

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Sistem

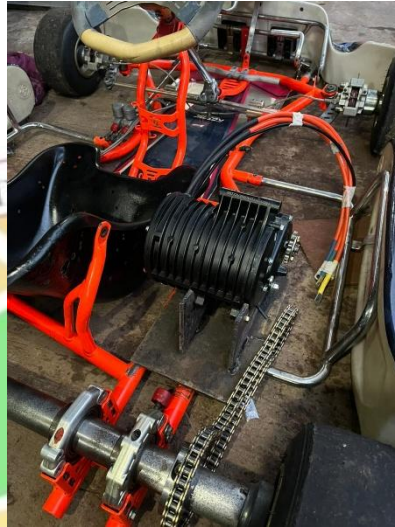
Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan dan pembuatan sistem penggerak gokart listrik yang menggunakan motor Brushless DC (BLDC) 3 kW sebagai penggerak utama. Sistem ini dirancang untuk mampu menggerakkan gokart dengan variasi beban pengendara serta kondisi jalan yang berbeda, yaitu jalan datar dan jalan menanjak.

Sistem penggerak gokart listrik yang dirancang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu motor BLDC 3 kW, baterai sebagai sumber energi listrik, controller motor sebagai pengatur kecepatan dan arus, serta sistem transmisi berupa rantai yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari motor ke roda penggerak. Komponen yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Sistem Penggerak Gokart Listrik

Motor BLDC 3 kW sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4.2 digunakan sebagai penggerak utama karena memiliki efisiensi yang tinggi, torsi awal yang besar, serta perawatan yang relatif lebih mudah dibandingkan motor konvensional. Motor ini dikendalikan menggunakan controller seperti pada gambar 4.3 yang mampu mengatur besar kecilnya arus yang mengalir ke motor sehingga kecepatan putaran dapat dikontrol sesuai kebutuhan.



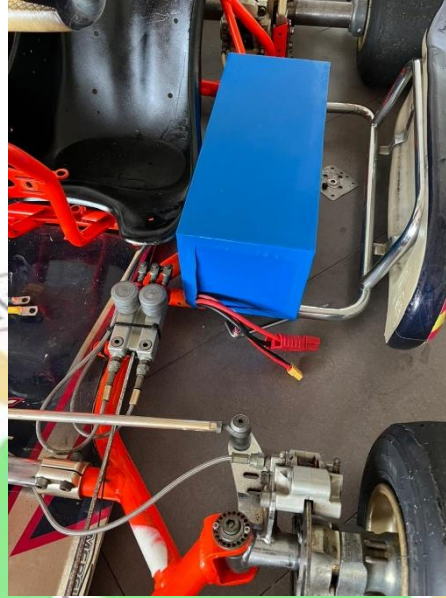
Gambar 4. 2 Motor BLDC 72v 3kW



Gambar 4. 3 Controller Juken 10 72V

Sumber energi listrik pada sistem ini menggunakan baterai lithium 72 Volt dengan kapasitas 40 AH seperti pada gambar 4.4 yang disusun sesuai dengan

kebutuhan tegangan kerja motor. Baterai berfungsi sebagai penyedia daya listrik yang akan disuplai ke controller dan selanjutnya ke motor BLDC. Stabilitas tegangan baterai sangat berpengaruh terhadap performa motor, terutama saat terjadi perubahan beban dan kondisi jalan.



Gambar 4. 4 Baterai Lithium 72V 40AH

Sistem transmisi yang digunakan berupa rantai dan sprocket yang berfungsi untuk meneruskan putaran dari motor ke roda belakang gokart. Perbandingan rasio transmisi dirancang sedemikian rupa agar diperoleh keseimbangan antara torsi dan kecepatan, sehingga gokart mampu beroperasi dengan baik pada kondisi jalan datar maupun menanjak.

Hasil dari perancangan sistem ini berupa sebuah gokart listrik yang telah terintegrasi antara sistem kelistrikan dan mekanik, sehingga dapat dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik kinerja motor BLDC terhadap variasi beban dan kondisi jalan.

4.2 Metode Pengujian

Metode pengujian pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik kinerja sistem penggerak gokart listrik yang menggunakan motor Brushless DC (BLDC) 3 kW. Pengujian dilakukan dengan variasi beban

pengendara serta kondisi lintasan yang berbeda guna memperoleh data tegangan, arus, kecepatan putaran motor (RPM), dan konsumsi daya.

4.2.1 Kondisi Pengujian

Pengujian dilakukan pada dua kondisi lintasan, yaitu:

1. Jalanan Datar



Gambar 4. 5 Jalan Datar Belakang Laboratorium Teknik Mesin

2. Jalanan Menanjak





Gambar 4. 6 Jalan Menanjak Teknik Mesin - Teknik Elektro

Variasi beban yang digunakan dalam pengujian terdiri dari tiga kondisi, yaitu:

- Beban pengendara 60 kg



Gambar 4. 7 Pengendara dengan berat 60 kg

- Beban pengendara 70 kg



Gambar 4. 8 Pengendara dengan berat 70 kg



- Beban pengendara 90 kg



Gambar 4. 9 Pengendara dengan berat 90 kg

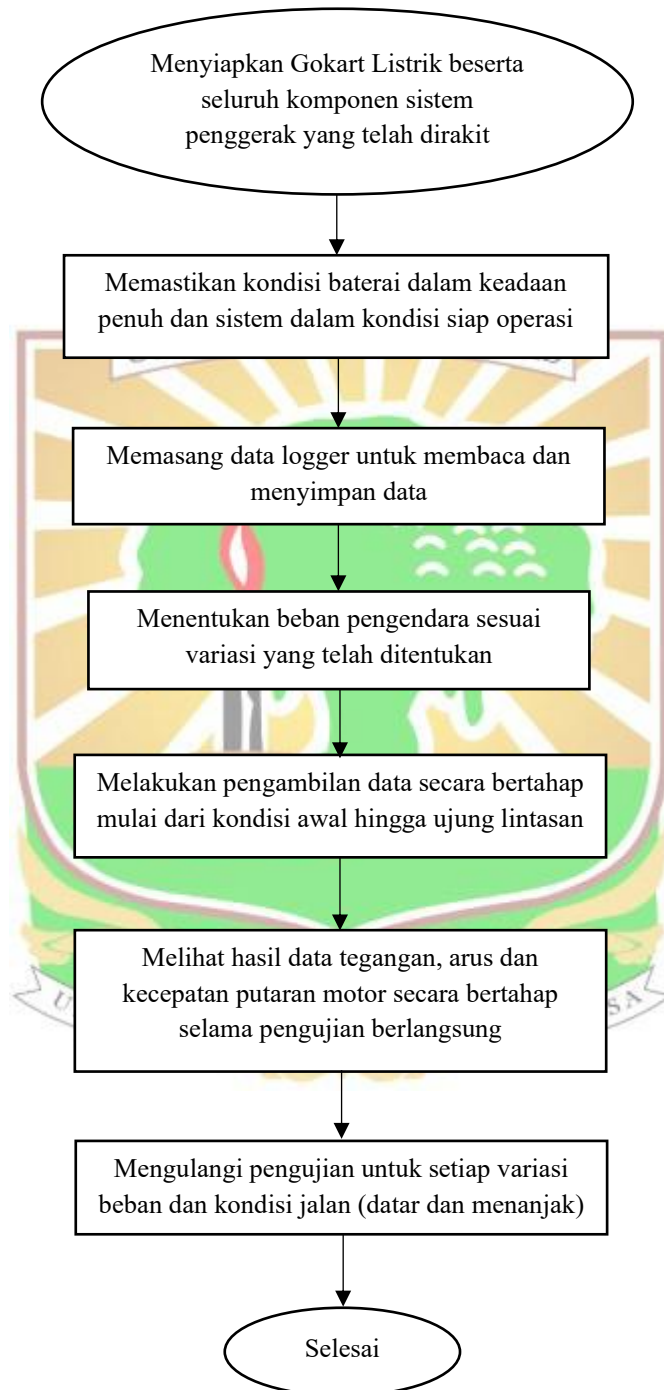
4.2.2 Parameter Pengujian

Parameter yang diukur dalam pengujian ini meliputi:

- Tegangan (Volt): untuk mengetahui besarnya tegangan suplai dari baterai ke motor
- Arus (Ampere): untuk mengetahui besarnya arus yang digunakan oleh motor
- Kecepatan putaran (RPM): untuk mengetahui performa putaran motor
- Daya (Watt): untuk mengetahui konsumsi daya

4.2.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dengan langkah-langkah yang ditunjukkan pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 4. 10 Prosedur Pengujian

4.2.4 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan secara langsung selama gokart beroperasi dari kondisi diam hingga mencapai kecepatan maksimum. Data yang diperoleh berupa data mentah (raw data) yang terdiri dari perubahan tegangan, arus, dan daya. Data tersebut direkam oleh sebuah data logger yang mampu menyimpan data tegangan, arus, daya dan kecepatan secara real time. Data Logger dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4. 11 Data Logger

Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung daya listrik serta dianalisis untuk mengetahui karakteristik kinerja motor BLDC terhadap variasi beban dan kondisi lintasan.

