

Perancangan dan Analisis Sistem *Power* dan *Drivetrain* pada Sepeda Motor Bertenaga *Hybrid* dengan Kapasitas 110 cc

Laksita Anggadewi dan I Nyoman Sutantra

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

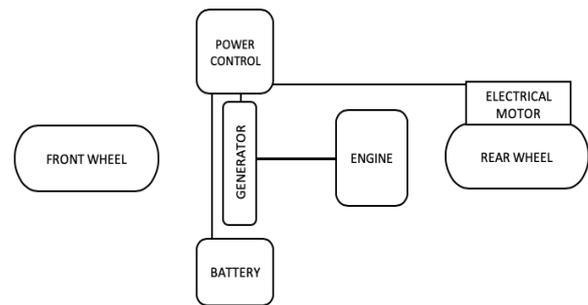
e-mail: tantra@me.its.ac.id

Abstrak—Peningkatan jumlah sepeda motor setiap tahunnya di Indonesia diiringi dengan penurunan produksi bahan bakar minyak, sehingga dibutuhkan pengembangan teknologi sarana transportasi yang seminimal mungkin menggunakan bahan bakar minyak. Salah satu teknologi tersebut adalah sistem penggerak hybrid yang diterapkan pada sepeda motor, dimana sepeda motor memiliki perpaduan mesin BBM dan motor listrik disatukan. Sepeda motor *hybrid* akan dirancang dengan menggunakan sistem hybrid seri, dengan tiga moda berkendara. Pada tugas akhir ini terdapat dua tahapan, yang pertama adalah tahap perhitungan dan yang kedua adalah tahap analisa. Dalam tahap perhitungan langkah-langkah yang dilakukan adalah melakukan perhitungan gaya hambat yang meliputi gaya hambat drag, rolling resistance dan gaya hambat gradien, lalu dilakukan perhitungan spesifikasi motor dan baterai, selanjutnya perhitungan karakteristik traksi, karakteristik daya pada setiap moda berkendara, lalu perhitungan konsumsi energi. Kemudian untuk tahap analisa akan dilakukan analisa terhadap karakteristik traksi dan karakteristik daya pada setiap moda berkendara, dan konsumsi energi. Hasil akhir dari penelitian ini adalah didapatkannya spesifikasi motor yang sesuai adalah QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor dengan peak power sebesar 6 kW dan baterai Li-Ion dengan kapasitas 60 V 15 Ah. Pada moda berkendara murni penggerak listrik gaya traksi maksimum senilai 663,424 N dan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 118,243 km/jam, kemudian pada moda berkendara *hybrid* mampu melawan gaya traksi maksimum senilai 663,424 N dan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 118,243 km/jam, dan pada moda berkendara penggerak mesin dan pengisi ACCU mampu melawan gaya traksi maksimum senilai 663,424 N dan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 94,67 km/jam. Konsumsi energi listrik sepeda motor hybrid seri sebesar 0,0203 kWh/km, sedangkan konsumsi bahan bakar pada sepeda motor hybrid seri sebesar 94,33 km/liter.

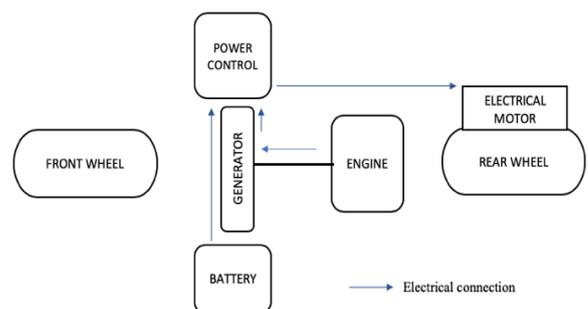
Kata Kunci—Sepeda Motor *Hybrid*, Karakteristik Traksi, Karakteristik Daya, Konsumsi Energi.

I. PENDAHULUAN

JUMLAH pengguna kendaraan bermotor di Indonesia khususnya sepeda motor semakin meningkat setiap tahunnya. Dengan jumlah pengguna sepeda motor yang tinggi maka konsumsi bahan bakar semakin banyak juga. Jika pertumbuhan penemuan sumber minyak yang baru dan pertumbuhan pemakaian minyak bumi dianggap tetap seperti kondisi sekarang, maka diprediksi jika sekitar tahun 2038 ketersediaan minyak dunia akan defisit sedangkan konsumsinya melebihi dari ketersediaannya. Maka dari itu, di beberapa negara maju sudah mulai banyak digunakan kendaraan listrik yang lebih efisien, tanpa emisi, dan berakselerasi cepat. Namun dibalik banyak kelebihan yang disuguhkan oleh kendaraan listrik, terdapat kendala dengan



Gambar 1. Rangkaian konfigurasi sepeda motor *hybrid* seri.

