TUGAS AKHIR – TM184835

# PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM *POWER* DAN *DRIVETRAIN* SEPEDA MOTOR BERTENAGA *HYBRID* DENGAN KAPASITAS 110 CC

**LAKSITA ANGGADEWI**
**NRP 02111640000034**

**Dosen Pembimbing:**
**Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**
**Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem**
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**
**Surabaya 2020**

**TUGAS AKHIR – TM184835**

# PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM *POWER* DAN *DRIVETRAIN* PADA SEPEDA MOTOR BERTENAGA *HYBRID* DENGAN KAPASITAS 110 CC

LAKSITA ANGGADEWI
NRP 02111640000034

Dosen Pembimbing:
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

**FINAL PROJECT – TM184835**

# DESIGN AND ANALYSIS OF POWER AND DRIVETRAIN SYSTEM ON 110 CC HYBRID MOTORCYCLE

LAKSITA ANGGADEWI
NRP 02111640000034

Advising Lecturer:
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

**PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM *POWER* DAN *DRIVETRAIN* PADA SEPEDA MOTOR BERTENAGA *HYBRID* DENGAN KAPASITAS 110 CC**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Laksita Anggadewi**
NRP. 02111640000034

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M. Sc., Ph.D. ..... (Pembimbing)
   NIP. 195106051978031002
2. Dr. Eng. Yohanes, S.T., M.Sc. ..... (Penguji I)
   NIP. 198006272012121003
3. Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc. ..... (Penguji II)
   NIP. 197805102001121001
4. Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng. ..... (Penguji III)
   NIP. 197505111999031001

SURABAYA
AGUSTUS, 2020

# PERANCANGAN DAN ANALISA SISTEM *POWER* DAN *DRIVETRAIN* PADA SEPEDA MOTOR BERTENAGA *HYBRID* DENGAN KAPASITAS 110CC

**Nama Mahasiswa : Laksita Anggadewi**
**NRP : 02111640000034**
**Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS**
**Dosen Pembimbing: Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D**

## ABSTRAK

*Jumlah pengguna kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia sampai dengan tahun 2018, jumlah kendaraan bermotor di Indonesia meningkat hingga menyentuh angka 146.858.759 unit dari 137.211.818 unit pada tahun 2017 dengan jenis kendaraan bermotor yang paling banyak digunakan adalah sepeda motor dengan jumlah 120.101.047 unit. Dengan jumlah pengguna kendaraan bermotor 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. Langkah antisipasi yang harus dilakukan agar dapat mengurangi pemakaian minyak bumi adalah pengembangan teknologi sarana transportasi yang seminimal mungkin menggunakan bahan bakar minyak. Oleh karena itu, salah satu teknologi yang dapat mengatasi permasalahan ini adalah sistem penggerak hybrid yang diterpakan pada sepeda motor, dimana sepeda motor memiliki perpaduan mesin BBM dan motor listrik disatukan.*

*Pada tugas akhir ini terdapat dua tahapan, yang pertama adalahh tahap perhitungan dan yang kedua adalah tahap analisa. Dalam tahap perhitungan langkah-langkah yang dilakukan adalah*

*melakukan perhitungan gaya hambat total yang meliputi gaya hambat aerodinamis, 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.*

*Pada penelitian ini diperoleh 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 25 Ah . Pada moda berkendara murni penggerak listrik (pure electric) 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.**

**DESIGN AND ANALYSIS OF POWER AND DRIVETRAIN SYSTEM ON HYBRID MOTORCYCLE 110CC**


| | |
|---|---|
| **Student Name** | **: Laksita Anggadewi** |
| **NRP** | **: 02111640000034** |
| **Major** | **: Teknik Mesin FTIRS-ITS** |
| **Advisor** | **: Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D** |


## ABSTRACT


*The number of motor vehicle users in Indonesia is increasing every year. Based on data from Badan Pusat Statistik Indonesia on 2018, the number of motorized vehicles in Indonesia has increased to reach 146,858,759 units from 137,211,818 units in 2017 with the most widely used type of motorized vehicle is motorbikes with a total of 120,101,047 units . With the high number of motorized vehicle users, the fuel consumption will also increase. If the growth in discoveries of new oil sources and the growth in the use of petroleum are considered to remain the same as current conditions, it is predicted that around 2038 the availability of world oil will be in deficit while consumption exceeds its availability. The anticipatory step that must be taken in order to reduce the use of petroleum is the development of transportation technology that uses fuel oil as minimum as possible. Therefore, one of the technologies that can overcome this problem is the hybrid drive system applied to motorbikes, where the motorbike has a combination of a fuel engine and an electric motor combined.*

