

PERENCANAAN SISTEM PENGGERAK MOBIL LISTRIK MENGGUNAKAN MOTOR DC SHUNT

¹Maulana Bayhaqi, ²Abraham Lomi, ³Awan Uji Krismanto
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

¹maulanabayhaqi6@gmail.com, ²abraham@lecturer.itn.ac.id, ³awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id

Abstrak— Kemajuan teknologi telah memicu perubahan dalam dunia industri otomotif, salah satunya adalah pengembangan mobil berbahan bakar listrik. Sebuah mobil listrik membutuhkan beberapa komponen pendukung, salah satunya adalah motor listrik. Pemilihan motor listrik DC yang akan digunakan dalam mobil listrik sebagai sistem penggerak, haruslah disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan oleh mobil listrik itu sendiri. Tujuan penelitian ini menentukan besarnya kapasitas dan jenis motor listrik yang akan digunakan sebagai penggerak mobil listrik. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, motor listrik DC Shunt yang digunakan memiliki spesifikasi daya sebesar 350 Watt, arus sebesar 19.2 ampere dan tegangan sebesar 24 Volt serta memiliki rpm sebesar 2750 rpm. Pemilihan motor listrik DC Shunt dikarenakan motor listrik jenis ini memiliki beberapa keunggulan yang mendukung kinerja pada pengaplikasian gokart. Keunggulan motor listrik DC Shunt diantaranya seperti memiliki kestabilan pada kecepatannya, karakteristik torsi yang baik, dan kemudahan dalam pengendalian atau pengontrolan putaran motor, yang sesuai untuk pengaplikasian dalam sistem penggerak gokart. Dalam pengujian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa pada beban minimum 96 kg membutuhkan daya sebesar 293.38 watt sedangkan pada beban maksimum 118 kg, membutuhkan daya hingga 349.75 watt.

Kata Kunci: Kapasitas motor listrik DC, Mobil Listrik, Motor Listrik

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan teknologi telah memicu perubahan dalam dunia industri otomotif, salah satunya adalah pengembangan mobil berbahan bakar listrik. Mobil listrik merupakan kendaraan transportasi yang mengandalkan sumber energi non-fosil dan bukan dari minyak bumi. Kendaraan ini menggunakan tenaga listrik yang disimpan dalam baterai atau media penyimpanan energi lainnya sebagai sumber daya penggerak. Banyak produsen mobil yang sudah mulai menciptakan bahkan mengembangkan mobil listrik guna menarik minat konsumen serta bersaing di pasar [1].

Mobil listrik dikenal dalam istilah *Electric Road Vehicles* yang dibagi menjadi dua (2) jenis, diantaranya

adalah *Zero Emission Vehicle* dan *Low Emission Vehicle*. Mobil Listrik yang dikategorikan *Zero Emission Vehicle* adalah mobil baterai (*battery operate*) dan mobil *fuel cell*. Sedangkan mobil listrik yang dikategorikan *Low Emission Vehicle* adalah mobil yang sistem penggerakannya menggabungkan antara *convesional engine* dengan motor listrik (*hybrid*) [2].

Mobil listrik memiliki beberapa keunggulan dibandingkan kendaraan bermotor berbahan bakar fosil (*fossil fueled-based vehicle*), salah satunya adalah tidak menghasilkan gas buang sehingga dapat mengurangi pemanasan global (*carbon footprint*) [3].

Sebuah mobil listrik membutuhkan beberapa komponen pendukung, salah satunya adalah motor listrik. Motor listrik merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai penggerak pada mobil listrik. Pemilihan motor listrik yang akan digunakan dalam mobil listrik sebagai sistem penggerak, haruslah disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan oleh mobil listrik itu sendiri [4].

Motor listrik DC (*Direct Current*) dapat digunakan sebagai sistem penggerak pada mobil listrik dikarenakan perputaran pada motor listrik DC dapat dikontrol dengan mudah untuk disesuaikan dengan kebutuhan yang akan diperlukan. Salah satu jenis motor listrik DC adalah motor listrik DC Shunt. Motor listrik DC Shunt memiliki karakteristik efisiensi tinggi, kecepatan putaran, dan pengontrolan putaran yang mudah. Karena itu, motor listrik DC Shunt dapat dijadikan sebagai salah satu pilihan sistem penggerak mobil listrik [5].

B. Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas mendapatkan permasalahan yaitu bagaimana cara menentukan kapasitas motor listrik DC yang tepat untuk diaplikasikan pada mobil listrik.