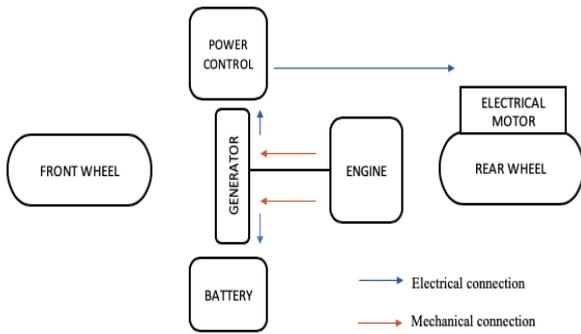


Gambar 2. Skema moda penggerak listrik sepeda motor *hybrid* seri.

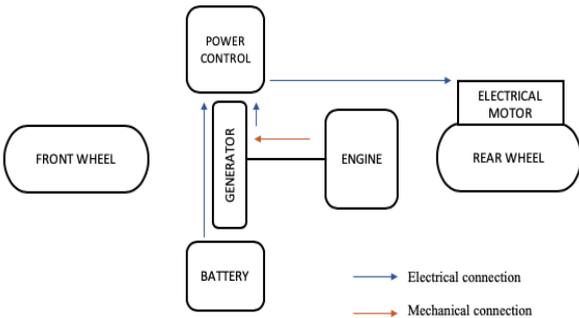
waktu pengisian baterai yang membutuhkan waktu lama dan harga baterai yang mahal. Oleh karena itu, untuk saat ini teknologi yang tepat untuk mengatasi permasalahan ini adalah sistem penggerak *hybrid*, dimana perpaduan mesin BBM dan motor listrik disatukan.

Teknologi *hybrid* saat ini sudah banyak diaplikasikan pada kendaraan bermotor roda empat, sedangkan pengaplikasian pada kendaraan bermotor roda dua atau sepeda motor belum banyak. Padahal sampai saat ini sepeda motor adalah kendaraan bermotor yang mendominasi pasar otomotif di Indonesia. Sepeda motor yang dirancang pada tugas akhir ini adalah sepeda motor berbasis tenaga *hybrid* dengan konfigurasi seri. Pada kendaraan *hybrid* seri tenaga yang berasal dari mesin digunakan untuk menggerakkan generator yang menghasilkan tenaga listrik yang kemudian akan menggerakkan motor listrik yang mempunyai fungsi sebagai penggerak sebuah kendaraan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan spesifikasi baterai dan motor listrik yang sesuai kebutuhan kendaraan, mengetahui karakteristik traksi dan *power* dari setiap moda berkendara kendaraan, dan mendapatkan konsumsi energi dari kendaraan



Gambar 3. Skema moda penggerak mesin dan mengisi ACCU sepeda motor *hybrid* seri.



Gambar 4. Skema moda penggerak listrik sepeda motor *hybrid* seri.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Konsep Rancangan

Penentuan konsep rancangan dilakukan untuk dapat menentukan konfigurasi awal dalam perancangan kendaraan. Konsep rangkaian dari kendaraan ditunjukkan pada gambar 1. Dalam penelitian ini sepeda motor *hybrid* menggunakan rangkaian seri karena sepeda motor *hybrid* ini karena dirancang untuk penggunaan dalam kota, yang mana pengemudi tidak memerlukan kecepatan tinggi, selain itu rangkaian seri pada kendaraan *hybrid* merupakan rangkaian yang sederhana. Kemudian moda operasi berkendara yang diterapkan pada penelitian sepeda motor *hybrid* ini sebagai berikut.

1) Moda Murni Penggerak Listrik

Sepeda motor *hybrid* seri dengan moda murni penggerak listrik mempunyai skema yang ditunjukkan pada gambar 2. Pada moda penggerak listrik, kendaraan mendapatkan daya penggerak hanya dari baterai untuk menggerakkan motor listrik. Moda ini akan terus beroperasi apabila daya yang tersedia pada baterai tercukupi.

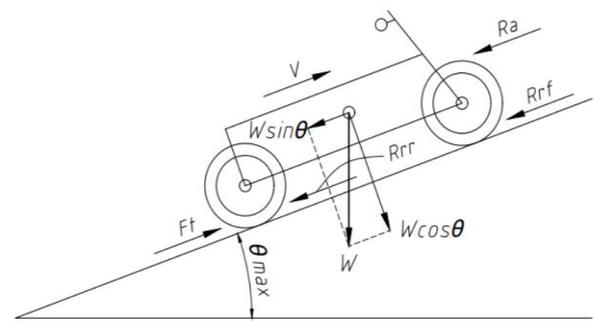
2) Moda Murni Penggerak Mesin dan Mengisi ACCU

Sepeda motor *hybrid* seri dengan dengan moda penggerak mesin dan mengisi ACCU mempunyai skema yang ditunjukkan pada gambar 3.