*In this final project, there are three stages, the first is regarding the concept of vehicle design, then the second is the calculation phase and the third is the analysis phase. In the calculation phase the steps taken are calculating the drag force which contains aerodynamic drag, rolling resistance and gradient drag, then calculating the motor and battery specifications, then calculating traction characteristics, power characteristics in each*

*driving mode, then calculating energy consumption . Furthermore, for the analysis stage, an analysis of the traction characteristics and power characteristics in each driving mode will be carried out.*

*In this study, the corresponding motor specifications are QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor with a peak power of 6 kW and a Li-Ion battery with a capacity of 60 V 25 Ah. In pure electric driving mode, the maximum traction force is 663,424 N and is capable of reaching a maximum speed of 118,243 km / hour, then in the hybrid driving mode it is able to fight the maximum traction force of 663,424 N and can reach a maximum speed of 118,243 km / hour. , and in driving mode the ACCU engine drive and filler are able to withstand a maximum traction force of 663,424 N and are capable of reaching a maximum speed of 88,954 km / h. The electric energy consumption of the series hybrid motorcycles is 0.0305 kWh / km, while the fuel consumption of the series hybrid motorcycles is 94,33 km / liter.*

**Keywords*:* Hybrid motorcycle, traction characteristic, power characteristic, energy consumption.**

# KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat serta karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **" Perancangan dan Analisis Sistem *Power* dan *Drivetrain* Pada Sepeda Motor Bertenaga *Hybrid* Dengan Kapasitas 110 cc"** dengan lancar dan baik.

Tujuan pembuatan laporan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat kelulusan pendidikan S1 yang harus dipenuhi oleh mahasiswa S1 Departemen Teknik Mesin–Institut Teknologi Sepuluh Nopember, sesuai dengan kurikulum yang telah ditentukan.

Dalam proses penyusunan laporan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan dalam pengambilan data dan informasi, petunjuk, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kesempatan, kesehatan, dan kekuatan dalam melakukan penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Keluarga penulis atas dukungan dan doa yang tidak habis diberikan kepada penulis.
3. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra M.Sc., Ph.D., selaku dosen wali dan pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis selama penulisan tugas akhir ini.
4. Dr. Eng. Yohanes, S.T., M.Sc., Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc., dan Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M. Eng. selaku dosen penguji yang telah membantu memperbaiki dan memberikan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Rekan-rekan satu bimbimbingan Vano, Bella, Valen, Marcel, Ayub, Chris, dan Alex yang telah membantu

dalam hal diskusi.

6. Seluruh civitas akademika Departemen Teknik Mesin ITS yang telah memberikan fasilitas dan membantu dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
7. Serta seluruh pihak yang telah membantu penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, pembaca, mahasiswa, dan masyarakat luas. Namun penulis sadar bahwa masih ada kekuarangan dan kesalahan dalam proses penyusunan dan penulisan tugas akhir ini ini. Oleh karena itu, penulis mohon maaf dan berharap adanya kritik dan saran dari semua pihak guna memperbaiki laporan ini.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... i
ABSTRACT ..... iii
KATA PENGANTAR ..... v
DAFTAR ISI ..... vii
DAFTAR GAMBAR ..... xiii
DAFTAR TABEL ..... xvii
BAB 1 PENDAHULUAN ..... 1
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 2
1.3 Tujuan ..... 3
1.4 Batasan Masalah ..... 3
1.5 Manfaat Penelitian ..... 3
BAB 2 DASAR TEORI ..... 5
2.1 Penelitian Terdahulu ..... 5
2.2 Kendraan Hybrid ..... 8
2.2.1. Hybrid Seri ..... 8
2.2.2. Hybrid Paralel ..... 12
2.2.3. Hybrid Seri-Paralel ..... 13
2.3 Komponen Sistem Penggerak ..... 14
2.3.1 Mesin Pembakaran Dalam (Internal Combustion Engine / ICE) ..... 14
2.3.2 Generator ..... 15