C. Tujuan

Dari penjelasan rumusan masalah sebelumnya, maka dapat dibuat tujuan dari penelitian ini diharapkan dapat menentukan spesifikasi atau kapasitas motor listrik DC

untuk menggerakkan mobil listrik. Spesifikasi motor listrik DC haruslah memenuhi kebutuhan mobil listrik seperti daya yang cukup untuk menggerakkan mobil listrik dengan kecepatan dan beban yang diinginkan, serta torsi yang cukup untuk menggerakkan mobil listrik.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Motor Listrik DC

Motor listrik bekerja dengan menggunakan 2 energi yaitu energi magnet dan energi listrik yang akan menghasilkan energi gerak atau energi mekanik [6]. Untuk dapat bekerja, motor listrik bergantung pada dua buah medan magnet yang saling berinteraksi untuk menghasilkan gerakan pada motor listrik. Sedangkan tujuan utama motor listrik adalah agar dapat menghasilkan torsi atau gaya yang menggerakkan [7]. Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar) [8].

1) Jenis – Jenis Motor DC

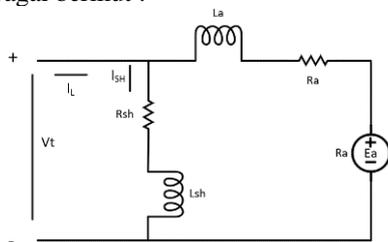
Berdasarkan sumber arus penguat magnetnya, motor DC dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a) Motor arus searah penguat terpisah (arus magnet diperoleh dari sumber arus searah diluar motor tersebut).
- b) Motor arus searah dengan penguat sendiri (arus penguat magnet diperoleh dari motor itu sendiri).

Berdasarkan hubungan lilitan penguat magnet terhadap lilitan jangkar, motor arus searah dibedakan menjadi :

a) Motor Shunt

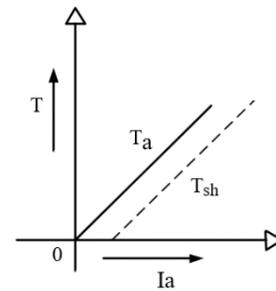
Motor ini memiliki kecepatan yang hampir konstan walaupun terjadi perubahan pada beban. Rangkaian ekivalen motor dc berpenguat shunt adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Rangkaian Ekivalen Motor DC Shunt

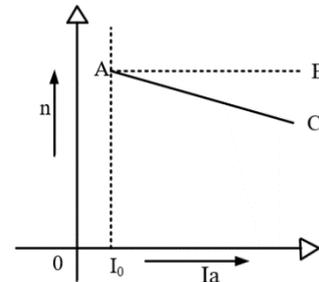
• Karakteristik Motor DC Shunt

Gambar 1 menunjukkan rangkaian listrik dari suatu motor DC shunt. Arus medan (I_{sh}) besarnya konstan karena kumparan medan langsung terhubung dengan tegangan sumber (V_t) yang dianggap konstan. Oleh karena itu fluksi di dalam motor shunt hampir dapat dikatakan konstan [8].



Gambar 2. Kurva Karakteristik T_a/I_a

Torsi poros (T_{sh}) lebih kecil dibandingkan Torsi jangkar (T_a) yang ditunjukkan oleh garis putus – putus. Pada kurva, dibutuhkan arus yang cukup besar untuk menstart motor dengan beban yang berat [8].

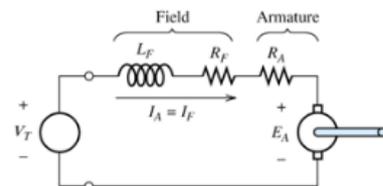


Gambar 3. Kurva Karakteristik n/I_a

Pada kurva n/I_a , ketika beban bertambah, GGL lawan (E_a) dan fluksi (Φ) yang ada pada motor dc akan berkurang dikarenakan efek dari jatuh tegangan pada tahanan jangkar dan reaksi jangkar. Sehingga kecepatan motor menurun sedikit dengan pertambahan beban (garis AC). Meskipun terjadi penurunan kecepatan, motor dc shunt masih dapat dianggap sebagai motor dengan kecepatan yang konstan dikarenakan penurunannya tidak terlalu signifikan [8].

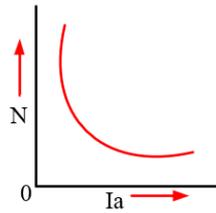
b) Motor Seri

Motor ini memiliki kecepatan yang tidak konstan, jika beban tinggi maka putaran akan melambat begitupun sebaliknya jika beban rendah maka putaran akan cepat. Rangkaian ekivalen motor arus searah berpenguat seri, dapat digambarkan sebagai berikut :



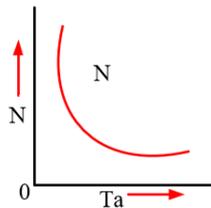
Gambar 4. Rangkaian Ekivalen Motor DC Seri

• Karakteristik Motor Dc Seri



Gambar 5. Kurva Karakteristik n/I_a

Pada kurva n/I_a , terlihat bahwa ketika beban pada motor listrik meningkat, arus jangkar (I_a) juga meningkat. Peningkatan beban menyebabkan penurunan kecepatan motor, yang mengakibatkan arus beban dan arus jangkar hanya turun sedikit. Hal ini menyebabkan kecepatan motor meningkat secara signifikan. Oleh karena itu, mencapai kecepatan tanpa beban menjadi sulit karena kecepatan motor menjadi sangat tinggi dalam kondisi ini. Dengan kata lain, dalam kondisi beban berat, sistem cenderung untuk meningkatkan arus jangkar guna mengatasi beban, yang pada akhirnya mendorong motor untuk beroperasi pada kecepatan yang jauh lebih tinggi daripada yang diharapkan dalam kondisi tanpa beban [8].