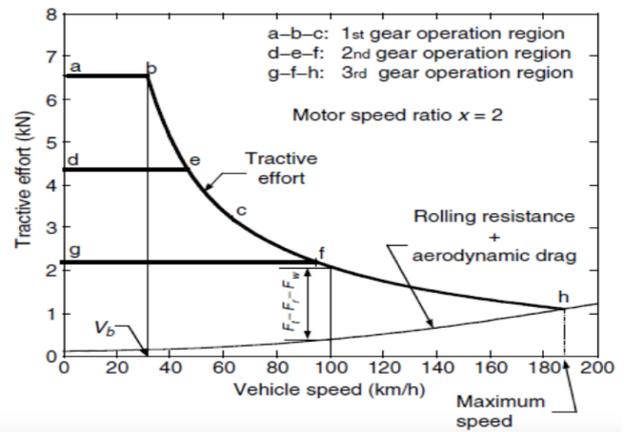
Pada moda penggerak mesin dan mengisi ACCU, kendaraan mendapatkan daya penggerak dari mesin-generator saja yang menyalurkan tenaga ke motor listrik karena daya dari baterai yang sudah tidak mampu menyuplai energi ke motor listrik. Selain menjadi daya penggerak utama pada moda ini, mesin-generator akan mengisi daya ke baterai.

3) Moda Hybrid

Sepeda motor *hybrid* seri dengan moda penggerak *hybrid* mempunyai skema yang ditunjukkan pada gambar 4. Pada



Gambar 5. Dinamika Sepeda Motor.



Gambar 6. Karakteristik traksi kendaraan *hybrid* seri.

moda penggerak *hybrid* mendapatkan daya penggerak dari mesin maupun perangkat penyimpanan energi atau disebut baterai untuk menyalurkan tenaga ke motor listrik, sehingga baterai pada sepeda motor *hybrid* seri tidak cepat terkuras.

B. Tahap Perhitungan

Analisa dimulai dengan menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada sepeda motor yang ditunjukkan pada gambar 5. Adapun gaya hambat total kendaraan yang terdiri dari gaya hambat aerodinamis (*drag*), gaya hambat *rolling resistance*, gaya hambat tanjakan (*gradien*) dan gaya hambat inersia. Untuk mengetahui nilai gaya hambat aerodinamis dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan [1]:

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

dimana ρ adalah massa jenis udara, C_d adalah koefisien *drag*, A_f adalah luas frontal kendaraan, V adalah kecepatan relatif angin terhadap kendaraan. Kemudian untuk mengetahui nilai gaya hambat *rolling resistance*, persamaan yang digunakan adalah [2]:

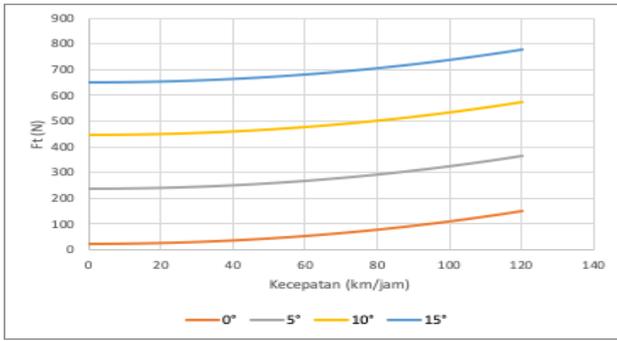
$$f_r = f_o + f_s \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^{2,5} \tag{2}$$

$$R_r = f_r \times W \cos \alpha \tag{3}$$

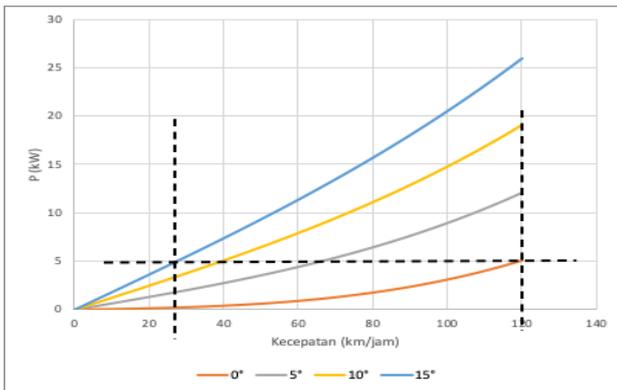
dimana f_r adalah koefisien hambat *rolling resistance*, f_o dan f_s koefisien yang nilainya tergantung dari tekanan ban, dan W adalah berat dari kendaraan. Lalu untuk mengetahui nilai gaya hambat *gradien* menggunakan persamaan [1]:

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

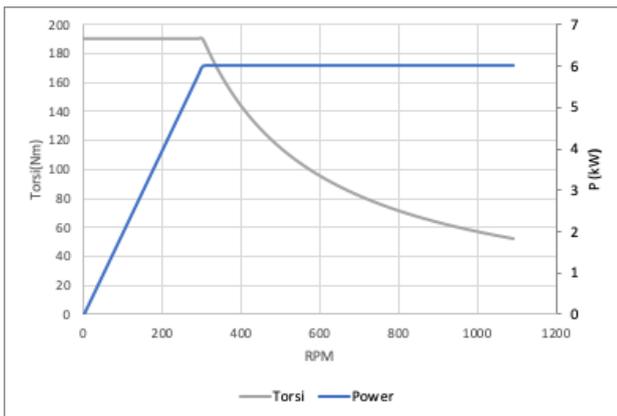
dimana θ adalah sudut tanjakan jalan. Selanjutnya untuk nilai gaya hambat inersia dapat diketahui menggunakan



Gambar 7. Grafik gaya hambat total kendaraan.



Gambar 8. Grafik kebutuhan daya kendaraan.



