

Desain dan Analisa Sistem Tenaga dan Transmisi pada Mobil Angkutan Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik

Dika Bayu Prasetyo, Unggul Wasiwitono, I Nyoman Sutantra
Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: tantra@me.its.ac.id

Abstrak—Kendaraan listrik merupakan salah satu solusi yang menjawab krisis energi pada zaman sekarang. Dalam perancangan kendaraan listrik yang terpenting adalah pemilihan motor yang digunakan, sehingga nantinya kinerja dari kendaraan listrik akan sama seperti kinerja dari kendaraan bertenaga bensin. Dalam penelitian ini akan dilakukan perhitungan rasio transmisi sehingga didapatkan kinerja yang terbaik dari kendaraan multiguna pedesaan bertenaga listrik. Tahap pertama dalam pengerjaan studi ini dimulai dengan perhitungan dari gaya hambat kendaraan, sehingga kemudian didapatkan spesifikasi motor yang sesuai berdasarkan gaya hambat yang terjadi pada kendaraan. Perhitungan yang kedua adalah mengenai rasio transmisi dari kendaraan, setelah dilakukan perhitungan rasio transmisi maka dilakukan tahap analisa dari rasio transmisi. Sehingga didapatkan hasil analisa dari karakteristik traksi dan karakteristik power kendaraan. Pada penelitian ini didapat kesimpulan motor yang digunakan adalah Yasa Motor P400 series 25kw, baterai LiFePO4 12V 100Ah dan rasio transmisi 1,87 tingkat pertama dan 0,348 tingkat kedua dengan rasio gardan sebesar 4,9.

Kata kunci—Gaya hambat, motor listrik, transmisi, traksi.

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN industri otomotif di Indonesia mengalami kemajuan yang pesat pada periode 5 tahun kebelakang, khususnya dalam sektor mobil. Produksi mobil di Indonesia dari tahun 2011-2016 jumlahnya berada pada kisaran 1 juta unit [1]. Efek dari tingginya jumlah produksi tersebut adalah semakin besar konsumsi bahan bakar minyak yang digunakan sebagai sumber energi dari kendaraan [2].

Kendaraan multiguna pedesaan merupakan salah satu hasil karya dari Teknik Mesin ITS, dimana desain awal dari kendaraan ini adalah berbahan bakar bensin. Sebagai bentuk inovasi terhadap tingginya konsumsi bahan bakar maka kendaraan multiguna pedesaan didesain bertenaga listrik. Sebelumnya telah didesain kendaraan multiguna bertenaga *hybrid* oleh Saudari Indira Riska Saraswati, desain dari saudari Indira menggunakan motor 35kw [3]. Sistem transmisi yang digunakan oleh saudari Indira adalah 2 tingkat transmisi dengan rasio transmisi tingkat pertama adalah 3 dan yang kedua sebesar 0,7. Kecepatan maksimal yang dapat ditempuh kendaraan adalah 80 km/jam.

Tujuan dari studi ini adalah didapatkan karakteristik traksi dan karakteristik power yang sesuai berdasarkan variasi sudut jalan yang dilalui kendaraan. Sehingga nanti dari studi ini akan

diperoleh spesifikasi motor dan baterai yang digunakan serta rasio transmisi kendaraan.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahap Perhitungan

Dalam pengerjaan studi ini awalnya dilakukan perhitungan terhadap gaya hambat yang terjadi pada kendaraan. Gaya hambat yang diperhitungkan dalam studi ini adalah gaya hambat angin, gaya hambat rolling dan gaya hambat tanjakan [4], sehingga nantinya dari ketiga gaya hambat tersebut didapat gaya hambat total berdasarkan variasi sudut tanjakan. Untuk dapat menghitung nilai dari gaya hambat angin dapat dilakukan berdasarkan persamaan 1,

