

Pengujian dan Analisa Performa Daya dan Torsi *Electric Scooter* 2 kW dengan Menggunakan *Chassis Dynamometer*

Derryl Veante Parinussa dan Harus Laksana Guntur

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: haruslg@me.its.ac.id

Abstrak—Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang menggunakan motor listrik sebagai tenaga penggerak. Salah satu contoh kendaraan listrik adalah *electric scooter* atau *E-scooter*. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dan analisa performa daya dan torsi pada *electric scooter* 2 kW. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *chassis dynamometer* superflow SF-250A. *Electric scooter* yang digunakan adalah *electric scooter* SH, DJ dan QS. Pada mode normal dan sport *electric scooter* SH didapatkan *power* maksimal berturut-turut sebesar 3,1 kW dan 5 kW dengan torsi maksimal sebesar 147,67 Nm dan 263,47 Nm. Untuk *electric scooter* DJ, *power* maksimal yang didapatkan pada mode eco, normal dan sport berturut-turut sebesar 3,7 kW, 3,5 kW dan 4,2 kW dengan torsi maksimal sebesar 178,04 Nm, 161,77 Nm dan 189,57 Nm. Terakhir pada *electric scooter* QS, *power* maksimal yang didapatkan pada mode eco, normal dan sport berturut-turut sebesar 4 kW, 4 kW dan 4,1 kW dengan torsi maksimal sebesar 181,25 Nm, 184,34 Nm dan 196,53 Nm.

Kata Kunci—*Electric Scooter, Chassis Dynamometer, Torsi dan Daya, Dyno Test.*

I. PENDAHULUAN

TRANSPORTASI merupakan salah satu sarana yang dapat mempermudah masyarakat untuk menuju suatu tempat yang ingin dituju. Tidak heran transportasi dari masa ke masa banyak mengalami perubahan yang cukup signifikan. Selain itu populasi kendaraan di Indonesia semakin meningkat seiring berjalannya waktu khususnya kendaraan bermotor. Hal ini menyebabkan polusi udara di Indonesia meningkat serta minyak bumi yang semakin berkurang. Maka dari itu, terciptanya kendaraan listrik, diharapkan polusi dan ketergantungan akan minyak bumi di Indonesia dapat semakin berkurang.

Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang menggunakan motor listrik sebagai tenaga penggerak. Salah satu contoh kendaraan listrik adalah *electric scooter* atau *E-scooter* yang cocok digunakan untuk masyarakat baik di daerah perkotaan maupun di pedesaan. *Electric scooter* juga menjadi salah satu upaya untuk mengurangi polusi (*ecofriendly*), dan berguna untuk mengurangi ketergantungan kita menggunakan bahan bakar fosil. Dari gagasan diatas, maka dari itu Laboratorium Rekayasa Vibrasi & Sistem Otomotif Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS berencana untuk membuat *Electric scooter* untuk membantu mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan mendorong perkembangan kendaraan listrik di Indonesia.

Salah satu hal yang penting dilakukan untuk menjadikan suatu *electric scooter* itu menjadi layak digunakan atau di produksi adalah melakukan *dynamometer test* atau yang

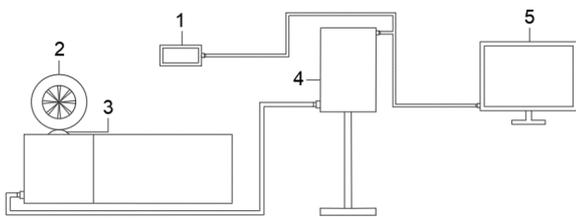
sering disebut *dyno test*. *Dyno test* dilakukan untuk mengetahui apakah performa dari *electric scooter* yaitu daya dan torsi sudah sesuai dengan spesifikasi yang motor yang ada atau belum. Selain itu *dyno test* juga dilakukan untuk mengetahui pada rpm ke berapa daya maksimal di hasilkan dan pada rpm ke berapa torsi maksimal dihasilkan. Pengujian *dyno* sendiri terbagi menjadi 2 yaitu *chassis dynamometer* dan *engine dynamometer*. Namun pengujian yang paling sering digunakan dalam pengujian performa suatu kendaraan adalah *chassis dynamometer*. Dimana pengujian dilakukan dengan kondisi kendaraan baik mesin maupun *body electric scooter* tidak di lepas (dalam keadaan utuh).

Pada penelitian RACEWICZ. S. dan KAZIMERCZUK. P. [4], pengujian dilakukan pada *light two-wheeled electric vehicle* menggunakan motor BLDC 3 kW. *light two-wheeled electric vehicle* ini dapat menempuh kecepatan maksimal hingga 100 km/h. Hasil *power* maksimum yang didapatkan pada pengujian *chassis dynamometer* sebesar 4,7 kW (6,4 BHP) pada 440 rpm, sedangkan torsi maksimal yang dihasilkan sebesar 184,1 Nm. Kemudian dilakukan juga perhitungan konsumsi energi dengan parameter yang didapatkan pada *light two-wheeled electric vehicle*. Berikut grafik dari hasil *dyno test light two-wheeled electric vehicle* dan perhitungan konsumsi energi yang didapatkan.

Pada penelitian Ida Bagus Putu Putra Mahartana. [2], pengujian dilakukan pada *electric scooter* Volta 302 yang digerakkan oleh BLDC in wheel motor sebesar 0,65 kW. *Electric scooter* Volta 302 memiliki 3 tingkat kecepatan yaitu mode eco, mode ride dan mode sport. Kecepatan maksimum yang dapat di tempuh pada mode eco, ride dan sport berturut-turut adalah sebesar 26, 33 dan 41 km/h. Kemudian *power* maksimal yang dihasilkan pada tiap tingkat kecepatan adalah 0,7 kW. Sedangkan torsi maksimal yang dihasilkan pada tiap tingkat kecepatan berbeda, pada mode eco sebesar 74,9 Nm pada 72 rpm, mode ride sebesar 74,4 Nm pada 64 rpm dan mode sport sebesar 75,7 Nm pada 62 rpm. Berikut merupakan grafik dari hasil *dyno test* pada *electric scooter* Volta 302.

