

PERANCANGAN MOTOR LISTRIK BLDC 10 KW UNTUK SEPEDA MOTOR LISTRIK**Wahyudi Budi Pramono^{1*}, Habib Putra Pratama¹, Warindi²**¹ Program Studi Teknik Elektro, FTI, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta

Jl. Kaliurang km14,5 Sleman Yogyakarta

² Program Studi Teknik Elektro, FT, Universitas Mataram

*Email: wahyudibudip@gmail.com

Abstrak

Kendaraan bermotor roda dua merupakan moda transportasi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Saat ini, kendaraan bermotor menggunakan mesin dengan bahan bakar minyak (BBM) sebagai sumber energi. Salah satu solusi untuk mengurangi konsumsi BBM adalah dengan menggunakan moda transportasi berbasis listrik. Oleh karena itu perlu dirancang salah satu moda transportasi berupa sepeda motor listrik. Motor listrik BLDC memiliki komponen utama yaitu stator dan rotor. Perancangan komponen utama motor BLDC meliputi perancangan stator dan rotor dengan menggunakan bantuan perhitungan manual dan software solidworks. Spesifikasi awal dari motor telah ditentukan untuk daya 10 kW dan frekuensi tegangan input 50 Hz dan kecepatan putar 1500 rpm serta jenis magnet yang digunakan adalah neodymium N52. Hasil perancangan diperoleh jumlah kumparan di stator sebanyak 6 kumparan, 24,192 lilitan per fasa dan jumlah fasa 3 fasa. Dimensi fisik stator berupa susunan plat setebal 84 mm, tersusun dari plat setebal 2 mm per plat. Lilitan stator memiliki tebal 94 mm. Besar arus yang akan mengalir di lilitan stator sebesar 60,14 A. dimensi akhir motor memiliki lebar 144 mm dan diameter luar 230 mm. Model motor listrik BLDC HUB ini dapat disesuaikan dengan bentuk tromol motor dengan diameter roda 18 inci.

Kata kunci: brushless DC motor HUB,, medan magnet, perancangan, solidworks.

1. PENDAHULUAN

Kendaraan Listrik adalah salah satu alat transportasi masa depan karena efisiensi yang tinggi dan polusi yang rendah (Fang,2000). Efisiensi yang tinggi disebabkan karena tidak adanya gesekan oleh brush (Bashir,2016).

Motor listrik *brushless direct current* (BLDC) merupakan motor yang memiliki efisiensi baik, lebih handal, umur lebih panjang dan murah. Motor yang memiliki bagian rotor berupa magnet permanen dan bagian stator berupa belitan untuk menghasilkan medan magnet. Pengubahan polaritas motor BLDC dilakukan secara elektronik menggunakan sensor *hall-effect* dan *rotary encoder*. Karena pada sepeda motor listrik hampir bebas perawatan, tidak membutuhkan minyak, busi baru atau perbaikan rutin lainnya seperti yang dilakukan motor bakar (Azizi,2013).

Penelitian tentang Sepeda Motor Listrik yang membahas tentang perancangan perangkat-perangkat yang digunakan dalam pembuatan sepeda motor listrik (*electric motorcycle*) yang meliputi charger, rangkaian PWM (*pulse width modulation*) control motor listrik serta sistem mekaniknya. Rangkaian pengendali motor ini dibuat menggunakan prinsip PWM (*Pulse Width Modulation*). PWM mengatur kecepatan menggunakan gelombang kotak yang lebar pulsa nya dimodulasi. Sehingga menghasilkan tegangan rata-rata yang bervariasi. Teknik ini memberikan kemudahan dalam pengaturan kecepatan motor, tanpa banyak energi yang terbuang (Kurniawan,2010)

Struktur rangka sepeda motor listrik meliputi rangka utama dan transmisi yang disambung dengan proses pengelasan. Perhitungan kekuatan rancangan pada rangka utama dihasilkan tegangan lentur maksimal sebesar 112.74 N/mm² lebih kecil dari tegangan luluh material sebesar 207 N/mm². Perhitungan las didapatkan ketebalan 0.747 mm lebih kecil dari ketebalan las sebenarnya yaitu 3 mm (Pamungkas, 2014).