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_d A_f V^2 \quad (1)$$

Dimana R_a adalah hambatan aerodinamika, ρ adalah massa jenis udara, C_d adalah koefisien drag, A_f adalah luas frontal kendaraan, V adalah kecepatan relative angin terhadap kendaraan. Sedangkan untuk gaya hambat *rolling* dapat dihitung dengan persamaan 2,

$$R_r = f_r W \quad (2)$$

$$f_r = f_o + f_s \left(\frac{v}{100} \right)^{2,5} \quad (3)$$

Dimana f_r adalah koefisien *rolling*, f_o dan f_s adalah koefisien yang nilainya tergantung pada tekanan ban dan W adalah berat dari kendaraan. Gaya hambat tanjakan dapat dihitung menggunakan persamaan 4,

$$R_g = W \sin \theta \quad (4)$$

Dimana θ adalah sudut tanjakan jalan. Selanjutnya setelah mengetahui ketiga gaya hambat diatas maka dapat dihitung gaya hambat total pada kendaraan berdasarkan persamaan 5 dan 6,

$$F_r = R_a + R_r + R_g \quad (5)$$

$$F_r = \left(\frac{1}{2} \rho C_d A_f V^2 \right) + (f_r W \cos \theta) + W \sin \theta \quad (6)$$

Dimana F_r adalah gaya hambat total kendaraan. Selanjutnya untuk dapat menentukan kebutuhan power yang dibutuhkan oleh kendaraan terlebih dahulu diketahui gaya hambat total dari kendaraan berdasarkan persamaan 6, maka berdasarkan persamaan 7 dapat diketahui power yang diperlukan oleh kendaraan dimana P merupakan power yang dibutuhkan oleh kendaraan karena gaya hambat.

$$P = F_r V \tag{7}$$

Karakteristik dari motor listrik adalah power yang dihasilkan akan bertambah dari kecepatan awal sampai kecepatan *base*, sedangkan dari kecepatan *base* sampai kecepatan maksimum power motor listrik akan relative konstan. Untuk torsi yang dihasilkan motor listrik adalah maksimum dari kecepatan awal sampai dengan kecepatan *base*, kemudian akan turun secara *hyperbolic* dari kecepatan *base* sampai kecepatan maksimum [4].

Disamping menentukan motor listrik yang digunakan penulis juga memperhitungkan baterai yang diperlukan oleh kendaraan. Untuk dapat menentukan kebutuhan baterai langkah-langkahnya adalah sebagai berikut,

1. Langkah pertama adalah menentukan durasi tembus dari kendaraan.
2. Langkah kedua adalah menentukan besar kwh yang diperlukan baterai untuk memenuhi kebutuhan kendaraan.
3. Langkah ketiga adalah menentukan besar voltase pada baterai.
4. Langkah keempat adalah menghitung jelajah yang dapat ditempuh oleh kendaraan berdasarkan persamaan 8, $s = tp$ (8) dimana s adalah jelajah kendaraan, t adalah durasi tempuh kendaraan, p adalah power baterai.
5. Langkah kelima adalah menghitung besar dari ampere baterai yang dibutuhkan. Dengan perumusan dibawah ini,

$$Ah = \frac{P}{v} \tag{9}$$

dimana Ah adalah ampere yang dibutuhkan oleh baterai.

6. Langkah keenam adalah menghitung jumlah baterai yang diperlukan berdasarkan ketersediaan baterai dipasaran.
7. Langkah ketujuh adalah mendapatkan spesifikasi dari baterai yang diperlukan kendaraan.

Sistem transmisi kendaraan berfungsi mengkonversi torsi dan kecepatan dari sumber penggerak menjadi torsi dan kecepatan yang berbeda-beda kemudian diteruskan ke penggerak akhir. Langkah pertama menghitung rasio transmisi adalah menentukan rasio transmisi tingkat pertama dengan persamaan 10, dimana F_t adalah gaya torsi kendaraan, T_m adalah torsi mesin, η_t adalah efisiensi dari transmisi, r adalah jari-jari roda (m), I_d adalah perbandingan gigi diferensial.

$$i_1 = \frac{F_t r}{T_m i_d \eta_t} = \frac{(W \sin \theta_{\max} + f_r W + R_a) r}{T_m i_d \eta_t} \tag{10}$$

Setelah menghitung rasio tingkat pertama selanjutnya adalah menghitung rasio tingkat akhir dan selanjutnya ditentukan tingkat transmisi yang digunakan pada kendaraan. Untuk

menghitung rasio transmisi tingkat akhir menggunakan persamaan 11,

$$i_2 = \frac{F_t r}{T_m i_d \eta_t} = \frac{\left(f_r W + \frac{1}{2} C_d A_f V \right) r}{T_m i_d \eta_t} \tag{11}$$