Gambar 9. Grafik karakteristik motor listrik.

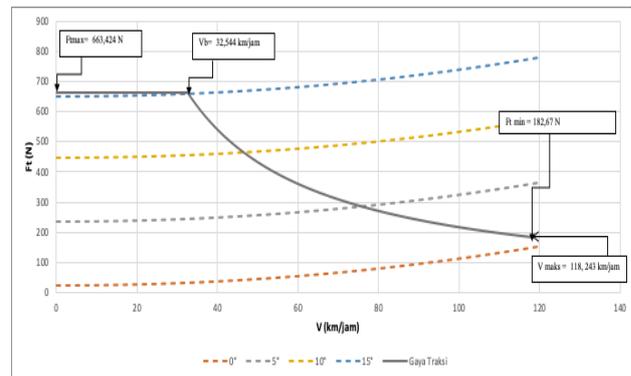
persamaan [1]:

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

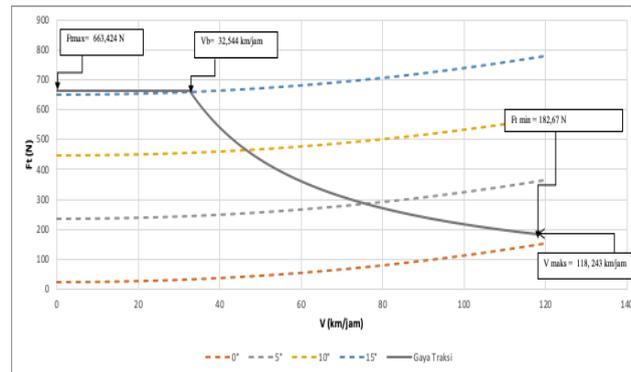
dimana m adalah massa kendaraan dan a adalah percepatan kendaraan. Setelah mengetahui nilai gaya hambat aerodinamis, gaya hambat *rolling resistance*, gaya hambat tanjakan (gradien) dan gaya hambat inersia sehingga dapat dilakukan perhitungan gaya hambat total kendaraan dengan persamaan [1]:

$$F_t = R_a + R_r + R_G + F_i \tag{6}$$

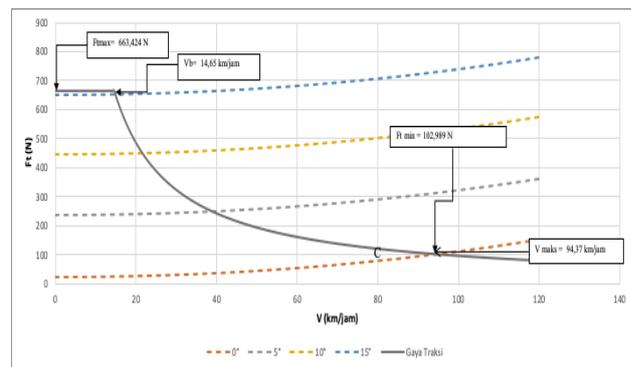
dimana F_t adalah gaya hambat yang total kendaraan. Bisa disebut juga gaya traksi yang dibutuhkan oleh kendaraan untuk dapat melaju pada kecepatan dan sudut tanjakan tertentu. Kemudian setelah mengetahui gaya hambat dari kendaraan, dapat dilakukan perhitungan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan berdasarkan gaya hambat kendaraan [1]:



Gambar 10. Grafik karakteristik traksi moda murni penggerak listrik.



Gambar 11. Grafik karakteristik traksi moda *hybrid*.



Gambar 12. Grafik karakteristik traksi moda penggerak mesin dan pengisi ACCU.

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

Setelah melakukan perhitungan gaya hambat dan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan, maka akan didapatkan hasil yaitu berupa karakteristik traksi dan karakteristik power dari kendaraan hybrid, pada setiap moda berkendara. Besarnya gaya dorong atau gaya traksi yang dapat dihasilkan pada roda penggerak dapat dirumuskan sebagai berikut [1]:

$$F_{ts} = \frac{Imt \times I_g \times T_m}{R} E_{mt} \tag{8}$$

$$V_{ks} = \frac{\pi \times R \times Nm}{30 \times Imt \times I_g} \tag{9}$$

dimana F_{ts} adalah gaya traksi kendaraan *hybrid* seri, Imt adalah rasio transmisi mekanik, T_m adalah torsi motor, I_g adalah rasio gardan, E_{mt} adalah efisiensi transmisi mekanik, V_{ks} adalah kecepatan kendaraan *hybrid* seri, dan Nm adalah putaran motor listrik. Karena kendaraan *hybrid* seri tenaga penggerakya langsung dari listrik sehingga karakteristik

Tabel 1.
Konsumsi energi sepeda motor *hybrid* seri

Kecepatan Rata-Rata (km/jam)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Konsumsi Energi Listrik (kWh/km)	Konsumsi Bahan Bakar (km/liter)
39,499	94,9	0,0305	94,33

Tabel 2.
Spesifikasi Baterai Li-Ion 60 V 15 Ah

Continuous discharge	120A
Charge current	2A-5A
Net Weight	6.1 kg
Dimensi (pxlxt)	80 x 150 x 360 (mm)

Tabel 3.
Spesifikasi QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor

Peak Torque	191 Nm
Continuous Power	20 kW to 100 kW
Speed	0 – 1090 rpm
Peak Efficiency	90%
Dry Mass	10 x 3 inc

traksi dari kendaraan ini identik dengan karakteristik traksi kendaraan listrik yang ditunjukkan gambar 6 [1].