Pengujian dilakukan pada sepeda motor listrik GESITS [1]. Motor penggerak yang digunakan adalah motor listrik bldc aksial 5kW. Pada pengujian yang dilakukan menggunakan *chassis dynamometer*, kecepatan maksimal yang dapat dicapai GESITS mencapai 115 km/jam. Selain itu, sistem kontrol modular menghasilkan *power* maksimal sebesar 5,8 kW pada putaran 2872 rpm dengan torsi maksimal mencapai 20,8 Nm pada putaran 1975 rpm. Berikut merupakan grafik dari hasil *dyno test* pada GESITS.

Pengujian dan analisa torsi pada *electric cars* E-Falco menggunakan *dynamometer* [2]. Motor penggerak yang



Gambar 1. Skema Pengujian.



Gambar 2. Pengujian dynamometer *E-scooter* SH.



Gambar 3. Pengujian dynamometer *E-scooter* DJ.



Gambar 4. Pengujian dynamometer *E-scooter* QS.

digunakan adalah motor listrik bldc 2 kW. Torsi maksimal dihasilkan sebesar 228 Nm pada 13 km/h. Kemudian mengalami penurunan dimana torsi minimum yang dihasilkan sebesar 85 Nm pada 70 km.h. Dapat dilihat semakin bertambah kecepatan, torsi yang dihasilkan semakin kecil.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bersifat eksperimental. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan *chassis dynamometer* yang dilakukan di Science Techno Park ITS. Berikut merupakan skema pengujian yang dilakukan pada STP ITS.

Keterangan Gambar 1:

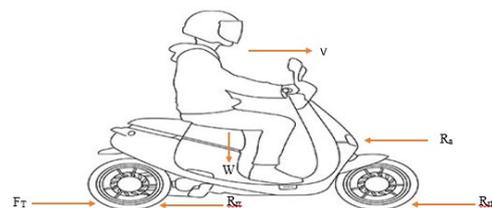
1. Handheld
Handheld merupakan pengontrol genggam yang memberi operator kendali penuh atas dynamometer dan urutan pengujian dari atas kursi kendaraan.
2. Ban Motor
Ban motor yang akan berputar saat pengendara memutar gas hingga fully throttle.
3. Roller

Tabel 1.
Spesifikasi *Electric scooter*

Model	SH	DJ	QS
Mode	Normal dan Sport	Eco, Normal dan Sport	Eco, Normal dan Sport
Berat	118 kg	118 kg	118 kg
Motor Power	2 kW	2 kW	2 kW
Baterai	72V20Ah	72V20Ah	72V20Ah
Kecepatan Maksimal	88 km/jam (Sport Mode)	51 km/jam (Sport Mode)	90 km/jam (Sport Mode)



Gambar 5. Pengujian jalan *E-scooter* QS.



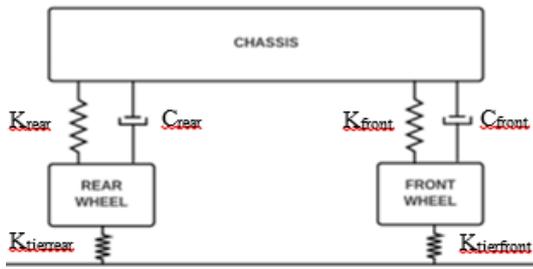
Gambar 6. Gaya-gaya yang bekerja pada *Electric scooter*.

Tabel 2.
Parameter Perhitungan Gaya Dorong

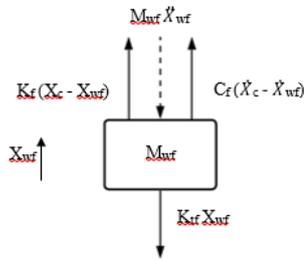
Simbol	Parameter	Nilai	Satuan
Mk	Massa Kendaraan	111	kg
mp	Massa Penumpang	74	kg
m	Massa Total	185	kg
w	Berat Total	1813	N
A _f	Luasan Frontal	0,8	m ²
ρ	Massa Jenis Udara	1,23	-
Cd	Coefficient of Drag	0,3	-
d	Diameter Roda	0,406	-
Cr	Coefficient of Rolling Resistance	0,06	-

Roller yang bersentuhan langsung dengan ban motor yang akan berputar seiring berputarnya roda.

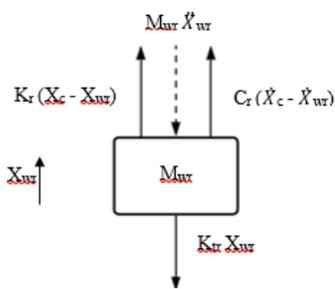
4. Sensor Box Dynamometer
Sensor box dynamometer akan memproses data yang dihasilkan dari chassis dynamometer dari proses perputaran roda.
5. Komputer
Komputer akan menyiapkan dan menampilkan data yang diterima dari sensor box dynamometer melalui perangkat lunak WinDyn ED.
Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga *electric scooter* berbeda yaitu *electric scooter* SH, *electric scooter* DJ dan *electric scooter* QS. Tabel 1 merupakan spesifikasi dari ketiga *electric scooter* tersebut.
Pengujian yang dilakukan menggunakan *chassis dynamometer* pada kecepatan roda awal 0 km/h hingga kecepatan akhir yang diinginkan 60 km/h untuk *electric*



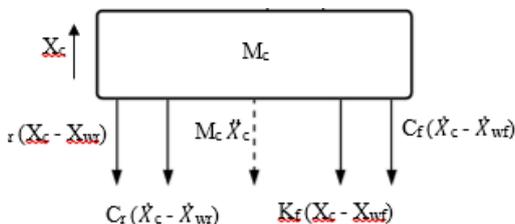
Gambar 7. Model Dinamis *Electric scooter*.



Gambar 8. FBD *Front Wheel*.



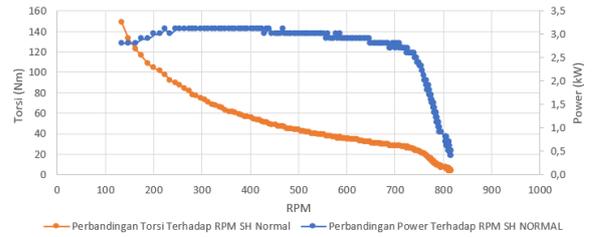
Gambar 9. FBD *Rear Wheel*.