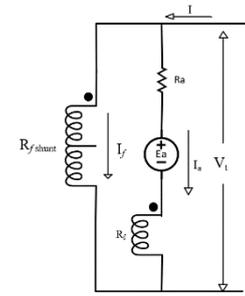


Gambar 6. Kurva Karakteristik n/T_a

Saat kecepatan motor meningkat, torsi yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini dapat dilihat pada kurva karakteristik n/T_a . Kurva tersebut, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6, menggambarkan hubungan antara kecepatan (n) dan torsi (T_a) motor. Dengan peningkatan kecepatan, torsi mengalami penurunan yang signifikan, menggambarkan bahwa motor menghasilkan lebih sedikit kekuatan putar pada kecepatan tinggi [8].

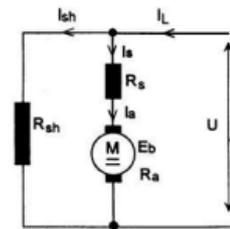
c) Motor Kompon

Motor DC kompon dibutuhkan untuk pengaplikasian beban besar dan torsi starting yang tinggi, lebih tinggi dibandingkan dengan motor shunt, tetapi lebih rendah dibandingkan motor seri. Motor DC kompon biasanya diaplikasikan pada seperti *electric shovel*, *metal stamping machines*, *reciprocating pumps*, *hoist* dan kompresor.



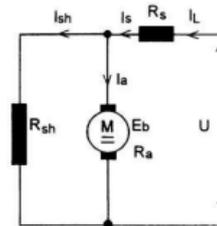
Gambar 7. Rangkaian Ekuivalen Motor Kompon
Motor DC kompon memiliki 2 buah kumparan yang dihubungkan seri dan paralel dengan jangkar. Motor listrik DC kompon memiliki beberapa jenis, antara lain:

- Motor DC Kompon Panjang
Dapat dikatakan motor DC kompon panjang ketika motor seri diberikan penguat tambahan shunt.



Gambar 8. Rangkaian Motor Kompon Panjang

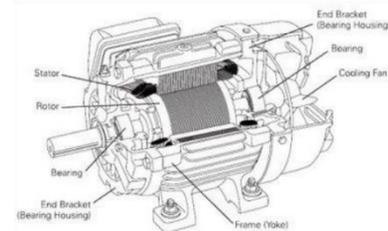
- Motor DC Kompon Pendek
Dapat dikatakan motor DC kompon pendek ketika motor shunt diberikan penguat tambahan seri [8].



Gambar 9. Rangkaian Motor Kompon Pendek

B. Konstruksi Motor DC

Motor listrik DC secara umum memiliki konstruksi seperti pada gambar 10.

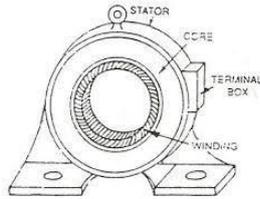


Gambar 10. Konstruksi Motor Listrik DC

1) Stator Motor DC

Stator merupakan bagian motor listrik DC yang berfungsi sebagai bagian dari rangkaian magnetik

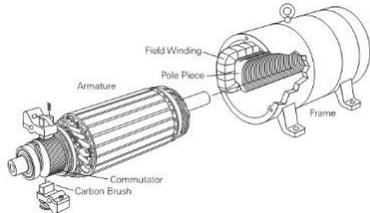
yang didalamnya memiliki sepasang kutub medan yang terpasang didalam stator [7].



Gambar 11. Stator Motor DC

2) Rotor Motor DC

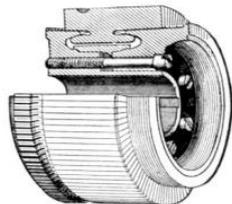
Rotor motor DC atau jangkar berperan dalam mengubah energi listrik menjadi energi gerak rotasi. Komponen utama dari rotor sendiri adalah poros baja yang difungsikan sebagai tempat menjepit kepingan inti yang berbentuk silinder [9].



Gambar 12. Rotor Motor DC

3) Komutator

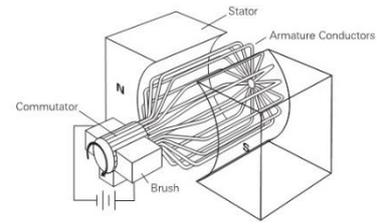
Komutator tersusun dari batang tembaga keras yang dilapisi isolator mika. Komponen ini berperan dalam mengumpulkan arus induksi dari lilitan jangkar dan mengubahnya menjadi arus searah yang dialirkan ke sikat (*brush*).