Penelitian tentang perancangan motor BLDC 3 fase untuk aplikasi electric vehicle dengan menggunakan *finite element simulasi* telah menyajikan dan mensimulasi 3 fase dua lapisan kumparan BLDC untuk motor *Hybrid* (HEV) dan *Vichiles* listrik (EV) menggunakan software ANSYS. Motor dengan daya 15 kW yang terletak didalam pelek roda (*drive system hub*) telah

menghasilkan torsi dan kekuatan untuk *drive electric vehicle*. Dua konfigurasi BLDC berdasarkan jumlah yang berbeda dari slot dan kombinasi kutub disimulasikan dan dibandingkan untuk memproduksi nilai torsi maksimum. Analisis magnetik dilakukan dengan menggunakan Anys/Emag (Srivastava,2014).

Teknologi sepeda motor listrik sebagai pertimbangan utama seiring dengan kenaikan harga BBM dan faktor lingkungan harus diakui bahwa kendaraan listrik jauh lebih ramah lingkungan dibandingkan motor berbahan bakar minyak. Sistem kombinasi diterapkan sehingga pengendara dapat memilih mode penuh menggunakan motor listrik atau mode manual dengan dikayuh sendiri. daya PMDC motor sebesar 150 Watt dapat menghasilkan putaran 1000 rpm dengan tegangan 12 V dan arus 15 A (Kumar, 2011).

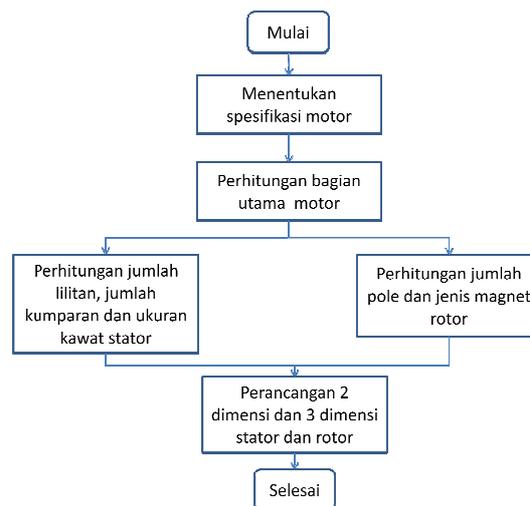
2. METODOLOGI

2.1. Alur Penelitian

Pada bab ini dibahas alur dari penelitian perancangan BLDC Motor 10 KW, yang diterapkan pada roda sepeda motor dengan ukuran 18 inci. Secara skematik penelitian yang dilakukan dengan tahapan dapat dilihat pada gambar 1.

2.2. Alat yang dipakai

Untuk melakukan perancangan pada motor listrik BLDC menggunakan piranti keras (*hardware*) laptop yang akan digunakan dalam melakukan perancangan dengan didukung piranti lunak (*software*) yakni aplikasi *solidworks* untuk membuat bentuk rancangan part-part pada motor listrik BLDC 10 KW.



Gambar 1 Diagram alir perancangan BLDC motor

Perancangan motor listrik BLDC 10 KW ini meliputi komponen utama dari motor listrik yakni perancangan stator dan perancangan rotor.

2.2.1. Perancangan dengan aplikasi *solidworks*

Solidworks adalah digunakan untuk merancang bagian permesinan yang berupa *assembling* dengan tampilan 3D untuk mempresentasikan bagian

2.2.2. Perancangan stator motor BLDC

Stator merupakan tempat belitan yang disebut kumparan, untuk membuat suatu rancangan stator dengan spesifikasi dan ukuran stator yang diinginkan dengan spesifikasi kecepatan putar 1500 rpm, daya 10 kW, dan tegangan input 120 V dan frekuensi 50 Hz.