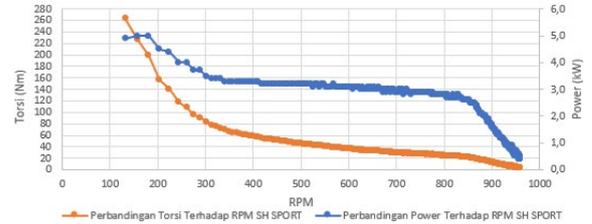
Gambar 10. FBD *Chassis*.

scooter DJ dan 90 km/h untuk *electric scooter* SH dan *electric scooter* QS. Pengaturan pengujian dilakukan melalui *handheld* yang tersambung dengan *superflow dynamometer* pada poros roller yang digerakkan oleh ban belakang sepeda motor (Gambar 2-4). Berikut langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian dilakukan:

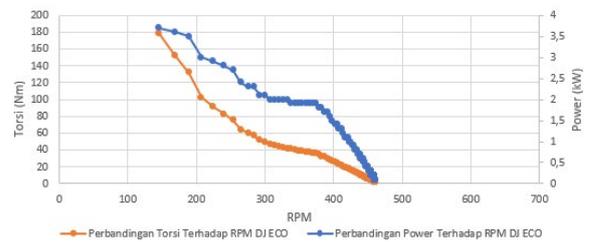
1. Mengatur *superflow dynamometer* melalui control keyboard yang tersedia pada chassis dynamometer dengan memilih setting pengujian “AccelTest” kemudian klik “Start Test”.
2. Mengatur kecepatan pengujian pada control keyboard dengan cara mengisi “AccelTest” dengan angka kecepatan awal 0 km/h hingga kecepatan akhir yang diinginkan 60 km/h dan 90 km/h, kemudian klik “Enter”.
3. Menyalakan motor dan mengaturnya pada mode yang diinginkan, kemudian klik tombol “Start” pada control keyboard kemudian memutar gas sepeda motor secara spontan hingga kondisi fully throttle.
4. Setelah mencapai kecepatan akhir yang diinginkan, roller akan otomatis berhenti sendiri kemudian matikan mesin sepeda motor.
5. Melihat komputer untuk mengecek hasil data pengujian berupa torsi dan daya.



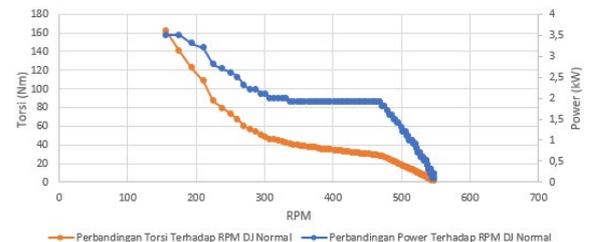
Gambar 11. Grafik Power – Torsi Terhadap RPM pada *Electric scooter* SH Mode Normal.



Gambar 12. Grafik Power – Torsi Terhadap RPM pada *Electric scooter* SH Mode Sport.



Gambar 13. Grafik Power – Torsi Terhadap RPM pada *Electric scooter* DJ Mode Normal.

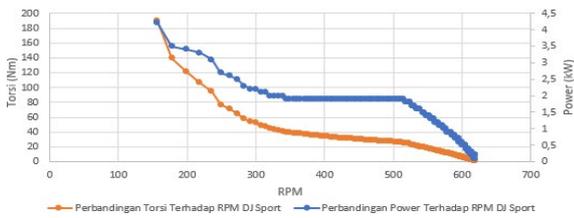


Gambar 14. Grafik Power – Torsi Terhadap RPM pada *Electric scooter* DJ Mode Eco.

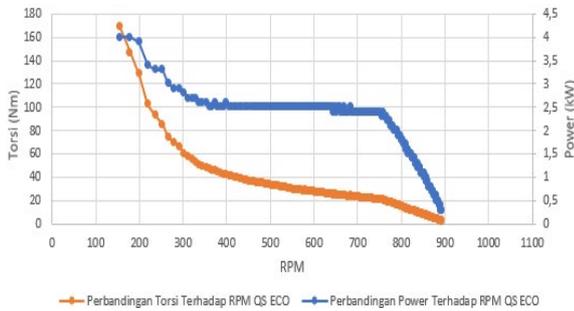
6. Mencatat data hasil percobaan berupa torsi dan daya.
7. Mengulangi langkah 1 sampai dengan 6 untuk mode yang berbeda.

Selanjutnya dilakukan pengujian jalan untuk *electric scooter* QS (Gambar 5). Kondisi jalan yang dibutuhkan adalah kondisi jalan yang rata. Tujuannya agar pengemudi dapat menjaga posisi bukaan throttle konstan. Kondisi jalan yang digunakan pada pengujian percepatan kendaraan dapat dilihat pada

1. Siapkan alat pengujian yaitu *electric scooter* QS juga alat ukur SOC.
2. Kendaraan diuji pada kondisi jalan lurus.
3. Mengatur pada mode 1 (eco) kemudian menyalakan *electric scooter*.
4. Pengujian pertama *electric scooter* dijalankan dengan memutar gas secara fully throttle.
5. Kemudian mencatat hasil arus dan voltase.
6. Pengujian kedua *electric scooter* dijalankan dengan memutar gas secara konstan pada kecepatan 40 km/h selama 1 km.
7. Kemudian mencatat *power* yang dihasilkan.
8. Mengulangi Langkah 1-7 untuk mode 2 (normal) dan mode 3 (sport).



Gambar 15. Grafik Power – Torsi Terhadap RPM pada *Electric scooter* DJ Mode Sport.



Gambar 16. Grafik Power – Torsi Terhadap RPM pada *Electric scooter* QS Mode Eco.

III. HASIL & DISKUSI

Berikut adalah hasil perhitungan dan pengujian yang didapatkan:

A. Contoh Perhitungan

1) Perhitungan Kebutuhan Gaya Dorong Electric scooter

Gambar 6 merupakan gambar gaya-gaya yang bekerja pada jalan mendatar.

