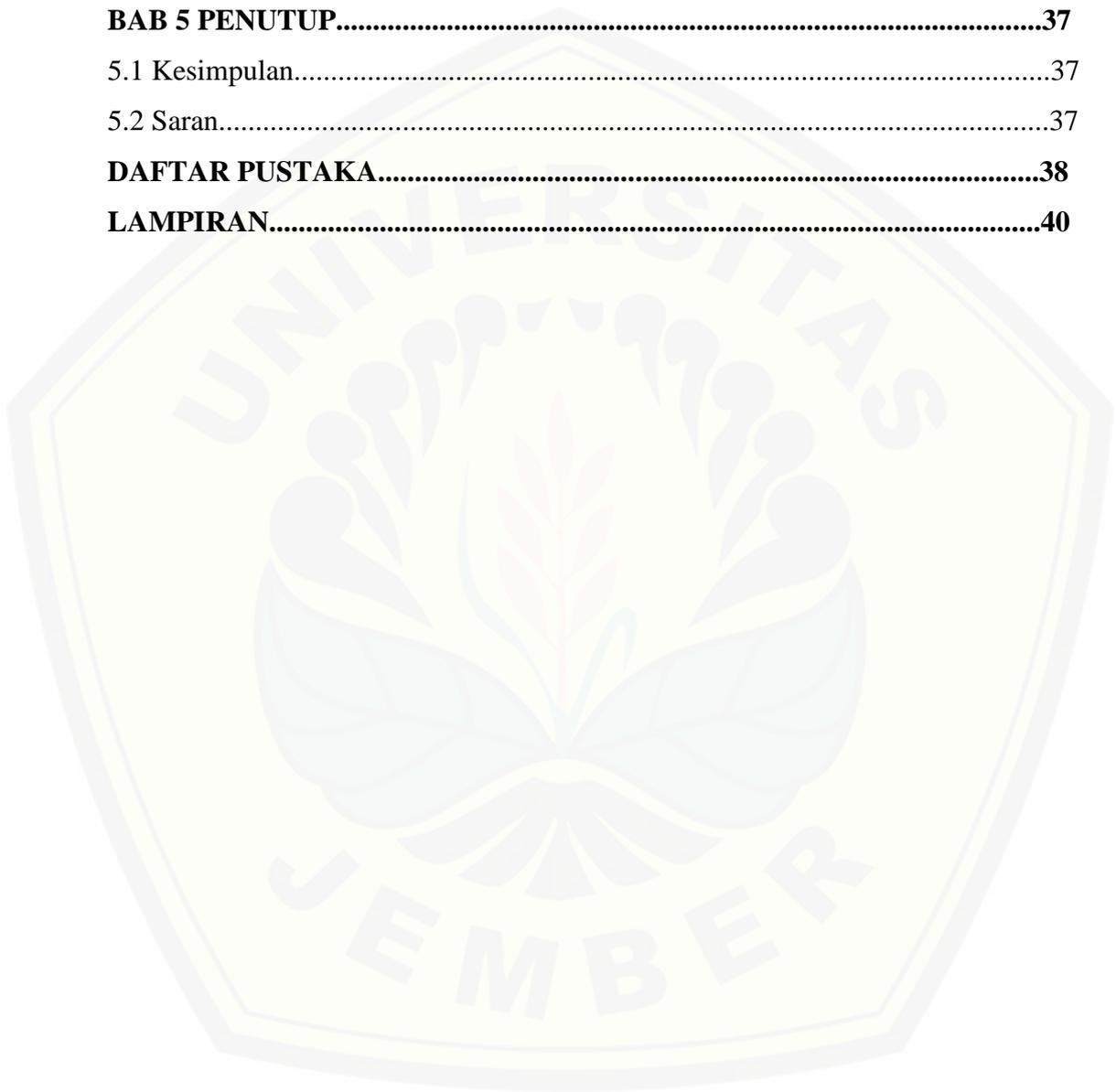
NIM 131910201027

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	1
DAFTAR ISI.....	2
BAB 1 PENDAHULUAN.....	4
1.1 Latar Belakang.....	4
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Kontes Mobil Listrik Indonesia (KMLI 2018).....	8
2.2 Pengertian Motor BLDC.....	9
2.2.1 Bagian – bagian Motor BLDC.....	10
2.2.2 Prinsip Kerja Motor BLDC.....	12
2.2.3 Keunggulan Motor BLDC.....	14
2.2.4 Daya Motor.....	14
2.2.5 Torsi.....	15
2.3 <i>Accu</i>	15
2.4 HUB MOTOR 800W/1000W <i>Hi Grade</i>	18
2.5 Watthour Meter.....	19
2.6 Sensor Hall.....	20
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.3 Tahap Penelitian.....	23
3.4 Rencana Tahap Penelitian.....	24
3.4.1 Pengujian Konsumsi Energi.....	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Kalibrasi dan Pengujian Sensor.....	26
4.1.1 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Kecepatan.....	26

4.1.2 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Arus.....	28
4.1.3 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Tegangan.....	29
4.2 Pengujian Sensor Motor BLDC.....	31
4.3 Pengujian Konsumsi Energi Kendaraan.....	32
BAB 5 PENUTUP.....	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN.....	40



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

BLDC Motor (*Brush Less Direct Current Motor*) adalah suatu jenis motor sinkron, artinya medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar di frekuensi yang sama. *Brush Less Direct Current Motor* tidak mengalami slip, tidak seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. Motor jenis ini mempunyai permanen magnet pada bagian rotor sedangkan elektro-magnet pada bagian statornya. Setelah itu, dengan menggunakan sebuah rangkaian sederhana (*Simpler Computer System*), maka kita dapat merubah arus di elektro- magnet ketika bagian rotornya berputar. Dalam hal ini, *Brush Less Direct Current Motor* setara dengan motor DC dengan komutator terbalik, di mana magnet berputar sedangkan konduktor tetap diam. Dalam komutator motor DC, polaritas ini diubah oleh komutator dan sikat. Namun, dalam *Brush Less Direct Current Motor*, pembalikan polaritas dilakukan oleh transistor *Switching* untuk mensinkronkan dengan posisi rotor. Oleh karena itu, *Brush Less Direct Current Motor* sering menggabungkan baik posisi sensor internal atau eksternal untuk merasakan posisi rotor yang sebenarnya, atau posisi dapat dideteksi tanpa sensor.

Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang menggunakan murni energi listrik sebagai penggerakannya. Pada kendaraan konvensional, bahan bakar dari minyak bumi yang telah diproses, contohnya premium dan pertama, digunakan untuk menjalankan mesin diesel biasa. Sedangkan pada kendaraan listrik, digunakan sumber energi listrik yang berasal dari baterai untuk menggerakkan kendaraan listrik tersebut. Saat ini, penelitian dan pengembangan mobil listrik (*electric vehicle*) sudah menjadi pusat perhatian bagi kalangan industri dan civitas academica. Sudah banyak kendaraan listrik yang sudah diproduksi secara massal di seluruh dunia. Beberapa dari kendaraan listrik tersebut menggunakan *Brush Less Direct Current Motor* sebagai penggerak utamanya, salah satu kemampuan yang akan diteliti dan dianalisa adalah respon kecepatan *Brush Less Direct Current Motor* pada mobil listrik saat mobil

diberi suatu beban. Ketika mendapat pembebanan, respon kecepatan dari *Brush Less Direct Current Motor* akan turun sehingga performa dari motor tersebut tidak sesuai dengan setpoint yang diharapkan (Fachrul Arifin, Josapat Pramudijanto dan Ali Fatoni, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa kendaraan listrik secara *real – time* pada berbagai jenis lintasan jalan agar diketahui tingkat konsumsi energi serta keunggulan dan kekurangannya apabila digunakan pada kondisi jalan raya yang sesungguhnya. Nilai parameter performa kendaraan listrik yang diwakili oleh tegangan dan temperatur baterai, daya output motor listrik, arus listrik, kecepatan dan akselerasi setiap waktu didata dan ditampilkan dalam bentuk profil kecepatan untuk dilakukan analisa terhadap konsumsi energi yang digunakan, kemiringan jalan, temperatur lintasan dan perilaku mengemudi pengendara. Rata – rata konsumsi energi pada jalan menanjak adalah 4 kali lebih besar dari jalan mendatar (Ario Wibawa Satria, 2012).