4.3 Hasil Pengujian

Pada penelitian ini, hasil pengujian diperoleh dari pengukuran langsung menggunakan alat data logger terhadap sistem penggerak gokart listrik dengan variasi beban dan kondisi jalan. Data yang diambil meliputi tegangan, arus, kecepatan putaran motor (RPM), serta daya yang didapat dari alat tersebut.

Pengujian dilakukan dalam dua kondisi lintasan, yaitu jalan datar dan jalan menanjak, dengan tiga variasi beban pengendara, yaitu 60 kg, 70 kg, dan 90 kg.

Data yang diperoleh berupa data mentah (raw data) yang diambil mulai dari kondisi awal (diam) hingga mencapai ujung lintasan.

4.3.1 Pengujian Beban 60 kg

a. Jalan Datar

Hasil pengujian pada kondisi jalan datar dengan beban 60 kg menunjukkan bahwa sistem penggerak mampu bekerja dengan baik dari kondisi diam hingga mencapai kecepatan stabil. Pada saat awal pengoperasian, arus yang mengalir relatif besar akibat kebutuhan torsi awal, kemudian cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan putaran motor.

Tabel 4. 1 Data Pengujian Beban 60 kg Jalan Datar

Tegangan (V)	Arus (A)	RPM	Daya (W)
72.0	0.0	0	0.0
71.9	6.0	100	431.4
71.7	12.0	300	860.4
72.1	18.2	700	1312.2
71.8	17.9	1200	1285.2
71.9	18.0	1800	1294.2
72.1	18.2	2200	1312.2
71.8	17.9	2500	1285.2
72.0	18.1	2700	1303.2
71.9	18.3	2810	1315.0

b. Jalan Menanjak

Pada kondisi jalan menanjak, terlihat bahwa arus yang dibutuhkan oleh motor meningkat dibandingkan dengan kondisi jalan datar. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya beban akibat gaya gravitasi yang harus dilawan oleh sistem.

Tabel 4. 2 Data Pengujian Beban 60 kg Jalan Menanjak

Tegangan (V)	Arus (A)	RPM	Daya (W)
72.0	0.0	0	0
71.8	5.0	50	359.0
71.5	10.0	120	715.0
71.0	18.0	250	1278.0
70.5	25.0	400	1762.5
70.0	32.0	600	2240.0
69.8	36.0	800	2512.8
69.5	38.0	1000	2641.0
69.3	40.0	1200	2772.0
69.0	42.0	1400	2898.0

4.3.2 Pengujian Beban 70 kg

a. Jalan Datar

Pada pengujian dengan beban 70 kg di jalan datar, sistem masih mampu beroperasi dengan baik, namun terdapat peningkatan arus dibandingkan dengan beban 60 kg. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban, maka kebutuhan arus untuk menggerakkan sistem juga meningkat.

Tabel 4. 3 Data Pengujian Beban 70 kg Jalan Datar

Tegangan (V)	Arus (A)	RPM	Daya (W)
72.0	0.0	0	0
71.8	4.5	60	323.1
71.6	9.0	140	644.4
71.3	16.0	300	1140.8
71.0	22.0	500	1562.0
70.8	26.0	700	1840.8
70.5	28.5	900	2009.3
70.3	30.0	1100	2109.0
70.2	31.0	1300	2176.2
70.0	32.0	1500	2240.0

b. Jalan Menanjak

Pada kondisi ini, peningkatan beban menyebabkan arus yang mengalir semakin besar, terutama pada saat akselerasi awal. Daya yang dibutuhkan juga meningkat secara signifikan untuk mempertahankan pergerakan gokart pada kondisi tanjakan.

Tabel 4. 4 Data Pengujian Beban 70 kg Jalan Menanjak

Tegangan (V)	Arus (A)	RPM	Daya (W)
72.0	0.0	0	0
71.6	6.0	40	429.6
71.2	12.0	100	854.4
70.8	20.0	200	1416.0
70.2	28.0	350	1965.6
69.8	35.0	500	2443.0
69.5	40.0	700	2780.0
69.0	45.0	900	3105.0
68.8	48.0	1100	3302.4
68.5	50.0	1300	3425.0

4.3.3 Pengujian Beban 90 kg

a. Jalan Datar

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada beban 90 kg, arus yang dibutuhkan lebih besar dibandingkan dua kondisi sebelumnya. Meskipun demikian, sistem masih mampu mencapai kecepatan tertentu dengan performa yang relatif stabil.

Tabel 4. 5 Data Pengujian Beban 90 kg Jalan Datar

Tegangan (V)	Arus (A)	RPM	Daya (W)
72.0	0.0	0	0
71.7	7.0	35	501.9
71.3	14.0	90	998.2

70.9	22.0	180	1559.8
70.4	30.0	300	2112.0
Tegangan (V)	Arus (A)	RPM	Daya (W)
70.0	36.0	450	2520.0
69.7	40.0	650	2788.0
69.3	44.0	850	3049.2
69.0	47.0	1050	3243.0
68.8	49.0	1250	3371.2

b. Jalan Menanjak

Pada kondisi jalan menanjak dengan beban 90 kg, sistem mengalami beban kerja paling berat. Arus yang mengalir mencapai nilai tertinggi dibandingkan semua kondisi pengujian.

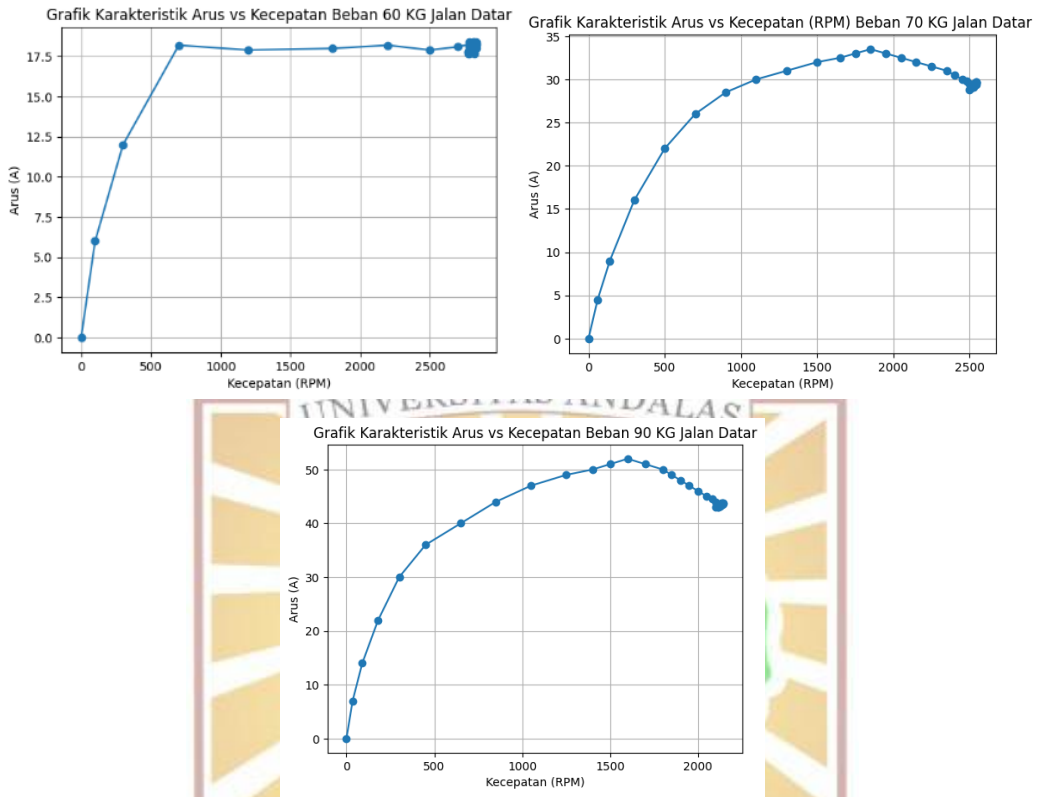
Tabel 4. 6 Data Pengujian Beban 70 kg Jalan Menanjak