Tabel 2 merupakan parameter perhitungan gaya dorong pada jalan mendatar, dimana parameter koefisien berasal pada penelitian Putra. F. F. [3]

Gaya Hambat Aerodinamis (*Air Resistance Force*)

$$R_a = 0,5 \times C_d \times A_f \times v^2 \times \rho$$

$$R_a = 0,5 \times 0,3 \times 0,7 \text{ m}^2 \times (11,11 \text{ m/s})^2 \times 1,23 \text{ kg/m}^3$$

$$R_a = 15,94 \text{ N}$$

Gaya Hambat Rolling (*Rolling Resistance Force*)

$$R_{rr} = C_r \times m \times g$$

$$R_{rr} = 0,06 \times 185 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$R_{rr} = 1087,8 \text{ N}$$

Total Gaya Hambat

$$F_T = R_a + R_{rr}$$

$$F_T = 18,22 \text{ N} + 1450 \text{ N}$$

$$F_T = 1103,74 \text{ N}$$

Torsi

$$T = F_T \times r$$

$$T = 1103,74 \text{ N} \times 0,203 \text{ m}$$

$$T = 224,06 \text{ Nm}$$

Power

$$P = T \times \omega$$

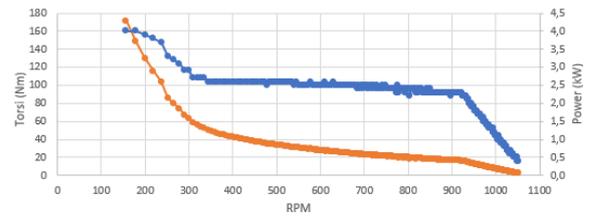
$$P = T \times 2 \pi n$$

$$P = 224,06 \text{ Nm} \times 2 \times 3,14 \times 146$$

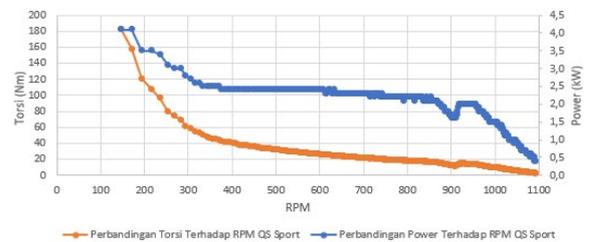
$$P = 3423 \text{ W}$$

2) Konsumsi Energi yang Dihasilkan oleh Electric scooter QS

Berikut merupakan persamaan untuk konsumsi energi yang dihasilkan *electric scooter* yang didapatkan pada penelitian penelitian RACEWICZ. S. dan KAZIMERCZUK. P. [4]



Gambar 17. Grafik Power – Torsi Terhadap RPM pada *Electric scooter* QS Mode Normal.



Gambar 18. Grafik Power – Torsi Terhadap RPM pada *Electric scooter* QS Mode Sport.

$$E = \frac{P \times t}{s}$$

$$E = \frac{1300 \times 82}{1}$$

$$E = 30,33 \text{ Wh/km}$$

3) Estimasi Lama Baterai Bekerja Eleetric Scooter QS

Berikut merupakan persamaan untuk mencari lama baterai bekerja yang didapatkan pada penelitian Sodikin. A.

$$tp = \frac{Ah}{A}$$

$$tp = \frac{20}{3,5}$$

$$tp = 5,7 \text{ jam}$$

B. Analisa Model Dinamis

Gambar 7 merupakan free body diagram pada *electric scooter*. Gambar 9 merupakan persamaan dan state variable equation:

$$C_f(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wf}) + K_f(X_c - X_{wf}) - K_{tf}X_{wf} = M_{wf}\ddot{X}_{wf}$$

$$M_{wf}\ddot{X}_{wf} - C_f(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wf}) - K_f(X_c - X_{wf}) + K_{tf}X_{wf} = 0$$

$$\ddot{X}_{wf} = \frac{1}{M_{wf}} + C_f(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wf}) + K_f(X_c - X_{wf}) - K_{tf}X_{wf}$$

Gambar 10 merupakan persamaan dan state variable equation:

$$C_r(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wr}) + K_r(X_c - X_{wr}) - K_{tr}X_{wr} = M_{wr}\ddot{X}_{wr}$$

$$M_{wr}\ddot{X}_{wr} - C_r(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wr}) - K_r(X_c - X_{wr}) + K_{tr}X_{wr} = 0$$

$$\ddot{X}_{wr} = \frac{1}{M_{wr}} + C_r(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wr}) + K_r(X_c - X_{wr}) - K_{tr}X_{wr}$$

Berikut merupakan persamaan dan state variable equation:

$$-C_f(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wf}) - K_f(X_c - X_{wf}) - C_r(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wr}) - K_r(X_c - X_{wr}) = M_c\ddot{X}_c$$

$$M_c\ddot{X}_c + C_f(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wf}) + K_f(X_c - X_{wf}) + C_r(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wr}) + K_r(X_c - X_{wr}) = 0$$

$$\ddot{X}_c = \frac{1}{M_{wr}} - C_f(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wf}) - K_f(X_c - X_{wf}) - C_r(\ddot{X}_c - \ddot{X}_{wr}) - K_r(X_c - X_{wr})$$

C. Grafik Power – Torsi vs RPM

Pada penelitian ini dilakukan pengujian *dyno test* untuk mengetahui performa *power* dan torsi tiap *electric scooter* pada mode eco, normal dan sport. Mode eco merupakan mode yang memiliki karakter yang halus serta irit daya baterai.

Tabel 3.
Konsumsi Energi Listrik *Electric scooter* QS

Kecepatan rata-rata (km.h)	Mode	Waktu (s)	Jarak (km)	Power (W)	E (Wh/km)
40 km.h	1	84	1	1300	30,33
	2	82	1	1400	31,89
	3	82	1	1400	31,89

Tabel 4.
Lama Waktu Baterai Bekerja pada *Electric scooter* QS

Beban	Mode	Volt (V)	Arus (A)	Tp (jam)
Tanpa Beban	1	70,3	3,5	5,7
	2	70	4	5
	3	69,8	5,02	4
Penumpang	1	69	44	0,5
	2	60	44,3	0,5
	3	56	44,7	0,5

Selain itu mode eco memiliki kecepatan maksimal yang lebih rendah sehingga dapat menjaga kecepatan kendaraan secara konstan. Kemudian mode normal merupakan mode yang digunakan untuk penggunaan beragam kondisi jalan dengan keseimbangan konsumsi baterai dan performa motor listrik. Sedangkan mode sport adalah mode dengan performa yang tinggi dan motor akan lebih terasa responsif dan dapat digunakan untuk meraih top speed namun baterai otomatis akan lebih boros.

