

Analisis Sistem Tenaga, Rasio dan Tingkat Transmisi pada Mobil Bertenaga Listrik Tipe Perkotaan atau *City Car*

Ayub Sianturi, dan I Nyoman Sutantra

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

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

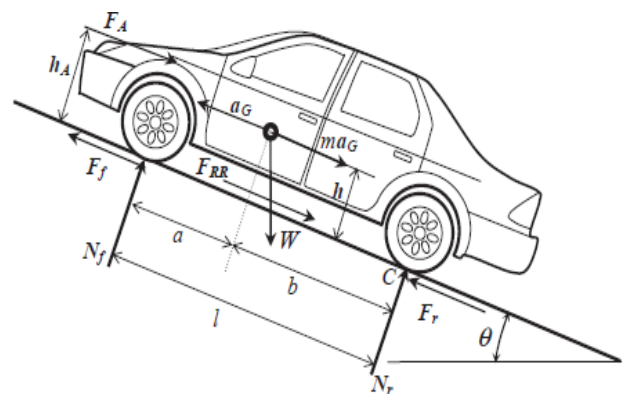
Abstrak—Mobil listrik sendiri memiliki tiga komponen utama yaitu motor listrik, transmisi, dan baterai. Transmisi merupakan salah satu komponen yang berfungsi untuk mengatur daya input dari motor dan output pada poros roda penggerak. Maka dibutuhkan transmisi dengan rentang rasio yang dapat menyesuaikan daya output dengan input pada kendaraan listrik dapat sesuai sehingga motor dapat bekerja pada efisiensi tinggi sehingga dapat menghemat daya energi dari baterai. Maka diterapkan sistem transmisi *Continuously Variable Transmission (CVT)* pada kendaraan listrik tipe perkotaan pada mobil listrik ezzy ITS II. Pada penelitian ini terdapat dua tahap yaitu tahap perhitungan dan tahap analisa. Pada tahap perhitungan dilakukan perhitungan terhadap gaya-gaya hambat yang berkerja pada kendaraan, RHP, pemilihan motor listrik dan baterai, perhitungan rasio, perhitungan nilai torsi dan rpm berdasarkan rasio. Pada tahap kedua yaitu tahap analisa, dilakukan analisa hubungan antara kecepatan pada *driving cycle WHCV*, rasio transmisi, dan daerah kerja efisiensi motor listrik. Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan motor listrik dengan daya 35 KW dengan motor yang digunakan adalah motor YASA P400 Series, baterai yang digunakan empat baterai Li-Ion kapasitas 64V 20Ah, rasio transmisi CVT yang digunakan berada pada rentang rasio 0,336-3,928 berdasarkan kecepatan pada *driving cycle WHCV*. Didapatkan pada kondisi jalan perkotaan motor listrik bekerja pada efisiensi 88%-92%, pada kondisi jalan pedesaan 88%-92%, dan pada kondisi jalan TOL 90%-92%.

Kata Kunci—Mobil Perkotaan, Sistem Transmisi, Efisiensi Motor Listrik.

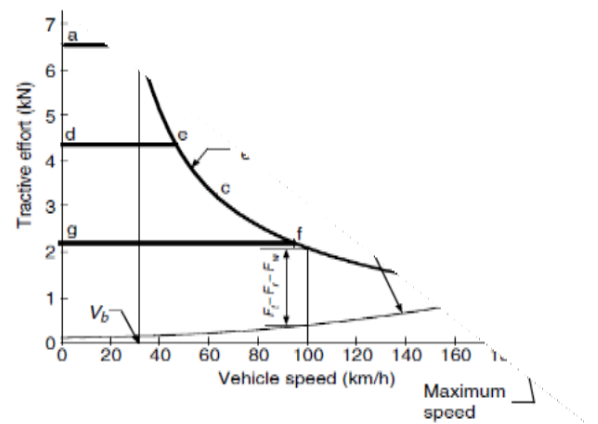
I. PENDAHULUAN

KENDARAAN dengan tipe mobil penumpang mengalami jumlah peningkatan setiap tahunnya. Hal ini bersumber pada data Badan Pusat Statistik pada tahun 2014 dengan rata-rata peningkatan jumlah kendaraan sebesar 1 juta unit kendaraan tiap tahun. Kendaraan yang didominasi dengan menggunakan mesin konvensional mulai digantikan kendaraan dengan menggunakan motor listrik terlihat pada persentasi grafik penjualan mobil listrik pada tahun 2019 dengan jumlah unit kendaraan mobil listrik sebesar 300.000 unit kendaraan listrik. Hal ini mendukung untuk melakukan pengembangan mobil listrik dengan mode hemat energi yaitu dengan pengaturan kerja motor listrik pada efisiensi tinggi dengan penggunaan system transmisi yang dapat menyesuaikan kebutuhan dengan daya output dari motor sehingga didapatkan kendaraan listrik dengan mode hemat energi.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mendapatkan nilai rasio yang dibutuhkan kendaraan berdasarkan kecepatan pada *driving cycle*, mendapatkan motor listrik yang digunakan dan baterai yang dibutuhkan kendaraan. Mendapatkan nilai kerja



Gambar 1. Gaya yang Berpengaruh pada Kendaraan.



Gambar 2. Karakteristik Traksi Motor Listrik.

efisiensi motor pada rasio yang bekerja pada nilai kecepatan yang ada pada *driving cycle*.

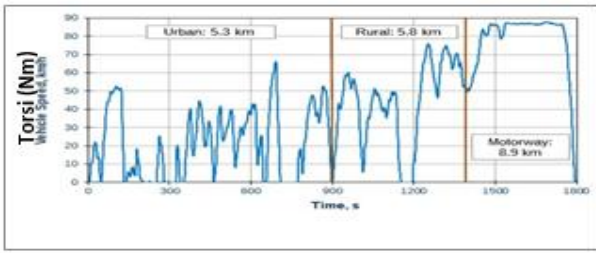
II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahap Perhitungan

Dalam pengerjaan studi ini awalnya dilakukan perhitungan terhadap gaya hambat yang terjadi pada kendaraan, sesuai Gambar 1 [1].