2.3.3 Motor Listrik .....15
2.4 Dinamika Kendaraan ..... 17
2.4.1 Gaya Hambat Angin (Drag Force) .....18
2.4.2 Gaya Hambat Rolling (Rolling Resistance) .....19
2.4.3 Gaya Hambat Tanjakan (Gradient Resistance) .....20
2.5 Analisa Kebutuhan Torsi dan Tenaga ..... 21
2.5.1. Gaya Dorong Kecepatan Tetap dengan Operasi pada Jalan Datar .....21
2.5.2. Gaya Dorong Kecepatan Tetap dengan Operasi pada Jalan Menanjak .....22
2.5.3. Gaya Dorong Kecepatan Berubah dengan Operasi pada Jalan Datar .....22
2.5.4. Gaya Dorong Kecepatan Berubah dengan Operasi pada Jalan Menanjak .....23
2.6 Kebutuhan Torsi dan Tenaga..... 23
2.7 Sistem Transmisi Kendaraan ..... 24
2.8 Karakteristik Traksi Kendaraan..... 26
2.9 Karakteristik Power Kendaraan..... 28
2.10 Pengelolaan Energi ..... 29
2.11 Konsumsi Energi ..... 29
2.12 Driving Cycle ..... 31
2.12.1 WMTC Part 1 .....32
2.11.2 WMTC Part 2 .....32
2.11.3 WMTC Part 3 .....33

BAB 3 METEDOLOGI PENELITIAN ..... 35
3.1 Metodologi Penelitian..... 35
3.2 Data dan Spesifikasi Acuan Kendaraan..... 37
3.3 Konsep Rancangan ..... 38
3.4 Analisis Moda Kendaraan..... 39
3.4.1 Moda Murni Penggerak listrik (Pure Electric Traction Mode)..... 39
3.4.3 Moda Penggerak Hybrid (Hybrid Traction Mode) 41
3.5 Flowchart Perhitungan..... 42
3.5.1 Flowchart Perhitungan Gaya Hambat pada Kendaraan..... 42
3.5.2 Flowchart Perhitungan Motor Kendaraan ..... 44
3.5.3 Flowchart Perhitungan Baterai Kendaraan ..... 46
3.5.4 Flowchart Analisa Karakteristik Traksi Kendaraan ..... 48
3.5.5 Flowchart Perhitungan Karakteristik Power Kendaraan..... 49
3.5.6 Flowchart Menghitung Konsumsi Energi Kendaraan ..... 51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 53
4.1 Gaya Hambat Kendaraan..... 53
4.1.1 Gaya Hambat Angin (Ra)..... 53
4.1.2 Gaya Hambat Rolling (Rr) ..... 55
4.1.3 Gaya Hambat Tanjakan (Rg)..... 57

4.1.4 Gaya Hambat Total (Ft) .....58
4.2 Motor Listrik..... 60
4.2.1 Perhitungan Kebutuhan Daya Motor Listrik.....60
4.2.3 Perhitungan Kebutuhan Torsi Motor Listrik.....61
4.2.4 Analisis Pemilihan Motor Listrik.....62
4.3 Baterai..... 65
4.3.1 Perhitungan Baterai.....65
4.3.2 Spesifikasi Baterai.....66
4.4 Karakteristik Traksi Kendaraan..... 67
4.4.1 Karakteristik Traksi Moda Murni Penggerak listrik (Pure Electric).....68
4.4.2 Karakteristik Traksi Moda Hybrid.....71
4.4.3 Karakteristik Traksi Moda Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU.....74
4.5 Karakteristik Daya Kendaraan..... 78
4.5.1 Karakteristik Daya Moda Murni Penggerak Listrik (Pure Electric).....79
4.5.2 Karakteristik Daya Moda Hybrid.....80
4.5.3 Karakteristik Daya Moda Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU.....83
4.6 Konsumsi Energi ..... 85
4.6.1 Driving Cycle.....85
4.6.2 Perhitungan Daya Kendaraan.....86
4.6.3 Perhitungan Konsumsi Energi.....87

4.6.4 Analisis Konsumsi Energi Kendaraan ..... 92
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN ..... 95
5.1 Kesimpulan ..... 95
5.2 Saran ..... 97
DAFTAR PUSTAKA ..... 99
Lampiran 1 ..... 102
Lampiran 2 ..... 103
Lampiran 3 ..... 106
Lampiran 4 ..... 109
Lampiran 5 ..... 112
Lampiran 6 ..... 115
BIODATA PENULIS ..... 128

