

Analisis Sistem Penggerak Motor BLDC Pada Mobil Listrik *Ponecar*

Dwi Harjono¹, Wahyu Widodo²

Politeknik Negeri Pontianak; Jl. Jend. Ahmad Yani, Bansir Laut, Kota Pontianak
Jurusan Elektro, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak
e-mail: *¹dwi_hjrn@yahoo.co.id, ²wahyu.widodo75.ww@gmail.com,

Abstrak

Ketersediaan bahan bakar fosil seperti minyak, gas alam, dan batubara semakin hari semakin menipis, sementara kebutuhan manusia akan energi dalam bentuk bahan bakar semakin meningkat. Persediaan cadangan minyak bumi semakin menipis yang diakibatkan penggunaan bahan bakar yang tidak terkendali terutama diakibatkan dengan cepatnya pertumbuhan penggunaan kendaraan untuk transportasi. Salah satu upaya penggunaan energi alternatif adalah penggunaan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai. Mobil listrik merupakan kendaraan yang digerakkan dengan menggunakan motor listrik DC, sehingga bahan bakarnya tidak menggunakan energi fosil tetapi menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan Analisis Sistem Penggerak Motor BLDC Pada Mobil Listrik PonECar. Dimana PonECar adalah penamaan mobil listrik yang akan dibuat yang merupakan kependekan *dari Pontianak Electric Car*. Masalah yang dibahas adalah bagaimana menentukan daya motor yang akan digunakan, bagaimana konsumsi energi yang dibutuhkan mobil listrik berdasarkan jumlah muatan maupun kecepatan. Dan bagaimana efisiensi penggunaan daya dari Mobil Listrik. Penelitian ini dilakukan dengan membangun mobil listrik mini kart *Pontianak Electric Car* (PonECar). Hasil pengujian ini dilakukan dengan menempuh jarak (s) sejauh 200 meter, jarak pembebanan ke pusat rotasi (roda) = 0,25 m. Hasil pengujian pembebanan bahwa dengan penambahan beban penumpang akan mempengaruhi arus. Dimana arus akan semakin meningkat dengan penambahan beban. Dengan kata lain semakin besar beban penumpang maka akan semakin tinggi pula arus yang dibutuhkan untuk menggerakkan mobil listrik. Selain itu dengan adanya peningkatan beban yang dipikul maka semakin menurun kecepatan mobil listrik ini dan demikian juga dengan adanya peningkatan atau penambahan beban yang dipikul oleh motor BLDC maka semakin besar pula daya, namun efisiensi motor semakin rendah dengan penambahan beban.

Kata kunci:

Motor BLDC, efisiensi, mobil listrik.

Abstract

The availability of fossil fuels such as oil, natural gas, and coal is decreasing day by day, while human need for energy in the form of fuel is increasing. Petroleum reserves are running low due to uncontrolled use of fuel, mainly due to the rapid growth in the use of vehicles for transportation. One of the efforts to use alternative energy is the use of battery-based electric motorized vehicles. An electric car is a vehicle that is driven by a DC electric motor, so that the fuel does not use fossil energy but uses electrical energy stored in batteries or energy storage. So that in this study an analysis of the BLDC Motor Drive System in PonECar Electric Cars will be carried out. Where PonECar is the naming of the electric car that will be made which is short for Pontianak Electric Car. The problems discussed are how to determine the motor power to be used, how to consume the energy needed by an electric car based on the amount of charge and speed. And how efficient is the

use of power from electric cars. This research was conducted by building a mini-kart electric car Pontianak Electric Car (PonECar).

The results of this test were carried out by traveling a distance (s) as far as 200 meters, the loading distance to the center of rotation (wheel) = 0.25 m. Loading test results that with the addition of passenger loads will affect the flow. Where the current will increase with the addition of load. In other words, the greater the passenger load, the higher the current needed to drive an electric car. In addition, with an increase in the load that is carried, the speed of this electric car decreases and so is the increase or addition of the load borne by the BLDC motor, the greater the power, but the motor efficiency is lower with the addition of load.