Kemudian untuk mencari nilai konsumsi energi menggunakan suatu driving cycle dengan mengetahui energi yang dibutuhkan kendaraan dan jarak yang ditempuh kendaraan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_p = \int RHP \times dt \tag{10}$$

$$s = (v \times t) + \frac{(a \times t^2)}{2} \tag{11}$$

dimana E_p adalah energi yang dibutuhkan kendaraan, s adalah jarak yang ditempuh kendaraan, a adalah percepatan kendaraan, dan t adalah waktu tempuh kendaraan. Setelah mengetahui konsumsi energi bisa didapatkan konsumsi energi dengan menggunakan persamaan [3]:

$$F_E = \frac{E}{S} \left(Watt, \frac{hour}{mile} \right) = \frac{1}{E/S} \times 33700 \left(\frac{mile}{gallons} \right) \tag{12}$$

dimana F_E merupakan konsumsi energi (Wh/mile) atau konsumsi bahan bakar (mile/gallons), E merupakan jumlah konsumsi energi total (Wh), dan s merupakan total jarak berkendara (mile).

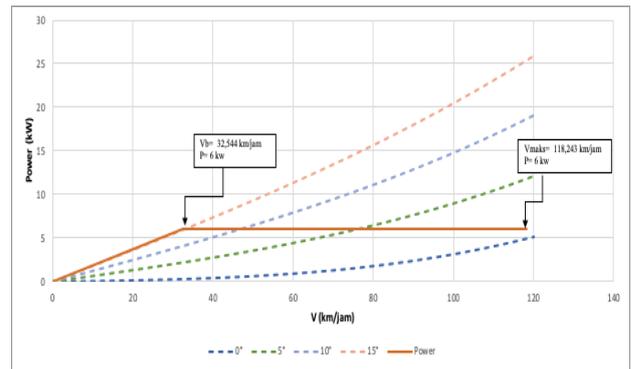
III. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Gaya Hambatan

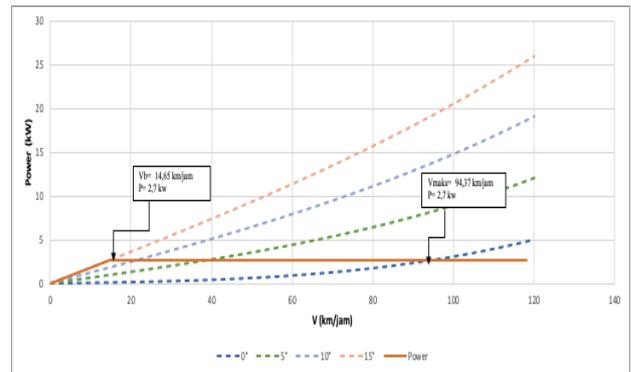
Nilai gaya hambat total kendaraan pada setiap kecepatan dengan variasi sudut 0°, 5°, 10°, 15° dapat dilihat pada grafik gambar 7. Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar sudut tanjakan yang dilewati oleh kendaraan maka gaya hambat total juga akan semakin besar. Sehingga nilai gaya hambat total terbesar terjadi pada sudut 15° dengan nilai gaya hambat total sebesar 779,113 N pada kecepatan 120 km/jam. Sedangkan untuk gaya hambat total terkecil terjadi ketika kendaraan melaju pada sudut 0° dengan nilai berkisar antara 24,279 N – 152,187 N.

B. Perhitungan Kebutuhan Daya Kendaraan

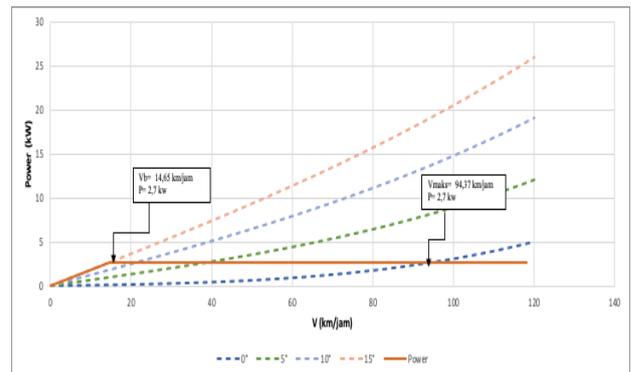
Nilai kebutuhan daya kendaraan pada setiap kecepatan dengan variasi sudut 0°, 5°, 10°, 15° dapat dilihat pada grafik gambar 7. Pada gambar 8 grafik bahwa seiring bertambahnya kecepatan kendaraan, semakin besar daya yang dibutuhkan, begitu pula pada kemiringan sudut jalan yang ditempuh



Gambar 13. Grafik karakteristik power moda murni penggerak listrik.



Gambar 14. Grafik karakteristik power moda hybrid.