Gaya hambat yang diperhitungkan dalam studi ini adalah gaya hambat aerodinamis (*drag*), gaya hambat *rolling resistance*, gaya hambat tanjakan (gradien) dan gaya hambat inersia, sehingga nantinya dari keempat gaya hambat tersebut didapat gaya hambat total berdasarkan variasi sudut tanjakan. Untuk dapat menghitung nilai dari gaya hambat aerodinamis dapat dilakukan berdasarkan persamaan 1 [1].

$$F_d = 0.5 \times \rho \times A_f \times C_D \times V^2 \tag{1}$$



Gambar 3. Driving Cycle WHCV.

Dimana ρ adalah massa jenis udara, C_d adalah koefisien drag, A_f adalah luas frontal kendaraan, V adalah kecepatan relatif angin terhadap kendaraan. Sedangkan untuk gaya hambat rolling resistance dapat dihitung dengan persamaan 2 [1].

$$F_{rr} = f_R \times W \cos \alpha \tag{2}$$

$$F_R = C_R \cdot C_A \cdot C_1 \left(f_0 + f_s \left(\frac{V}{100} \right) \right) \tag{3}$$

Dimana f_r adalah koefisien hambat rolling resistance, yang dipengaruhi oleh berbagai koefisien C_K, C_A, C_J yang nilainya tergantung dari kondisi jalan dan jenis ban, f_0 dan f_s koefisien yang nilainya tergantung dari tekanan ban, dan W adalah berat dari kendaraan. Untuk gaya hambat gradien, dapat dihitung dengan persamaan 4 [1].

$$F_G = W \cdot \sin \theta \tag{4}$$

Dimana θ adalah sudut tanjakan jalan. Kemudian untuk gaya hambat inersia, dapat dihitung dengan persamaan 5 [1].

$$F_i = m \times a \tag{5}$$

Dimana m adalah massa kendaraan dan a adalah percepatan kendaraan. Selanjutnya setelah mengetahui keempat gaya hambat diatas maka dapat dihitung gaya hambat total pada kendaraan berdasarkan persamaan 6 [1].

$$F_t = F_d + F_{rr} + F_g + F_i \tag{6}$$

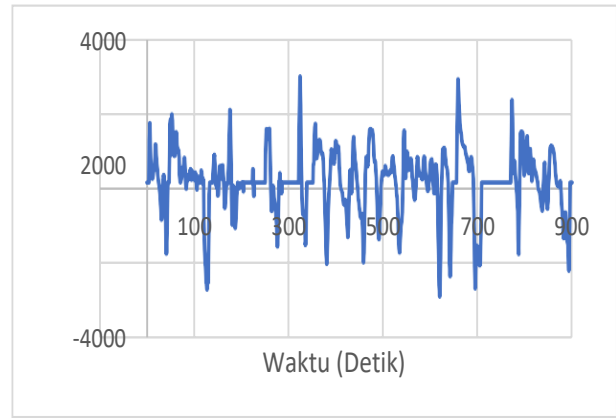
Dimana F_t adalah gaya hambat yang total kendaraan. Bisa disebut juga gaya traksi yang dibutuhkan oleh kendaraan untuk dapat melaju pada kecepatan dan sudut tanjakan tertentu. Kemudian setelah mengetahui gaya hambat dari kendaraan, akan dihitung power yang dibutuhkan oleh kendaraan berdasarkan gaya hambat kendaraan berdasarkan persamaan 7 [1].

$$RHP = F_t \times V_k \tag{7}$$

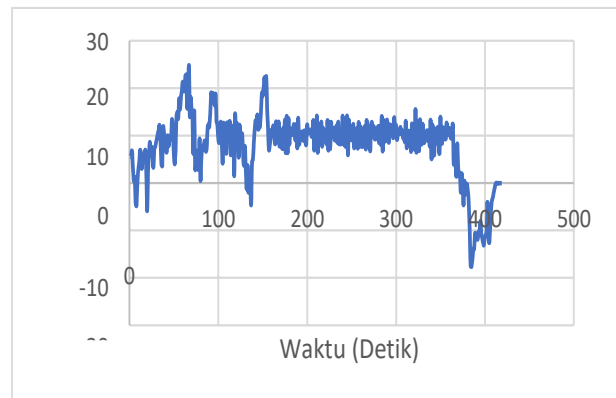
Dari rumus perhitungan gaya hambat dan power yang dibutuhkan oleh kendaraan, maka akan didapatkan hasil yaitu berupa karakteristik traksi dan karakteristik power dari kendaraan hybrid, pada setiap moda berkendara. Dalam mencari nilai dari karakteristik traksi dan karakteristik power, dibutuhkan nilai dari rasio transmisi kendaraan, dapat dicari dengan rumus pada persamaan 8 dan 9 [1].

$$n_1 = \frac{F_t \times r_w}{I_g \times T_{maks} \times Eff_m} \tag{8}$$

$$I_{t_n} = \frac{n_{base}}{n_{maks}} \times I_{t_{n-1}} \tag{9}$$



Gambar 4. Gaya Hambat Total kondisi jalan perkotaan.



Gambar 5. RHP Kondisi Jalan TOL.