Power yang didapatkan tiap *electric scooter* pada pengujian *dyno test* cenderung menurun dan *peak power* yang dihasilkan cenderung pada rpm awal dengan waktu singkat. Selain itu, *power* yang dihasilkan pada tiap *electric scooter* juga berbeda, walaupun motor *power* yang digunakan sama yaitu sebesar 2 kW. Salah satu hal yang mempengaruhi *power* yang dikeluarkan tiap *electric scooter* berbeda adalah *controller* yang digunakan. Semakin tinggi watt *controller* yang digunakan atau watt *controller* sama dengan motornya, maka *power* yang dihasilkan semakin besar.

Selanjutnya, secara ideal grafik torsi *electric scooter* akan bermula dari torsi yang tinggi di awal kecepatan dan akan mengalami penurunan hingga kecepatan tinggi. *Electric scooter* memiliki torsi yang stabil dari rpm 0 hingga rpm tertentu. Dapat dilihat pada ketiga gambar diatas, trendline grafik torsi yang dihasilkan menurun, dimana pada rpm awal torsi yang dihasilkan tinggi yang bertujuan untuk berakselerasi dan semakin tinggi rpm maka torsi yang dihasilkan akan turun. Selain itu, torsi kontinyus akan terjadi saat mencapai *rated speed*, sehingga kurva torsi akan melandai. Semakin besar rpm, maka semakin kecil torsi kontinyus yang dihasilkan.

1) *Electric scooter SH Mode Normal*

Gambar 11 merupakan data hasil grafik *power* – torsi vs rpm pada *electric scooter* SH mode normal pada pengujian *dyno test*. Pada gambar 11, *power* dan torsi awal dimulai pada kecepatan 12 km/jam dan 75 km/jam pada akhir kecepatan pada mode normal.

Pada Gambar 11 dapat dilihat trendline grafik perbandingan *power* – torsi vs rpm pada *electric scooter* SH mode normal. *Power* awal yang dihasilkan sebesar 2,8 kW pada putaran roda 135 rpm. Kemudian mengalami kenaikan dan menghasilkan *peak power* sebesar 3,1 kW pada putaran roda 225 rpm hingga 468 rpm. Dengan *rated power* yang dihasilkan sebesar 3 kW. Dimana *power* yang dihasilkan

merupakan *power* maksimal dari *electric scooter* SH pada mode normal.

Torsi maksimal terjadi pada putaran awal yaitu sebesar 147,67 Nm pada putaran roda 135 rpm. Kemudian perlahan menurun hingga mencapai torsi minimum sebesar 3,12 Nm pada putaran roda 816 rpm, dimana torsi kontinyus berada pada kisaran ±23 Nm. Torsi perhitungan yang didapatkan dengan memasukan variabel dan gaya-gaya yang bekerja pada saat digunakan di jalan, didapatkan sebesar 279,91 Nm yang dibutuhkan untuk *electric scooter* SH. Sedangkan pengujian yang dilakukan pada *dyno test*, torsi maksimal yang didapatkan sebesar 147,67 Nm. Perbedaan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti pembacaan torsi tidak akurat.

2) *Electric scooter SH Mode Sport*

Gambar 12 merupakan data hasil grafik *power* – torsi vs rpm pada *electric scooter* SH mode sport pada pengujian *dyno test*. Pada gambar 12, *power* dan torsi awal dimulai pada kecepatan 12 km/jam dan 88 km/jam pada akhir kecepatan.

Pada Gambar 12 dapat dilihat trendline grafik perbandingan *power* – torsi vs rpm pada *electric scooter* SH mode sport. *Power* awal yang dihasilkan sebesar 4,9 kW pada putaran roda 133 rpm. Kemudian mengalami sedikit kenaikan dan menghasilkan *power* sebesar 5 kW pada putaran roda 157 rpm yang merupakan *power* maksimal dari *electric scooter* SH pada mode sport. Sama seperti mode normal, *peak power* yang dihasilkan melebihi dari spesifikasi motor *power* pada *electric scooter* SH sebesar 2 kW. Dimana *peak power* yang didapatkan sebesar 5 kW dan *rated power* sebesar 3 kW. Hal ini dapat terjadi didukung dengan *controller* yang digunakan memiliki spesifikasi yang lebih besar.

Pada putaran awal yaitu 133 rpm *electric scooter* SH menghasilkan torsi awal yang merupakan torsi maksimal sebesar 263,47 Nm. Kemudian perlahan menurun hingga mencapai torsi minimum sebesar 3,12 Nm pada putaran roda 957 rpm, dimana torsi kontinyus yang relatif lebih rendah berada pada kisaran ±21 Nm. Torsi perhitungan yang didapatkan dengan memasukan beberapa variabel dan gaya-gaya yang bekerja pada saat dilakukan di jalan, didapatkan sebesar 279,91 Nm yang dibutuhkan untuk *electric scooter* SH. Sedangkan torsi maksimal pada mode sport didapatkan sebesar 263,47 Nm. Perbedaan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti pembacaan torsi tidak akurat.

3) *Electric scooter DJ Mode Eco*

Gambar 13 merupakan data hasil grafik *power* – torsi vs rpm pada *electric scooter* DJ mode eco pada pengujian *dyno test*. Pada gambar 13, *power* dan torsi awal dimulai pada kecepatan 12 km/jam dan 38 km/jam pada akhir kecepatan.

Pada Gambar 13 dapat dilihat trendline grafik perbandingan *power* – torsi vs rpm pada *electric scooter* DJ mode Eco. *Power* awal yang dihasilkan sebesar 3,7 kW pada putaran roda 146 rpm, dimana *power* tersebut merupakan *power* maksimal yang dihasilkan pada *electric scooter* DJ mode eco. Setelah itu pada putaran roda 308 rpm hingga 374 rpm dimana *power* yang dihasilkan tetap *power* rata-rata sebesar 1,9 kW. Dapat dilihat *peak power* yang dihasilkan sebesar 3,7 dalam waktu singkat. Namun *power rated* yang dihasilkan pada pengujian sebesar 1,9 kW dimana *rated power* yang dihasilkan dibawah 2 kW. *Rated power* sangat rendah dikarenakan *controller* yang digunakan memiliki spesifikasi yang lebih rendah.