Gambar 15. Grafik karakteristik traksi moda penggerak mesin dan pengisi ACCU.

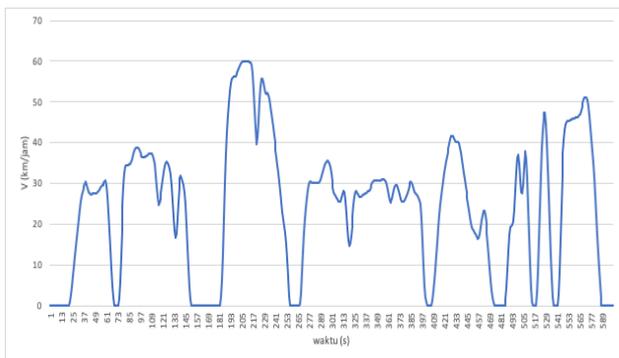
kendaraan. Pada gambar 4.5 bisa dilihat saat kendaraan melaju dengan kecepatan 120 km/jam pada sudut tanjakan 0° membutuhkan daya sebesar 5,072 kW sedangkan kecepatan pada tanjakan 15° yang membutuhkan daya seperti kecepatan maksimum di tanjakan 0° adalah 28 km/jam dengan kebutuhan daya sebesar 5,119 kW.

C. Pemilihan Motor Listrik

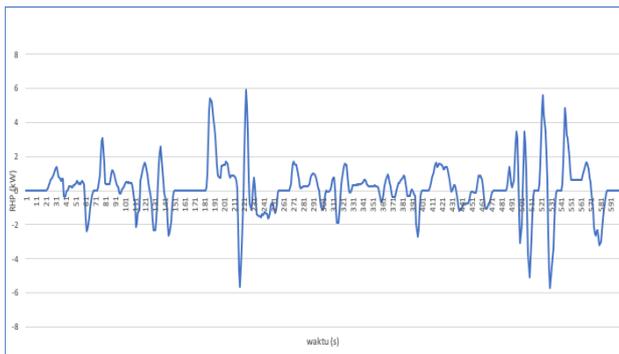
Berdasarkan kebutuhan daya kendaraan, maksimal power yang dibutuhkan adalah sebesar 6 kW. Motor yang digunakan dalam studi ini adalah QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor, dengan karakteristik motor listrik seperti pada gambar 9 dan spesifikasi pada lampiran tabel 3.

D. Pemilihan Baterai

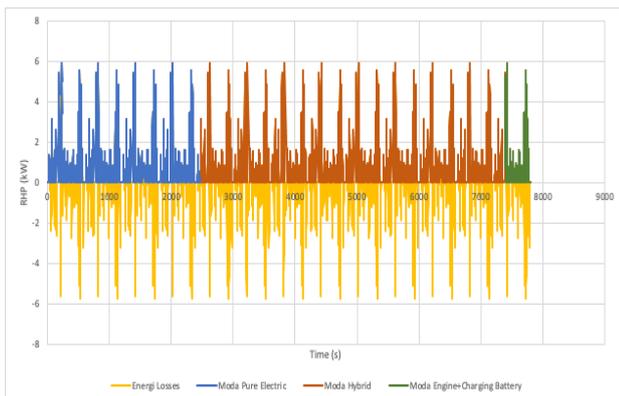
Perhitungan kapasitas baterai didasarkan atas kebutuhan kendaraan ketika moda penggerak listrik (*pure electric*) yaitu sebesar 0,857 kWh. Dengan voltase motor sebesar 60V, nilai kapasitas baterai minimal adalah sebesar 14,28 Ah. Maka jumlah baterai yang digunakan adalah 1 buah baterai Li-Ion Battery for Electric Vehicle dengan kapasitas 15 Ah. Data dan spesifikasi baterai dapat dilihat pada tabel 2 pada



Gambar 16. Grafik siklus WMTC part 1.



Gambar 17. Grafik RHP WMTC part 1.



Gambar 18. Intensitas Moda Berkendara pada *Driving Cycle* WMTC part 1.

lampiran.

E. Analisis Karakteristik Traksi Kendaraan

Untuk moda penggerak listrik (*pure electric*) grafik karakteristik traksi kendaraan ditunjukkan pada gambar 10.

Dari gambar diatas didapatkan pada moda murni penggerak listrik sepeda motor *hybrid* seri mampu untuk melawan gaya hambat dari sudut 0 derajat sampai 15 derajat. Saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 118 km/jam dengan gaya traksi sebesar 182,67 N. Kemudian pada gaya hambat 5 derajat, sepeda motor *hybrid* dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 77 km/jam dengan gaya traksi sebesar 280,44 N. Selanjutnya untuk gaya hambat 10 derajat, sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 45 km/jam dengan gaya traksi sebesar 474,08 N, dan yang terakhir pada gaya hambat 15 derajat sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 32,54 km/jam dengan gaya traksi sebesar 663,424 N. Dari spesifikasi motor listrik dan juga perhitungan karakteristik traksi yang sudah dilakukan maka

kecepatan maksimum yang bisa dicapai pada sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik adalah 118 km/jam.