Gambar 13. Komutator Motor DC

4) Sikat (*Brush*)

Sikat terbuat dari bahan karbon, grafit, logam grafit, atau campuran karbon dan grafit. Sikat dilengkapi dengan pegas penekan dan kontak sikat yang berfungsi untuk memastikan penghubungan yang baik dengan komutator. Sikat dipasang di atas komutator untuk menyalurkan arus listrik ke motor.



Gambar 14. Sikat Motor DC

C. Prinsip Kerja Motor DC

Motor DC memiliki dua bagian utama: stator (bagian yang tidak berputar) dan rotor (bagian yang berputar). Stator terdiri dari kumparan medan yang menghasilkan medan magnet. Rotor terdiri dari kumparan jangkar yang berputar di dalam medan magnet stator. Saat rotor berputar di dalam medan magnet stator, terjadi induksi GGL (tegangan) pada kumparan jangkar. Arah GGL ini berubah-ubah setiap setengah putaran, sehingga menghasilkan tegangan bolak-balik [10].

Motor DC memanfaatkan medan magnet untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (gerakan) dan sebaliknya. Kumparan medan yang dialirkan arus listrik menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar. Interaksi antara medan magnet ini menyebabkan konversi energi.

Agar proses konversi energi berlangsung optimal, diperlukan tegangan sumber yang lebih besar daripada tegangan gerak. Hal ini berguna untuk memastikan bahwa motor memiliki cukup energi untuk berputar dengan kecepatan yang diinginkan.

Kontinuitas momen putar rotor dijaga dengan menyesuaikan arah medan magnet rotor. Hal ini dilakukan dengan menggunakan komutator yang mengubah arus listrik pada kumparan jangkar secara berkala, sehingga arah medan magnet rotor selalu berlawanan dengan arah medan magnet stator.

Perubahan arah medan rotor pada motor DC dibuat dengan mengubah arah aliran arus di rangkaian jangkar. Hal ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian jangkar ke sumber tegangan luar melalui sikat dan komutator [12].

D. Daya Pada Mobil Listrik

Daya motor sangat bergantung pada besar dan jenis beban yang dibawa oleh mesin, semakin besar bebannya, semakin besar daya yang dibutuhkan oleh motor. Satuan daya yang sering digunakan adalah kilowatt atau Horse Power [11]. Daya dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$P = I \times V \quad (1)$$

Untuk menentukan kapasitas motor yang sesuai untuk menggerakkan mobil listrik, perlunya mengetahui massa total mobil listrik.

1) Gaya Tarikan (Tractive Effort)

Dalam kendaraan listrik, hal yang perlu ditinjau adalah massa total kendaraan dan daya motor listrik. Untuk menentukan kinerja dari sebuah kendaraan dibutuhkan perhitungan gaya gesekan antara roda (ban) dengan permukaan jalan (tanah) [5]. Gaya dorong kendaraan harus dapat mengatasi hal berikut:

a) Gaya Hambat (*Rolling Resistance, F_{rr}*)

Gaya hambat disebabkan oleh gesekan antara ban kendaraan terhadap jalan, gesekan di bantalan dan sistem gear (gearing system). [8] Gaya gesekan ini dinyatakan dengan persamaan:

$$F_{rr} = \mu_{rr} \cdot mg \tag{2}$$

Dimana m merupakan total massa mobil dan massa penumpang, g merupakan gaya gravitasi, dan μ_{rr} merupakan koefisien dari *rolling resistance*. Nilai-nilai dari μ_{rr} untuk ban tipe slick adalah 0.005 hingga 0.015 tergantung pada berbagai faktor seperti material, desain ban, dan kondisi penggunaan. Nilai tersebut termasuk nilai yang rendah dibandingkan dengan ban yang beralur [8].

b) Gaya Gesekan Angin (*Aerodynamic Drag*)

Persamaan dari gaya ini adalah :

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \tag{3}$$

Dimana :

ρ : kerapatan (densitas) udara

A : luas bidang frontal

v : kecepatan

C_d : Konstanta koefisien gesekan

Koefisien gesekan C_d dapat diperkecil dengan desain kendaraan yang baik. Pada beberapa desain kendaraan listrik mencapai nilai 0,19. Kepadatan/kerapatan udara memiliki nilai 1,25 kg.m⁻³ [8].

c) Gaya Percepatan

Gaya hambat dan percepatan linear kendaraan dapat mengubah kecepatan kendaraan [8]. Gaya ini dinyatakan dalam persamaan :

$$F_{ia} = ma \tag{4}$$

d) Total *Tractive Effort*

Total tractive effort akan didapatkan dengan rumus berikut :