Pada putaran roda 146 rpm, torsi yang dihasilkan merupakan torsi maksimal pada *electric scooter* DJ mode eco yaitu sebesar 178,04 Nm. Kemudian menurun mencapai torsi minimum sebesar 1,49 Nm pada putaran roda 461 rpm, dimana torsi kontinyus berada pada kisaran ± 36 Nm. Torsi perhitungan yang didapatkan sebesar 232,414 Nm dengan memasukan variable dan gaya-gaya yang bekerja pada *electric scooter* DJ saat digunakan di jalan. Pada mode eco, torsi maksimal yang didapatkan sebesar 178,04 Nm. Perbedaan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti pembacaan torsi tidak akurat.

4) *Electric scooter* DJ Mode Normal

Gambar 14 merupakan data hasil grafik power – torsi vs rpm pada *electric scooter* DJ mode normal pada pengujian dyno test. Pada gambar 14, *power* dan torsi awal dimulai pada kecepatan 12 km/jam dan 45 km/jam pada akhir kecepatan.

Pada Gambar 14, dapat dilihat trendline grafik perbandingan power – torsi vs rpm pada *electric scooter* DJ mode Normal. *Power* awal yang dihasilkan sebesar 3,5 kW pada putaran roda 157 rpm, yang merupakan *power* maksimal yang dihasilkan pada *electric scooter* DJ mode normal. *Power* maksimal yang dihasilkan pada mode normal lebih kecil dibandingkan dengan mode eco. Kemudian *power* mengalami penurunan hingga menghasilkan *power* sebesar 1,9 kW pada putaran roda 338 rpm, dimana *power* yang dihasilkan tetap hingga putaran roda 469 rpm. *Peak power* yang didapatkan juga sama dimana terjadi pada waktu yang singkat. Kemudian *rated power* yang dihasilkan juga di bawah 2 kW yaitu sebesar 1,9 kW. Hal ini disebabkan karena *controller* yang digunakan memiliki spesifikasi yang lebih rendah.

Pada putaran roda 157 rpm, torsi yang dihasilkan merupakan torsi maksimal pada *electric scooter* DJ mode normal yaitu sebesar 161,77 Nm. Kemudian menurun mencapai torsi minimum dimana torsi minimum pada mode normal sama dengan torsi minimum pada mode eco yaitu sebesar 1,49 Nm pada putaran roda 548 rpm, dimana torsi kontinyus berada pada kisaran ± 27 Nm. Torsi perhitungan yang didapatkan sebesar 232,414 Nm dengan variable dan gaya-gaya yang bekerja pada saat digunakan di jalan dan torsi maksimal yang didapatkan pada pengujian sebesar 161,77 Nm pada mode normal. Perbedaan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti pembacaan torsi tidak akurat.

5) *Electric scooter* DJ Mode Sport

Gambar 15 merupakan data hasil grafik power – torsi vs rpm pada *electric scooter* DJ mode Sport pada pengujian dyno test. Pada gambar 15, *power* dan torsi awal dimulai pada kecepatan 12 km/jam dan 51 km/jam pada akhir kecepatan.

Pada Gambar 15 dapat dilihat trendline grafik perbandingan power – torsi vs rpm pada *electric scooter* DJ mode sport. *Power* awal yang dihasilkan merupakan *power* maksimal pada *electric scooter* DJ mode sport yaitu sebesar 4,2 kW pada putaran roda 157 rpm. Kemudian *power* mengalami penurunan dengan hingga menghasilkan *power* sebesar 1,9 kW pada putaran roda 345 rpm, dimana *power* yang dihasilkan tetap sama seperti pada mode eco hingga putaran roda 515 rpm. Sama seperti mode eco dan normal, *rated power* tidak mencapai 2 kW, hal ini dikarenakan *controller* yang digunakan memiliki spesifikasi yang lebih rendah.

Pada putaran roda 157 rpm, torsi yang dihasilkan merupakan torsi maksimal pada *electric scooter* DJ mode sport yaitu sebesar 189,57 Nm. Kemudian menurun mencapai torsi minimum sebesar 1,90 Nm pada putaran roda 619 rpm, dimana torsi kontinyus berada pada kisaran ± 26 Nm. Torsi perhitungan yang didapatkan sebesar 232,414 Nm. Perbedaan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti pembacaan torsi tidak akurat.

6) *Electric scooter* QS Mode Eco

Gambar 16 merupakan data hasil grafik power – torsi vs rpm pada *electric scooter* QS mode eco pada pengujian dyno test. Pada gambar 16, *power* dan torsi awal dimulai pada kecepatan 12 km/jam dan 73 km/jam pada akhir kecepatan.

Pada Gambar 16 dapat dilihat trendline grafik perbandingan power – torsi vs rpm pada *electric scooter* QS mode Eco. *Power* awal merupakan *power* maksimal pada *electric scooter* QS mode eco, dimana *power* yang dihasilkan sebesar 4 kW pada putaran roda 155 rpm. Kemudian *power* mengalami penurunan dan menghasilkan *power* sebesar 2,5 kW dimana *power* yang dihasilkan konstan dari putaran roda 361 rpm hingga 641 rpm. *Peak power* yang didapatkan pada pengujian sebesar 4 kW dua kali lebih besar dari spesifikasi. Sesuai dengan datasheet yang di dapatkan, *peak power* yang dihasilkan mampu mencapai 3,7 kW hingga 4 kW dalam waktu yang singkat. Hal ini didukung dengan *controller* yang digunakan memiliki spesifikasi yang sama dengan motor *power*nya. Sedangkan *rated power* yang dihasilkan sebesar 2,5 kW.

Pada putaran roda 155 rpm, torsi yang dihasilkan merupakan torsi maksimal pada *electric scooter* QS mode eco yaitu sebesar 169,64 Nm. Kemudian menurun mencapai torsi minimum sebesar 2,57 Nm pada putaran roda 893 rpm, dimana torsi kontinyus berada pada kisaran ± 19 Nm. Torsi perhitungan yang didapatkan pada *electric scooter* QS sebesar 224,06 Nm dengan memasukan variabel dan gaya-gaya yang bekerja pada *electric scooter*. Pada mode eco, torsi maksimal yang didapatkan pada pengujian sebesar 169,64 Nm. Perbedaan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti pembacaan torsi tidak akurat.