Keywords:

BLDC motor, efficiency, electric car.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar fosil seperti minyak, gas alam, dan batubara semakin hari semakin menipis, sementara kebutuhan manusia akan energi dalam bentuk bahan bakar semakin meningkat. Persediaan cadangan minyak bumi semakin menipis yang diakibatkan penggunaan bahan bakar yang tidak terkendali terutama diakibatkan dengan cepatnya pertumbuhan penggunaan kendaraan untuk transportasi. Dampak dari penggunaan bahan bakar minyak ini menimbulkan akibat berupa polusi udara yang diakibatkan emisi gas buang yang dapat mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan. Upaya yang dilakukan saat ini salah satunya berupa penggunaan energi alternatif sebagai bahan bakar untuk alat transportasi.

Salah satu upaya penggunaan energi alternatif adalah penggunaan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai. Pemerintah melalui Perpres No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan mendorong Perguruan Tinggi untuk melakukan Penelitian, pengembangan dan inovasi untuk kendaraan bermotor listrik berbasis baterai. Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang bekerjanya digerakkan oleh motor listrik, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai. Penggunaan kendaraan listrik dinilai sangat efektif karena tidak menimbulkan polusi udara dan kontruksi mesin yang lebih sederhana [1].

Komponen utama yang digunakan oleh sebuah mobil listrik agar dapat bergerak adalah motor listrik. Pemilihan motor listrik didasarkan pada kebutuhan yang diperlukan oleh mobil listrik itu sendiri. Motor listrik yang digunakan adalah motor arus searah (DC). Karena motor ini mudah dioperasikan untuk putar kanan maupun putar kiri dengan hanya menukar polaritasnya. Selain itu motor DC memiliki putaran (rpm) yang tinggi serta kecepatannya dapat dikontrol dengan mudah. Salah satu jenis motor DC yang berkembang saat ini adalah motor *Brushes Less Direct Current* (BLDC). Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan analisis kebutuhan energi dan efisiensi dari motor BLDC sebagai penggerak dari mobil listrik ini.

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut: Penelitian ini dilakukan dengan membangun mobil listrik mini kart *Pontianak Electric Car* (PonECar) yang akan dibuat di Bengkel Listrik Polnep. Serta dilakukan uji di jalan yang mendatar (tanpa tanjakan dan turunan).

TINJAUAN PUSTAKA

Mobil listrik merupakan kendaraan yang digerakkan dengan menggunakan motor listrik DC, sehingga bahan bakarnya tidak menggunakan energy fosil tetapi menggunakan energi listrik yang

disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi. Mobil listrik memiliki keunggulan dibandingkan dengan kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil, seperti tidak mengakibatkan timbulnya polusi udara dan suara (ramah lingkungan).

Mobil listrik menggunakan motor listrik DC sebagai penggerakannya. Dengan berkembang teknologi saat ini motor DC sudah dikembangkan dan teknologi mengarah ke motor DC tanpa sikat (*Brushless Direct Current/BLDC*). Motor BLDC ini memiliki keunggulan dibandingkan motor DC konvensional yaitu motor BLDC tidak menggunakan sikat (*brush*) dan komutator tetapi menggunakan rangkaian elektronika sedangkan motor DC pada umumnya masih menggunakan sikat (*brush*) dan komutator. Selain itu keunggulan motor BLDC dibandingkan motor DC adalah memiliki efisiensi tinggi, *life time* operasi lebih panjang, perawatan yang rendah, serta tingkat polusi suaranya rendah karena tidak terjadi gesekan antara sikat dan komutator.[2]

Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti yang berkaitan dengan mobil listrik dengan hasil sebagai berikut: Beban yang diterima oleh roda depan dan belakang pada kendaraan akan berbeda sesuai dengan desain dari rangka kendaraan tersebut. Velotaxi merupakan prototype *city car* dengan target perbandingan pendistribusian bobot yang diterima oleh roda depan: roda belakang sebesar 60% : 40%. Velotaxi didesain memiliki sebuah *rollbar* sebagai perlindungan untuk pengemudi dari benturan atas. Proses rancang bangun prototype Velotaxi melalui dua pengujian, yaitu pengujian pembebanan rollbar dan juga penimbangan distribusi bobot. Pengujian rollbar dilakukan dengan cara memberikan beban dari arah normal pada rollbar dengan beban minimum berat total kendaraan atau tanpa pengemudi. Pengujian distribusi bobot dilakukan dengan cara menimbang setiap bagian roda kendaraan ketika rangka diberi beban pengemudi dan penumpang.