Tegangan (V)	Arus (A)	RPM	Daya (W)
72.0	0.0	0	0
71.5	8.0	30	572.0
71.0	16.0	80	1136.0
70.5	25.0	160	1762.5
70.0	34.0	260	2380.0
69.5	42.0	400	2919.0
69.0	48.0	550	3312.0
68.7	52.0	700	3572.4
68.5	55.0	900	3767.5
68.3	57.0	1100	3893.1

Selain itu, kecepatan putaran motor cenderung lebih rendah dan konsumsi daya menjadi paling besar. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi ini merupakan kondisi kerja maksimum dari sistem penggerak yang dirancang.

4.4 Analisis Karakteristik

4.4.1 Karakteristik Arus terhadap Kecepatan (RPM) pada Jalan Datar



Gambar 4. 12 Grafik Karakteristik Arus terhadap Kecepatan (RPM) pada Jalan Datar dengan berbagai Variasi Beban

Pada Gambar 4.11 ditunjukkan hubungan antara arus terhadap kecepatan (RPM) pada tiga variasi beban, yaitu 60 kg, 70 kg, dan 90 kg pada kondisi jalan datar. Ketiga grafik menunjukkan pola yang serupa, yaitu arus meningkat tajam pada kecepatan rendah, kemudian mencapai titik maksimum, dan selanjutnya mengalami penurunan pada kecepatan tinggi.

Pada beban 60 kg, arus meningkat dari sekitar 0 A pada 0 RPM menjadi sekitar 6 A pada 200 RPM, kemudian naik signifikan menjadi sekitar 12 A pada 400 RPM. Setelah itu, arus mencapai nilai maksimum di kisaran 18-18,5 A pada 70-1000 RPM. Pada rentang kecepatan lebih tinggi (1000-2500 RPM), arus cenderung stabil di sekitar 17,5-18,2 A, dengan sedikit penurunan di akhir menjadi sekitar 17,8 A pada 2500 RPM.

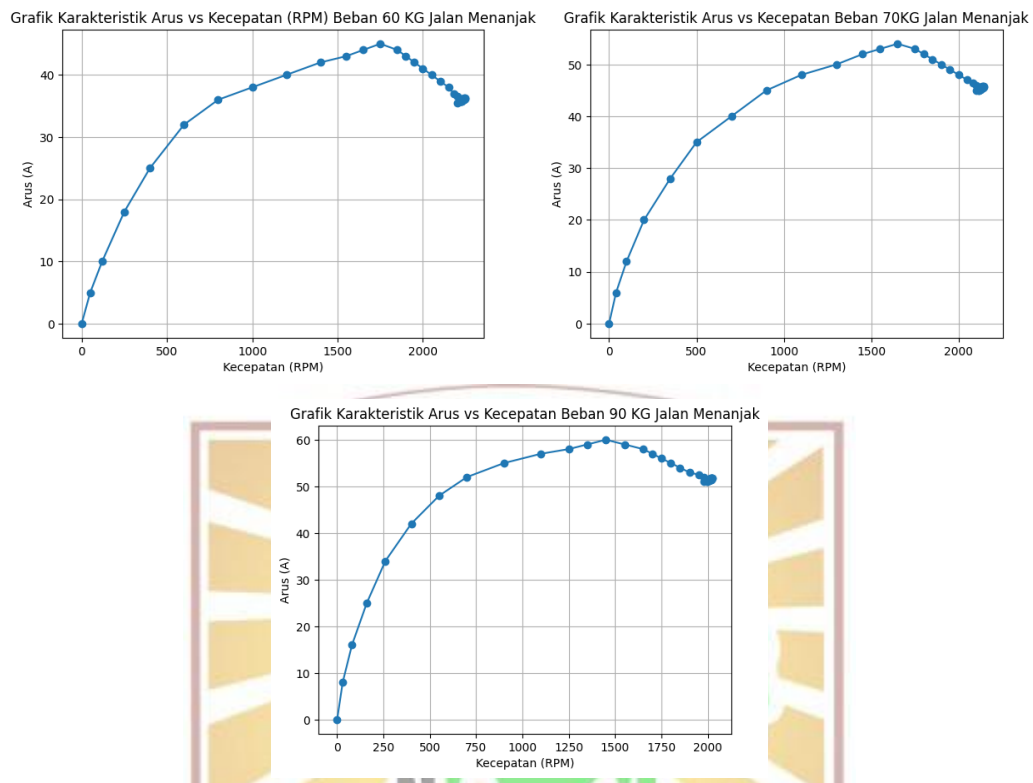
Pada beban 70 kg, arus awal juga dimulai dari 0 A, lalu meningkat menjadi sekitar 9 A pada 200 RPM dan 16 A pada 400 RPM. Arus terus meningkat hingga mencapai puncak sekitar 33-34 A pada 1600-1800 RPM. Setelah titik tersebut, arus mengalami penurunan bertahap hingga sekitar 29-30 A pada 2500 RPM.

Sedangkan pada beban 90 kg, arus meningkat lebih tajam dibandingkan dua kondisi sebelumnya. Dari 0 A, arus naik menjadi sekitar 14 A pada 200 RPM dan 30 A pada 400 RPM. Selanjutnya arus terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum sekitar 50-52 A pada 1500-1600 RPM. Setelah mencapai puncak, arus menurun secara bertahap menjadi sekitar 43-45 A pada 2100 RPM.

Dari ketiga variasi beban tersebut dapat dianalisa bahwa:

1. Semakin besar beban, semakin besar arus yang dibutuhkan, terutama pada seluruh rentang kecepatan. Hal ini terlihat dari arus maksimum:
 - Beban 60 kg \approx 18 A
 - Beban 70 kg \approx 34 A
 - Beban 90 kg \approx 52 A
2. Titik arus maksimum bergeser pada kecepatan menengah (sekitar 1500–1800 RPM), yang menunjukkan bahwa pada kondisi ini motor bekerja pada beban paling berat sebelum efisiensi mulai meningkat.
3. Penurunan arus pada kecepatan tinggi menunjukkan bahwa saat RPM meningkat, kebutuhan torsi berkurang sehingga arus yang ditarik dari sumber juga menurun. Hal ini sesuai dengan karakteristik motor listrik, di mana arus berbanding lurus dengan torsi.
4. Pada kecepatan rendah, arus meningkat tajam karena motor membutuhkan torsi awal yang besar untuk mengatasi inersia dan beban.

4.4.2 Karakteristik Arus terhadap Kecepatan (RPM) pada Jalan Menanjak



Gambar 4. 13 Grafik Karakteristik Arus terhadap Kecepatan (RPM) pada Jalan Menanjak dengan berbagai Variasi Beban

Pada Gambar 4.12 ditunjukkan hubungan antara arus terhadap kecepatan (RPM) pada tiga variasi beban, yaitu 60 kg, 70 kg, dan 90 kg pada kondisi jalan menanjak. Secara umum, ketiga grafik menunjukkan pola yang serupa, yaitu arus meningkat tajam pada kecepatan rendah, kemudian mencapai titik maksimum pada kecepatan menengah, dan selanjutnya mengalami penurunan pada kecepatan tinggi.