Jumlah kumparan dalam stator ditentukan dengan persamaan (1)

$$Ns = p \times \frac{Nph}{2} \quad (1)$$

NS : jumlah kumparan
 p : jumlah pole
 Nph : jumlah fasa

2.2.3. Perhitungan jumlah kawat tiap-tiap kumparan.

Ukuran kawat yang digunakan pada stator tergantung dari besarnya arus yang akan mengalir di dalam kawat tersebut. persamaan (2) digunakan untuk mencari diameter kawat lilitan.

$$D = 2x \sqrt{\frac{l}{3,14}} \quad (2)$$

Persamaan (3) digunakan untuk menghitung lilitan

$$N = \frac{E}{2x3,14x\phi xNS/Nph} \quad (3)$$

dengan

N : jumlah lilitan
 E : tegangan
 ϕ : fluks magnet
 NS : jumlah kumparan
 Nph : jumlah fasa.

2.2.4. Perancangan rotor BLDC

Bagian yang bergerak pada motor BLDC Hub adalah rotor yang merupakan tempat pole atau medan magnet, karena semakin banyak pole atau medan magnet pada rotor maka akan semakin besar torsi motor tersebut, akan tetapi kecepatan putar motor semakin kecil. Persamaan (4) digunakan untuk mencari jumlah pole dalam rotor.

$$n_s = \frac{120xf}{p} \quad (4)$$

dengan :

n_s : kecepatan sinkron
 f : frekuensi tegangan input
 p : jumlah kutub

Jumlah pole yang dihasilkan untuk sebuah rotor, maka untuk menghasilkan fluks magnet yang besar agar dapat memutar sebuah roda maka dipilih jenis magnet yang memiliki kerapatan yang besar. Ada berbagai ukuran dan jenis magnet yang ada di pasaran tetapi jenis magnet neodmium N52 merupakan magnet yang paling kuat yang beredar di pasaran yang memiliki kerapatan sebesar 1,450 T.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi motor BLDC Hub yang dirancang adalah 10 kW dengan kecepatan putar 1500 RPM, tegangan 120 Volt, frekuensi 50 Hz, dan menggunakan 5 buah battery 24 volt 50 Ah serta magnet yang digunakan berjenis Neodymium N52 dengan kerapatan fluks 1,450 T.

3.1. Perancangan Stator

3.1.1 Perhitungan jumlah kutub (p) dan jumlah kumparan (Nph)

Perhitungan jumlah kutub magnet (p) sesuai dengan persamaan (2) didapatkan p sebesar 4 kutub (pole) dan perhitungan jumlah kumparan stator (NS) sesuai dengan persamaan (1) jumlah NS sebanyak 6 kumparan. Penurunan jumlah kutub maka putaran motor akan semakin tinggi (Srivastava, 2014)

3.1.2. Perhitungan Arus

Daya motor, $P = 10$ kW, tegangan input 120 V dan $\cos \phi = 0,8$ maka daya per fasenya diperoleh dengan persamaan (5), yaitu:

$$P = \frac{V_{sal}}{\sqrt{3}} \times I_{sal} \times \cos \phi \quad (5)$$

Besarnya arus saluran (lilitan stator dihubungkan secara bintang) dengan nilai daya per fase sebesar $10\text{kW}/3$ adalah $I_{saluran} = 60,140$ Ampere.

Berdasarkan besar dari arus yang dihitung yakni $60,140$ A maka luas penampang kawat lilitan untuk lilitan stator sebesar 10 mm^2 (sesuai dengan standar KHA) atau diameternya sebesar $3,568$ mm.

3.1.3. Perhitungan fluks magnet

$$\phi = B \times A \times \cos \theta \quad (6)$$

Magnet yang digunakan adalah jenis magnet Neodymium N52 dengan kerapatan fluks $B = 1,450$ T dan dimensi magnet yang digunakan panjang 84 mm dan lebar 37 mm. $A =$ panjang x lebar (magnet), sesuai dengan persamaan (6)

sehingga didapatkan fluks magnet, $\phi = 1,450 \times 0,003145 = 0,00456$.