Pengujian lapangan kendaraan mini kart dilakukan untuk menguji kecepatan, sistem pengisian, dan jarak tempuh dari kendaraan, yang memiliki spesifikasi motor listrik 36 V DC, kontroler, accu berjumlah 6 buah, beserta sistem pengisian 36 V DC. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa kecepatan maksimum sebesar 20 km/jam dan jarak yang dapat ditempuh sekitar 30 km. Perencanaan dan pembuatan ini memiliki keterbatasan dari segi biaya yang relatif mahal (Ricky, 2013).

Pemilihan motor dc yang cocok digunakan pada mobil listrik adalah motor dc seri, karena motor dc seri memiliki karakteristik dengan nilai torsi sebesar kuadrat arus, Dengan karakteristik tersebut, motor dc seri memiliki torsi starting yang baik untuk menggerakkan beban mobil listrik [3].

Pengaruh variasi beban resistif, semakin besar beban maka semakin tinggi kecepatan motor BLDC dan arus menjadi kecil, jika semakin kecil beban maka kecepatan motor BLDC akan rendah dan arus menjadi lebih besar [4].

Motor Brushless Direct Current (BLDC)

Motor listrik merupakan suatu perangkat elektromagnetis yang bisa merubah energi listrik menjadi energi gerak atau mekanik. Energi gerak ini dapat berguna untuk banyak hal seperti memutar suatu roda, fan, ataupun blower. Karena hal ini juga mesin atau yang biasa disebut motor listrik banyak digunakan pada bidang industri. Direct current adalah jenis mesin listrik yang dapat bergerak dengan dialiri oleh listrik arus searah, Motor BLDC atau yang biasanya juga disebut dengan nama *Permanent Magnet Synchronous Motor* atau *Electronis Commuter Motor* adalah sebuah jenis motor sinkron DC yang mendapat arus melalui sebuah inverter atau *switching power supply* yang dapat mengeluarkan arus dalam bentuk bolak balik (AC) yang berguna untuk menggerakkan setiap tahapan motor dengan pengatur loop tertutup, pulsa arus yang dikeluarkan oleh pengontrol akan mengendalikan torsi dan kecepatan motor. Motor BLDC sendiri tidak menggunakan sikat dalam pengoperasiannya dan motor ini menggunakan prinsip gaya tarik antara dua buah magnet yang memiliki kutub berlainan dan gaya tolak antara kutub yang sama.

Motor BLDC tidak memiliki sikat sehingga proses komutasinya digantikan oleh *Hall Effect Sensor*. *Hall Effect Sensor* akan mendeteksi sudut rotor, dan mengendalikan sakelar semikonduktor seperti transistor yang memindahkan arus melalui belitan baik itu untuk memutar balik arus maupun mematakannya pada setiap putaran 180⁰ sehingga membuat electromagnet menciptakan torsi dalam satu arah. Penghilangan kontak geser dapat mengurangi gesekan pada motor dan membuat motor memiliki umur yang lebih panjang. BLDC mempunyai sebuah magnet permanen yang berputar disekitar jangkar sehingga kutubnya tidak berubah sedangkan statornya terbuat dari belitan yang kutubnya akan berubah berdasarkan jenis polaritas yang diberikan. Medan magnet yang dibangkitkan oleh rotor berputar pada frekuensi yang sama atau disebut juga *synchronous*.

Pengendalian motor BLDC dapat dilakukan dengan menggunakan metode PWM maupun metode pengendalian six-step. Pengendali ini dapat melakukan distribusi daya dalam waktu yang sama dengan menggunakan sirkuit *solid-state*.