Mobil listrik pertama kali dikenalkan oleh Robert Anderson dari Skotlandia pada tahun 1832-1839, namun pada saat itu harga bahan bakar minyak (BBM) relatif murah sehingga masyarakat dunia cenderung mengembangkan Motor Bakar yang menggunakan BBM. Saat ini harga BBM semakin mahal dan cadangannya semakin menipis serta sulit dikendalikan untuk masa yang akan datang. Selain itu, terdapat isu lingkungan yang menjadi perhatian dunia yang tertuang dalam *Education for Sustainable Development (EfSD)*. Hal ini memicu pengembangan penggunaan energi listrik dalam sistem transportasi sebagai pengganti bahan bakar fosil, sebab energi listrik mudah dibangkitkan dari berbagai macam sumber termasuk dari sumber-sumber energi terbarukan. Mengacu kepada *blueprint* Pengembangan Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, ketahanan dan kemandirian energi harus ditingkatkan dengan menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK = CO_2) serta meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan. Presiden Republik Indonesia pada Forum G-20 di Pittsburgh, USA tahun 2009 dan pada COP 15 di Copenhagen menyampaikan bahwa Indonesia dapat menurunkan emisi GRK sebesar 26% dan bahkan bisa mencapai sebesar 41% dengan bantuan negara maju hingga tahun

2020. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah mengurangi pemakaian BBM untuk transportasi dan menggantikannya dengan energi listrik. Dengan demikian kompetisi ini diharapkan dapat turut mensosialisasikan penggunaan mobil listrik dalam upaya mengurangi GRK dan meningkatkan kesadaran akan lingkungan bersih (Panduan Kontes Mobil Listrik Indonesia, 2018). Pada penelitian ini menggunakan motor BLDC 800W dan 1000W untuk mengetahui tingkat keluaran nilai arus, tegangan dan kecepatan pada pengujian kerja motor pada mobil listrik titen secara real time, beban mobil yang digunakan seberat 150 Kg sedangkan beban penumpang sebesar 60 Kg. Dengan jarak tempuh pengujian sepanjang 3 Km untuk mengetahui berapa besar konsumsi energi pada masing – masing motor yang digunakan, pengujian ini sebagai pembanding antara kedua motor yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari permasalahan diatas maka dapat disusun beberapa rumusan masalah yang menjadi fokus penelitian ini yang meliputi:

1. Bagaimana cara mendapatkan keluaran nilai arus dan tegangan pada pengujian pembebanan mobil listrik ?
2. Bagaimana karakteristik *ouput* daya 800 Watt dengan 1000 Watt pada pengujian pembebanan mobil listrik?
3. Bagaimana efisiensi pada pengujian pembebanan mobil listrik terhadap konsumsi energi ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan bahasan pada penelitian ini, maka dibuatlah batasan masalah agar pembahasan tidak meluas yang meliputi:

1. Pada penelitian ini tidak melakukan rancang bangun motor *brush less direct current* (BLDC).
2. Kecepatan mobil listrik yang digunakan berbeda - beda pada pengujian yang dilakukan secara langsung.

3. Pada penelitian ini menggunakan motor *brush less direct current* (BLDC) 800 dan 1000 Watt.
4. Pada penelitian ini tidak membahas control pada mobil listrik Titen Gx
5. Konsumsi energi untuk mengetahui efisiensi pada kedua motor yang digunakan pada penelitian menjadi bahasan utama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai oleh peneliti dalam melakukan penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui keluaran arus dan tegangan pada pengujian pembebanan mobil listrik.
2. Membandingkan motor *brush less direct current* (BLDC) 800 dan 1000 Watt pada pengujian pembebanan mobil listrik.
3. Mendapatkan nilai konsumsi energi yang cocok pada pengujian pembebanan mobil listrik Titen GX.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Dari pengujian Motor Brush Less Direct Current kapasitas daya 800W dan 1000W pada kondisi berbeban untuk mengetahui hasil pengujian dari beberapa parameter yang ada pada rumusan masalah. Diantaranya adalah konsumsi energi, keluaran arus dan tegangan pada saat melakukan percobaan secara langsung, dengan lintasan pengujian yang sudah ditentukan yaitu sepanjang 3KM. Kecepatan yang digunakan pada setiap percobaan yaitu sebesar 200,300,400 dan 500RPM. Penelitian dilakukan guna mengetahui data yang memperkaya informasi tentang riset yang dilakukan pada mobil listrik Titen Gx.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kontes Mobil Listrik Indonesia (KMLI 2018)

Mobil listrik pertama kali dikenalkan oleh Robert Anderson dari Skotlandia pada tahun 1832-1839, namun pada saat itu harga bahan bakar minyak (BBM) relatif murah sehingga masyarakat dunia cenderung mengembangkan Motor Bakar yang menggunakan BBM. Saat ini harga BBM semakin mahal dan cadangannya semakin menipis serta sulit dikendalikan untuk masa yang akan datang. Selain itu, terdapat isu lingkungan yang menjadi perhatian dunia yang tertuang dalam *Education for Sustainable Development (EfSD)*. Hal ini memicu pengembangan penggunaan energi listrik dalam sistem transportasi sebagai pengganti bahan bakar fosil, sebab energi listrik mudah dibangkitkan dari berbagai macam sumber termasuk dari sumber-sumber energi terbarukan. Mengacu kepada *blueprint* Pengembangan Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, ketahanan dan kemandirian energi harus ditingkatkan dengan menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK = CO_2) serta meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan. Presiden Republik Indonesia pada Forum G-20 di Pittsburgh, USA tahun 2009 dan pada COP 15 di Copenhagen menyampaikan bahwa Indonesia dapat menurunkan emisi GRK sebesar 26% dan bahkan bisa mencapai sebesar 41% dengan bantuan negara maju hingga tahun 2020. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah mengurangi pemakaian BBM untuk transportasi dan menggantikannya dengan energi listrik. Dengan demikian kompetisi ini diharapkan dapat turut mensosialisasikan penggunaan mobil listrik dalam upaya mengurangi GRK dan meningkatkan kesadaran akan lingkungan bersih (Panduan Kontes Mobil Listrik Indonesia, 2018). Pada penelitian yang akan dilakukan pada *Brush Less Direct Current Motor* 800W dan 1000W di titik beratkan pada konsumsi energi pada mobil listrik Titen GX.