Tahap analisa yang digunakan untuk melihat hasil dari rasio transmisi adalah dengan karakteristik traksi dan karakteristik power yang dihasilkan oleh rasio transmisi. Dengan menghitung kecepatan *base* dan kecepatan maksimum serta gaya dorong minimum dan gaya dorong maksimum yang dihasilkan tiap transmisi maka akan didapat karakteristik traksi dari kendaraan, dibawah ini merupakan perumusan untuk menghitung karakteristik traksi tersebut, dimana V_b adalah kecepatan base transmisi, V_{\max} adalah kecepatan maksimum transmisi, N_b adalah putaran base dari motor listrik, N_{\max} adalah putaran maksimum dari motor listrik.

$$V_b = \frac{\pi r N_b}{30 I_t I_d} \tag{12}$$

$$V_{\max} = \frac{\pi r N_{\max}}{30 I_t I_d} \tag{13}$$

$$F_{t \max} = \frac{I_t I_d T_{\max} \eta_t}{r} \tag{14}$$

$$F_{t \min} = \frac{I_t I_d T_{\min} \eta_t}{r} \tag{15}$$

Untuk karakteristik power yang dihasilkan dari rasio transmisi dapat dianalisa dengan membandingkan power yang dihasilkan kendaraan dengan power yang ditimbulkan oleh gaya hambat. Power dari transmisi dan power yang ditimbulkan oleh gaya hambat dapat dihitung menggunakan persamaan 7 dan 16,

$$P_t = F_t V \tag{16}$$

dimana P_t adalah power dari transmisi kendaraan .

III. HASIL DAN ANALISA

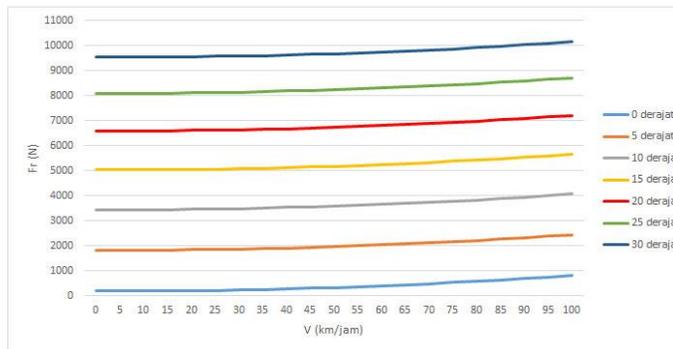
A. Data dan Spesifikasi Kendaraan

Data dan spesifikasi kendaraan dapat dilihat Tabel 1 pada lampiran.

B. Perhitungan Spesifikasi dari Motor dan Baterai

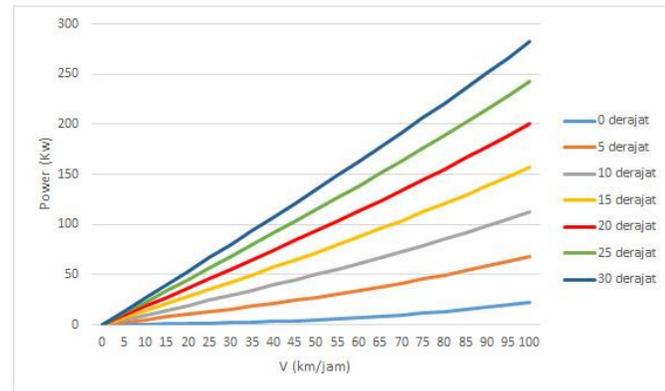
Berdasarkan persamaan 7 mengenai perhitungan power dari kendaraan terlebih dahulu harus diketahui gaya hambat total yang terjadi pada kendaraan. Untuk dapat menghitung gaya hambat total yang terjadi pada kendaraan dapat digunakan persamaan 5 dan 6, pada Gambar 1 penulis membandingkan

gaya hambat total pada kendaraan berdasarkan variasi sudut tanjakan dengan pengaruh kecepatan.