Motor BLDC memiliki banyak keunggulan dari motor DC yang menggunakan sikat, adapun keunggulan tersebut adalah Biaya perawatan motor BLDC juga jauh lebih rendah dibandingkan motor listrik jenis lainnya, mempunyai rasio torsi yang tinggi terhadap berat, peningkatan pada sisi efisiensi, pengurangan pengaruh kebisingan, memiliki umur pakai yang lebih lama karena tanpa gesekan sikat dan komutator, penghilangan percikan pengan dari komutator, mengurangi gangguan electromagnetic, Motor dapat didinginkan dengan konduksi, hal ini dikarenakan motor tidak mengalami gaya sentrifugal, Tidak membutuhkan aliran udara di dalam sebagai pendingin, karena bagian dalam motor sepenuhnya tertutup sehingga terlindungi dari debu dan benda asing.

Daya maksimal yang telah diterapkan pada motor *brushless* hampir dibatasi secara eksklusif terhadap panas, karena banyaknya panas yang ditimbulkan dapat menyebabkan magnet melemah dan rusaknya isolasi gulungan. Peningkatan efisiensi motor *brushless* disebabkan oleh frekuensi di mana listrik diaktifkan oleh umpan balik sensor posisi.

Motor BLDC mempunyai efisiensi dan torsi awal yang lebih tinggi, dengan torsi sebagai berikut:

$$T = r \times F \dots\dots\dots(1)$$

Jika diketahui sudut dan arus maka akan didapatkan:

$$T = I \times F \sin \alpha \dots\dots\dots(2)$$

Selain itu untuk persamaan gaya sendiri adalah

$$F = m \times a \dots\dots\dots(3)$$

Untuk Percepatan (a):

$$a = v/t \dots\dots\dots(4)$$

Bila sebuah penghantar yang dialiri arus diletakkan pada suatu medan magnet maka akan timbul daya.

Daya yang dibangkitkan:

$$P = T \times \dots\dots\dots(5)$$

Dimana juga dapat dibangkitkan dengan:

$$= v/r \dots\dots\dots(6)$$

Dengan daya listrik ;

$$P = V \times I \dots\dots\dots(7)$$

Efisiensi merupakan suatu persentase perbandingan daya masuk dan daya keluar yang terjadi pada motor.

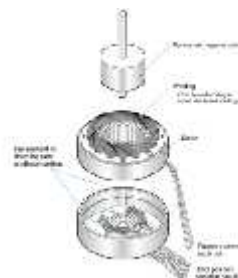
$$= (\text{daya keluar} / \text{daya masuk}) \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$



Gambar 1 Konstruksi Jumlah Belitan dan Kutub

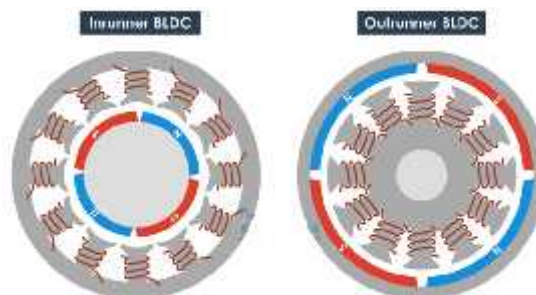
Konstruksi diatas merupakan sebuah motor BLDC yang memiliki 12 belitan stator serta 8 magnet pada rotor. Untuk memutar sebuah motor BLDC maka harus mengetahui letak rotor yang terdapat di dalam motor dan digunakan untuk mengontrol belitan stator yang akan diberi tegangan sesuai dengan polaritasnya guna menarik atau mendorong magnet pada rotor sehingga rotor dapat berputar atau bergerak. Biasanya untuk mendeteksi posisi suatu rotor akan digunakan Hall Effect sensor yang ditempelkan pada stator.

Konstruksi sistem pada motor BLDC juga biasanya sama dengan motor sinkron magnet permanen (PMSM). Konstruksi motor brushless juga dapat menyerupai konstruksi motor stepper, perbedaannya terletak pada implementasi dan pengoperasian. Jika motor stepper dihentikan oleh rotor dalam posisi sudut yang telah ditentukan, sedangkan motor brushless menghasilkan rotasi yang kontinu. Motor BLDC juga dirancang agar dapat menahan dengan baik apabila torsi mencapai nol rpm, akan tetapi motor BLDC juga dapat berubah menjadi sebuah motor keengganan yang diaktifkan (asinkron), motor ini juga bisa menggunakan magnet neodmium yang membuat pergerakan atau perputarannya menjadi lebih cepat (rotor mengelilingi stator) atau inrunners (stator yang mengelilingi rotor).