3.1.4. Perhitungan Jumlah Lilitan

Jumlah kawat email yang akan dililit pada kumparan stator, apabila nilai dari $E = 69,282$ V, $\phi = 0,00456$, $NS = 6$, $N_{ph} = 3$ maka dengan persamaan (3) diperoleh jumlah lilitan sebanyak $24,192$ lilitan

3.1.5. Perhitungan Torsi motor

Struktur kumparan sangat berpengaruh terhadap torsi, jenis kumparan segitiga / delta dan kumparan tipe bintang tentunya memiliki torsi yang berbeda.

$$T = \frac{5250 \times HP}{n} \quad (7)$$

Persamaan (7) digunakan untuk mencari besarnya torsi pada motor tersebut. Berdasarkan spesifikasi motor maka besarnya torsi sebesar $21,203$ Nm

3.1.6. Perhitungan kecepatan putar roda tanpa beban.

Persamaan (8) untuk mencari kecepatan motor saat tanpa beban.

$$\text{Kecepatan} = \pi \times d \quad (8)$$

dengan:

$\pi = 3,14$

$d =$ diameter

Apabila nilai diameter roda sepeda motor 18 inchi, maka akan didapatkan kecepatan maksimum sepeda motor sebesar $127,105$ km/jam dengan suplai daya maksimum tanpa beban. Dari perhitungan perancangan komponen motor listrik didapatkan spesifikasi motor listrik BLDC.

Tabel 1 Spesifikasi perancangan motor listrik BLDC

No	Parameter	Lambang	Nilai
1.	Kerapatan Fluks Magnet	B	1,450T
		p	80 mm
2.	Dimensi Magnet	l	42 mm
		t	6 mm
3.	Jumlah Kutub Magnet	P	4 Pole
4.	Celah Udara	Δ	5 mm
5.	Jumlah Kumparan	N_s	6
6.	Jumlah Fasa	N_{ph}	3
7.	Jumlah Lilitan	N	24,192 lilitan
8.	Diameter Kawat	D	3,569 mm
9.	Kecepatan Putar Generator	n	1500 rpm
10.	Tegangan Antar Saluran	V	69,282 Volt
11.	Arus	I	60,140 A
12.	Frekuensi Tegangan	f	50 Hz
13.	Daya	P	10 kW
		Diameter Dalam	170 mm
14.	Dimensi Motor	Diameter Luar	230 mm
		Panjang Motor	144 mm
15.	Torsi Motor		21,204 Nm

3.2. Perancangan Tiga Dimensi Motor Listrik *Brushless*

3.2.1. Stator

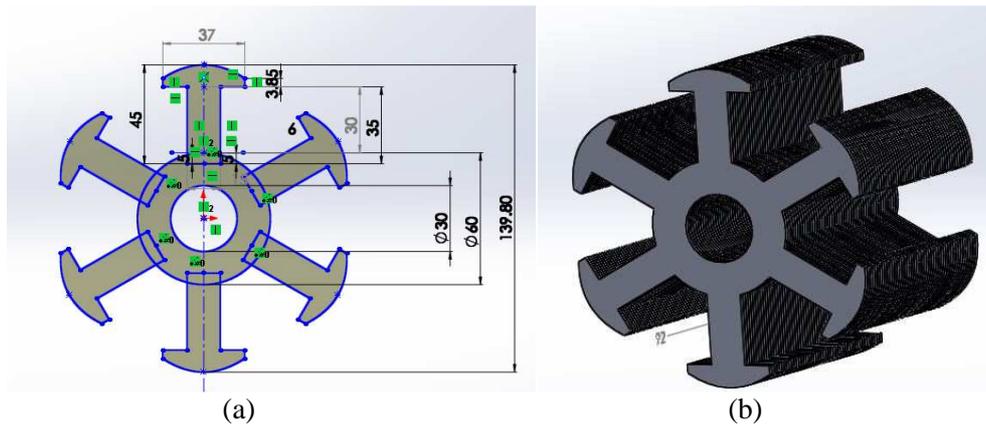
Konsep dari motor listrik *brushless* terdiri dari kumparan sebagai stator dan medan magnet sebagai rotor. Spesifikasi yang telah di tentukan sebagai dasar untuk melakukan perancangan desain tiga dimensi motor listrik *brushless*. Dimensi stator dirancang dengan menyesuaikan bentuk hub pada sepeda motor. Perancangan stator sendiri terdiri dari plat stator dan alur (slot) sebagai berikut.