Dimana F_t adalah gaya hambat, r_w adalah jari-jari roda, i_g adalah rasio gardan, T_{maks} adalah torsi motor maksimal, Eff_m adalah efisiensi motor, n_{base} adalah putaran motor base dan n_{maks} adalah putaran motor maksimal. Kemudian untuk mencari dan melihat kemampuan dari setiap tingkatan rasio transmisi, dapat dicari dengan menggunakan rumus pada persamaan 10, 11, dan 12 [1].

$$V_{maks} = \frac{n \times r_w \times N_{maks}}{30 \times I_t \times I_g} \tag{10}$$

$$F_{t_{maks}} = \frac{I_t \times I_g \times T_{maks}}{r_w} \times Eff \tag{11}$$

$$F_{t_{min}} = \frac{I_t \times I_g \times T_{min}}{r_w} \times Eff \tag{12}$$

Rumus V_{maks} untuk mencari kecepatan maksimum yang bisa dicapai oleh kendaraan pada setiap tingkatan rasio transmisi, kemudian $F_{t_{maks}}$ untuk mencari nilai gaya traksi maksimum yang bisa diberikan oleh kendaraan pada setiap tingkatan rasio transmisi dan $F_{t_{min}}$ untuk mencari nilai gaya traksi minimum atau terkecil yang bisa diberikan oleh kendaraan pada setiap tingkatan rasio transmisi. Dari perhitungan $V_{maks}, F_{t_{maks}}$ dan $F_{t_{min}}$ akan dapat terlihat grafik karakteristik traksi dari setiap tingkatan transmisi pada moda berkendara, dimana untuk kendaraan hybrid seri, dengan menggunakan motor listrik sebagai sumber penggerak utama kendaraan, maka hasil akhir grafik karakteristik traksinya adalah sama dengan kendaraan listrik seperti yang ditunjukkan Gambar 2 [1].

Dari Gambar 2, dapat terlihat bahwa gaya traksi yang dihasilkan oleh motor sudah maksimal sejak titik putaran

| | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Ebaterai jalan perkotaan (Kwh/130 Km) | Ebaterai jalan pedesaan (Kwh/130 Km) | Ebaterai jalan TOL (Kwh/130 Km) |
| 14,11 Kwh | 15,79 Kwh | 18,60 Kwh |

Gambar 6. Kebutuhan energi baterai tiap kondisi *driving cycle*.

minimum, kemudian ketika mencapai *base speed* motor, maka gaya traksi akan turun secara hiperbolik hingga mencapai putaran motor maksimum.

B. Driving Cycle WHCV

World Harmonized Vehicle Cycle (WHCV) merupakan *driving cycle* yang digunakan oleh negara-negara eropa, jepang, dan Amerika utara untuk tes uji emsi kendaraan. Total waktu *driving cycle* adalah 1800 detik. Dengan grafik kecepatan pada *driving cycle* seperti yang ditunjukkan Gambar 3.

III. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

A. Data dan Spesifikasi Kendaraan

Data dan spesifikasi kendaraan dapat dilihat pada Tabel 1 [2].

B. Perhitungan Gaya Hambat dan Power Motor

Langkah pertama dalam studi ini adalah menghitung gaya hambat yang berpengaruh pada kendaraan, dan dengan menggunakan rumus-rumus diatas, akan didapatkan grafik gaya hambat kendaraan dengan variasi tiap kecepatan pada *driving cycle* WHCV.

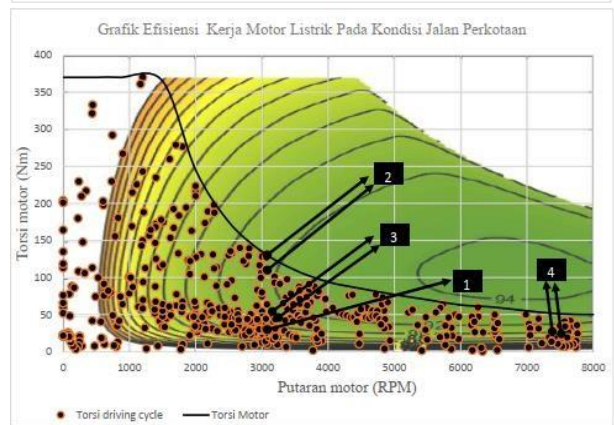
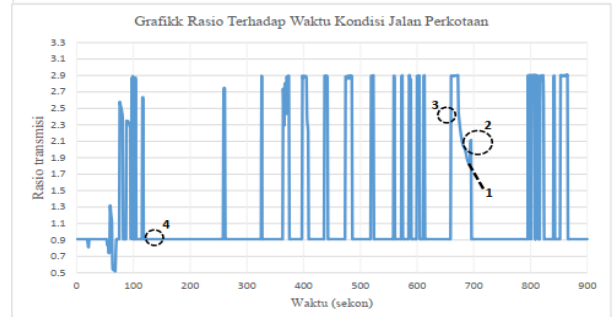
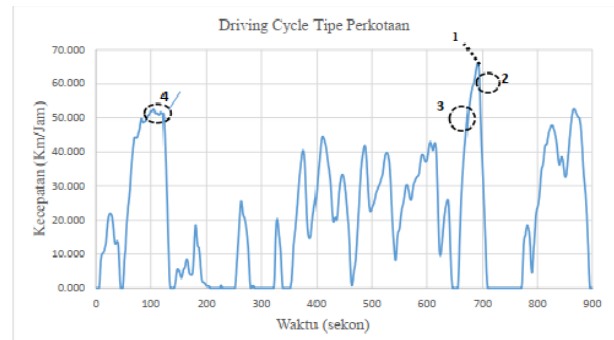
Pada perhitungan didapatkan bahwa gaya hambat total terbesar pada *driving cycle* terdapat pada kondisi jalan perkotaan yang terdapat pada Gambar 4 dengan besar gaya hambat 3014,93 N. Kemudian dari gaya hambat total dilakukan perhitungan RHP kendaraan dimana RHP kendaraan nilai terbesar pada kondisi jalan TOL hal ini dipengaruhi oleh nilai kecepatan rata-rata jalan TOL lebih tinggi dibandingkan jalan perkotaan dengan nilai RHP 24,86 Kw yang terdaoat pada Gambar 5.

Dari grafik RHP tersebut, penulis ingin merancang kendaraan sesuai kebutuhan pada *driving cycle*, mempertimbangkan nilai efisiensi pada sistem transmisi dan instrumen pendukung dairi kendaraan maka dipilih motor dengan daya 35 KW.