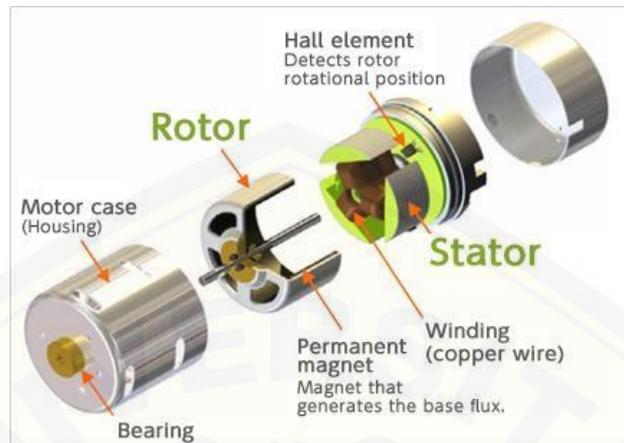
Gambar 2.1 Mobil Listrik

2.2 Pengertian Motor BLDC

BLDC Motor (*Brush Less Direct Current Motor*) adalah suatu jenis motor sinkron, artinya medan magnet yang dihasilkan oleh stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar di frekuensi yang sama. *Brush Less Direct Current Motor* tidak mengalami slip, tidak seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. Motor jenis ini mempunyai permanen magnet pada bagian rotor sedangkan elektro-magnet pada bagian statornya. Setelah itu, dengan menggunakan sebuah rangkaian sederhana (*Simpel Computer System*), maka kita dapat merubah arus di elektro- magnet ketika bagian rotornya berputar.

Dalam hal ini, *Brush Less Direct Current Motor* setara dengan motor DC dengan komutator terbalik, di mana magnet berputar sedangkan konduktor tetap diam. Dalam komutator motor DC, polaritas ini diubah oleh komutator dan sikat. Namun, dalam *Brush Less Direct Current Motor*, pembalikan polaritas dilakukan oleh transistor *Switching* untuk mensinkronkan dengan posisi rotor. Oleh karena itu, *Brush Less Direct Current Motor* sering menggabungkan

baik posisi sensor internal atau eksternal untuk merasakan posisi rotor yang sebenarnya, atau posisi dapat dideteksi tanpa sensor .



Gambar 2.2 Konstruksi Motor BLDC

(Sumber: <http://motor-listrik-blcd.jpg>)

2.2.1 Bagian – bagian Motor BLDC

Setiap *Brush Less Direct Current Motor* memiliki dua bagian utama, rotor (bagian berputar) dan stator (bagian stasioner). Bagian penting lainnya dari motor adalah gulungan stator dan magnet rotor.

1. Rotor

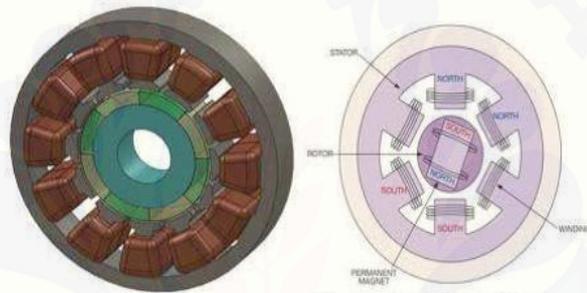
Rotor adalah bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana pada *Brush Less Direct Current Motor* bagian rotornya berbeda dengan rotor pada motor DC konvensional yang hanya tersusun dari satu buah elektromagnet yang berada diantara *Brushes* (sikat) yang terhubung pada dua buah motor hingga delapan pasang kutub magnet permanen berbentuk persegi panjang yang saling direkatkan menggunakan semacam “*Epoxy*” dan tidak ada *Brushes*-nya.

Rotor dibuat dari magnet tetap dan dapat desain dari dua sampai delapan kutub magnet utara (N) atau selatan (S). Material magnetis yang bagus sangat diperlukan untuk mendapatkan kerapatan medan magnet yang bagus pula. Biasanya magnet ferrit yang dipakai untuk membuat magnet tetap, tetapi material

ini mempunyai kekurangan yaitu *Flux Density* yang rendah untuk ukuran volume material yang diperlukan untuk membentuk rotor.

2. Stator

Stator adalah bagian pada motor yang diam/statis dimana fungsinya adalah sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar. Pada *Brush Less Direct Current Motor* statornya terdiri dari 12 belitan (elektromagnet) yang bekerja secara elektromagnetik dimana stator pada *Brush Less Direct Current Motor* terhubung dengan tiga buah kabel untuk disambungkan pada rangkaian kontrol sedangkan pada motor DC konvensional statornya terdiri dari dua buah kutub magnet permanen.



Gambar 2.3 Penampang Motor BLDC

(Sumber: Azzumar Muhammad, Jurnal Permodelan dan simulasi BLDC motor UI, 2012)

Belitan stator pada *Brush Less Direct Current Motor* s terdiri dari dua jenis, yaitu belitan stator jenis *Trapezoidal* dan jenis *Sinusoidal*. Dasar perbedaan kedua jenis belitan stator tersebut terletak pada hubungan antara koil dan belitan stator yang bertujuan untuk memberikan EMF (*Electro Motive Force*) balik yang berbeda.

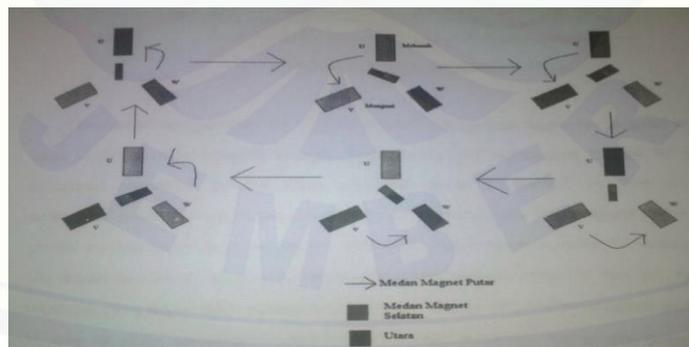
EMF balik adalah tegangan balik yang dihasilkan oleh belitan *Brush Less Direct Current Motor* ketika motor tersebut berputar yang memiliki polaritas tegangan berlawanan arahnya dengan tegangan sumber yang dibangkitkan. Besarnya EMF balik dipengaruhi oleh kecepatan sudut putaran motor (ω), medan magnet yang dihasilkan rotor (B), dan banyaknya lilitan pada belitan stator (N) sehingga besarnya EMF balik dapat dihitung dengan persamaan.

Ketika *Brush Less Direct Current Motor* sudah dibuat, jumlah lilitan pada stator dan besarnya medan magnet yang dihasilkan nilainya sudah dibuat konstan sehingga yang mempengaruhi besarnya EMF balik adalah besarnya kecepatan sudut yang dihasilkan motor, semakin besar kecepatan sudut yang dihasilkan. Perubahan besarnya EMF balik ini mempengaruhi torsi *Brush Less Direct Current Motor*, apabila kecepatan motor yang dihasilkan lebih besar dari tegangan potensial pada belitan stator sehingga arus yang mengalir pada stator akan turun dan torsi pun akan ikut turun, sebagaimana rumus torsi pada *Brush Less Direct Current Motor* menurut persamaan diatas bahwa besarnya torsi yang dihasilkan motor tersebut.

2.2.2 Prinsip Kerja Motor BLDC

Motor ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul medan magnet.

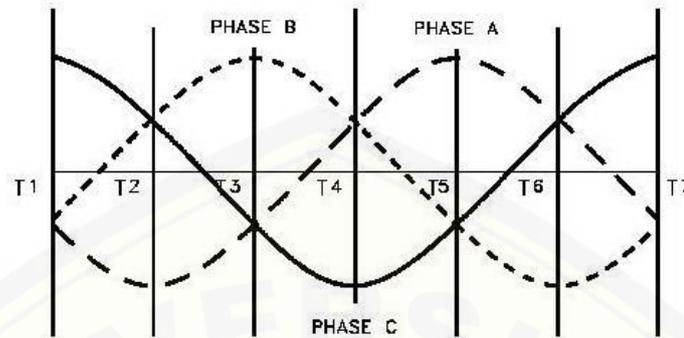
Karena arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan.