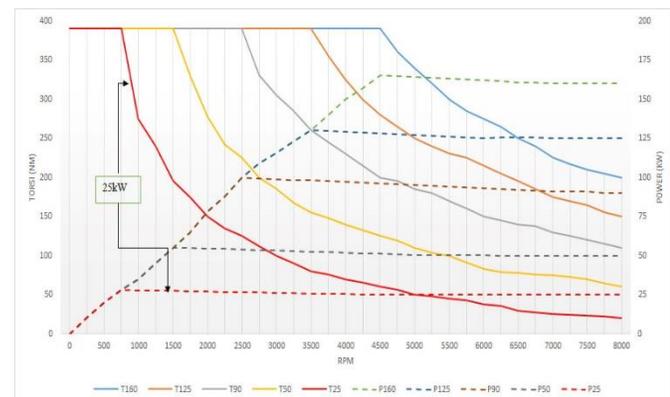
Gambar 1. Gaya hambat total berdasarkan variasi sudut tanjakan dan kecepatan kendaraan

Pada grafik Gambar 1 menunjukkan pengaruh kecepatan dan variasi sudut tanjakan terhadap gaya hambat total, semakin besar sudut tanjakan dan kecepatan kendaraan maka semakin besar pula gaya hambat yang terjadi.



Gambar 2. Kebutuhan daya kendaraan

Setelah mengetahui gaya hambat total pada kendaraan berdasarkan gambar 1, selanjutnya menghitung kebutuhan daya kendaraan berdasarkan persamaan 7 sehingga mendapatkan grafik seperti pada gambar 2. Berdasarkan grafik pada gambar 2 apabila penulis menginginkan kendaraan untuk melaju pada sudut tanjakan 30 derajat dengan kecepatan 20km/jam maka penulis memerlukan power sebesar 50kw. Berdasarkan grafik tersebut maka digunakan motor YASA P400Series dengan power sebesar 25kw. Seperti spesifikasi tabel 2 pada lampiran.



Gambar 3. Torsi dan Power Motor YASA P400 Series 25Kw

Berdasarkan gambar 3 menunjukkan karakteristik dari power dan torsi yang dihasilkan oleh Motor YASA P400Series. Dimana kecepatan base akan semakin kecil apabila power yang digunakan juga semakin kecil. Pada power maksimal dari motor yaitu 160kW kecepatan base yang dihasilkan adalah 4500 rpm, karena penulis menggunakan power sebesar 25 kw maka kecepatan base yang dihasilkan adalah 750 rpm.

Selanjutnya untuk baterai yang digunakan oleh kendaraan multiguna pedesaan bertenaga listrik adalah LiFePO4 12v 110Ah. Hal ini didapatkan dari perhitungan bahwa durasi tempuh dari kendaraan (t) adalah 6,3km/kwh, power baterai (p) 12,5kw, voltase baterai (v) 125volt. Maka berdasarkan perumusan 8 didapatkan jelajah dari kendaraan adalah sebesar 78,75 km. Selanjutnya untuk mendapatkan kebutuhan ampere dari baterai menggunakan perumusan 9 dan hasilnya adalah sebesar 100 Ah. Setelah menentukan spesifikasi dari baterai adalah LiFePo4 12V 110Ah, maka ditentukan jumlah baterai yang dibutuhkan adalah power baterai yang dibutuhkan dibagi dengan power tiap baterai dan hasilnya dalam membutuhkan 11 pack baterai. Untuk data dan spesifikasi dari baterai dapat dilihat tabel 3 pada lampiran.