C. Pemilihan Motor Listrik dan Baterai Kendaraan

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, power yang dibutuhkan adalah sebesar 35 KW.Motor yang digunakan dalam studi ini adalah motor YASA P400 R Series, dengan power 35 kW, dan spesifikasi seperti pada Tabel 2.

Berdasarkan grafik torsi motor listrik YASA P400 R Series Gambar 5 dapat dilihat bahawa untuk torsi yang dihasilkan pada saat daya motor bernilai 35 KW, yaitu memiliki *base speed* di angka 850 rpm, memiliki torsi maksimum sebesar 370 NM,serta torsi minimum sebesar 50 rpm dan voltase sebesar 175 volt. Kemudian didapatkan nilia energi dari baterai yang dibutuhkan untuk setiap kondisi pada *driving cycle* yaitu



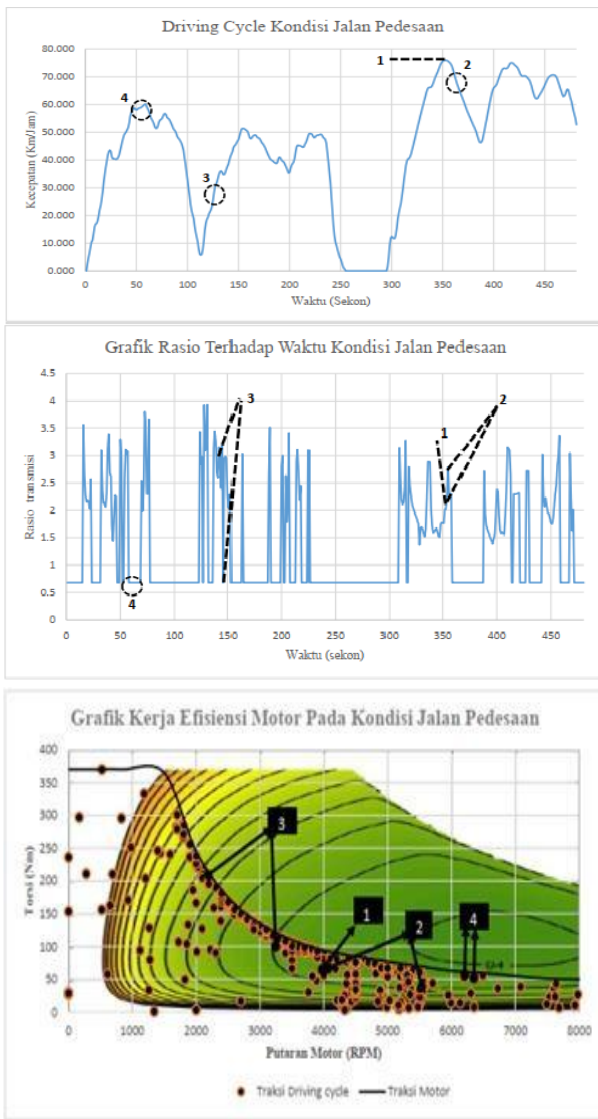
Gambar 7. Grafik *Driving Cycle* (atas), Rasio Transmisi (tengah) dan Efisiensi Kerja Motor Listrik (bawah) Pada Kondisi Jalan Perkotaan.

untuk kondisi jalan perkotaan, pedesaan, dan jalan TOL pada Gambar 6.

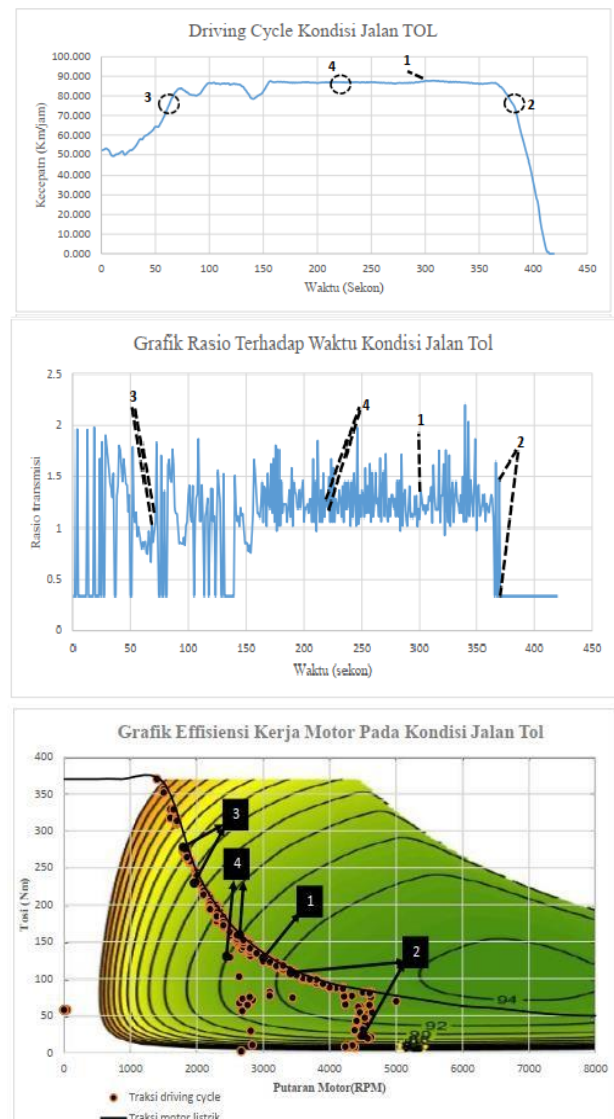
Pada Gambar 6 didapatkan nilai kebutuhan energi baterai tiap kondisi pada *driving cycle* WHCV dengan nilai energi terbesar pada jalan TOL dengan jarak tempuh maksimal kendaraan 130 Km dibutuhkan energi sebesar 18,6 Kwh, maka mempertimbangkan efisiensi dari setiap komponen penyalur daya dari motor, transmisi hingga ke poros roda penggerak digunakan baterai sebesar 20 Kwh dengan jumlah baterai sebanyak 4 pack dan spesifikasi baterai yang digunakan pada Tabel 3.