3.2.1.1. Plat stator

Plat stator pada umumnya berbentuk silindris dengan alur-alur sebagai tempat kumparan lilitan kawat. Untuk membentuk dan membagi medan magnetik sesuai kebutuhan dari masing-masing rancangan motor listrik BLDC. Karena besi armature dipengaruhi oleh fluks magnetik maka besi tersebut terinduksi arus eddy. Gambar 2 (a) adalah rancangan gambar besi armature yang dibuat dari lapisan-lapisan yang tipis untuk memperkecil rugi-rugi arus eddy ini.

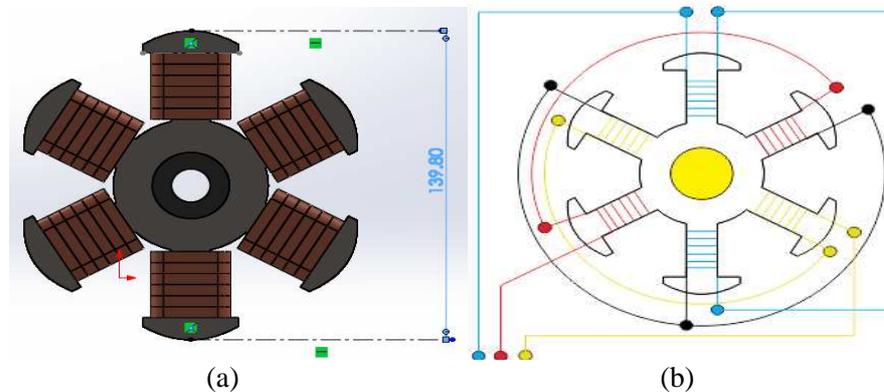
3.2.1.2. Alur (slot)

Alur (slot) merupakan tempat lilitan kawat pada kumparan stator. Pada perancangan ini hasil dari perancangan dengan jumlah kumparan sebanyak 6. Untuk perancangan selanjutnya dengan membuat sketsa awal dengan ukuran tinggi batang alur 40 mm, lebar batang slot 15 mm dan lebar payung 37 mm.



Gambar 2 (a) keterangan kumparan stator, (b) Plat stator yang berlapis-lapis

Stator dibuat dari bahan yang berlapis-lapis tipis, pada perancangan stator motor dengan tebal plat stator 2 mm, selanjutnya plat-plat stator disusun dengan tebal stator 84 mm seperti yang di tunjukkan pada gambar 2 (b). gambar rancangan stator dan konfigurasi lilitannya dapat dilihat pada gambar 3 (a) dan (b)

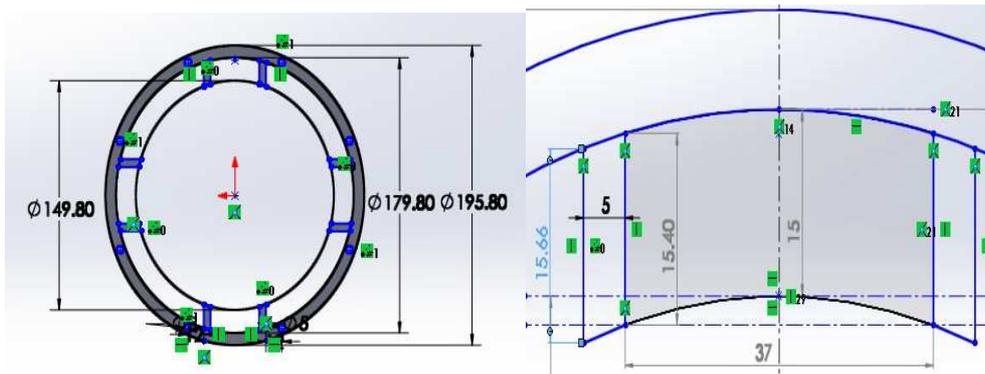


Gambar 3 (a) Stator yang telah diberi kumparan, (b) Konfigurasi lilitan bintang Motor BLDC 6 kumparan.