7) *Electric scooter* QS Mode Normal

Gambar 17 merupakan data hasil grafik power – torsi vs rpm mode normal pada *electric scooter* QS dalam pengujian dyno test. Pada gambar 17, *power* dan torsi awal dimulai pada kecepatan 12 km/jam dan 86 km/jam pada akhir kecepatan.

Pada Gambar 17, dapat dilihat trendline grafik perbandingan power – torsi vs rpm pada *electric scooter* QS mode Normal. *Power* awal yang dihasilkan sebesar 4 kW pada putaran roda 157 rpm, dimana *power* tersebut merupakan *power* maksimal yang dihasilkan pada *electric scooter* QS mode normal. *Power* maksimal yang dihasilkan pada mode normal sama dengan *power* yang dihasilkan pada mode eco. Kemudian *power* mengalami penurunan hingga menghasilkan *power* rata-rata sebesar 2,4 kW pada putaran roda 344 rpm, dimana *power* yang dihasilkan tetap hingga putaran roda 931 rpm. *Peak power* yang dihasilkan mencapai 4 kW sama seperti mode eco, dimana hal ini sesuai dengan spesifikasi motor yang digunakan. *Controller* yang digunakan juga memiliki *power* yang sama dengan spesifikasi *bldc* motor *power* yang digunakan. Kemudian

pada pengujian ini dapat dilihat bahwa *rated power* yang dihasilkan sebesar 2,4 kW.

Pada putaran roda 157 rpm, torsi yang dihasilkan merupakan torsi maksimal pada *electric scooter* QS mode normal yaitu sebesar 171,4 Nm. Kemudian menurun mencapai torsi minimum dimana torsi minimum yang dihasilkan sebesar 2,58 Nm pada putaran roda 1052 rpm, dimana torsi kontinyus berada pada kisaran ± 15 Nm. Torsi perhitungan yang didapatkan sebesar 224,06 Nm dan torsi maksimal yang didapatkan pada pengujian mode normal sebesar 171,4 Nm. Perbedaan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti pembacaan torsi tidak akurat.

8) *Electric scooter QS Mode Sport*

Gambar 18 merupakan data hasil grafik *power* – torsi vs rpm pada *electric scooter* QS mode Sport pada pengujian *dyno test*. Pada gambar 18, *power* dan torsi awal dimulai pada kecepatan 12 km/jam dan 90 km/jam pada akhir kecepatan.

Pada Gambar 18 dapat dilihat *trendline* grafik perbandingan *power* – torsi vs rpm pada *electric scooter* QS mode sport. *Power* awal yang dihasilkan sebesar 4,1 kW pada putaran roda 147 rpm, dimana *power* tersebut merupakan *power* maksimal yang dihasilkan pada *electric scooter* QS pada mode sport. Kemudian *power* mengalami penurunan dan pada putaran roda 334 hingga 869 rpm, *power* yang dihasilkan rata-rata sebesar 2,3 kW. Pada putaran roda 902 rpm *power* yang dihasilkan menurun sebesar 1,6 kW dan kemudian kembali naik sebesar 2 kW pada putaran roda 918 rpm. Fenomena ini terjadi karena panas yang terjadi pada *controller* sehingga terjadi *delay supply* pada *controller*. Sama seperti mode-mode sebelumnya, *peak power* yang dihasilkan besar, dimana *peak power* yang dihasilkan sebesar 4,1 kW. Sedangkan *rated power* yang didapatkan sebesar 2,3 kW dengan spesifikasi motor *power* sebesar 2 kW dengan *peak power* yang dapat dihasilkan menurut *datasheet* yang ada dapat mencapai 3,7 kW hingga 4

Pada putaran roda 147 rpm, torsi yang dihasilkan merupakan torsi maksimal pada *electric scooter* QS mode sport yaitu sebesar 182,65 Nm. Kemudian menurun mencapai torsi minimum sebesar 2,3 Nm pada putaran roda 1093 rpm, dimana torsi kontinyus berada pada kisaran ± 14 Nm. Pada mode sport, torsi maksimal yang didapatkan sebesar 182,65 Nm. Namun torsi perhitungan yang didapatkan sebesar 224,06 Nm. Perbedaan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti pembacaan torsi tidak akurat.

D. *Konsumsi Energi Electric scooter*

Pada Tabel 3. dapat dilihat hasil perhitungan konsumsi energi (E) *electric scooter* QS pada pengujian jalan. Pengujian dilakukan dengan jarak tempuh yang sama yaitu sejauh 1 km pada kecepatan rata-rata 40 km/h. Pada mode 1 waktu tempuh yang dibutuhkan untuk menempuh jarak 1 km yaitu selama 84 detik. *Power* yang dihasilkan sebesar 1300 Watt, sehingga konsumsi energi yang keluar sebesar 30,33 Wh/km. Kemudian pada mode 2, membutuhkan waktu selama 82 detik untuk mencapai 1 km dengan menghasilkan *power* sebesar 1400 Watt sehingga menghasilkan konsumsi energi sebesar 31,89. Terakhir pada mode 3, waktu yang dibutuhkan adalah 82 detik untuk menempuh 1 km sama seperti mode 2. Dimana *power* yang dihasilkan juga sama yaitu sebesar 1400 Watt, sehingga konsumsi energi yang dihasilkan sebesar 31,89 Wh/km.

Dapat dilihat bahwa pada kecepatan rata-rata yang sama, jarak tempuh yang sama dapat dilihat hasil konsumsi yang dihasilkan berbeda. Faktor yang sangat mempengaruhi pada konsumsi energi pada *electric scooter* adalah *power* yang dikeluarkan. Pada mode 1 (eco) *power* yang dikeluarkan lebih kecil dibandingkan mode 2 (normal) dan 3 (sport), hal ini menyebabkan konsumsi energi yang dikeluarkan sedikit yaitu sebesar 30,33 Wh/km. Dengan konsumsi energi 30,33 Wh/km, estimasi jarak tempuh yang dapat dicapai sejauh ± 47 km. Untuk mode 2 (normal) dan 3 (sport), konsumsi energi yang dikeluarkan sama yaitu sebesar 31,89 Wh/km. Dengan konsumsi energi 31,89 Wh/km, estimasi jarak tempuh yang dapat dicapai sejauh ± 45 km. Pada pengujian *dyno test*, efisiensi yang didapatkan pada kecepatan sebesar 81,17% [4].