Pada beban 60 kg, arus meningkat dari sekitar 0 A pada 0 RPM menjadi sekitar 10 A pada 200 RPM, kemudian naik cukup signifikan menjadi sekitar 25 A pada 400 RPM. Selanjutnya arus terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum di kisaran 43-45 A pada sekitar 1500-1700 RPM. Setelah itu, arus mengalami penurunan bertahap hingga sekitar 36-38 A pada kecepatan di atas 2000 RPM.

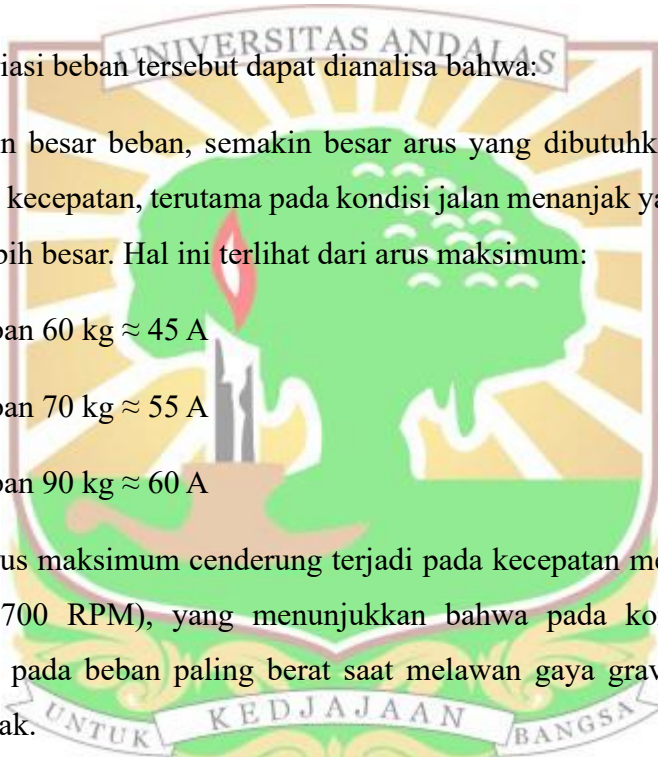
Pada beban 70 kg, arus awal juga dimulai dari 0 A, lalu meningkat menjadi sekitar 12 A pada 200 RPM dan sekitar 28 A pada 400 RPM. Arus terus meningkat

hingga mencapai puncak sekitar 52-55 A pada kisaran 1400-1600 RPM. Setelah mencapai titik maksimum, arus menurun secara bertahap hingga sekitar 45-47 A pada kecepatan tinggi (sekitar 2000 RPM).

Sedangkan pada beban 90 kg, arus meningkat paling tajam dibandingkan dua kondisi lainnya. Dari 0 A, arus naik menjadi sekitar 15 A pada 200 RPM dan sekitar 35 A pada 400 RPM. Arus kemudian terus meningkat hingga mencapai nilai maksimum sekitar 58-60 A pada kisaran 1400-1500 RPM. Setelah itu, arus menurun secara bertahap menjadi sekitar 50-52 A pada kecepatan mendekati 2000 RPM.

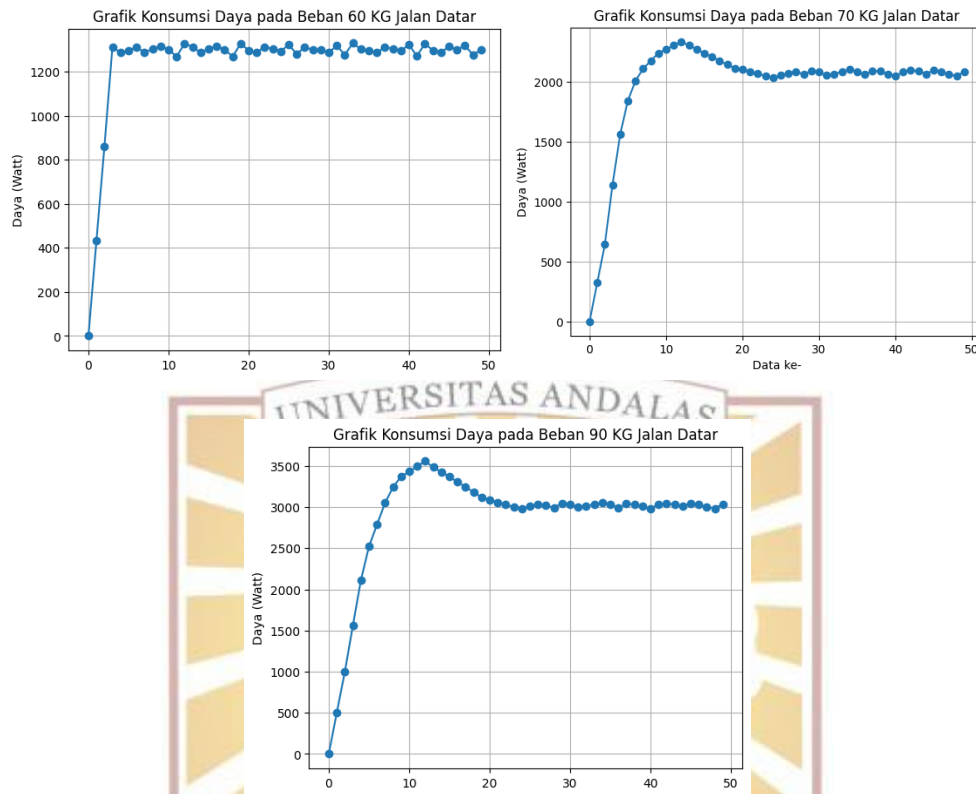
Dari ketiga variasi beban tersebut dapat dianalisa bahwa:

1. Semakin besar beban, semakin besar arus yang dibutuhkan pada seluruh rentang kecepatan, terutama pada kondisi jalan menanjak yang memerlukan torsi lebih besar. Hal ini terlihat dari arus maksimum:
 - Beban 60 kg \approx 45 A
 - Beban 70 kg \approx 55 A
 - Beban 90 kg \approx 60 A
2. Titik arus maksimum cenderung terjadi pada kecepatan menengah (sekitar 1400-1700 RPM), yang menunjukkan bahwa pada kondisi ini motor bekerja pada beban paling berat saat melawan gaya gravitasi pada jalan menanjak.
3. Penurunan arus pada kecepatan tinggi menunjukkan bahwa ketika RPM meningkat, kebutuhan torsi mulai berkurang karena sistem sudah mencapai kondisi gerak yang lebih stabil, sehingga arus yang ditarik menurun.
4. Pada kecepatan rendah, arus meningkat sangat tajam karena motor membutuhkan torsi awal yang besar untuk mengatasi inersia serta gaya tambahan akibat kemiringan jalan. Hal ini lebih terlihat dibandingkan kondisi jalan datar, karena adanya beban gravitasi yang memperbesar kebutuhan arus sejak awal pergerakan.



4.5 Analisis Konsumsi Daya

4.5.1 Konsumsi Daya pada Jalan Datar



Gambar 4. 14 Grafik Konsumsi Daya pada Jalan Datar dengan berbagai Variasi Beban

Pada Gambar 4.13 ditunjukkan hubungan konsumsi daya terhadap perubahan data pengujian pada tiga variasi beban, yaitu 60 kg, 70 kg, dan 90 kg pada kondisi jalan datar. Secara umum, ketiga grafik menunjukkan pola yang serupa, yaitu daya meningkat tajam pada awal pengujian, mencapai nilai puncak, kemudian mengalami penurunan dan cenderung stabil pada nilai tertentu.