D. Analisis Rasio dan Tingkat Transmisi

Dari pemilihan motor listrik yang digunakan sebagai sumber penggerak utama dari kendaraan maka didapatkan nilai rasio CVT untuk keperluan tiap kondisi jalan pada *driving cycle* WHCV yaitu pada kondisi jalan perkotaan nilai rasio transmisi CVT yang digunakan pada rasio 0,515-2,909 dengan kecepatan maksimum kendaraan pada kondisi ini adalah 66,22 Km/jam, pada jalan pedesaan nilai rasio digunakan 0,681-3,928 dengan kecepatan maksimum kendaraan pada kondisi jalan ini adalah 75,92 Km/jam, dan pada kondisi jalan TOL nilai rasio CVT yang digunakan pada rasio 0,336-2,20 dengan kecepatan maksimum kendaraan pada kondisi ini adalah 87,8 Km/jam.



Gambar 8. Grafik *Driving Cycle* (atas), Rasio Transmisi (tengah) dan Efisiensi Kerja Motor Listrik (bawah) Pada Kondisi Jalan Pedesaan.



Gambar 9. Grafik *Driving Cycle* (atas), Rasio Transmisi (tengah) dan Efisiensi Kerja Motor Listrik (bawah) Pada Kondisi Jalan TOL.

E. Analisis Daerah Kerja Motor Listrik Kondisi Jalan Perkotaan

Dilakukan perhitungan rasio untuk penyesuaian terhadap kerja kendaraan pada kondisi jalan perkotaan dengan kondisi motor yang digunakan sebesar 35 KW dengan rentang efisiensi motor yang digunakan dominan pada daerah efisiensi tinggi. Gambar 7 merupakan grafik efisiensi motor listrik pada kondisi jalan perkotaan

Maka dilakukan perhitungan rasio untuk penyesuaian terhadap kerja kendaraan pada kondisi jalan perkotaan dengan kondisi motor yang digunakan sebesar 35 KW dengan rentang efisiensi motor yang digunakan dominan pada daerah efisiensi tinggi. Gambar 7 ini merupakan grafik efisiensi motor listrik pada kondisi jalan perkotaan.

Grafik *driving cycle* WHCV dengan kondisi jalan perkotaan dengan grafik rasio transmisi yang bekerja pada *driving cycle* kondisi jalan perkotaan dan efisiensi motor terhadap daerah kerja pada kondisi jalan perkotaan. Pada sampel atau kecepatan *driving cycle* yang terletak pada nomor 1 merupakan kecepatan tertinggi yang ada pada *driving cycle* dimana titik ini pada Gambar 7 pada grafik *driving cycle* berada pada titik 691 sekon dengan kecepatan 66,22 Km/jam pada kecepatan ini rasio transmisi yang

bekerja sebesar 1,833 dengan nilai putaran motor sebesar 3172 rpm dengan torsi motor 16,53 Nm dengan kendaraan mengalami perlambatan sebesar 0,27 m/s² dimana daerah kerja motor listrik yang bekerja pada kecepatan ini bekerja pada daerah dengan efisiensi 88%

Pada sample nomor 2 merupakan sampel kecepatan yang diambil berdasarkan perilaku deselerasi kendaraan atau perilaku penurunan kecepatan kendaraan berdasarkan kondisi jalan perkotaan pada *driving cycle* WHCV. Pada Gambar 7 pada grafik *driving cycle* dapat dilihat bahwa perilaku kendaraan melakukan perlambatan intensitasnya cukup banyak. Titik sampel nomor 2 diambil pada rentang grafik pada detik 691 sampai 708 sekon. Dimana kecepatan yang bekerja berada pada titik 694 sekon dengan kecepatan 62,22 Km/jam berdeselerasi ke titik 695 sekon dengan kecepatan 57,44 Km/jam. Dimana pada titik kecepatan 62,22 Km/jam nilai rasio yang bekerja pada kecepatan ini sebesar 1,95 dengan nilai putaran motor sebesar 3175 rpm dengan nilai torsi 117, 71 Nm dengan kendaraan mengalami perlambatan senilai 1,32 m/s² dimana titik ini bekerja pada daerah kerja efisiensi motor sebesar 90%. Pada titik 57,44 Km/jam nilai rasio transmisi yang bekerja pada titik ini sebesar 2,11 dengan nilai putaran motor sebesar 3176 rpm

Tabel 1.
Spesifikasi Mobil Listrik Ezzy ITS II

| Type | Sporty Hatchback City Car |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| Capacity | 4 (Termasuk Driver) orang |
| Chassis | Monocoque |
| Penggerak | Front Wheel with BLDC Motor |
| Power | 60 Kw |
| Maximum Speed | +180 km/jam |
| Torque | 200 N.m |
| Battery | Battery LiPoFe4; 20 Kwh |
| Energy Consumption | 6.5 km/kwh |
| Control System | BMS dan Android |
| Charging | 10 jam (Slow Charging) |
| Dimention (PxLxT) | 3500 mm x 1500 mm x 1400 mm |
| Wheelbase | 2334 mm |
| Track Width | 1183 mm |
| Ground clearance | 181 mm |
| Weight | 1500 kg |
| 4 roda tunggal | Radial (P 205/45 R17) |
| Drag coefficient Cd claimed: | |
| Drag coefficient Cd estimated by a-c: | 0,4 |
| Frontal area A claimed: | |

dengan torsi 140,67 Nm dengan kendaraan mengalami perlambatan sebesar 1,65 m/s² dimana titik kecepatan ini bekerja pada daerah efisiensi kerja motor senilai 90%. Perubahan nilai rasio transmisi pada daerah kerja ini memiliki fungsi untuk menjaga kestabilan efisiensi kerja motor dimanawalaupun kendaraan mengalami perlambatan motor listrik tetap bekerja pada daerah efisiensi 90% guna untuk menghemat energi yang digunakan oleh kendaraan walaupun mengalami perubahan kecepatan yang cukup besar.