Gambar 2 Konstruksi Motor BLDC (Prabowo, 2016)

Motor Brushless DC dapat dibagi dalam beberapa bentuk yang berbeda, bentuk tersebut dapat terbagi menjadi 2, yaitu:



Gambar 3 Inrunner dan Outrunner

Inrunner atau bentuk konvensional di mana magnet permanen merupakan bagian dari rotor, sedangkan tiga belitan stator mengelilingi rotor.



Gambar 2.4 Motor BLDC *Inrunner*

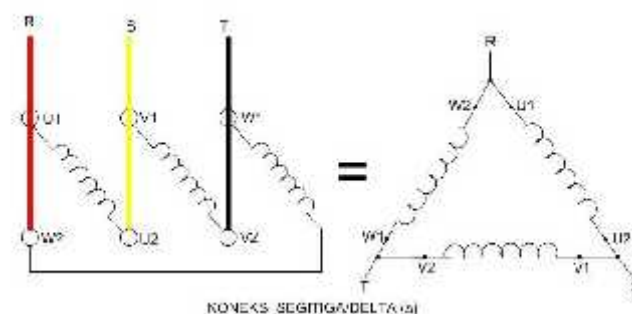
Outrunner atau yang biasa disebut eksternal rotor dimana hubungan antara kumparan dan magnet dibalik, kumparan stator akan membentuk inti motor, sedangkan magnet permanen akan berputar di dalam rotor yang mengelilingi inti.



Gambar 4 Motor BLDC *Outrunner*

Untuk membuat motor berputar lebih cepat biasanya akan diberikan lebih banyak kutub di dalam motor. Motor Brushless DC biasanya memiliki dua jenis belitan hubungan listrik, adapun kedua jenis hubungan tersebut adalah sebagai berikut:

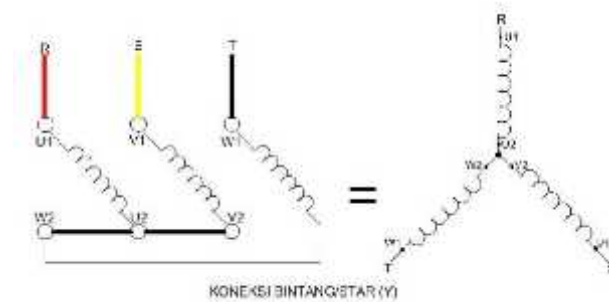
Hubungan Delta atau yang biasa disebut sebagai hubungan segitiga adalah hubungan yang menghubungkan 3 buah belitan atau berbentuk seri dan daya akan ada pada masing-masing hubungan. Motor yang menggunakan hubungan belitan delta akan memberikan torsi yang rendah apabila kecepatannya rendah, dan torsinya akan tinggi apabila kecepatannya tinggi.



Gambar 5 Hubungan Delta

Hubungan Y atau yang biasa disebut dengan hubungan bintang adalah hubungan yang menghubungkan belitan ketengah atau ke titik pusat (rangkaiian paralel) dan daya akan ada pada

ujung masing-masing belitan. Hubungan Y akan memberikan torsi pada kecepatan yang rendah, sedangkan pada kecepatan tinggi torsi nya akan rendah.



Gambar 6 Hubungan Y (Bintang)

Walaupun efisiensi sangat dipengaruhi oleh bagaimana konstruksi motor, akan tetapi hubungan Y adalah hubungan yang lebih efisien. karena pada hubungan delta setiap setengah tegangan akan terbagi dengan belitan yang berdekatan dengan lead yang bergerak, sehingga hal ini akan meningkatkan kerugian resistif. Selain itu juga suatu belitan juga dapat memungkinkan terjadinya arus listrik gangguan frekuensi tinggi untuk bersikulasi didalam motor. Oleh sebab itu hubungan Y tidak memiliki *loop* tertutup di mana arus gangguan dapat mengalir, dan ini dapat mencegah kerugian.

2. METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan selama 5 bulan (Juni – Nopember 2020). Tempat penelitian ini dilakukan di Bengkel Listrik Prodi Teknik Listrik Politeknik Negeri Pontianak.

Prosedur penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut dan ditampilkan pada *flowchart* tahapan penelitian gambar 1.



Gambar 7 Diagram alir prosedur penelitian.

1. Studi literatur.
Studi literatur dilakukan pada bulan Mei 2020. Pada studi ini dipelajari tentang perancangan mobil listrik. Hasil dari studi literatur adalah beban yang akan dipikul oleh mobil, penggunaan dari mobil listrik, motor listrik yang akan digunakan dan sistem transmisi yang dipilih.
2. Penempatan motor Listrik
Pada tahapan ini dilakukan penempatan motor listrik berdasarkan pada rangka mobil listrik dengan mempertimbangkan transmisi yang digunakan serta efisiensi yang dihasilkan.
3. Instalasi kelistrikan
Pemasangan instalasi dilakukan dengan memperhatikan persyaratan pemasangan instalasi listrik yang berlaku.
4. Pengujian dan Pengambilan Data
Pengujian yang dilakukan adalah menguji terhadap kemampuan rangka mobil memikul beban. Beban tersebut berupa beban statis. Selain itu pengujian yang dilakukan adalah mobil dioperasikan jalan dengan memikul beban. Data yang diambil berupa kemampuan daya, konsumsi energi dan efisiensi dari motor listrik yang digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk pemilihan penggunaan motor listrik sebagai penggerak menggunakan hasil penelitian dua jenis motor listrik, yaitu motor brushless DC (BLDC) dan brushed DC (BDC) [6].

Tabel 1 Parameter pemilihan motor penggerak

No.	Parameter	Motor BLDC	Motor BDC
1.	Daya (watt)	66,79	71,46
2.	Torsi (Nm)	20,565	19,453
3.	Putaran (rpm)	332	328
4.	Efisiensi (%)	83,29	71,28

Dengan menggunakan tabel 1 maka untuk pemilihan motor yang akan digunakan sebagai penggerak pada mobil listrik *PonECar* ini adalah motor BLDC karena daya yang dibutuhkan motor BLDC dengan tegangan yang sama diperoleh daya listrik yang digunakan lebih rendah jika dibandingkan motor BDC, ini artinya konsumsi arusnya juga lebih rendah. Torsi yang dihasilkan oleh motor BLDC juga lebih besar dari motor BDC. Putaran yang dihasilkan oleh motor BLDC lebih besar dari motor BDC. Hal ini semua mengakibatkan Motor BLDC memiliki efisiensi yang lebih baik dari motor BDC.

Untuk mengetahui kebutuhan daya minimum yang dibutuhkan mobil listrik *PonECar* ini, maka dalam perencanaan perlu dilakukan perhitungan beban yang dipikul oleh mobil ini. Berikut tabel 2 adalah data yang digunakan untuk massa komponen penyusun mobil listrik dan penumpang.

Tabel 2 Massa Mobil dan penumpang tanpa bodi mobil

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Massa (kg)	Jumlah	Total (Kg)
1	Baterai	50 Ah	7	4	28
2	Motor DC	BLDC 800 watt	5	1	5
3	Steering rack dan Steer	-	10	1	10
4	Besi Hollow	40x40x1.8 mm, 6 m	5.4	5	28
5	Shock Breaker	-	2	2	4
6	Orang		80	2	160
7	Kelengkapan lainnya		5	1	5
				Jumlah	240

Maka diperoleh massa total dari mobil dan penumpang sebesar 240 kg.

Roda yang digunakan untuk mobil ini adalah roda motor mio dengan ukuran 70/80-14. Maka diperoleh jarak pembebanan ke pusat rotasi = 0,25 m.

Besar tahanan total hambat yang terjadi adalah jumlah tahanan gelinding ditambah tahanan angin, maka diperoleh :

a. Tahanan gelinding, dengan menggunakan rumus 9.

$$F_r = 0,01 \times (240 \times 9,81) = 23,54 \text{ N}$$

Tahanan gelinding dari hasil perhitungan diperoleh sebesar 23,54 N dengan koefisien tahanan gelinding dari aspal sebesar 0.01

b. Tahanan angin, dengan menggunakan rumus 10.