Pada beban 60 kg, konsumsi daya meningkat dari 0 watt pada awal pengujian menjadi sekitar 900 watt pada data ke-2, lalu naik drastis hingga mencapai sekitar 1300-1350 watt pada data ke-3 hingga ke-5. Setelah itu, daya cenderung stabil di kisaran 1250-1300 watt hingga akhir pengujian, dengan fluktuasi kecil yang menunjukkan kondisi sistem sudah mencapai kestabilan operasi.

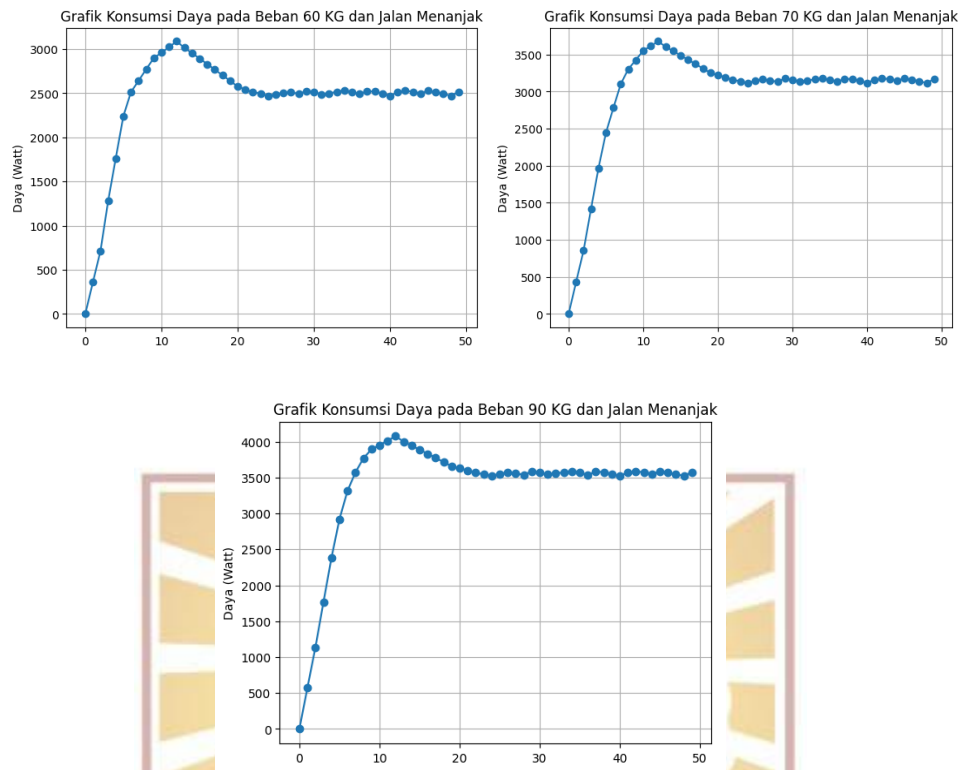
Pada beban 70 kg, konsumsi daya meningkat lebih besar dibandingkan beban 60 kg. Dari 0 watt, daya naik menjadi sekitar 600 watt pada data awal, kemudian meningkat pesat hingga mencapai puncak sekitar 2300–2400 watt pada data ke-10 hingga ke-12. Setelah mencapai nilai maksimum, daya mengalami penurunan bertahap dan kemudian stabil di kisaran 2000-2100 watt hingga akhir pengujian.

Sedangkan pada beban 90 kg, konsumsi daya menunjukkan peningkatan paling signifikan. Dari kondisi awal 0 watt, daya meningkat hingga sekitar 1000 watt pada tahap awal, kemudian terus naik hingga mencapai puncak sekitar 3400-3500 watt pada data ke-10. Setelah itu, daya menurun dan cenderung stabil pada kisaran 3000-3100 watt hingga akhir pengujian.

Dari ketiga variasi beban tersebut dapat dianalisis bahwa:

1. Semakin besar beban, semakin besar konsumsi daya yang dibutuhkan oleh sistem. Hal ini terlihat jelas dari nilai daya maksimum:
 - Beban 60 kg \approx 1300 watt
 - Beban 70 kg \approx 2400 watt
 - Beban 90 kg \approx 3500 watt
2. Puncak konsumsi daya terjadi pada fase awal hingga pertengahan pengujian, yang menunjukkan bahwa sistem membutuhkan energi paling besar saat proses percepatan awal sebelum mencapai kondisi stabil.
3. Setelah melewati titik puncak, daya mengalami penurunan dan kemudian stabil. Hal ini menunjukkan bahwa setelah sistem mencapai kecepatan konstan, kebutuhan daya menjadi lebih efisien karena beban kerja motor relatif konstan.
4. Fluktuasi kecil pada kondisi stabil menunjukkan adanya variasi beban atau respons sistem, namun tidak signifikan sehingga dapat dianggap sistem bekerja dalam kondisi steady-state.

4.5.2 Konsumsi Daya pada Jalan Menanjak



Gambar 4. 15 Grafik Konsumsi Daya pada Jalan Menanjak dengan berbagai Variasi Beban

Pada Gambar 4.14 ditunjukkan hubungan konsumsi daya terhadap perubahan data pengujian pada tiga variasi beban, yaitu 60 kg, 70 kg, dan 90 kg pada kondisi jalan menanjak. Secara umum, ketiga grafik menunjukkan pola yang serupa, yaitu daya meningkat sangat tajam pada awal pengujian, mencapai nilai maksimum, kemudian mengalami penurunan dan akhirnya cenderung stabil pada nilai yang lebih tinggi dibandingkan kondisi jalan datar.

Pada beban 60 kg, konsumsi daya meningkat dari 0 watt pada awal pengujian menjadi sekitar 1500 watt pada data ke-4, kemudian terus naik hingga mencapai puncak sekitar 3000-3100 watt pada data ke-9 hingga ke-11. Setelah mencapai nilai maksimum, daya mengalami penurunan bertahap dan kemudian stabil di kisaran 2450–2550 watt hingga akhir pengujian.

Pada beban 70 kg, konsumsi daya meningkat lebih besar dibandingkan beban 60 kg. Dari 0 watt, daya naik menjadi sekitar 1800 watt pada tahap awal, lalu

meningkat pesat hingga mencapai puncak sekitar 3600-3700 watt pada data ke-10 hingga ke-12. Setelah itu, daya menurun dan cenderung stabil di kisaran 3100-3200 watt hingga akhir pengujian.

Sedangkan pada beban 90 kg, konsumsi daya menunjukkan nilai paling tinggi. Dari kondisi awal 0 watt, daya meningkat hingga sekitar 2000 watt pada tahap awal, kemudian terus naik hingga mencapai puncak sekitar 4000-4100 watt pada data ke-10. Setelah mencapai titik maksimum, daya menurun dan kemudian stabil pada kisaran 3500-3600 watt hingga akhir pengujian.

Dari ketiga variasi beban tersebut dapat dianalisis bahwa:

1. Semakin besar beban, semakin besar konsumsi daya yang dibutuhkan, terutama pada kondisi jalan menanjak. Hal ini terlihat dari daya maksimum:
 - Beban 60 kg \approx 3100 watt
 - Beban 70 kg \approx 3700 watt
 - Beban 90 kg \approx 4100 watt
2. Konsumsi daya pada jalan menanjak jauh lebih tinggi dibandingkan jalan datar, karena motor harus menghasilkan torsi tambahan untuk melawan gaya gravitasi.
3. Puncak konsumsi daya terjadi pada fase awal hingga pertengahan pengujian, yang menunjukkan bahwa kebutuhan energi paling besar terjadi saat proses akselerasi dan saat kendaraan mulai menanjak.
4. Setelah melewati titik puncak, daya mengalami penurunan dan kemudian stabil. Hal ini menunjukkan bahwa setelah sistem mencapai kecepatan konstan di tanjakan, kebutuhan daya menjadi relatif tetap meskipun tetap lebih tinggi dibandingkan kondisi datar.
5. Nilai daya stabil pada jalan menanjak tetap tinggi karena motor terus bekerja melawan gaya gravitasi, sehingga kebutuhan energi tidak turun signifikan seperti pada jalan datar.