Pada titik sampel nomor 3 merupakan titik sampel yang diambil pada *driving cycle* tipe perkotaan dengan kondisi yang dialami kendaraan kondisi akselerasi atau mengalami percepatan. Kecepatan yang dialami kendaraan berada pada titik 673 sekon pada Gambar 7 dengan kecepatan 48,95 Km/jam dengan nilai rasio transmisi yang bekerja pada titik ini sebesar 2,46 dengan nilai putaran motor sebesar 3154 rpm dengan torsi 51,35 Nm dengan kendaraan mengalami percepatan sebesar 0,49 m/s² titik ini bekerja pada daerah efisiensi motor dengan nilai efisiensi 90%. Kemudian titik kedua ini berada pada titik 674 sekon dengan nilai kecepatan kendaraan sebesar 50,73 Km/jam dengan nilai rasio transmisi yang bekerja pada daerah ini sebesar 2,38 dengan nilai putaran motor yang bekerja sebesar 3155 rpm dengan torsi 50 Nm, kendaraan mengalami percepatan sebesar 0,45 m/s² dan titik ini bekerja pada efisiensi 90%.

Pada titik sampel nomor 4 merupakan titik kecepatan dengan perilaku kendaraan mengalami perubahan kecepatan yang tidak terlalu besar dengan kata lain kecepatan kendaraan tidak mengalami perubahan yang cukup besar atau cenderung konstan. Titik sampel nomor 4 pada Gambar 7 berada pada rentang 100 sampai 113 sekon. Titik sampel ini berada pada titik 110 sekon dengan kecepatan 51,45 Km/jam dengan titik 111 sekon dengan kecepatan 51,48 Km/jam. Dimana pada kecepatan 51,45 Km/jam nilai rasio transmisi yang bekerja pada titik ini sebesar 0,909 dengan nilai putaran motor sebesar 7591,23 rpm dengan torsi 34,08 Nm dengan kendaraan mengalami percepatan 0,08 m/s² dan titik ini

Tabel 2.
Spesifikasi Motor Yasa P400 R Series

| | |
|-------------------|-----------------|
| Peak Torque | 370 Nm |
| Continuous Torque | Up to 200 Nm |
| Peak Power | 160 kW |
| Continuous Power | 20 kW to 100 kW |
| Speed | 0 – 8000 rpm |
| Peak Efficiency | 96% |
| Dry Mass | 24 kg |

Tabel 3.
Spesifikasi Baterai Li-Ion 48V 58,5 Ah

| | |
|---------------------|--------------------------|
| Jenis Baterai | Li-Ion Battery for EV |
| Capacity Net Weight | 58,5 Ah / 48 Volt 180 Kg |
| Dimensi (pxlxt) | 390 x 245 x 165 (mm) |

bekerja pada efisiensi 88%. Pada titik kerja dengan kecepatan 51, 48 Km/ jam dimana nilai rasio transmisi yang bekerja pada daerah ini sebesar 0,909 dimana cenderung sama dengan nilai transmisi pada kecepatan 51,45 Km/jam disebabkan kecepatan yang mengalami perubahan cukup kecil cenderung konstan. Titik ini bekerja pada nilai putaran motor 7595,65 rpm dengan torsi 20,74Nm dengan kendaraan mengalami perlambatan sebesar 0,05 m/s², dimana titik ini bekerja pada daerah kerja 88%.

F. Analisis Daerah Kerja Motor Listrik pada Kondisi Jalan Pedesaan

Dilakukan perhitungan rasio untuk penyesuaian terhadap kerja kendaraan pada kondisi jalan pedesaan dengan kondisi motor yang digunakan sebesar 35 KW dengan rentang efisiensi motor yang digunakan dominan pada daerah efisiensi tinggi. Gambar 8 merupakan grafik efisiensi motor listrik pada kondisi jalan pedesaan.

Maka dilakukan perhitungan rasio untuk penyesuaian terhadap kerja kendaraan pada kondisi jalan pedesaan dengan kondisi motor yang digunakan sebesar 35 KW dengan rentang efisiensi motor yang digunakan dominan pada daerah efisiensi tinggi. Gambar 8 merupakan grafik efisiensi motor listrik pada kondisi jalan pedesaan.

Pada Gambar 8 merupakan grafik *driving cycle*, rasio transmisi dan efisiensi kerja motor listrik pada kondisi jalan pedesaan. Pada sampel titik kecepatan pada *driving cycle* sampel nomor 1 berada pada titik 353 sekon dimana pada titik ini merupakan sampel kecepatan dengan kecepatan tertinggi pada *driving cycle* dimana pada titik ini kendaraan mengalami kecepatan sebesar 75,92 Km/jam dimana ini merupakan kecepatan tertinggi kendaraan pada *driving cycle* ini. Dimana pada kecepatan 75,92 Km/jam ini nilai rasio transmisi yang bekerja sebesar 2,01 dengan nilai putaran motor 4000 rpm dengan torsi 56,12 Nm. Pada titik ini kendaraan mengalami perlambatan dengan nilai perlambatan 0,013 m/s². Pada titik ini motor listrik bekerja pada efisiensi 92%, dimana dengan kecepatan tinggi motor listrik tetap menjaga kestabilan efisiensi pada efisiensi tinggi yaitu 92%.