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{ia} \tag{5}$$

e) Laju Alir Energi

Dengan mengetahui laju alir energi, akan dapat ditentukan kapasitas motor yang dibutuhkan oleh sebuah mobil listrik [8].

$$P_{te} = F_{te} \times v \tag{6}$$

E. *Torsi Mobil Listrik*

Torsi atau momen puntir adalah besaran yang ditimbulkan oleh sebuah gaya terhadap sumbu putar

yang dapat memberikan pengaruh terhadap perubahan gerak rotasi pada sebuah benda yang dapat menyebabkan suatu objek dapat berputar [4]. Torsi motor DC dapat dihitung dengan mengetahui diameter dari gear penggerak dan gear yang digerakkan.

$$Torsi = \frac{D_2}{D_1} \tag{7}$$

Dimana,

D_2 = Diameter Gear yang Digerakkan

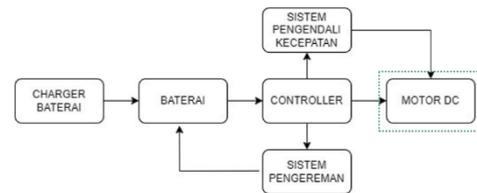
D_1 = Diameter Gear Penggerak

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. *Lokasi Penelitian*

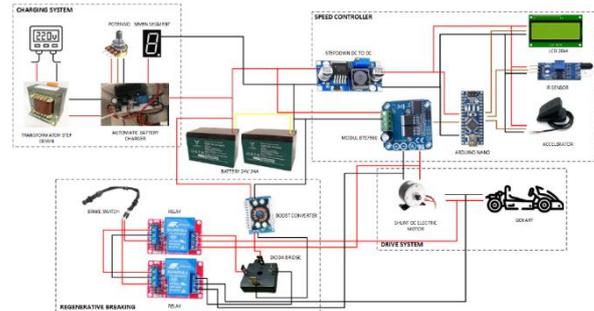
Penelitian ini dilakukan di Lab. Konversi Energi Elektrik, Institut Teknologi Malang. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil data berupa beban rangka pada mobil listrik, beban *battery pack*, dan beban pengemudi. Kemudian diambil juga data mengenai diameter dari gear yang akan digunakan pada mobil listrik.

B. *Rancangan Sistem*



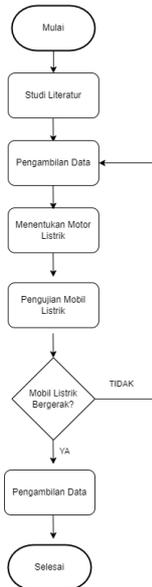
Gambar 15. Blok Diagram Sistem

C. *Wiring Diagram*



Gambar 16. Wiring Diagram

D. Flowchart



Gambar 17. Flowchart Sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Pengukuran

- Massa Mobil dan Penumpang

Tabel 1. Total Massa

Massa Penumpang	Total Massa Mobil
53 Kg	43 kg
62 Kg	
75 Kg	

- Luas Bidang Frontal

Lebar	= 83 cm	= 0.83 m
Panjang	= 170 cm	= 1.7 m

B. Hasil Perhitungan

Pada penelitian ini, pengujian akan dilakukan dengan cara menghitung kebutuhan daya motor listrik DC yang akan diaplikasikan pada mobil listrik berdasarkan tiap berat dari massa penumpang dengan asumsi kecepatan mobil sebesar 5.6 m/s atau setara dengan 20 km/jam, dan juga dilakukan perhitungan torsi yang dihasilkan dari gear motor listrik DC yang sudah dipasang dengan mobil Gokart.

1) Perhitungan Daya

a) Menghitung Gaya pada Total Beban 96 kg

- Gaya Hambat (*Rolling Resistance Force*)

$$F_{rr} = \mu_{rr} mg$$

$$F_{rr} = (0.015) \times (96)(9.8)$$

$$F_{rr} = 14.112 \text{ N}$$

- Gaya Gesekan Angin (*Aerodynamic Drag*)

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} (1.25) (1.7 \times 0.83) (0.19) (5.6^2)$$

$$F_{ad} = 5.254 \text{ N}$$

- Gaya Percepatan

$$F_{ia} = m \times a$$

$$F_{ia} = (96) \times \left(\frac{5.6}{16}\right)$$

$$F_{ia} = 33.6 \text{ N}$$

- Total Traffic Effort

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{ia}$$

$$F_{te} = 14.112 + 5.254 + 33.6$$

$$F_{te} = 52.966 \text{ N}$$

- Daya yang Dibutuhkan

$$P_{te} = F_{te} \times v$$

$$P_{te} = 52.966 \times 5.6$$

$$P_{te} = 296.609 \text{ Watt}$$

Dengan total beban 96 kg, daya yang dibutuhkan motor listrik untuk menggerakkan mobil listrik dengan asumsi kecepatan 5.6 m/s atau setara 20 km/jam adalah 296.609 Watt.