4.5.3 Pengaruh Beban terhadap Konsumsi Daya

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14, dapat dianalisis bahwa variasi beban memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsumsi daya pada sistem penggerak, baik pada kondisi jalan datar maupun jalan menanjak. Secara umum, peningkatan beban berbanding lurus dengan peningkatan konsumsi daya yang dibutuhkan oleh motor.

Pada kondisi jalan datar, konsumsi daya maksimum yang tercatat untuk masing-masing beban menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan. Pada beban 60 kg, daya maksimum berada pada kisaran 1300 watt, meningkat menjadi sekitar 2400 watt pada beban 70 kg, dan mencapai sekitar 3500 watt pada beban 90 kg. Selain itu, nilai daya pada kondisi steady-state juga mengalami peningkatan, yaitu berkisar 1250-1300 watt (60 kg), 2000-2100 watt (70 kg), dan 3000-3100 watt (90 kg). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban, semakin besar energi yang diperlukan untuk mempertahankan kecepatan konstan.

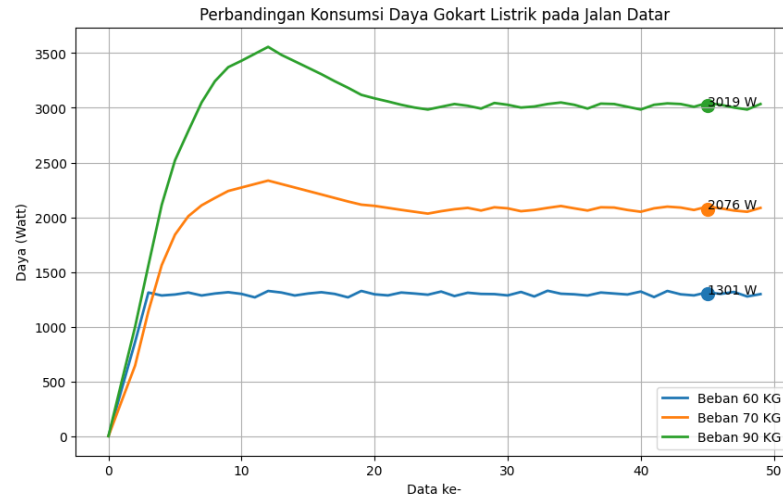
Pada kondisi jalan menanjak, pengaruh beban terhadap konsumsi daya terlihat lebih dominan. Daya maksimum meningkat dari sekitar 3100 watt pada beban 60 kg menjadi 3700 watt pada beban 70 kg, dan mencapai sekitar 4100 watt pada beban 90 kg. Sementara itu, daya pada kondisi stabil juga berada pada nilai yang lebih tinggi dibandingkan jalan datar, yaitu sekitar 2500 watt (60 kg), 3100-3200 watt (70 kg), dan 3500-3600 watt (90 kg). Peningkatan ini disebabkan oleh adanya komponen gaya tambahan berupa gaya gravitasi yang harus dilawan oleh motor, sehingga kebutuhan torsi dan daya menjadi lebih besar.

Secara teknis, hubungan antara beban dan konsumsi daya dapat dijelaskan melalui prinsip dasar hukum ohm, di mana daya listrik yang dikonsumsi merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus ($P = V \times I$). Seiring dengan meningkatnya beban, torsi yang dibutuhkan motor juga meningkat. Karena arus berbanding lurus dengan torsi, maka peningkatan beban akan menyebabkan kenaikan arus yang secara langsung meningkatkan konsumsi daya.

Selain itu, pada fase awal pengujian terlihat bahwa konsumsi daya mencapai nilai maksimum sebelum akhirnya menurun dan stabil. Fenomena ini menunjukkan bahwa kebutuhan daya tertinggi terjadi saat akselerasi awal dan saat sistem mulai

mengatasi beban. Setelah kecepatan sistem mencapai kondisi steady-state, kebutuhan daya menurun karena beban dinamis menjadi lebih konstan.

4.6 Perbandingan Konsumsi Daya pada Jalan Datar



Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan Konsumsi Daya pada Jalan Datar

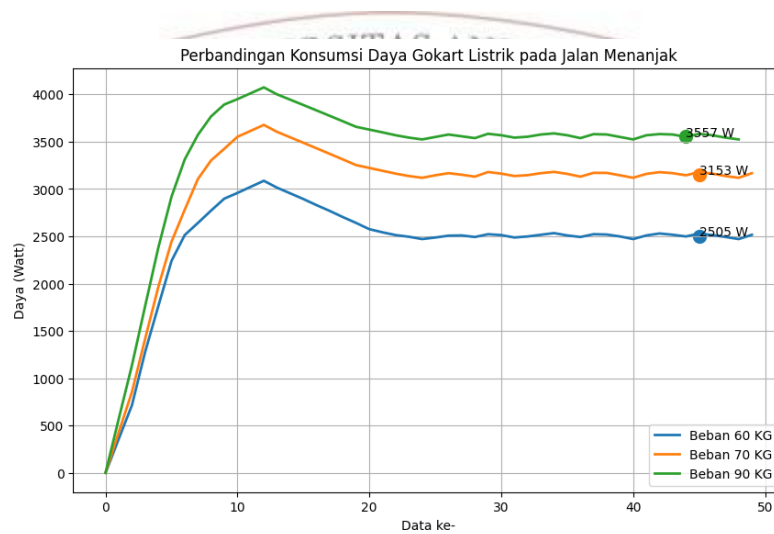
Berdasarkan grafik perbandingan konsumsi daya gokart listrik pada kondisi jalan datar dengan variasi beban 60 kg, 70 kg, dan 90 kg, terlihat bahwa konsumsi daya sangat dipengaruhi oleh besar beban yang diberikan. Secara umum, daya meningkat tajam pada fase awal, kemudian mencapai kondisi stabil (*steady-state*) setelah kecepatan mendekati maksimum.

Pada beban 60 kg, konsumsi daya meningkat dari 0 W hingga mencapai sekitar 1312,2 W pada fase awal akselerasi. Setelah itu, daya relatif stabil dengan fluktuasi kecil. Berdasarkan data pada kondisi tunak, diperoleh daya stabil rata-rata sekitar 1290-1310 W, dengan nilai maksimum sebesar 1328,5 W dan minimum sekitar 1270,9 W. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban ringan, motor hanya memerlukan daya yang relatif kecil untuk mempertahankan kecepatan konstan.

Pada beban 70 kg, konsumsi daya meningkat lebih tinggi dibandingkan beban 60 kg. Pada fase awal, daya mencapai sekitar 2335 W, kemudian mengalami penurunan dan stabil pada kisaran 2050-2100 W. Nilai daya stabil rata-rata berada di sekitar 2070-2090 W, dengan fluktuasi antara 2033,3 W hingga 2102,8 W. Peningkatan daya ini menunjukkan bahwa motor membutuhkan energi lebih besar untuk mengatasi beban tambahan.

Sementara itu, pada beban 90 kg, konsumsi daya menunjukkan peningkatan paling signifikan. Daya mencapai puncak sekitar 3556,8 W pada fase akselerasi, kemudian menurun dan stabil pada kisaran 3000-3050 W. Nilai daya stabil rata-rata berada di sekitar 3010-3030 W, dengan nilai minimum sekitar 2984,2 W dan maksimum sekitar 3048,5 W. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban besar, kebutuhan daya meningkat secara signifikan untuk mempertahankan performa sistem.