Pada titik sampel nomor 2 merupakan titik kerja pada *driving cycle* dimana kendaraan mengalami deselerasi atau perlambatan. Pada titik sampel nomor 2 titik sampel diambil rentang antara 353 sampai 386 sekon pada Gambar 8. Dimana pada titik ini kecepatan kendaraan mulai mengalami perlambatan pada titik 353 sekon dengan kecepatan 75,92 Km/jam mengalami perlambatan sehingga kecepatan berubah

menjadi 75,68 Km/jam pada titik 355 sekon. Dimanapada titik 75,92 Km/jam nilai rasio transmisi yang bekerja sebesar 2,01 dengan nilai putaran motor sebesar 4000 rpm dengan nilai torsi 56,12 Nm. Dengan kendaraan mengalami perlambatan sebesar $0,013 \text{ m/s}^2$. Titik ini bekerja pada daerah kerja efisiensi motor dengan nilai efisiensi 92%. Pada titik 75,68 Km/jam nilai rasio transmisi yang bekerja 2,78 dengannilai putaran motor sebesar 5500 rpm dan nilai torsi motor 34,85 Nm. Dengan nilai titik kerja ini mengalami perlambatan $0,08 \text{ m/s}^2$, dengan titik ini bekerja pada daerah efisiensi 92% dengannilai efisiensi yang tetap untuk menjada konsumsi energi dari baterai maka rasio transmisi diubah menjadi lebih besar dengan meningkatkan nilai putaran motor dari motor listrik.

Pada daerah titik kerja nomor 3 merupakan titik kerja pada *driving cycle* dimana titik kerja ini merupakan titik kerja yang mengalami akselerasi kendaraan mengalami percepatan. Pada titik sampel nomor 3 ini diambil pada rentang 113 sekon sampai 153 sekon pada Gambar 8. Titik ini mengalami kecepatan pada titik 126 sekon dengan 28,28 Km/jam menjadi 30,38 Km/jam pada titik 127 sekon. Pada titik 28,28 Km/jam ini nilai rasio transmisi yang bekerja sebesar 2,97 dengan nilai putaran motor yang bekerja pada 2200 rpm dengan nilai torsi motor yang bekerja sebesar 203,29 Nm dengan kendaraan mengalami percepatan $0,58 \text{ m/s}^2$ dimana titik kerja ini bekerja pada daerah kerja motor dengan efisiensi 80%. Kemudian pada titik kecepatan 30,38 Km/jam nilai rasio transmisi yang bekerja pada daerah kerja ini sebesar 0,681 dengan nilai putaran motor 3285,69 rpm dengan torsi motor 101,75 Nm. Dimana titik ini mengalami percepatan sebesar $0,23 \text{ m/s}^2$. Dimana titik ini bekerja pada daerah kerja motor dengan nilai efisiensi 92%. Dengan menurunkan nilai rasio yang digunakan dari 2,97 menjadi 0,681 untuk kondisi kendaraan mengalami percepatan dapat meningkatkan efisiensi dari kerja motor listrik sehingga konsumsi energi dari baterai lebih hemat.

Pada sampel titik nomor 4 merupakan perilaku kendaraan dimana pada titik 4 ini kendaraan mengalami perubahan kecepatan yang tidak terlalu signifikan. Pada titik sampel nomor 4 ini berada pada rentang 47 sampai 53 sekon pada Gambar 8. Dimana pada titik nomor 4 ini diambil pada titik 52 sekon kecepatan 58,670 Km/jam yang mengalami perubahan yang tidak terlalu besar ke titik berikutnya yaitu pada titik 53 sekon dengan kecepatan 58,760 Km/jam. Dimana pada titik 52 sekon dengan kecepatan 58,670 Km/jam nilai rasio transmisi yang bekerja pada titik ini sebesar 0,681 dengan nilai putaran motor yang bekerja pada titik ini sebesar 6345,35 rpm dengan torsi motor yang bekerja 54,74 Nm. Dimana titik ini bekerja pada titik 92%. Dimana pada titik 58,670 Km/jam sendiri nilai rasio yang digunakan sama besar dengan nilai rasio titik 58,760 Km/jam nilai putaran motor 6355,08 rpm dan nilai torsi motor 52,37 Nm dimana terjadi perubahan pada putaran motor yang mengalami peningkatan sebesar 9,73 rpm dengan nilai torsi motor yang mengalami penurunan sebesar 2,37 Nm namun daerah kerja motor masih tetap bekerja pada daerah efisiensi 92%.

G. Analisis Daerah Kerja Motor Listrik pada Kondisi Jalan TOL

Dilakukan perhitungan rasio untuk penyesuaian terhadap kerja kendaraan pada kondisi jalan TOL dengan kondisi

motor yang digunakan sebesar 35 KW dengan rentang efisiensi motor yang digunakan dominan pada daerah efisiensi tinggi. Gambar 9 merupakan grafik efisiensi motor listrik pada kondisi jalan TOL.

Maka dilakukan perhitungan rasio untuk penyesuaian terhadap kerja kendaraan pada kondisi jalan TOL dengan kondisi motor yang digunakan sebesar 35 KW dengan rentang efisiensi motor yang digunakan dominan pada daerah efisiensi tinggi. Gambar 9 merupakan grafik efisiensi motor listrik pada kondisi jalan TOL.

Pada Gambar 9 merupakan grafik *driving cycle*, rasio transmisi dan daerah efisiensi kerja motor listrik. Maka diambil empat perilaku kendaraan yang ada pada *driving cycle* yaitu perilaku kendaraan pada kecepatan tertinggi pada *driving cycle*, perilaku perlambatan, percepatan dan perilaku perubahan kecepatan kendaraan tetap atau konstan. Pada titik pertama dapat dilihat perilaku kendaraan saat kecepatan tertinggi pada *driving cycle* yaitu pada titik 308 sekon dengan kecepatan 87,80 Km/jam. Pada titik ini kendaraan bekerja pada nilai rasio transmisi 1,30 dengan nilai putaran motor yang bekerja pada titik ini sebesar 3000 rpm dengan nilai torsi motor 130,14 Nm. Pada titik kecepatan ini kendaraan mengalami perlambatan sebesar $0,02 \text{ m/s}^2$, dengan nilai efisiensi kerja pada motor listrik sebesar 90%.