Gambar 2.4 Medan Magnet Putar Stator dan Perputaran Rotor
(Sumber: Azzumar Muhammad, Jurnal Permodelan dan simulasi BLDC motor UI, 2012)

Berdasarkan Gambar 2.4, medan putar magnet stator timbul akibat adanya perubahan polaritas pada stator U, V, dan W. Perubahan polaritas ini terjadi akibat

adanya arus yang mengalir pada stator berupa arus AC yang memiliki polaritas berubah-ubah.



Gambar 2.5 Tegangan Stator BLDC

(Sumber: Azzumar Muhammad, Jurnal Permodelan dan simulasi BLDC motor UI, 2012)

Berdasarkan Gambar 2.5, ketika stator U diberikan tegangan Negatif maka akan timbul medan magnet dengan polaritas negatif sedangkan V dan W yang diberikan tegangan positif akan memiliki polaritas positif. Akibat adanya perbedaan polaritas antara medan magnet kumparan stator dan magnet rotor, sisi positif magnet rotor akan berputar mendekati medan magnet stator U, sedangkan sisi negatifnya akan berputar mengikuti medan magnet stator V dan W. Akibat tegangan yang digunakan berupa tegangan AC *Sinusoidal*, medan magnet stator U, V, dan W akan berubah-ubah polaritas dan besarnya mengikuti perubahan tegangan sinusoidal AC. Ketika U dan V memiliki medan magnet negatif akibat mendapatkan tegangan negatif dan W memiliki medan magnet positif akibat tegangan positif, magnet permanen rotor akan berputar menuju ke polaritas yang bersesuaian yakni bagian negatif akan berputar menuju medan magnet stator W dan sebaliknya bagian positif akan berputar menuju medan magnet stator U dan V. Selanjutnya ketika V memiliki medan magnet negatif dan U serta W memiliki medan magnet positif, bagian positif bagian positif magnet permanen akan berputar menuju V dan bagian negatif akan menuju U dari kumparan W. Karena tegangan AC sinusoidal yang digunakan berlangsung secara kontinu, proses perubahan polaritas tegangan pada stator ini akan terjadi secara terus menerus sehingga menciptakan medan putar magnet stator dan magnet permanen rotor akan berputar

mengikuti medan putar magnet stator ini. Hal inilah yang menyebabkan rotor pada BLDC dapat berputar.

2.2.3 Keunggulan Motor BLDC

Kelebihan *Brush Less Direct Current Motor* ialah pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan keandalan yang tinggi, efisiensi tinggi, dan tinggi *Power-To-Volume* rasio. Secara umum, *Brush Less Direct Current Motor* dianggap motor performa tinggi yang mampu memberikan jumlah besar torsi pada rentang kecepatan yang luas. Berikut adalah beberapa kelebihan *Brush Less Direct Current Motor* dibandingkan motor jenis lainnya :

- *High Speed Operation*, sebuah *Brush Less Direct Current Motor* dapat beroperasi pada kecepatan di atas 10.000 rpm dalam kondisi dimuat dan dibongkar.
- Responsif dan percepatan cepat, *Brush Less Direct Current Motor* motor memiliki inersia rotor rendah, yang memungkinkan mereka untuk mempercepat, mengurangi kecepatan, dan membalik arah dengan cepat.
- *High Power Density*, *Brush Less Direct Current Motor* memiliki torsi berjalan tertinggi per inci kubik setiap motor DC.
- Keandalan tinggi, *Brush Less Direct Current Motor* tidak memiliki sikat, yang berarti mereka lebih handal dan memiliki harapan hidup lebih dari 10.000 jam. Hal ini menghasilkan lebih sedikit kasus penggantian atau perbaikan secara keseluruhan.

2.2.4 Daya Motor

Perhitungan daya pada Motor *Brushless DC* adalah daya konsumsi dari motor listrik yang melibatkan arus konsumsi motor listrik dan tegangan dari baterai. Maka secara teoritis adalah sebagai berikut:

$$P = I \times V \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana: $P = \text{Daya (Watt)}$
 $I = \text{Arus (A)}$
 $V = \text{Tegangan (V)}$

2.2.5 Torsi

Nilai torsi pada motor yang digunakan dapat ditentukan melalui sebuah perhitungan . seperti yang diketahui motor yang digunakan pada pengujian yang dilakukan memiliki daya sebesar 800W dan 1000W, dengan kecepatan putaran yang berbeda-beda yaitu 200, 300, 400 dan 500 RPM. Sehingga kita harus mengubah putaran menjadi kecepatan sudut. Adapun perhitungannya sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2\pi.N}{60 s} \dots\dots\dots(2.2)$$

Rumus torsi :

$$P = T \cdot \omega \dots\dots\dots(2.3)$$

$$T = \frac{P}{\omega} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

P : Daya motor
 T : Torsi
 ω : Kecepatan sudut

2.3 Accu

Accumulator atau sering disebut dengan *Accu*, adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan *Accu* untuk dapat menghidupkan mesin mobil (mencatu arus pada dinamo starter kendaraan). *Accu* mampu mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik. Di pasaran saat ini sangat beragam jumlah dan jenis *Accu* yang dapat ditemui. *Accu* untuk mobil biasanya mempunyai tegangan sebesar 12 Volt, sedangkan untuk motor ada tiga jenis tegangan 12 Volt, 9 Volt dan ada juga yang bertegangan 6 Volt. Selain itu juga dapat ditemukan pula *Accu* yang khusus untuk menyalakan

Tape atau radio dengan tegangan yang dapat diatur dengan rentang 3, 6, 9, dan 12 Volt. Tentu saja *Accu* jenis ini dapat dimuati kembali (*Recharge*) apabila muatannya telah berkurang atau habis. Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (*Katoda*) ke elektroda positif (*Anoda*) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (*Dry Cells*).

Allesandro Volta, seorang ilmuwan fisika mengetahui gaya gerak listrik (ggl) dapat dibangkitkan dua logam yang berbeda dan dipisahkan larutan elektrolit. Volta mendapatkan pasangan logam tembaga (Cu) dan seng (Zn) dapat membangkitkan ggl yang lebih besar dibandingkan pasangan logam lainnya (kelak disebut elemen Volta). Hal ini menjadi prinsip dasar bagi pembuatan dan penggunaan elemen sekunder. Elemen sekunder harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik melaluinya (secara umum dikenal dengan istilah disetrum).

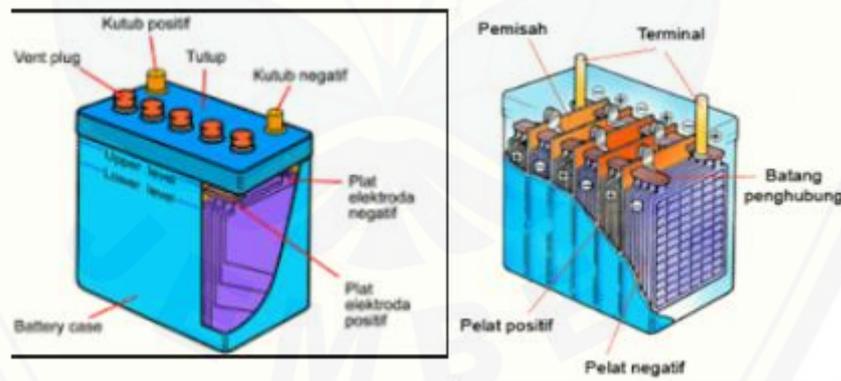
Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan *Accu*. Dalam sebuah *Accu* berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam *Accu* saat dipakai berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (*Discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*Charging*).