4.7 Perbandingan Konsumsi Daya pada Jalan Menanjak



Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Konsumsi Daya pada Jalan Menanjak

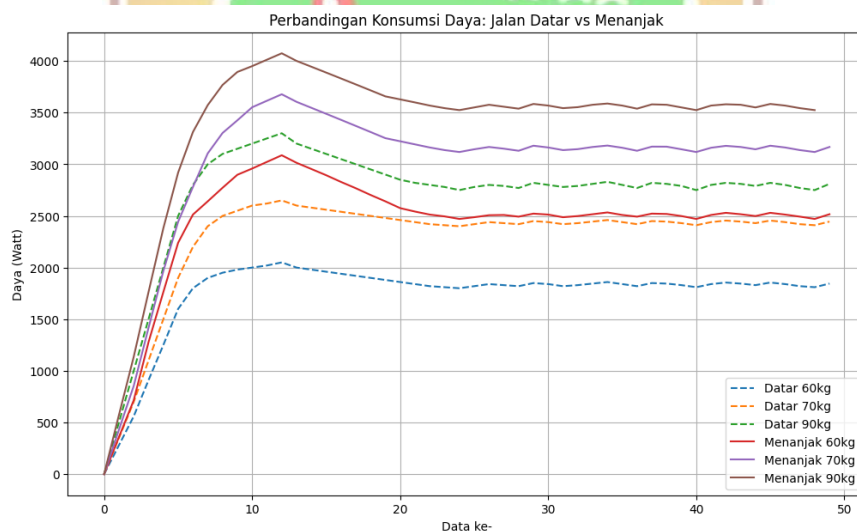
Berdasarkan grafik hasil pengujian konsumsi daya pada kondisi jalan menanjak dengan variasi beban 60 kg, 70 kg, dan 90 kg, terlihat bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara besar beban terhadap daya listrik yang dibutuhkan oleh motor BLDC.

Pada kondisi awal (data ke-0 hingga sekitar data ke-10), seluruh variasi beban menunjukkan peningkatan daya yang sangat tajam. Untuk beban 60 kg, daya meningkat dari 0 W hingga mencapai sekitar 3087 W. Sementara itu, pada beban 70 kg daya meningkat hingga sekitar 3677,4 W, dan pada beban 90 kg mencapai puncak sebesar 4074 W. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada fase awal, motor membutuhkan daya besar untuk mengatasi inersia awal dan gaya gravitasi akibat kemiringan jalan.

Setelah melewati fase awal, sistem mulai memasuki kondisi yang lebih stabil. Pada beban 60 kg, daya mengalami penurunan dan kemudian stabil pada kisaran 2470 W hingga 2529 W, dengan rata-rata sekitar 2500 W. Pada beban 70 kg, daya stabil berada pada rentang 3118 W hingga 3179 W, dengan nilai rata-rata sekitar 3150 W. Sedangkan pada beban 90 kg, daya stabil berada pada kisaran 3524 W hingga 3587 W, dengan rata-rata sekitar 3550 W.

Jika dibandingkan antar beban, terlihat bahwa peningkatan beban sebesar 10 kg hingga 30 kg menyebabkan kenaikan konsumsi daya yang cukup signifikan. Dari beban 60 kg ke 70 kg terjadi kenaikan daya stabil sekitar 650 W, sedangkan dari 70 kg ke 90 kg terjadi kenaikan sekitar 400 W. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban, maka semakin besar pula daya yang dibutuhkan untuk mempertahankan kecepatan pada jalan menanjak.

4.8 Perbandingan Konsumsi Daya pada Jalan Datar dan Menanjak



Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Konsumsi Daya pada Jalan Datar dan Menanjak

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, terlihat adanya perbedaan yang signifikan antara konsumsi daya sistem pada kondisi jalan datar dan jalan menanjak untuk setiap variasi beban.

Pada kondisi jalan datar, sistem menunjukkan kebutuhan daya yang relatif lebih rendah dan stabil. Untuk beban 60 kg, daya stabil berada pada kisaran sekitar

1800–2000 W. Pada beban 70 kg, daya meningkat menjadi sekitar 2300-2600 W, sedangkan pada beban 90 kg berada pada kisaran 3000-3200 W.

Sebaliknya, pada kondisi jalan menanjak, konsumsi daya meningkat secara signifikan. Berdasarkan data yang diperoleh:

- Beban 60 kg memiliki daya stabil sekitar 2500 W
- Beban 70 kg sekitar 3150 W
- Beban 90 kg sekitar 3550 W

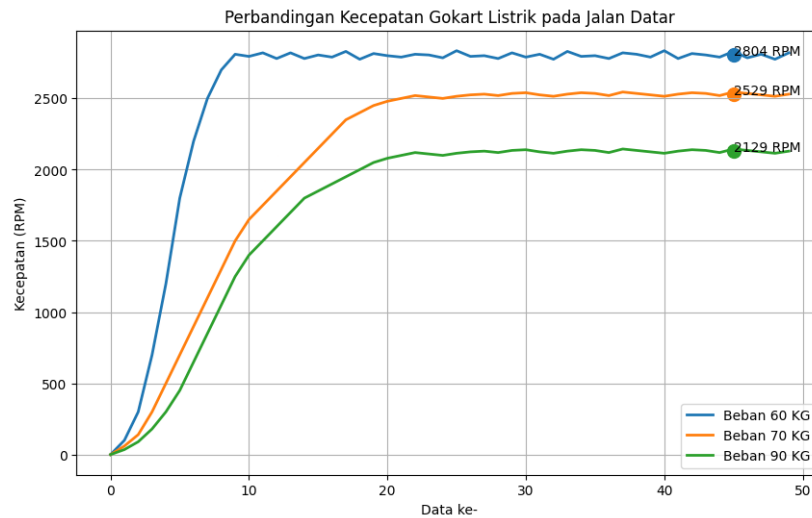
Jika dibandingkan secara langsung, terlihat bahwa pada setiap variasi beban terjadi peningkatan konsumsi daya saat kendaraan melewati jalan menanjak. Pada beban 60 kg, terjadi kenaikan daya sekitar 500–700 W dibandingkan kondisi jalan datar. Pada beban 70 kg, kenaikan daya mencapai sekitar 600–800 W, sedangkan pada beban 90 kg peningkatan daya berkisar antara 400–600 W.

Peningkatan konsumsi daya ini disebabkan oleh adanya tambahan beban kerja motor untuk melawan gaya gravitasi. Pada jalan datar, motor hanya perlu mengatasi gaya gesek dan hambatan aerodinamis. Namun pada jalan menanjak, motor harus menghasilkan torsi tambahan untuk mengangkat beban kendaraan, sehingga kebutuhan daya meningkat secara signifikan.

Selain itu, dari grafik juga terlihat bahwa fase awal pada jalan menanjak membutuhkan lonjakan daya yang lebih tinggi dibandingkan jalan datar. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mengalami beban awal yang lebih besar saat mulai bergerak di tanjakan.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa kondisi medan sangat mempengaruhi konsumsi daya sistem. Jalan menanjak menyebabkan peningkatan konsumsi daya rata-rata sebesar 20% hingga 35% dibandingkan jalan datar, tergantung pada besar beban yang diberikan. Dengan demikian, semakin besar beban dan semakin berat kondisi medan, maka semakin tinggi pula kebutuhan daya yang harus disuplai oleh sistem penggerak.

4.9 Perbandingan Kecepatan Gokart pada Jalan Datar



Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan Kecepatan Gokart Listrik pada Jalan Datar

Berdasarkan grafik perbandingan kecepatan gokart listrik terhadap variasi beban 60 kg, 70 kg, dan 90 kg pada kondisi jalan datar, diperoleh karakteristik bahwa kecepatan motor mengalami peningkatan secara signifikan pada fase awal, kemudian cenderung stabil setelah mencapai kondisi tunak (*steady-state*).