b) Menghitung Gaya pada Total Beban 105 kg

- Gaya Hambat (*Rolling Resistance Force*)

$$F_{rr} = \mu_{rr} mg$$

$$F_{rr} = (0.015) \times (105)(9.8)$$

$$F_{rr} = 15.435 \text{ N}$$

- Gaya Gesekan Angin (*Aerodynamic Drag*)

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} (1.25) (1.7 \times 0.83) (0.19) (5.6^2)$$

$$F_{ad} = 5.254 \text{ N}$$

- Gaya Percepatan

$$F_{ia} = m \times a$$

$$F_{ia} = (105) \times \left(\frac{5.6}{16}\right)$$

$$F_{ia} = 36.75 \text{ N}$$

- Total Traffic Effort

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{ia}$$

$$F_{te} = 15.435 + 5.254 + 36.75$$

$$F_{te} = 57.439 \text{ N}$$

- Daya yang Dibutuhkan

$$P_{te} = F_{te} \times v$$

$$P_{te} = 57.439 \times 5.6$$

$$P_{te} = 321.658 \text{ Watt}$$

Dengan total beban 105 kg, daya yang dibutuhkan motor listrik untuk menggerakkan mobil listrik dengan asumsi kecepatan 5.6 m/s atau setara 20 km/jam adalah 321.658 Watt.

c) Menghitung Gaya pada Total Beban 118 kg

- Gaya Hambat (*Rolling Resistance Force*)

$$F_{rr} = \mu_{rr} mg$$

$$F_{rr} = (0.015) \times (118)(9.8)$$

$$F_{rr} = 17.346 \text{ N}$$

- Gaya Gesekan Angin (*Aerodynamic Drag*)

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2}(1.25)(1.7 \times 0.83)(0.19)(5.6^2)$$

$$F_{ad} = 5.254 \text{ N}$$

- Gaya Percepatan

$$F_{ia} = m \times a$$

$$F_{ia} = (118) \times \left(\frac{5.6}{16}\right)$$

$$F_{ia} = 41.3 \text{ N}$$

- Total Traffic Effort

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{ia}$$

$$F_{te} = 17.346 + 5.254 + 41.3$$

$$F_{te} = 63.9 \text{ N}$$

- Daya yang Dibutuhkan

$$P_{te} = F_{te} \times v$$

$$P_{te} = 63.9 \times 5.6$$

$$P_{te} = 357.84 \text{ Watt}$$

Dengan total beban 118 kg, daya yang dibutuhkan motor listrik untuk menggerakkan mobil listrik dengan asumsi kecepatan 5.6 m/s atau setara 20 km/jam adalah 357.84 Watt.

C. Penentuan Spesifikasi Motor Listrik DC

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat ditentukan spesifikasi motor listrik DC yang digunakan pada mobil gokart berdasarkan kebutuhan daya yang dibutuhkan. Motor listrik DC Shunt yang digunakan memiliki spesifikasi daya sebesar 350 Watt, arus sebesar 19,2 Ampere dan tegangan sebesar 24 Volt serta memiliki rpm sebesar 2750 rpm. Pemilihan motor listrik DC Shunt dikarenakan motor listrik jenis ini memiliki beberapa keunggulan yang mendukung kinerja pada pengaplikasian gokart. Keunggulan motor listrik DC Shunt diantaranya seperti memiliki kestabilan pada kecepatannya, karakteristik torsi yang baik, dan kemudahan dalam pengendalian atau pengontrolan putaran motor, yang sesuai untuk pengaplikasian dalam sistem penggerak gokart. [8]



Gambar 18. Motor Listrik DC Shunt

D. Perhitungan Torsi Motor

Menghitung torsi motor adalah langkah penting untuk menentukan kekuatan putar yang dihasilkan oleh motor pada porosnya. Torsi mempengaruhi

pergerakan mobil listrik, terutama dalam transisi dari keadaan diam hingga keadaan bergerak.

$$\text{Torsi} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$\text{Torsi} = \frac{149 \text{ mm}}{19 \text{ mm}}$$

$$\text{Torsi} = 7.84 \text{ N.m}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, penggunaan gear pada motor listrik yang dipasang pada mobil listrik didapatkan torsi sebesar 7.84 N.m. Ada beberapa metode untuk meningkatkan kecepatan dan torsi mobil. Salah satu caranya adalah dengan mengatur ukuran gear. Untuk meningkatkan kecepatan mobil, gear penggerak diperbesar sementara gear yang digerakkan diperkecil. Hal ini akan mengakibatkan peningkatan kecepatan mobil, namun torsi yang dihasilkan akan berkurang. Sebaliknya, jika tujuan utama adalah meningkatkan torsi mobil, gear penggerak diperkecil dan gear yang digerakkan diperbesar. Dengan pengaturan ini, mobil akan memiliki torsi yang lebih besar, yang berguna untuk menarik beban dari posisi diam hingga bergerak, akan tetapi kecepatan maksimumnya akan menurun.