Sedangkan pada moda *hybrid* grafik karakteristik traksi kendaraan ditunjukkan pada gambar 11. Dari gambar 11 didapatkan pada moda *hybrid* sepeda motor *hybrid* seri mampu untuk melawan gaya hambat dari sudut 0 derajat sampai 15 derajat. Saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 118 km/jam dengan gaya traksi sebesar 182,67 N. Kemudian pada gaya hambat 5 derajat, sepeda motor *hybrid* dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 77 km/jam dengan gaya traksi sebesar 280,44 N. Selanjutnya untuk gaya hambat 10 derajat, sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 45 km/jam dengan gaya traksi sebesar 474,08 N, dan yang terakhir pada gaya hambat 15 derajat sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 32,54 km/jam dengan gaya traksi sebesar 663,424 N. Dari spesifikasi motor listrik dan juga perhitungan karakteristik traksi yang sudah dilakukan maka kecepatan maksimum yang bisa dicapai pada sepeda motor *hybrid* seri moda *hybrid* adalah 118 km/jam . Lalu untuk moda penggerak mesin dan pengisi ACCU grafik karakteristik traksi kendaraan ditunjukkan pada gambar 12. Dari gambar 12 didapatkan pada moda penggerak mesin dan pengisi ACCU dari sepeda motor *hybrid* seri mampu untuk melawan gaya hambat dari sudut 0 derajat sampai 15 derajat. Saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 88,954 km/jam dengan gaya traksi sebesar 91,655 N. Kemudian pada gaya hambat 5 derajat, sepeda motor *hybrid* dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 32,54 km/jam dengan gaya traksi sebesar 250,551 N. Selanjutnya untuk gaya hambat 10 derajat, sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 17,35 km/jam dengan gaya traksi sebesar 469,783 N, dan yang terakhir pada gaya hambat 15 derajat sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 12,29 km/jam dengan gaya traksi sebesar 663,424 N. Dari spesifikasi motor listrik dan juga perhitungan karakteristik traksi yang sudah dilakukan maka kecepatan maksimum yang bisa dicapai pada sepeda motor moda penggerak mesin dan pengisi ACCU adalah 88,954 km/jam.

F. Analisis Karakteristik Power Kendaraan

Untuk moda penggerak listrik (*pure electric*) grafik karakteristik *power* kendaraan ditunjukkan pada gambar 13. Dari gambar 13 didapatkan karakteristik daya pada moda murni penggerak listrik yang mana sepeda motor *hybrid* seri mampu untuk melawan gaya hambat dari sudut 0 derajat sampai 15 derajat. Saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 118 km/jam dengan daya sebesar 6 kW. Kemudian pada gaya hambat 5 derajat, sepeda motor *hybrid* dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 77 km/jam dengan daya sebesar 6 kW. Selanjutnya untuk gaya hambat 10 derajat, sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 45 km/jam dengan daya sebesar 6 kW, dan yang terakhir pada gaya hambat 15 derajat sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 32,54 km/jam dengan daya sebesar 6 kW. Dari spesifikasi motor listrik dan juga perhitungan karakteristik daya yang

sudah dilakukan maka kecepatan maksimum yang bisa dicapai pada sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik adalah 118 km/jam.

Sedangkan pada moda *hybrid* grafik karakteristik *power* kendaraan ditunjukkan pada gambar 14. Dari gambar 14 didapatkan karakteristik *power* pada moda *hybrid* yang mana sepeda motor *hybrid* seri mampu untuk melawan gaya hambat dari sudut 0 derajat sampai 15 derajat. Saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 118 km/jam dengan daya sebesar 6 kW. Kemudian pada gaya hambat 5 derajat, sepeda motor *hybrid* dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 77 km/jam dengan daya sebesar 6 kW. Selanjutnya untuk gaya hambat 10 derajat, sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 45 km/jam dengan daya sebesar 6 kW, dan yang terakhir pada gaya hambat 15 derajat sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 32,54 km/jam dengan daya sebesar 6 kW. Dari spesifikasi motor listrik dan juga perhitungan karakteristik daya yang sudah dilakukan maka kecepatan maksimum yang bisa dicapai pada sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik adalah 118 km/jam. Dari analisis ini hasil karakteristik daya untuk sepeda motor *hybrid* seri moda *hybrid* sama dengan pada moda murni penggerak listrik, hanya saja berbeda pada *supply* daya, yang mana moda *hybrid* membutuhkan dua *supply* daya karena SOC baterai sudah mencapai kurang dari 60% dari total energi pada baterai.

Lalu untuk moda penggerak mesin dan pengisi ACCU grafik karakteristik traksi kendaraan ditunjukkan pada gambar 15. Dari gambar 15 didapatkan karakteristik daya pada moda murni penggerak listrik yang mana sepeda motor *hybrid* seri mampu untuk melawan gaya hambat dari sudut 0 derajat sampai 15 derajat. Saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 94,37 km/jam dengan daya sebesar 2,7 kW. Kemudian pada gaya hambat 5 derajat, sepeda motor *hybrid* dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 39,05 km/jam dengan daya sebesar 2,7 kW. Selanjutnya untuk gaya hambat 10 derajat, sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 20,61 km/jam dengan daya sebesar 2,7 kW, dan yang terakhir pada gaya hambat 15 derajat sepeda motor *hybrid* seri dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 14,65 km/jam dengan daya sebesar 2,7 kW. Dari spesifikasi motor listrik dan juga perhitungan karakteristik daya yang sudah dilakukan maka kecepatan maksimum yang bisa dicapai pada sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak mesin dan pengisi ACCU adalah 94,37 km/jam.