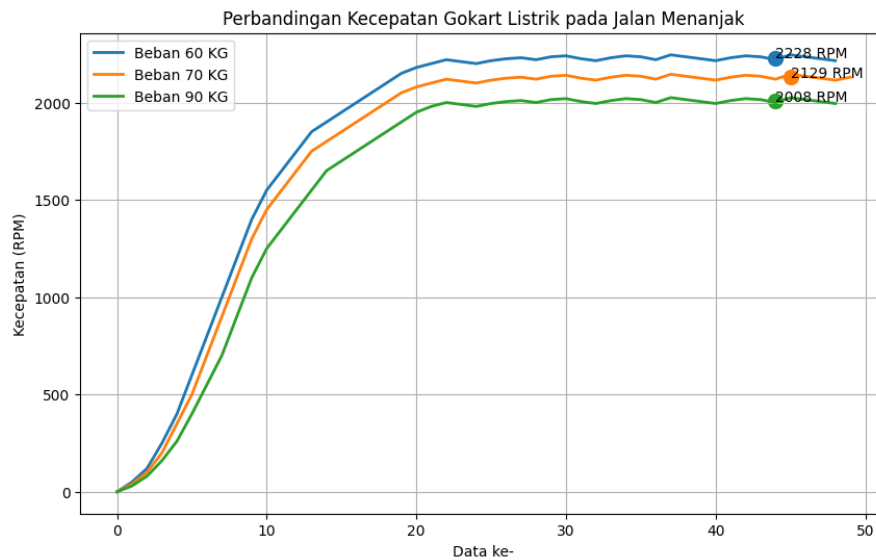
Pada beban 60 kg, kecepatan meningkat sangat cepat dari 0 RPM hingga mencapai sekitar 2700 RPM pada data ke-9. Setelah itu, kecepatan mulai memasuki kondisi stabil dengan fluktuasi kecil di sekitar nilai rata-rata. Berdasarkan perhitungan dari 10 data terakhir, diperoleh kecepatan stabil sebesar sekitar 2800 RPM, dengan nilai maksimum mencapai 2835 RPM dan minimum sekitar 2775 RPM. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban ringan, motor mampu mencapai kecepatan maksimum yang tinggi dengan fluktuasi yang relatif kecil.

Pada beban 70 kg, peningkatan kecepatan terjadi lebih lambat dibandingkan beban 60 kg. Kecepatan mencapai sekitar 2400 RPM pada data ke-18, kemudian mulai mendekati kondisi stabil. Nilai kecepatan stabil yang diperoleh adalah sekitar 2525-2535 RPM, dengan nilai maksimum sebesar 2545 RPM dan minimum sekitar 2500 RPM. Penurunan kecepatan maksimum dibandingkan beban 60 kg menunjukkan adanya pengaruh peningkatan beban terhadap performa motor.

Sementara itu, pada beban 90 kg, peningkatan kecepatan berlangsung paling lambat. Kecepatan hanya mencapai sekitar 2000 RPM pada data ke-18, sebelum

akhirnya memasuki kondisi stabil. Nilai kecepatan stabil berada pada kisaran 2120-2135 RPM, dengan nilai maksimum sekitar 2145 RPM dan minimum sekitar 2100 RPM. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan, maka kecepatan maksimum yang dapat dicapai motor semakin rendah.

4.10 Perbandingan Kecepatan Gokart Pada Jalan Menanjak



Gambar 4. 20 Perbandingan Kecepatan Gokart Listrik pada Jalan Menanjak

Berdasarkan grafik perbandingan kecepatan gokart listrik pada kondisi jalan menanjak dengan variasi beban 60 kg, 70 kg dan 90 kg, terlihat bahwa pola kenaikan kecepatan memiliki karakteristik yang serupa dengan kondisi jalan datar, namun dengan nilai kecepatan maksimum yang lebih rendah akibat adanya tambahan beban gravitasi.

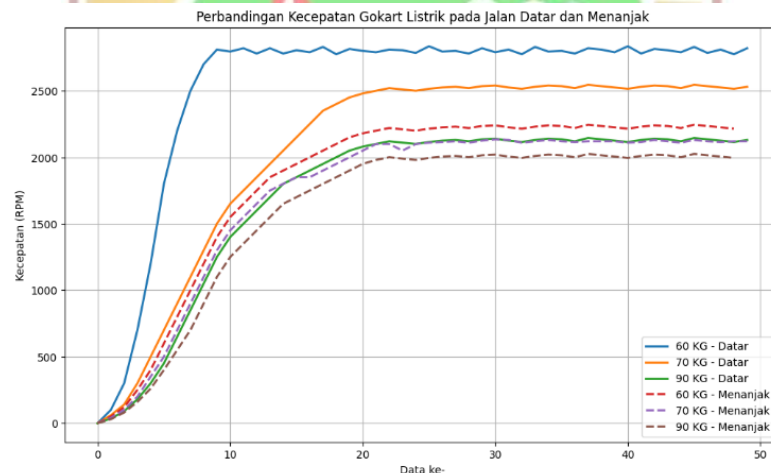
Pada beban 60 kg, kecepatan meningkat secara bertahap dari 0 RPM hingga mencapai sekitar 1400 RPM pada data ke-9, kemudian terus naik hingga mendekati kondisi stabil. Kecepatan mulai stabil pada kisaran data ke-20 dengan nilai sekitar 2200 RPM. Berdasarkan data pada kondisi tunak, kecepatan stabil berada di kisaran 2220–2245 RPM, dengan nilai maksimum sebesar 2245 RPM dan minimum sekitar 2200 RPM. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban ringan, motor masih mampu mempertahankan kecepatan relatif tinggi meskipun berada pada kondisi menanjak.

Pada beban 70 kg, peningkatan kecepatan terjadi lebih lambat dibandingkan beban 60 kg. Kecepatan mencapai sekitar 1300 RPM pada data ke-9, kemudian

meningkat hingga mendekati kondisi stabil pada kisaran 2100 RPM. Nilai kecepatan stabil berada pada rentang 2120-2145 RPM, dengan nilai maksimum sekitar 2145 RPM dan minimum sekitar 2100 RPM. Penurunan ini menunjukkan bahwa penambahan beban menyebabkan motor membutuhkan torsi lebih besar untuk melawan gaya gravitasi, sehingga kecepatan maksimum menurun.

Sementara itu, pada beban 90 kg, peningkatan kecepatan berlangsung paling lambat. Kecepatan hanya mencapai sekitar 1100 RPM pada data ke-9, dan mulai stabil pada kisaran data ke-20. Nilai kecepatan stabil berada pada rentang 2000-2025 RPM, dengan nilai maksimum sekitar 2025 RPM dan minimum sekitar 1980 RPM. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban terbesar, performa motor mengalami penurunan yang paling signifikan.

4.11 Perbandingan Kecepatan Gokart Listrik pada Jalan Datar dan Menanjak



Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Kecepatan Gokart Listrik pada Jalan Datar dan Menanjak

Berdasarkan grafik perbandingan kecepatan gokart listrik pada kondisi jalan datar dan jalan menanjak dengan variasi beban 60 kg, 70 kg, dan 90 kg, terlihat adanya perbedaan karakteristik kecepatan yang cukup signifikan, baik pada fase akselerasi maupun pada kondisi tunak (*steady-state*).

Pada beban 60 kg, kecepatan maksimum pada jalan datar mencapai sekitar 2800 RPM, sedangkan pada jalan menanjak hanya mencapai sekitar 2230 RPM. Dengan demikian, terjadi penurunan kecepatan sebesar sekitar 570 RPM atau

sekitar 20%. Selain itu, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi stabil pada jalan menanjak juga lebih lama dibandingkan jalan datar, yang menunjukkan bahwa motor membutuhkan usaha lebih besar untuk melawan gaya tambahan akibat kemiringan.

Pada beban 70 kg, kecepatan stabil pada jalan datar berada pada kisaran 2525-2535 RPM, sedangkan pada jalan menanjak berada pada kisaran 2120-2145 RPM. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kecepatan sebesar sekitar 400 RPM atau sekitar 15-16%. Pola kenaikan kecepatan juga terlihat lebih landai pada kondisi menanjak, yang mengindikasikan penurunan kemampuan akselerasi.

Sementara itu, pada beban 90 kg, kecepatan maksimum pada jalan datar berada pada kisaran 2120-2135 RPM, sedangkan pada jalan menanjak hanya mencapai sekitar 2000-2025 RPM. Penurunan kecepatan pada kondisi ini relatif lebih kecil, yaitu sekitar 120 RPM atau sekitar 5-6%. Hal ini disebabkan karena pada beban besar, motor sejak awal sudah bekerja mendekati batas kemampuannya, sehingga pengaruh tambahan dari kemiringan jalan tidak sebesar pada beban yang lebih ringan.