E. Hasil Pengukuran Motor Listrik DC

Tabel 2. Pengukuran Daya

Total Beban (Kg)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
96	15.91	18.44
105	19.98	16.48
118	19.06	18.35

Dari data yang diperoleh diatas, dapat dihitung besarnya daya yang dibutuhkan oleh motor listrik DC dengan menggunakan persamaan 1.

- Daya yang dibutuhkan motor listrik DC pada beban 94 kg

$$P = I \times V$$

$$P = 18.44 \times 15.91$$

$$P = 293.38 \text{ Watt}$$

- Daya yang dibutuhkan motor listrik DC pada beban 103 kg

$$P = I \times V$$

$$P = 16.48 \times 19.98$$

$$P = 323.22 \text{ Watt}$$

- Daya yang dibutuhkan motor listrik DC pada beban 116 kg

$$P = I \times V$$

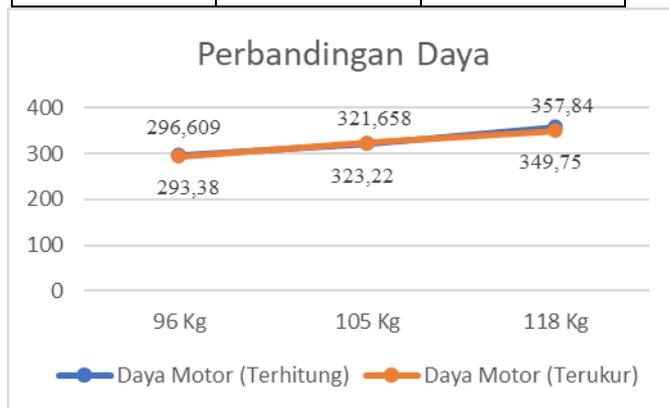
$$P = 18.35 \times 19.06$$

$$P = 349.75 \text{ Watt}$$

F. Perbandingan Daya

Tabel 3. Tabel Perbandingan Daya

Total Beban (kg)	Daya yang Dibutuhkan Motor (Terhitung) (Watt)	Daya yang Dibutuhkan Motor (Terukur) (Watt)
96	296.609	293.38
105	321.658	323.22
118	357.84	349.75



Gambar 19. Grafik Perbandingan Daya

Berdasarkan grafik perbandingan daya, dapat diketahui bahwa kebutuhan daya listrik yang diperlukan oleh motor saat digunakan pada kendaraan berbanding lurus terhadap beban yang diberikan pada mobil. Semakin besar beban yang diberikan, maka kebutuhan daya listrik juga akan meningkat.

Berdasarkan perhitungan, sebuah gokart dengan kecepatan rata-rata 5.84 m/s atau setara dengan 20 km/jam membutuhkan daya sebesar 296.609 watt pada beban minimum dan ketika dioperasikan pada beban maksimum sebesar 118 kg, daya yang diperlukan meningkat menjadi 357.84 watt. Dalam pengujian yang dilakukan dengan mengendarai mobil listrik yang telah dilengkapi dengan motor listrik yang telah ditentukan, dapat diketahui bahwa pada beban minimum 96 Kg membutuhkan daya sebesar 293.38 watt sedangkan pada beban maksimum 118 kg, membutuhkan daya hingga 349.75 watt.

Hasil pengukuran menunjukkan adanya kesesuaian yang antara perhitungan teoritis dan pengujian praktis, dengan perbedaan yang relatif kecil dalam nilai daya yang dibutuhkan pada beban maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa motor listrik yang digunakan pada gokart tersebut sesuai dengan perhitungan teknis yang telah dilakukan sebelumnya.

Selisih yang muncul antara perhitungan dan pengukuran dapat disebabkan oleh beberapa faktor.

Salah satunya adalah faktor-faktor seperti toleransi, akurasi, dan keterbatasan alat ukur yang digunakan selama pengujian. Di samping itu, adanya rugi-rugi (losses) yang terjadi pada motor diabaikan dalam perhitungan teoritis.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang sudah dilakukan, mendapatkan kesimpulan bahwa:

1. Pemilihan motor listrik DC Shunt dengan kapasitas sebesar 350 Watt, arus sebesar 19,2 Ampere dan tegangan sebesar 24 Volt dilakukan dengan memperhatikan kebutuhan dari mobil listrik, selain memerlukan daya yang sesuai untuk mobil listrik, kecepatan yang konstan, dan kemudahan dalam pengendalian atau pengontrolan putaran motor. Motor listrik DC Shunt juga dapat dijadikan sebagai sistem pengereman regeneratif yang dimana sistem ini dilakukan ketika pada saat mobil listrik melakukan pengereman, sisa putaran dari motor listrik DC akan menjadikan motor listrik DC menjadi generator sehingga arus yang tersisa dari putaran motor akan masuk ke baterai.
2. Ketika melakukan perhitungan dan pengukuran, dapat diketahui bahwa kebutuhan daya listrik yang diperlukan oleh motor saat digunakan pada kendaraan berbanding lurus terhadap beban yang diberikan pada mobil. Semakin besar beban yang diberikan, maka kebutuhan daya listrik juga akan meningkat.
3. Pada kondisi beban minimum, berdasarkan perhitungan, motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan gokart dengan asumsi kecepatan 5,6 m/s atau setara 20 km/jam memerlukan daya sebesar 296,609 watt. Sedangkan pada kondisi beban maksimum, kebutuhan daya pada gokart meningkat menjadi 357,84 watt.
4. Pada kondisi beban minimum, berdasarkan pengukuran, motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan gokart dengan asumsi kecepatan 5,6 m/s atau setara 20 km/jam memerlukan daya sebesar 290,4 watt. Sedangkan pada kondisi beban maksimum, kebutuhan daya pada gokart meningkat menjadi 354,2 watt.
5. Selisih antara perhitungan dan pengukuran yang terjadi dapat disebabkan oleh toleransi dan akurasi dari alat ukur pada saat dilakukan pengukuran.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Muliatna and P. N. Cahyo, "Perancangan Sistem Pengereman Hidrolis Pada Mobil Listrik Garnesa," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 01, no. 01, pp. 54–56, 2013, [Online]. Available: <http://masrahmarlip.blogspot.com>
- [2] J. Jatmiko, A. Basith, A. Ulinuha, M. A. Muhlasin, and I. S. Khak, "Analisis Peroforma dan Konsumsi Daya Motor BLDC 350 W pada Prototipe Mobil Listrik Ababil," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 2, pp. 55–58, 2018, doi: 10.23917/emit.v18i2.6348.
- [3] M. Aziz, Y. Marcellino, I. A. Rizki, S. A. Ikhwanuddin, and J. W. Simatupang, "Studi Analisis Perkembangan Teknologi Dan Dukungan Pemerintah Indonesia Terkait Mobil Listrik," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 45, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7898.
- [4] A. Kuswardana, "Analisis Sistem Motor Penggerak Pada Mobil Listrik Dengan Kapasitas Satu Penumpang," *Univ. Negeri Semarang*, no. motor bakar, pp. 45–47, 2016.
- [5] N. Fath, A. Rizky, A. Rakhman, S. Maulana, and S. Sujono, "Perancangan Mobil Listrik Menggunakan Motor DC Brushed 36 Volt 450 Watt," *Kilat*, vol. 11, no. 1, pp. 10–20, 2022, doi: 10.33322/kilat.v11i1.1334.
- [6] A. Khumaedi, N. Soedjarwanto, and A. Trisanto, "Otomatisasi Pengereman Motor DC Secara Elektris Sebagai Referensi Sistem Keamanan Mobil Listrik".
- [7] M. Silaban, "Perancangan Sistem Penggerak Mobil Listrik Kapasitas 6000 Watt / 72 Volt / 50 Ampere," *Laporan Tugas Akhir, Univ. HKBP Nommensen*, pp. 1–29, 2022.
- [8] N. Nugroho and S. Agustina, "Dc (Direct Current) Motor Analysis As An Electric Car Driver," *Mikrotiga*, vol. 2, no. 1, pp. 28–34, 2015.
- [9] M. N. Yuski, W. Hadi, and A. Saleh, "Rancang Bangun Jangkar Motor DC," *Berk. Sainstek*, vol. 5, no. 2, p. 98, 2017, doi: 10.19184/bst.v5i2.5700.
- [10] A. Firmansyah and Y. Marniati, "Pemodelan Karakteristik Motor DC Shunt, Motor DC Seri, dan Motor DC Kompon Menggunakan Matlab Simulink sebagai Media Pembelajaran Modul Praktikum Mesin-mesin Listrik," *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 63–73, 2017, [Online]. Available: <https://jte.itp.ac.id/index.php/jte/article/view/148>
- [11] D. A. Putra and R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.,)* vol. 8, no. 2, p. 26, 2020, doi: 10.24036/voteteknika.v8i2.109138.

VII. BIODATA PENULIS



Maulana Bayhaqi, lahir di Pangkalan Bun, 23 Agustus 2002. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Negeri 2 Pangkalan Bun. Setelah itu pada tahun 2020 penulis melanjutkan pendidikan studi diperguruan tinggi swasta Institut Teknologi Nasional Malang program studi Teknik Elektro S-1 dengan konsentrasi Teknik Energi Listrik. Akhir kata dari penulis mengucapkan terima kasih dan rasa syukur yang sebanyak – banyaknya atas selesainya penelitian ini dengan judul "PERENCANAAN SISTEM PENGGERAK MOBIL LISTRIK MENGGUNAKAN MOTOR LISTRIK DC SHUNT".