3.2.2. Rotor

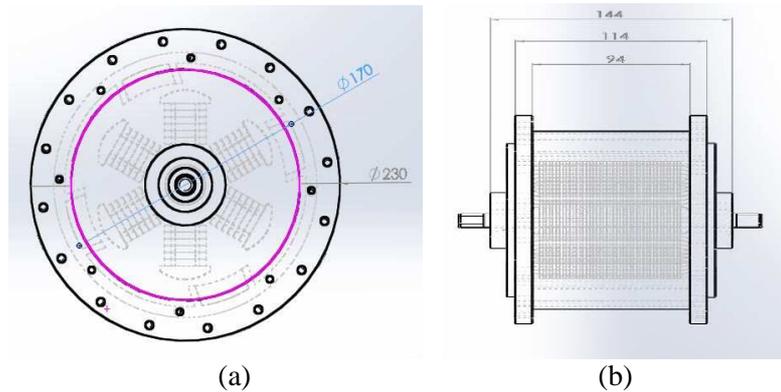
Rangka rotor merupakan rumah atau (kerangka) tempat magnet permanent akan diletakkan. Perancangan kerangka rotor dengan mengikuti bentuk tromol motor sebagai acuan untuk dimensi dan bentuk dari motor listrik BLDC.

Gambar 4 (a) merupakan diameter luar dan diameter dalam rotor dengan ukuran yang telah disesuaikan dari bentuk stator. Diameter luar 195,80 mm dan dimensi dalam 179,80 mm. Jumlah pole atau jumlah magnet permanent yang akan ditempatkan di rangka rotor sebanyak 4 pole. Gambar 4 (b) dapat dilihat dimensi tempat magnet permanent, dengan panjang 84 mm, lebar 37 mm dan tebal 15 mm.



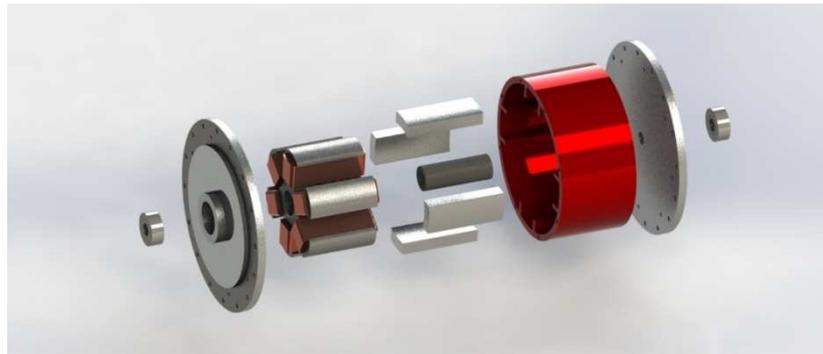
Gambar 4 (a) Gambar 3D rangka rotor, (b) Dimensi rangka untuk magnet permanent.