Di mana penampang depan dari bodi mobil yang direncanakan dengan lebar 120 cm dan tinggi 145 cm (dari permukaan tanah 170 cm dikurangi 25 cm dari as roda). Sehingga luas penampang adalah 1740 cm^2 ($1,74 \text{ m}^2$).

$$F_a = 1,2/2 \times 0,29 \times 2 \times 1,74 = 0,61 \text{ N}$$

Tahanan angin dari hasil perhitungan diperoleh sebesar 0,61 N dengan massa jenis udara $1,2 \text{ Kg m}^3$

Sehingga daya yang dibutuhkan, dengan menggunakan rumus 11.

$$F_t = 23,54 + 0,61 = 24,15 \text{ N}$$

Maka diperoleh gaya total minimal yang dibutuhkan untuk menggerak mobil Ponecar adalah 24,15 N.

Sehingga dengan menggunakan rumus 12, di mana mobil PonECar dirancang dengan kecepatan maksimum sebesar 20 km/jam maka diperoleh daya sebagai berikut:

$$P = (24,15 \times 20) / 0,85 = 568,24 \text{ watt}$$

Jadi daya yang dibutuhkan untuk mobil PonECar dengan kecepatan maksimum 20 km/jam adalah 568,24 watt.

Sehingga torsi yang dibutuhkan, dengan menggunakan rumus 12.

$$\text{Torsi} = (9,55 \times 799,5) / 3000 = 1,8 \text{ Nm}$$

Maka torsi minimum yang dibutuhkan mobil listrik Ponecar pada 3000 rpm adalah 1,8 Nm.

Jadi pada perancang mobil listrik PonECar ini untuk memikul beban dengan massa total dari mobil dan penumpang sebesar 240 kg dibutuhkan daya motor sebesar 568,24 watt dengan torsi minimal 1,8 Nm dengan jenis motor BLDC.

Sedangkan pengujian tegangan, arus dan daya. Pengujian ini dilakukan dengan menempuh jarak (s) sejauh 200 meter (0,2 km) dan diperoleh hasil seperti pada tabel 2 berikut ini.

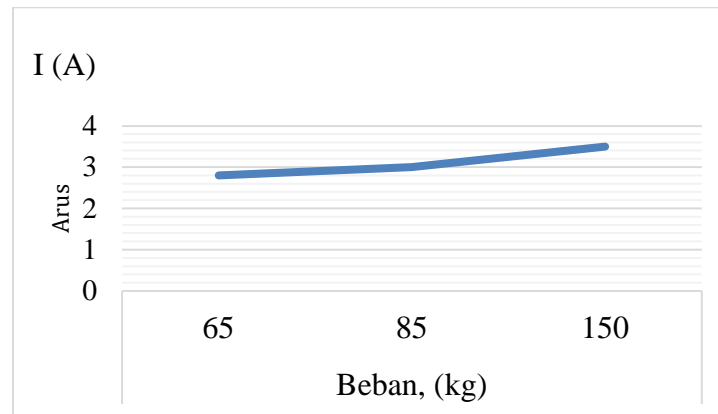
Pengujian

Hasil pengukuran tegangan, arus, waktu tempuh, kecepatan dan daya tarik, di mana Pengujian ini dilakukan dengan menempuh jarak (s) sejauh 200 meter (0,2 km), jarak pembebanan ke pusat rotasi (roda) = 0,25 m maka diperoleh hasil seperti pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil pengujian dan perhitungan