Jenis *Accu* yang umum digunakan adalah *Accumulator* timbal. Secara fisik *Accu* ini terdiri dari dua kumpulan pelat yang dimasukkan pada larutan asam sulfat encer (H_2SO_4). Larutan elektrolit itu ditempatkan pada wadah atau bejana *Accu* yang terbuat dari bahan ebonit atau gelas. Kedua belah pelat terbuat dari timbal (Pb), dan ketika pertama kali dimuati maka akan terbentuk lapisan timbal

dioksida (PbO_2) pada pelat positif. Letak pelat positif dan negatif sangat berdekatan tetapi dibuat untuk tidak saling menyentuh dengan adanya lapisan pemisah yang berfungsi sebagai isolator (bahan penyekat).

Accu yang ada di pasaran ada 2 jenis yaitu *Accu* basah dan *Accu* kering. *Accu* basah media penyimpanan arus listrik ini merupakan jenis paling umum digunakan. *Accu* jenis ini masih perlu diberi air. *Accu* yang dikenal dengan sebutan *Accu Zuur*. Sedangkan *Accu* kering merupakan jenis *Accu* yang tidak memakai cairan, mirip seperti baterai telepon selular. *Accu* ini tahan terhadap getaran dan suhu rendah.

Dalam *Accu* terdapat elemen dan sel untuk menyimpan arus yang mengandung asam sulfat (H_2SO_4). Tiap sel berisikan pelat positif dan pelat negatif. Pada pelat positif terkandung oksid timbal coklat (PbO_2), sedangkan pelat negatif mengandung timbal (Pb). Pelat-pelat ditempatkan pada batang penghubung. Pemisah atau *Separator* menjadi isolasi diantara pelat itu, dibuat agar baterai acid mudah beredar di sekeliling pelat. Bila ketiga unsur kimia ini berinteraksi, munculah arus listrik.



Gambar 2.6 Sel Accu

(Sumber: id.m.wikipedia.org/akumulator)

Accu memiliki 2 kutub/terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar dari kutub negatif (-), untuk menghindarkan kelalaian bila *Accu* hendak dihubungkan dengan kabel-kabelnya. Pada *Accu* terdapat batas

minimum dan maksimum tinggi permukaan air *Accu* untuk masing-masing sel. Bila permukaan air *Accu* di bawah level minimum akan merusak fungsi sel *Accu*. Jika air *Accu* melebihi level maksimum, mengakibatkan air *Accu* menjadi panas dan meluap keluar melalui tutup sel.

Pada mobil listrik Titen Gx menggunakan empat *Accu* yang berkapasitas daya sebesar 12V dan 35 Ah, *Accu* berfungsi sebagai pensuplai energi listrik yang menyimpan energi listrik. Dimana *Accu* dirangkai secara seri yang di rumuskan sebagai berikut :

Mencari daya (watt) pada baterai

Rumus daya : $P = V \cdot I$

Hubungan rangkaian seri baterai

Rumusnya : $V_n = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$

V_n = Jumlah barerai

V_1 = *Accu* pertama

V_2 = *Accu* kedua

V_3 = *Accu* ketiga

V_4 = *Accu* keempat

Dimana tegangan dan kuat arus baterai setelah dirangkai seri

$V_n = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$

= 12 + 12 + 12 + 12

= 48 V dan 35 Ah

Hubungan antara tegangan dan daya berbanding terbalik dapat dilihat dalam rumus

$P = V \cdot I$

$I = P / V$

$V = P / I$

Dimana :

P = Daya (W) watt

V = Tegangan (V) volt

I = Kuat arus (I) ampere

Perhitungan daya baterai :

$$P = V \cdot I$$

$$P = 48 \cdot 35$$

$$P = 1680 \text{ watt}$$

2.4 HUB MOTOR 800W/1000W Hi Grade

Motor *brush less direct current* (BLDC) hub dengan power 800W Hi grade, kualitas lebih baik diatas rata-rata. Cocok aplikasi untuk *gokart*, sepeda motor listrik, *custom* variasi motor listrik, mobil mini listrik.



Gambar 2.7 HUB MOTOR 800W/1000W Hi Grade.

(Sumber : <https://www.bogipower.com/2015/04/hub-motor-800w-1000w-hi-grade.html>)

Tabel 2.1 Spesifikasi HUB MOTOR 800W/1000W Hi Grade

Daya	800W/1000W
Type	<i>Brushless</i> DC hub motor
Dudukan rem	<i>Disk Brake</i>
Voltase	48V/60V, dalam 48V maka 800W sedangkan 60V maka 1000W
Ampere	Tahan hingga >60A

Ampere ideal	30 - 35A
Torsi	30 – 50Nm (Sesuai power kontroller)
Ring roda	10"
Opensize as	20 cm
Ukuran Baut	Kunci 21, line torsion arm 12mm
Hall sensor	F41
Top speed	50 km/jam untuk 48V, 60 km/jam untuk 60V
Socket	Pin 6 isi 5 untuk hall, socket 0 ring for phasa motor

2.5 WATTHOUR METER

Sebagai *power analyzer* untuk memantau voltage, amperage, wattage dan Watthour Meter (konsumsi daya listrik). Dari alat ini parameter yang akan diambil dapat diketahui setiap detiknya sehingga memberikan data yang *real time*. Parameter konsumsi daya listrik dapat diketahui setiap saat dalam satuan Watthour (Wh) yang kemudian dikalkulasikan dengan jarak tempuh sehingga didapat variable satuan Km/kWh.



Gambar 2.8 Watthour Meter

(Sumber : <https://www.bogipower.com/2017/04/watthour-meter.html>)

2.6 Sensor Hall

Sensor Efek Hall dirancang untuk merasakan adanya objek magnetis etika ada perubahan posisi. Perubahan medan magnet yang terus menerus menyebabkan timbulnya pulsa yang kemudian dapat ditentukan frekuensinya, sensor jenis ini biasa digunakan sebagai pengukur kecepatan (Varsani Anis, 2002). Sensor *Hall Effect* digunakan untuk mendeteksi kedekatan (*proximity*), kehadiran atau ketidakhadiran suatu objek magnetis pada jarak yang tertentu (elektronika Free web.com, 2011). Hall sensor atau *Hall-Effect* sensor merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi medan magnet. Dalam penggunaannya pada motor BLDC, kapanpun kutub magnetik rotor (*North* atau *South*) mendekati sensor hall, maka akan menghasilkan sinyal HIGH atau LOW, yang mana dapat digunakan untuk mendeteksi posisi rotor. Pada umumnya sensor ketiga sensor hall terpisah sebesar 120 derajat satu dengan yang lainnya walaupun pada kondisi khusus tidak. Kondisi khusus pada motor BLDC yakni yang memiliki pole dalam jumlah banyak (diatas 6 pole). Dengan menggunakan tiga sensor hall akan didapatkan 6 kombinasi yang berbeda. Keenam kombinasi ini menunjukkan timing perubahan komutasi. Ketika dari ketiga sensor hall didapatkan kombinasi tertentu, sinyal PWM pada suatu step harus diubah sesuai dengan kombinasi yang didapatkan.