G. Perhitungan Konsumsi Energi

Pada perhitungan konsumsi energi ini menggunakan *driving cycle* WMTC *part 1* seperti yang ditunjukkan pada gambar 16. Kemudian dilakukan perhitungan mencari nilai daya yang dibutuhkan sepeda motor *hybrid* seri pada grafik WMTC *part 1* sehingga didapatkan grafik terhadap waktu seperti gambar 17.

Setelah mendapatkan nilai RHP, bisa melakukan perhitungan untuk mencari nilai energi yang dibutuhkan kendaraan pada suatu *driving cycle* sehingga didapatkan untuk 1 siklus WMTC *part 1* sebesar 0,08788 kWh. Pada

sepeda motor *hybrid* seri ini pergantian moda dirancang berdasarkan SOC baterai, pada sub bab sebelumnya telah diketahui spesifikasi baterai untuk perancangan ini menggunakan baterai berkapasitas 60 V 15 Ah atau sama dengan 0,9 kWh, sedangkan kebutuhan energi kendaraan dalam satu siklus WMTC sebesar 0,08788 kWh, maka untuk mengetahui konsumsi energi sepeda motor *hybrid* seri yang lebih akurat menggunakan *driving cycle* WMTC *part 1* berulang sebanyak tiga belas kali sehingga dapat memuat semua moda operasi berkendara dan grafik pada gambar 18.

Gambar 18 terdiri dari beberapa moda yang diwakili oleh warna dari garis, garis berwarna biru menunjukkan ketika kendaraan menggunakan moda murni penggerak listrik, warna jingga menunjukkan moda *hybrid*, warna hijau menunjukkan moda penggerak mesin dan pengisi ACCU dan warna kuning menunjukkan ketika kendaraan berdeselerasi sehingga menghasilkan energi *losses*. Pada moda murni penggerak listrik atau yang ditunjukkan oleh grafik berwarna biru beroperasi dari detik 0 sampai dengan detik ke 2478 mengkonsumsi energi baterai sebesar 0,359 kWh. Kemudian pada detik 2479 sampai dengan detik ke 7388 moda akan berubah menjadi moda *hybrid* karena kapasitas SOC baterai sudah kurang dari 60% atau kapasitas baterai sudah terpakai sebesar kurang lebih 0,36kWh, pada siklus ini konsumsi energi listrik dan juga bahan bakar dari moda *hybrid* sebesar 0,359 kWh. Lalu sisa waktu yaitu dari detik 7389 hingga detik 7800 akan berubah menjadi moda penggerak mesin dan pengisi ACCU karena SOC baterai sudah dalam keadaan kurang dari 20% atau kapasitas baterai sudah terpakai sebesar kurang lebih 0,72kWh, pada siklus ini konsumsi bahan bakar moda penggerak mesin dan pengisi ACCU sebesar 0,09 kWh.

Untuk jarak tempuh ketika berakselerasi pada setiap detik dalam satu *driving cycle* WMTC *part 1* ialah sebesar 2,365 km. Setelah mendapatkan kebutuhan energi dan jarak yang ditempuh, sehingga didapatkan konsumsi energi pada sepeda motor *hybrid* seri seperti pada tabel 1.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan, yaitu: (1)Sistem tenaga yang digunakan dalam penelitian ini adalah QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor sebagai penggerak utama dengan baterai Li-Ion 60 V 15 Ah sebagai sumber tenaga dari kendaraan; (2)Gaya dorong yang dihasilkan moda berkendara murni penggerak listrik dan *hybrid* memiliki karakteristik yang lebih baik dari moda penggerak mesin dan pengisi ACCU. Pada kedua moda tersebut kendaraan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 118,243 km/jam, sedangkan pada moda penggerak mesin dan pengisi ACCU kecepatan maksimumnya adalah 94,37 km/jam; (3)Pada penelitian ini konsumsi energi listrik sepeda motor *hybrid* seri sebesar 0,0305 kWh/km, lalu untuk konsumsi bahan bakar sebesar 94,33 km/liter.

LAMPIRAN

Spesifikasi Baterai Li-Ion 60 V 15 Ah dan Spesifikasi QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] dan B. S. Sutantra, I Nyoman, *Teknologi Otomotif, Edisi Kedua*. Surabaya: Guna Widya, 2010.
- [2] C. AliExpress, "Rear Rack Type 60 V 15 Ah Electric Bicycle Lithium Battery Pack." AliExpress Multi-Language Sites, USA.
- [3] C. Mi, M. A. Masrur, and D. W. Gao, *Hybrid Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives*, 1st ed. United Kingdom: A John Wiley & Sons, Ltd, 2011.