Pada titik sampel nomor 2 merupakan titik sampel pada saat kendaraan mengalami perlambatan atau deselerasi. Pada Gambar 9 pada grafik *driving cycle* dapat dilihat bahwa perilaku kendaraan paling banyak mengalami perlambatan pada titik 365 sekon hingga pada titik 414 sekon. Pada titik ini kecepatan yang diambil sebagai sampel adalah pada titik 368 sekon dengan kecepatan 85,5 Km/jam yang mengalami perlambatan sebesar $0,2 \text{ m/s}^2$. Dengan titik 369 dengan kecepatan 84,77 Km/jam yang mengalami perlambatan $0,03 \text{ m/s}^2$. Pada titik kecepatan 85,5 Km/jam bekerja pada nilai rasio transmisi 0,33 dengan nilai putaran motor yang bekerja pada daerah ini sebesar 4573,53 rpm dengan nilai torsi motor sebesar 19,19 Nm dimana titik ini bekerja pada nilai efisiensi motor pada 88%. Kemudian di titik 84,77 Km/jam titik ini bekerja pada nilai rasio transmisi 1,49 dengan nilai putaran motor 3300 rpm dengan nilai torsi motor yang bekerja pada titik ini 117,78 Nm, dimana pada titik ini bekerja pada daerah efisiensi 92%. Dimana disini rasio berubah jadi semakin besar dengan menurunkan nilai rpm pada titik 85,5 Km/jam dan meningkatkan nilai torsi rasio transmisi dapat meningkatkan efisiensi kerja motor, dengan meningkatkan kerja efisiensi motor maka akan lebih menghemat dari konsumsi energi dari baterai yang digunakan mobil listrik.

Pada titik sampel nomor 3 merupakan titik sampel pada saat kendaraan mengalami percepatan atau akselerasi. Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa pada grafik *driving cycle* kendaraan mengalami percepatan paling banyak pada titik 22 sampai 74 sekon. Pada titik ini perilaku kendaraan mengalami percepatan dimana titik kecepatan diambil pada titik 54 sekon saat kecepatan kendaraan 65,22 Km/jam dimana pada titik ini kendaraan mengalami percepatan $0,28 \text{ m/s}^2$ sehingga kecepatan bertambah menjadi 66,25 Km/jam pada titik 55 sekon. Pada titik 65,22 Km/jam nilai rasio transmisi yang digunakan sebesar 1,05 dengan nilai putaran motor 1800 rpm dengan nilai torsi motor 273,73 Nm. Titik kerja ini bekerja pada daerah titik kerja efisiensi 80%. Pada titik kecepatan 66,25 Km/jam nilai rasio transmisi yang digunakan sebesar

1,15 dengan nilai 2000 rpm dengan nilai torsi motor sebesar 244,1 Nm. Titik kerja ini bekerja pada daerah kerja efisiensi 84%. Dengan peningkatan nilai rasio transmisi akan meningkatkan nilai putaran motor dengan menurunkan nilai dari torsi motor akan meningkatkan nilai efisiensi kerja dari motor sehingga motor tetap terjaga kestabilan efisiensinya walau kendaraan mengalami percepatan.

Pada titik sampel nomor 4 merupakan titik sampel pada saat kendaraan mengalami perubahan kecepatan yang tidak terlalu signifikan. Pada grafik *driving cycle* pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa rentang perilaku kendaraan mengalami perubahan kecepatan yang tidak terlalu signifikan pada rentang detik 200 sampai 250 detik. Maka diambil pada detik 220 dan 221. Pada detik 220 kecepatan kendaraan sebesar 86,99 Km/jam dengan nilai rasio transmisi yang digunakan 1,27 dengan nilai putaran 2900 rpm dengan nilai torsi 136,76 Nm. Pada titik ini daerah kerja motor berada pada titik efisiensi 90%. Pada detik 250 kecepatan kendaraan sebesar 86,96 Km/jam dimana terjadi perubahan kecepatan kendaraan yang tidak terlalu signifikan dengan nilai rasio transmisi yang bekerja pada daerah ini 1,18 dengan nilai putaran motor yang bekerja pada kendaraan sebesar 2700 rpm dan nilai torsi motor sebesar 153,09 Nm. Pada kecepatan kerja ini motor bekerja pada daerah efisiensi 90%. Dengan perubahan nilai rasio transmisi yang terjadi kestabilan efisiensi motor tetap pada

daerah efisien tinggi yaitu 90%.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan dan analisis diatas, kesimpulan dari studi ini adalah sebagai berikut: (1) Motor listrik yang digunakan adalah menggunakan Motor Listrik YASA P400 R series dengan besar tenaga 35 Kw; (2) Rasio CVT untuk kendaraan dengan kebutuhan kondisi jalan perkotaan, pedesaan, dan TOL sebesar 0,336- 3,928; (3) Baterai yang digunakan adalah menggunakan baterai Li-Ion dengan voltase 48V dan kapasitas baterai sebesar 58,5 Ah. Dengan jumlah baterai yang digunakan sebanyak 4 pack; (4) Daerah kerja efisiensi motor listrik pada tiap kondisi pada *driving cycle* WHCV yaitu pada kondisi jalan perkotaan efisiensi kerja motor listrik dominan pada daerah 88%-92%, pada kondisi jalan pedesaan 88%- 92%, pada kondisi jalan TOL 90%-92%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. N. Sutantra, *Teknologi Otomotif Hybrid*, 1st ed. Surabaya: Guna Widya, 2015.
- [2] Prasetyo and W. Unggul, "Desain dan analisa sistem tenaga dan transmisi pada mobil angkutan multiguna pedesaan bertenaga listrik," *J. Jur. Tek. Mesin ITS*, vol. 6, no. 2, 2017.