Tabel 2.2 Tabel Kebenaran Sensor Hall

ha	Hb	Hc	Emf-a	Emf-b	Emf-c
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	-1	+1
0	1	0	-1	+1	0
0	1	1	-1	0	+1
1	0	0	+1	0	-1
1	0	1	+1	-1	0
1	1	0	0	+1	-1
1	1	1	0	0	0

(Topaloglu, 2013)

Pada Tabel 2.2, ketika hall sensor menunjukkan kombinasi tertentu maka sinyal PWM akan berubah mengikuti kombinasi yang telah ditentukan, misalkan kombinasi sensor hall menunjukkan 101, maka PWM A dan B akan menyala sedangkan C akan floating atau off, kombinasi 001, PWM A dan C menyala sedangkan B floating atau off, dan seterusnya.

2.7 EFISIENSI

Perhitungan efisiensi pada pengujian yang akan dilakukan ialah dengan menggunakan rumus daya output yaitu hasil dari pengujian yang telah dilakukan, dibagi dengan daya input pada mobil listrik. Sedangkan untuk daya input sendiri yaitu 4 *Accu* yang digunakan dirangkai secara seri. Untuk rumusnya sendiri yaitu :

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian dan analisis dilakukan secara umum dilakukan di :

Tempat : LP2M Universitas Jember

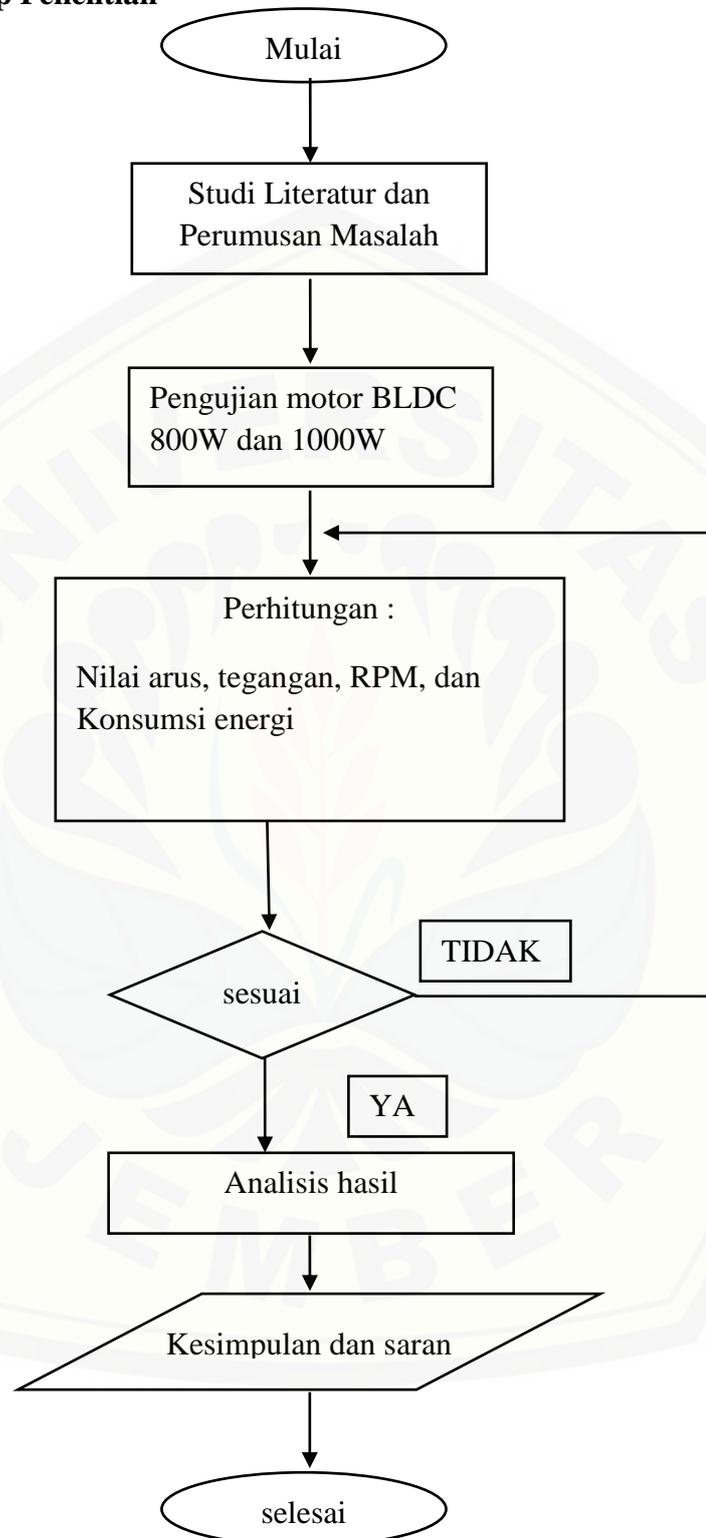
Alamat : Jl. Veteran No.3, Wetan Ktr., Jemberlor, Kec. Patrang, Kabupaten Jember

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mobil listrik TITEN Gx
- b. Multimeter
- c. Alat ukur rpm (*tachometer*)
- d. Motor *brush less* DC 800W dan 1000W
- e. *Power supply*
- f. *Personal computer*

3.3 Tahap Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian pengujian *Brush Less Direct Current Motor* kapasitas daya 800W dan 1000W pada kondisi berbeban sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Tahap ini merupakan tahapan mencari sumber informasi untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan, agar supaya dapat dijadikan bahan acuan dalam menjalankan penelitian ini.

2. Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *Brush Less Direct Current Motor* 800W dan 1000W, dengan kecepatan laju mobil yang berbeda pada suatu lintasan yang sudah ditentukan sepanjang 3Km serta menggunakan beban pengemudi yang berbeda yaitu sebesar 60 Kg.

3. Analisis data

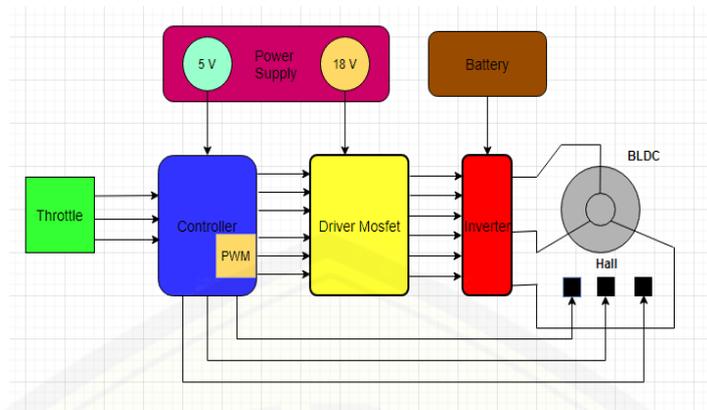
Setelah melakukan pengujian keseluruhan sistem bekerja dengan baik dan hasilnya memenuhi target, maka yang dilakukan selanjutnya adalah pengambilan data yang diperlukan dan kemudian dianalisa data yang telah didapatkan.

4. Kesimpulan dan saran

Pada tahap akhir ini, hasil pengambilan data dan analisa dimasukkan ke pembahasan. Kemudian, dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menyangkut kinerja Motor *Brush Less Direct Current* serta perbandingan antara kedua motor mana yang lebih efisien penggunaannya pada medan tertentu, memberikan saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kekurangan pada pengujian yang telah dilakukan, serta kemungkinan pengembangan pengujian untuk menambah beberapa parameter pengujian agar lebih sempurna.

3.4 Rancangan Sistem Pengujian

Rancangan sistem pengujian berisi tentang blok diagram. Pada penelitian ini, perangkat yang digunakan dalam sistem pengendalian *Brush Less Direct Current Motor*, digunakan untuk melakukan pengujian pembebanan.