E. *Lama Baterai Bekerja pada Electric scooter*

Besar arus yang diserap motor mempengaruhi lama waktu baterai bekerja. Dengan kapasitas baterai sebesar 20 Ah, lama waktu baterai bekerja dapat dihitung dengan menggunakan data-data yang telah diambil dalam pengujian di yaitu arus diserap oleh motor. Pengujian jalan dilakukan pada jalan yang rata dengan kecepatan maksimal. Pengujian dilakukan dengan dua variasi yaitu tanpa penumpang dan dengan penumpang. Hasil estimasi lama waktu baterai bekerja dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan pada Tabel 4 dapat diamati perkiraan lama waktu baterai bekerja pada *electric scooter* QS. Perkiraan lama waktu baterai bekerja ditentukan oleh besaran arus yang diserap. Semakin besar arus yang diserap, maka semakin singkat waktu pemakaian baterai. Pada percobaan tanpa beban, estimasi lama waktu baterai pada mode 1 (eco) dengan menyerap arus sebesar 3,5 ampere selama 6,3 jam. Sedangkan pada mode 2 (normal) dimana arus yang diserap sebesar 4 ampere, dapat bertahan selama 5,3 jam dan mode 3 (sport) arus diserap sebesar 5,02 ampere dapat bertahan selama 4,4 jam. Kemudian pada percobaan dengan beban, estimasi lama waktu baterai bekerja lebih cepat habis dibandingkan tanpa beban. Pada mode 1 (eco), 2 (normal) dan 3 (sport) lama waktu baterai bekerja sama yaitu selama 0,5 jam dengan arus yang diserap berbeda-beda yaitu berturut-turut 44 ampere, 44,3 ampere dan 44,7 ampere. Semakin besar arus yang diserap, maka voltase semakin kecil dan sebaliknya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan Analisa dan pembahasan yang didapatkan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Daya yang diperoleh *electric scooter* SH, *electric scooter* DJ dan *electric scooter* QS cenderung sama dimana semakin bertambahnya rpm maka daya yang dihasilkan semakin menurun dan memiliki daya yang konstan pada rpm tertentu.
2. Torsi yang diperoleh *electric scooter* SH, *electric scooter* DJ dan *electric scooter* QS sama dimana menghasilkan torsi maksimal pada putaran awal untuk berakselerasi dan mengalami penurunan seiring bertambahnya rpm.
3. Pada *electric scooter* SH, torsi maksimal yang didapatkan pada mode normal sebesar 147,67 Nm dan 263,47 Nm pada mode sport dengan daya maksimal sebesar 3,1 kW dan 5 kW, dimana torsi kontinyus berada kisaran ± 23 Nm

dan ± 21 Nm. Untuk *electric scooter* DJ, torsi maksimal yang diperoleh pada mode eco, normal dan sport berturut-turut sebesar 178,04 Nm, 161,77 Nm dan 189,57 Nm dengan daya maksimal sebesar 3,7 kW, 3,5 kW dan 4,2 kW, dimana kontinyus berada kisaran ± 36 Nm, ± 27 Nm dan ± 26 Nm. Kemudian untuk *electric scooter* QS, torsi maksimal yang diperoleh pada mode eco, normal dan sport berturut-turut sebesar 169,64 Nm, 171,4 Nm dan 182,65 Nm dengan daya maksimal sebesar 4 kW, 4 kW dan 4,1 kW, dimana torsi kontinyus berada kisaran ± 19 Nm, ± 15 Nm dan ± 14 Nm

4. Dari ketiga *electric scooter* yang telah diuji, pada mode eco *power electric scooter* QS menghasilkan *power* yang lebih besar dibandingkan *electric scooter* DJ. Namun torsi *electric scooter* DJ lebih besar dibandingkan *electric scooter* QS. Pada mode Normal, torsi maksimal yang dihasilkan *electric scooter* QS besar dan menghasilkan *power* maksimal yang besar juga. Sedangkan pada mode sport, *electric scooter* SH memiliki torsi maksimal yang sangat besar dan menghasilkan *power* maksimal yang besar juga dibandingkan *electric scooter* lainnya.
5. Didapatkan konsumsi energi *electric scooter* QS mode 1, 2 dan 3 pada kecepatan rata-rata 40 km/h berturut-turut sebesar 30,33 Wh/km, 31,89 Wh/km dan 31,89 Wh/km. Untuk estimasi lama waktu baterai bekerja tanpa penumpang dengan kecepatan maksimal pada mode 1, 2

dan 3 berturut-turut selama 5,7 jam, 5 jam dan 4 jam. Sedangkan dengan menggunakan penumpang estimasi lama waktu baterai bekerja pada mode 1, 2 dan 3 sama yaitu selama 0,5 jam.

Saran yang diberikan untuk pengujian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan pengujian lebih lanjut untuk mengetahui *power* dan torsi pada jalan menanjak maupun menurun dan efisiensi pada *electric scooter*.
2. Dibutuhkan alat pengujian *dyno test* yang lebih baik lagi agar dapat mengukur arus pada *electric scooter*, juga dapat mengukur voltase pada *electric scooter*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Sotiyaramadhani, "Pengembangan Sistem Kontrol Modular untuk Motor Listrik Bldc Aksial dengan Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic, untuk Meningkatkan Performa dan Efisiensi Motor Listrik," *repository*.
- [2] H. Pranoto, B. Darmonoa, Z. Arifin, and I. Susanto, "Design and Wheel Torque Performance Test of the Electric Racing Car Concept E-Falco," *Int. J. Adv. Technol. Mech. Mechatronics Mater.*, vol. 2, no. 2, pp. 61–69, Nov. 2021, doi: 10.37869/IJATEC.V2I2.45.
- [3] F. Putra, "Studi eksperimen kinerja traksi pada motor hybrid fuboru," *Repository.its.ac.id*, 2015.
- [4] R. Apresco, "Perbandingan Unjuk Kerja Motor Brushless Direct Current dengan Brushed Direct Current pada Nogogeni Urban Konsep," *Repository*, 2017.