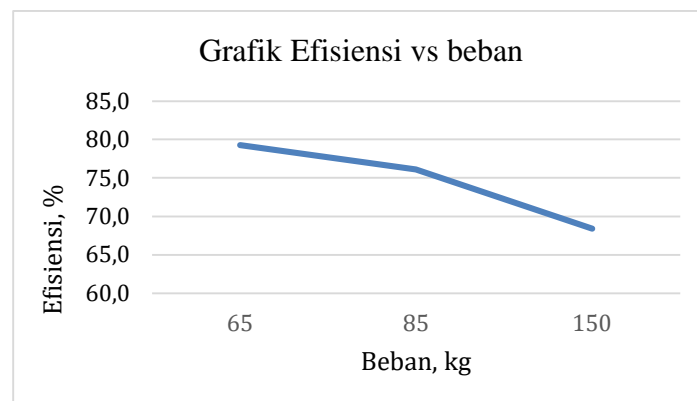
No	Besaran	Beban		
		1 orang (65 kg)	1 orang (85 kg)	2 orang (150 kg)
1	Tegangan, V (V)	51.1	51.1	51
2	Arus, I (A)	2.8	3	3.5
3	Jarak, s (m)	200	200	200
4	Waktu, t (s)	40	42	45
5	Percepatan, a (m/s ²)	0.45	0.42	0.38
6	Kecepatan, v (km/jam)	18	17.5	17
7	Neraca Pegas, m (Kg)	14	16	19
8	Gaya, F (N)	6.3	6.7	7.2
9	Torsi, τ (Nm)	1.6	1.7	1.8
10	Daya input, Pi (watt)	143.1	153.3	178.5
11	Daya output, Po (watt)	113.4	116.7	122.0
12	Efisiensi, η (%)	79.3	76.1	68.4

Dari tabel 3 hasil pengukuran dan perhitungan dapat dibuat analisa sebagai berikut:



Gambar 2 grafik arus vs beban

Berdasarkan gambar 2 grafik dapat dilihat hasil dari pengujian pembebanan bahwa dengan penambahan beban penumpang akan mempengaruhi arus. Dimana arus akan semakin meningkat dengan penambahan beban. Dengan kata lain semakin besar beban penumpang maka akan semakin tinggi pula arus yang dibutuhkan untuk menggerakkan mobil listrik.



Gambar 8 grafik efisiensi vs beban

Berdasarkan tabel 3, dapat dilihat bahwa dengan adanya peningkatan beban yang dipikul maka semakin menurun kecepatan mobil listrik ini dan demikian juga dengan adanya peningkatan atau penambahan beban yang dipikul oleh motor BLDC maka semakin besar pula daya, namun efisiensi motor semakin rendah dengan penambahan beban dapat dilihat pada gambar 8.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Motor penggerak yang dipilih adalah jenis motor BLDC.

2. Dengan mempertimbangkan tahanan gelinding dan tahanan angin maka daya motor yang dibutuhkan hasil perhitungan sebesar 568,24 watt, maka yang dipasang motor dengan kapasitas 800 watt.
3. Torsi hasil perencanaan sebesar 1,8 Nm.
4. Kecepatan rata-rata mobil 17 km/jam.
5. Efisiensi semakin menurun dengan penambahan beban

4.2 Saran

Untuk pengembangan dari penelitian ini, penelitian dapat dilanjutkan dengan kondisi jalan menanjak maupun menurun. Selain itu dapat dilanjutkan dengan pembahasan terkait dengan peralatan penyimpan listrik dan pengisiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Presiden Republik Indonesia, "Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019," no. 008553, pp. 1–6, 2019.
- [2] P. Richard B. Hathaway, Ph.D., *Vehicle Design Lecture Notes*. 2000.
- [3] S. A. Nalaprana Nugroho, "Analisa Motor DC (Direct Current) sebagai Penggerak Mobil Listrik," *Mikrotiga*, vol. 2, no. 01, pp. 28–34, 2015.
- [4] Y. Chandra Wibowo and S. Riyadi, "Analisa Pembebanan Pada Motor Brushless Dc (BlDC)," pp. 277–282, 2019, doi: 10.5614/sniko.2018.33.
- [5] R. F. Fahrezy, G. E. Kusuma, and T. A. Setiawan, "Perencanaan Design Engine pada Mobil Minimalis Roda Tiga," *Proc. Conf. Des. Manuf. Eng.*, no. 2654, pp. 2–5.
- [6] S. Riyadi, "Peran Motor Listrik pada Transportasi Ramah Lingkungan," *Praxis (Bern. 1994)*, vol. 1, no. 1, pp. 13–23, 2018, doi: 10.24167/PRAXIS.V1I1.1626.