Gambar 3.2 Sistem Pengendalian Secara umum

3.4.1 Pengujian Konsumsi Energi

Konsumsi energi pada saat pengujian di dapat secara langsung saat pengujian dilakukan . Watthour Meter memantau secara langsung saat pengujian ketika mobil saat berjalan, parameter yang terbaca pada Watthour Meter tegangan dan arus. Perhitungan konsumsi pada jarak tempuh pengujian yang dilakukan memiliki jarak tempuh lintasan sepanjang 3 Km, dilakukan perhitungan secara manual yaitu dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{KM}{KWH} = \frac{3}{X} \dots\dots\dots(3.1)$$

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian *Motor Brush Less Direct Current* kapasitas daya 800W dan 1000W pada kondisi berbeban maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan di dapatkan nilai arus dan tegangan pada masing – masing percobaan, dimana ketika kecepatan semakin besar maka nilai arus semakin tinggi. Sedangkan untuk nilai tegangan yang semakin menurun. Terlihat pada percobaan motor 1000W dengan kecepatan 500RPM didapatkan nilai arus sebesar 7,27 A dan tegangan sebesar 51,25 V. Sehingga nilai dayanya sebesar 372,59W.
2. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada kedua motor dengan kapasitas daya sebesar 800W dan 1000W di dapatkan karakteristik keunggulan pada masing – masing motor yang digunakan. Dimana pada saat kecepatan rendah motor dengan beban 800W lebih unggul dengan konsumsi energi sebesar 140 KM/KWH, sedangkan pada kecepatan tinggi beban 1000W unggul dengan konsumsi daya sebesar 110 KM/KWH.
3. Pada pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui efisiensi konsumsi energi pada kedua parameter percobaan. Dimana hasil dari percobaan menunjukkan nilai yang semakin besar ketika parameter kecepatan semakin tinggi, sehingga dapat dinyatakan lebih efisien kecepatan rendah.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan beberapa parameter tambahan pada pengujian seperti performa mobil ketika menanjak, performa ketika menurun dan mode *Top – speed*, sehingga dapat memperkaya analisa pada pengujian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Mahfud. 2016. “Rancang Bangun Kontrol Motor *Brushless Direct Current* dengan Metode PWM Sinusoidal”, *Skripsi*, Jember: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Wicaksono, Darma Arif. 2016. “Korelasi Konstanta Kontrol Proportional Integral *Derivative* Terhadap Kinerja Mobil Listrik Universitas Jember”, *Skripsi*, Jember: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Pambudi, Bayu Setia. 2018. “Analisis Unjuk Kerja Motor BLDC 500 Watt Terhadap Perubahan Diameter Lilitan Straor”, *Skripsi*, Jember: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Kuswardana, Aditya. 2016. “Analisis Sistem Motor Penggerak Pada Mobil Listrik dengan Kapasitas Satu Penumpang”, *Tugas Akhir*, Semarang: Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
- Yantoro, Wahyu Dwi. 2019. “Analisis Efisiensi Penggunaan Baterai Lithium Polymer 25 Ah 48 V pada Rancang Bangun Sepeda Motor Listrik Menggunakan BLDC 3 KW”, *Skripsi*, Sumatera Utara: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Purnomo, Sigit J. 2017. Uji Eksperimental Kinerja Motor Listrik. *Prosiding SNATIF*, Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus Magelang: 2017.
- Apresco, Rizky Akbar D. 2017. “Perbandingan Unjuk Kerja Motor *Brushless Direct Current* dengan *Brushed Direct Current* pada Nogeni Urban Konsep”, *Tugas Akhir*, Surabaya: Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh November.
- Satria, Ario Wibawa. 2012. “Analisis Konsumsi Energi Menggunakan Profil Kecepatan pada Keadaraan Listrik”, *Skripsi*. Depok: Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Pribadi, Wahyu. 2017. “Kontrol Torsi Mtor DC *Brushless* Penggerak Hybrid *Electric Vehicle* Menggunakan *Predictive Direct Torque Control*”, *Tesis*. Surabaya: Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November.

Jatmiko, dkk. 2018. “Analisis Performa dan Konsumsi Daya Motor BLDC 350 W pada Prototipe Mobil Listrik Ababil”. *Jurnal Emitter*. Vol.18(02).

Purnomo, Aldino J. & Garniwa, Iwa. 2016. Sistem Pengendali Motor BLDC Menggunakan Metode *Six Step Communitation* dengan PWM untuk Aplikasi Kendaraan Listrik Sadar Lingkungan (Karling). Depok: Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



LAMPIRAN

• **Perhitungan Torsi**

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \text{ s}} \dots\dots\dots(1)$$

Rumus torsi :

$$P = T \cdot \omega \dots\dots\dots(2)$$

$$T = \frac{P}{\omega} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- P : Daya motor
- T : Torsi
- ω : Kecepatan sudut

a. Beban 800W

1. Pada kecepatan 200 RPM

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \text{ s}} \rightarrow \frac{6,28 \cdot 200}{60} = 20,94 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{P}{\omega} \rightarrow \frac{800}{20,94} = 38,22 \text{ N/m}$$

2. Pada kecepatan 300 RPM

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \text{ s}} \rightarrow \frac{6,28 \cdot 300}{60} = 31,41 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{P}{\omega} \rightarrow \frac{800}{31,41} = 25,48 \text{ N/m}$$

3. Pada kecepatan 400 RPM

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \text{ s}} \rightarrow \frac{6,28 \cdot 400}{60} = 41,88 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{P}{\omega} \rightarrow \frac{800}{41,88} = 19,10 \text{ N/m}$$

4. Pada kecepatan 500 RPM

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \text{ s}} \rightarrow \frac{6,28 \cdot 500}{60} = 52,36 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{P}{\omega} \rightarrow \frac{800}{52,36} = 15,28 \text{ N/m}$$

b. Beban 1000W

1. Pada kecepatan 200 RPM

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \text{ s}} \rightarrow \frac{6,28 \cdot 200}{60} = 20,94 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{P}{\omega} \rightarrow \frac{1000}{20,94} = 47,77 \text{ N/m}$$

2. Pada kecepatan 300 RPM

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \text{ s}} \rightarrow \frac{6,28 \cdot 300}{60} = 31,41 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{P}{\omega} \rightarrow \frac{1000}{31,41} = 31,85 \text{ N/m}$$

3. Pada kecepatan 400 RPM

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \text{ s}} \rightarrow \frac{6,28 \cdot 400}{60} = 41,88 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{P}{\omega} \rightarrow \frac{1000}{41,88} = 23,89 \text{ N/m}$$

4. Pada kecepatan 500 RPM

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60 \text{ s}} \rightarrow \frac{6,28 \cdot 500}{60} = 52,36 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{P}{\omega} \rightarrow \frac{1000}{52,36} = 19,11 \text{ N/m}$$