Sketsa 2D Rangka magnet permanen

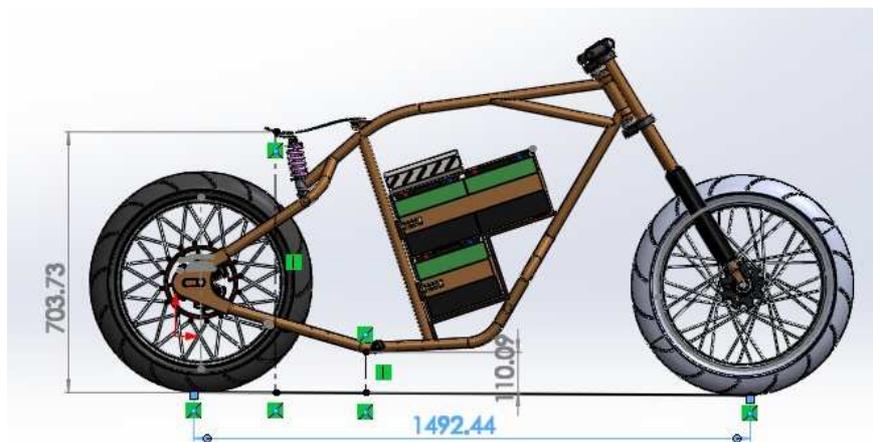


Gambar 5 (a) Dimensi tutup rotor, (b) Dimensi motor listrik BLDC

Dimensi tutup rotor pada motor listrik BLDC yakni, diameter luar 230 mm dan diameter dalam 170 mm, untuk diameter luar merupakan besar dimensi keseluruhan motor listrik BLDC.



Gambar 6 Motor listrik BLDC Hub tampak keseluruhan.



Gambar 7 Kendaraan listrik 3D motor listrik BLDC.

3.3. Perancangan tata letak di body sepeda motor

Perancangan posisi peletakan motor BLDC dan baterai dalam rangka sepeda motor listrik dapat dilihat pada gambar 7. Tabel 2 menunjukkan dimensi dan jarak roda sepeda motor dan jarak ke tanah serta ketinggian tempat duduk.

Tabel 2 Spesifikasi ukuran kendaraan motor.

Spesifikasi	Ukuran
Jarak sumbu roda	1.492,44 mm
Jarak ke tanah	110,09 mm
Tinggi tempat duduk	703,73 mm

4. KESIMPULAN

Motor listrik BLDC meliputi komponen stator dan rotor sebagai bagian utamanya Hasil perancangan diperoleh jumlah kumparan di stator sebanyak 6 kumparan, 24,192 lilitan per fasa dan jumlah fasa 3 fasa. Dimensi fisik stator berupa susunan plat setebal 84 mm, tersusun dari plat setebal 2 mm per plat. Lilitan stator memiliki tebal 94 mm. Besar arus yang akan mengalir di lilitan stator sebesar 60,14 A. dimensi akhir motor memiliki lebar 144 mm dan diameter luar 230 mm. Model motor listrik BLDC HUB ini dapat disesuaikan dengan bentuk tromol motor dengan diameter roda 18 inci.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prodi Teknik Elektro dan DPPM UII yang telah membantu dalam pendanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bashir Sheikh, Priti. S. (2016). Manware Brushless DC Motor Design for Electric Traction System. Journal for Research. pp. 18-22
- Fang Lin Luo. Hock Guan Yeo.(2000). Advanced PM brushless DC motor control and system for electric vehicles. Industry Applications Conference. Rome. pp. 1336-1343.
- Kurniawan, D.E., (2010), Sepeda Motor Listrik (*electric motor sycle*), Tugas Akhir, Universitas Gajahmada, Yogyakarta.
- Naser Azizi, Reihaneh Kardehi Moghaddam. (2013).Permanent Magnet Brushless DC Motor optimal design and determination of optimum PID controller parameters for the purpose of speed control by using the TLBO optimization algorithm. American Journal of Research Communication.. pp.294 -313.
- N. Srivastava. (2014), Design Of 3-phase BLDC Motor For Electric Vehicela Aplication By using Finite Element Simulation.IJETAE, pp. 140-145.
- Pamungkas, A.B., (2014), Rangka Sepeda Motor Listrik Generasi II, Tugas Akhir, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- V.Kumar. (2011). Desain dan implementasi dari bantuan sepeda listrik dengan mekanisme pengisian ulang sendiri (*self recharging mechanism*): B. Tech student, Dept. OF Mechanical engineering. India.