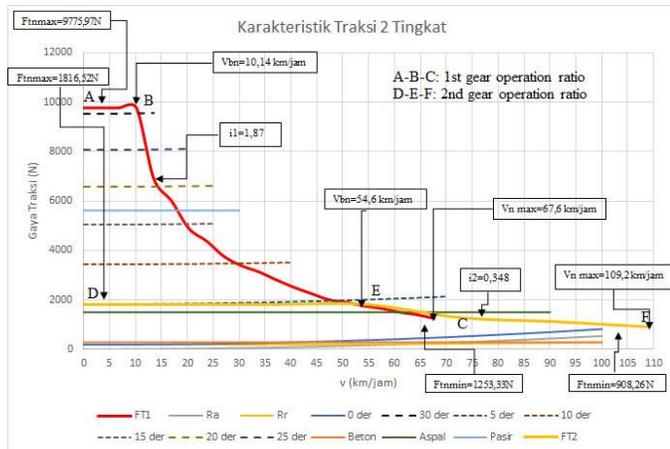
C. Perhitungan Rasio Transmisi

Perhitungan rasio transmisi dilakukan dengan menghitung pada tingkat pertama, berdasarkan perumusan 10 penulis mendapatkan hasil rasio transmisi tingkat pertama adalah sebesar 1,87. Sedangkan untuk selanjutnya adalah menghitung rasio transmisi tingkat akhir berdasarkan perumusan 11 dan hasilnya adalah 0,348. Jadi penulis menggunakan rasio transmisi tingkat pertama adalah 1,87 dan 0,348 pada tingkat kedua. Selanjutnya setelah diketahui rasio transmisi pada masing-masing tingkat maka harus dihitung nilai dari kecepatan base dan kecepatan maksimum berdasarkan perumusan 12 dan 13, maka didapat kecepatan base pada transmisi pertama (V_{1b}) adalah sebesar 10,14 km/jam dan kecepatan maksimum pada transmisi pertama (V_{1max}) adalah 67,6 km/jam. Sedangkan untuk kecepatan base transmisi kedua (V_{2b}) adalah 54,6 km/jam dan kecepatan maksimum transmisi kedua (V_{2max}) adalah 109 km/jam. Selain menghitung kecepatan base dan kecepatan maksimum maka harus dihitung pula gaya dorong maksimum dan minimum berdasarkan perumusan 14 dan 15, untuk gaya dorong maksimum transmisi pertama (F_{t1max}) adalah 9775,9N dan gaya dorong minimum transmisi pertama (F_{t1min}) adalah 1253,33N sedangkan gaya dorong maksimum transmisi kedua (F_{t2max}) adalah 1816,52N dan gaya dorong minimum transmisi kedua (F_{t2min}) adalah 908,26N. Maka selanjutnya rancangan rasio transmisi dianalisa berdasarkan karakteristik traksi dan power seperti pembahasan D dan E.

D. Analisa Karakteristik Traksi Kendaraan

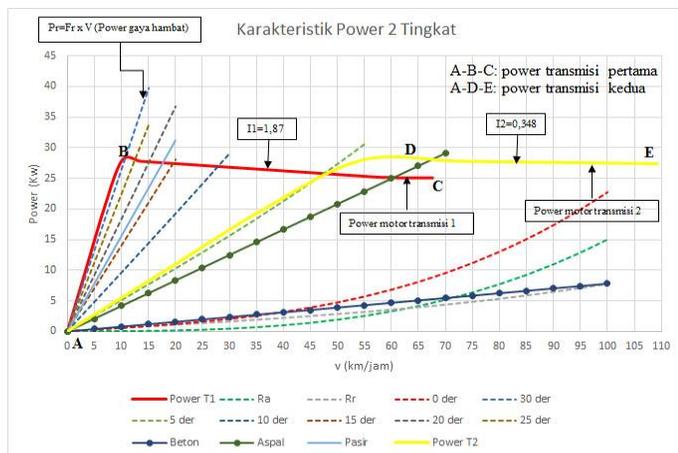
Pada Gambar 8 menunjukkan karakteristik traksi yang dihasilkan oleh rancangan rasio transmisi. Berdasarkan perhitungan didapat kecepatan base pada transmisi pertama adalah 10,14km/jam dan 54,6km/jam pada tingkat kedua. Sedangkan untuk kecepatan maksimum pada transmisi pertama adalah 67,6km/jam dan 109km/jam untuk transmisi kedua. Untuk kemampuan dari kendaraan terlihat pada sudut tanjakan maksimum adalah sebesar 11 km/jam, sedangkan kecepatan maksimum kendaraan pada transmisi pertama adalah sebesar 60 km/jam pada kondisi jalan mendatar dan permukaan jalan aspal.

Pada transmisi kedua kendaraan dapat melewati medan jalan dengan sudut tanjakan 5 derajat sebesar 45 km/jam, sedangkan untuk jalan aspal dengan menggunakan transmisi kedua dapat menghasilkan kecepatan maksimal sebesar 68 km/jam. Untuk kecepatan akhir yang dapat dihasilkan adalah lebih dari 100 km/jam pada kondisi jalan mendatar.



Gambar 8. Karakteristik Traksi Kendaraan Multiguna Bertenaga Listrik

E. Analisa Karakteristik Power Kendaraan



Gambar 9. Karakteristik Power Kendaraan Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik

Berdasarkan Gambar 9, pada transmisi pertama power maksimum dari motor digunakan seluruhnya pada sudut 30 derajat dan menghasilkan kecepatan maksimum sebesar 11 km/jam. Untuk jalanan pasir yang dilalui kendaraan kecepatan maksimum yang dapat dihasilkan adalah 18 km/jam dengan power dari motor digunakan seluruhnya untuk memenuhi kebutuhan power dari gaya hambat. Kecepatan maksimum yang dapat dihasilkan adalah 60 km/jam, hal ini karena pada jalan aspal power keseluruhan dari motor sama dengan power yang dibutuhkan pada gaya hambat. Power total yang digunakan pada motor adalah 25 kw. Sedangkan pada transmisi kedua power yang dihasilkan oleh motor dapat melalui medan jalan yang mempunyai sudut tanjakan 5 derajat, kecepatan yang dihasilkan pada kondisi tersebut adalah 45 km/jam dengan konsumsi power sebesar 23 kw. Pada jalan aspal transmisi kedua mampu menghasilkan kecepatan yang lebih besar dari transmisi pertama yaitu sebesar 68 km/jam, hal ini karena power yang dihasilkan motor sama besarnya dengan power yang

dibutuhkan akibat gaya hambat. Untuk kecepatan maksimum yang dapat dihasilkan oleh transmisi kedua adalah lebih dari 100 km/jam pada jalan mendatar.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisa perhitungan dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka besar gaya hambat yang terjadi adalah 538,67 N untuk gaya hambat angin pada kecepatan 100 km/jam, 281,06 N untuk gaya hambat rolling pada jalan mendatar dengan kecepatan 100 km/jam dan 9368,6 N untuk gaya hambat pada tanjakan 30 derajat.
2. Berdasarkan rasio transmisi yang digunakan pada tingkat pertama dengan gaya traksi sebesar 9775,97N kendaraan dapat melewati sudut tanjakan 30 derajat pada kecepatan 11 km/jam dan dengan gaya traksi sebesar 1500N kendaraan dapat melaju pada kecepatan 60 km/jam di jalan aspal, berdasarkan perhitungan kendaraan dapat melaju dengan transmisi pertama sampai dengan kecepatan 67 km/jam. Sedangkan untuk tingkat transmisi kedua dengan gaya traksi sebesar 1818,97N kendaraan dapat melaju 65 km/jam pada jalan aspal, dan berdasarkan perhitungan kecepatan maksimum pada transmisi kedua adalah sebesar 109,2 km/jam.
3. Berdasarkan karakteristik power yang terjadi menunjukkan hasil yang tidak terlalu berbeda dengan hasil karakteristik traksi kendaraan. Dimana dengan power maksimum dari motor listrik dapat melewati sudut tanjakan 30 derajat dengan kecepatan 11 km/jam pada transmisi pertama dan dengan power maksimum dari motor berdasarkan analisa karakteristik power pada transmisi pertama dapat melaju sebesar 60 km/jam pada jalan aspal. Sedangkan pada karakteristik power pada transmisi kedua menunjukkan kemampuan kendaraan berdasarkan power maksimum kendaraan dapat melaju pada jalan aspal sebesar 68 km/jam dan dapat menghasilkan kecepatan maksimum 109,2 km/jam dengan menggunakan power maksimum dari kendaraan.

LAMPIRAN

Tabel 1. Data dan Spesifikasi Kendaraan

Dimensi	
Jarak sumbu roda	2590 mm
Lebar	1440 mm (depan) 1480 mm (belakang)
Tinggi	2260 mm
Ground clearance	240 mm
Massa	
Massa rolling chassis, motor dan baterai	910 kg
Berat box penumpang	500 kg
Berat beban maksimum	500 kg
Ban	
4 roda tunggal	Radial (P 165/80 R13)

Tabel 2.
Data dan Spesifikasi Motor

Peak power	160 kW	
Peak torque	390 Nm	
Continuous Power	20 kW to 100 kW	
Speed	0-8000 rpm	
Peak Efficiency		96%
Dry Mass	24 kg	

Tabel 3.
Data dan Spesifikasi Baterai

Jenis	LiFePO4
Power	12,5 kw
Voltase	125 volt
Ampere	100 Ah
Jumlah	11 pack
Massa	60 kg

DAFTAR PUSTAKA

- [1] GAIKINDO, "Domestic Auto Production." Jakarta, 2016.
- [2] B. MIGAS, "Konsumsi BBM Nasional," 2016. [Online]. Available: <http://www.bphmigas.go.id/konsumsi-bbm-nasional>.
- [3] S. R. I. Riska, "Analisa Rancangan Rasio Transmisi dan Kinerja Traksi pada Kendaraan Produksi Multiguna Pedesaan," 2015.
- [4] S. . Nyoman, *Teknologi Otomotif Hybrid, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. Guna Widya, 2015.