- **Perhitungan Daya Berdasarkan Tabel 4.5**

$$P = I \times V \dots\dots\dots(4)$$

a. Beban 800W

1. Kecepatan 200 RPM, Arus 1,65A dan Tegangan 51,89V

$$P = 1,65A \times 51,89V$$

$$= 85,61W$$

2. Kecepatan 300 RPM, Arus 2,34A dan Tegangan 51,78V

$$P = 2,34A \times 51,78V$$

$$= 121,16W$$

- Kecepatan 400 RPM, Arus 4,78A dan Tegangan 51,75V

$$P = 4,78A \times 51,75V$$

$$= 247,36W$$

- Kecepatan 500 RPM, Arus 6,89A dan Tegangan 51,23V

$$P = 6,89A \times 51,23V$$

$$= 352,97W$$

b. Beban 1000W

- Kecepatan 200 RPM, Arus 1,66A dan Tegangan 51,67V

$$P = 1,66A \times 51,67V$$

$$= 85,77W$$

- Kecepatan 300 RPM, Arus 3,45A dan Tegangan 51,46V

$$P = 3,45A \times 51,46V$$

$$= 177,53W$$

- Kecepatan 400 RPM, Arus 5,67A dan Tegangan 51,32V

$$P = 5,67A \times 51,32V$$

$$= 290,98W$$

- Kecepatan 500 RPM, Arus 7,27A dan Tegangan 51,25V

$$P = 7,27A \times 51,25V$$

$$= 372,59W$$

• **Perhitungan Konsumsi Energi**

a. Motor 800W

$$1. \quad 140 \rightarrow \frac{KM}{KWH} = \frac{3}{x}$$

$$\rightarrow \frac{140}{1} = \frac{3}{x}$$

$$140 \cdot x = 3 \cdot 1$$

$$x = \frac{3}{140} = 0,021 \text{ KWH}$$

$$2. 135 \rightarrow \frac{KM}{KWH} = \frac{3}{x}$$

$$\rightarrow \frac{135}{1} = \frac{3}{x}$$

$$135 \cdot x = 3 \cdot 1$$

$$x = \frac{3}{135} = 0,022 \text{ KWH}$$

$$3. 120 \rightarrow \frac{KM}{KWH} = \frac{3}{x}$$

$$\rightarrow \frac{120}{1} = \frac{3}{x}$$

$$120 \cdot x = 3 \cdot 1$$

$$x = \frac{3}{120} = 0,025 \text{ KWH}$$

$$4. 102 \rightarrow \frac{KM}{KWH} = \frac{3}{x}$$

$$\rightarrow \frac{102}{1} = \frac{3}{x}$$

$$102 \cdot x = 3 \cdot 1$$

$$x = \frac{3}{102} = 0,029 \text{ KWH}$$

b. Motor 1000W

$$1. 135 \rightarrow \frac{KM}{KWH} = \frac{3}{x}$$

$$\rightarrow \frac{135}{1} = \frac{3}{x}$$

$$135 \cdot x = 3 \cdot 1$$

$$x = \frac{3}{135} = 0,022 \text{ KWH}$$

$$2. 129 \rightarrow \frac{KM}{KWH} = \frac{3}{x}$$

$$\rightarrow \frac{129}{1} = \frac{3}{x}$$

$$129 \cdot x = 3 \cdot 1$$

$$x = \frac{3}{129} = 0,023 \text{ KWH}$$

$$3. \quad 107 \rightarrow \frac{KM}{KWH} = \frac{3}{x}$$

$$\rightarrow \frac{107}{1} = \frac{3}{x}$$

$$107 \cdot x = 3 \cdot 1$$

$$x = \frac{3}{107} = 0,028 \text{ KWH}$$

$$4. \quad 110 \rightarrow \frac{KM}{KWH} = \frac{3}{x}$$

$$\rightarrow \frac{110}{1} = \frac{3}{x}$$

$$110 \cdot x = 3 \cdot 1$$

$$x = \frac{3}{110} = 0,027 \text{ KWH}$$

- **Perhitungan Efisiensi daya 800W**

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

a. Kecepatan 200 RPM

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{85,6}{1680} \times 100\% \\ &= 5\% \end{aligned}$$

b. Kecepatan 300 RPM

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{121,16}{1680} \times 100\% \\ &= 7,21\% \end{aligned}$$

c. Kecepatan 400 RPM

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{247,36}{1680} \times 100\% \\ &= 14,72\% \end{aligned}$$

d. Kecepatan 500 RPM

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{352,97}{1680} \times 100\% \\ &= 21,01\% \end{aligned}$$

- **Perhitungan Efisiensi daya 1000W**

a. Kecepatan 200 RPM

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{85,77}{1680} \times 100\% \\ &= 5,1\% \end{aligned}$$

b. Kecepatan 300 RPM

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{177,53}{1680} \times 100\% \\ &= 10,56\% \end{aligned}$$

c. Kecepatan 400 RPM

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{290,98}{1680} \times 100\% \\ &= 17,32\% \end{aligned}$$

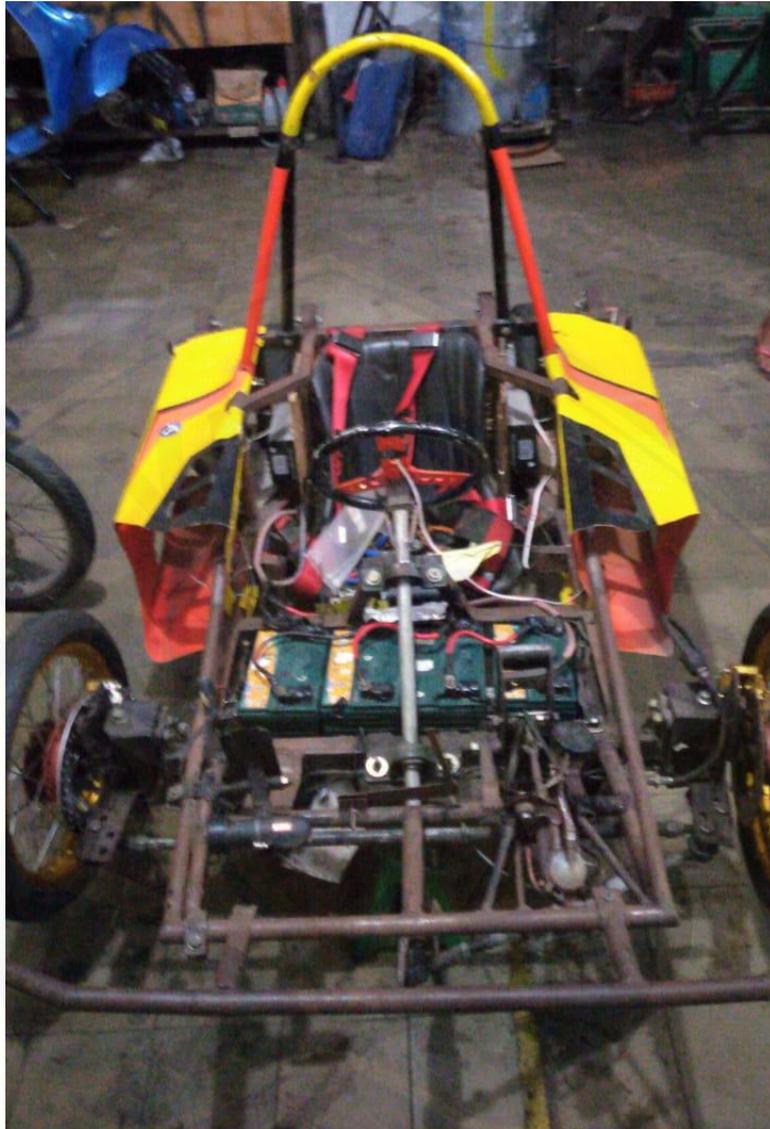
d. Kecepatan 500 RPM

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{372,59}{1680} \times 100\% \\ &= 22,17\% \end{aligned}$$

- Dokumentasi



Gambar 1. Baterai yang digunakan pada pengujian



Gambar 2. Mobil Listrik Titen GX



Gambar 3. Motor *Brush Less Direct Current* Pada Pengujian



Gambar 4. Watthour Meter Pada Pengujian