**Halaman Sengaja Dikosongkan**

## DAFTAR GAMBAR

**Gambar 2.1** Sepeda Motor Hybrid dengan Rangkaian Paralel plug-in tanpa generator[9] ..... 5
**Gambar 2.2** Spesifikasi Hub Motor 48 V rear wheel 500 W[9] ... 6
**Gambar 2.3** Grafik perbandingan Harga BBM yang dikonsumsi terhadap jarak pada ..... 6
sepeda motor hybrid dan sepeda motor konvensional[9] ..... 6
**Gambar 2.4** Rangkaian hybrid paralel (configuration A) dan rangkaian hybrid seri (configuration B)[10]..... 7
**Gambar 2.5** Skema power dan drivetrain kendaraan hybrid seri[3]. ..... 9
**Gambar 2.6** Skema power dan drivetrain kendaraan hybrid sistem paralel[3]..... 12
**Gambar 2.7** Skema power dan drivetrain kendaraan hybrid sistem seri-paralel[3]..... 14
**Gambar 2.8** Karakteristik dari mesin bensin[13]. ..... 15
..... 16
**Gambar 2.9** Karakteristik motor listrik[12]. ..... 16
**Gambar 2.10** Dinamika kendaraan saat menanjak ..... 17
(2.5) ..... 18
**Gambar 2.11** Koefisien hambatan rolling (fo & fs) akibat pengaruh tekanan ban[13] ..... 20
**Gambar 2.12** Karakteristik Traksi Kendaraan Hybrid seri[12].... 27

**Gambar 2.13** Grafik Siklus WMTC part 1[14] ..... 32
**Gambar 2.14** Grafik Siklus WMTC Part 2[14] ..... 33
**Gambar 2.15** Grafik Siklus WMTC Part 3[14] ..... 34
**Gambar 3.1** Flowchart Penelitian Tugas Akhir ..... 36
**Gambar 3.2** Honda Revo 110 FI ..... 37
**Gambar 3.3** Rangkaian Hybrid Seri pada Sepeda Motor Hybrid ..... 39
**Gambar 3.4** Skema moda penggerak listrik sepeda motor hybrid seri ..... 40
**Gambar 3.5** Skema moda penggerak mesin dan mengisi ACCU sepeda motor hybrid seri ..... 40
**Gambar 3.6** Skema moda penggerak hybrid sepeda motor hybrid seri ..... 41
**Gambar 3.8** Flowchart Perhitungan Gaya Hambat ..... 44
**Gambar 3.8** Flowchart Perhitungan Motor ..... 45
**Gambar 3.9** Flowchart Perhitungan Baterai ..... 47
**Gambar 3.10** Flowchart Perhitungan Karakteristik Traksi Kendaraan ..... 49
**Gambar 3.11** Flowchart Perhitungan Karakteristik Power Kendaraan ..... 50
**Gambar 3.12** Flowchart Perhitungan Konsumsi Energi Kendaraan ..... 52
**Gambar 4.1** Grafik Gaya Hambat Angin Kendaraan ..... 54
**Gambar 4.2** Gaya Hambat Rolling Kendaraan ..... 56

**Gambar 4.3** Gaya Hambat Gradien ..... 57
**Gambar 4.4** Gaya Hambat Total Kendaraan ..... 59
**Gambar 4.5** Daya yang dibutuhkan kendaraan..... 61
**Gambar 4.6** Spesifikasi QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor. ..... 63
**Gambar 4.7** Karakteristik QS 3000W 205 50H BLDC Hub Motor. ..... 64
**Gambar 4.8** Baterai Rear Rack Type 60 V 15 Ah Electric Bicycle Lithium Battery Pack ..... 67
**Gambar 4.9** Grafik Karakteristik Traksi Moda Murni Penggerak Listrik ..... 70
**Gambar 4.10** Grafik Karakteristik Traksi Moda Hybrid ..... 73
**Gambar 4.11** Grafik Karakteristik Traksi Moda Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU. ..... 78
**Gambar 4.12** Grafik Karakteristik Daya Moda Murni Penggerak Listrik. ..... 80
**Gambar 4. 13** Grafik Karakteristik Daya Moda Hybrid..... 82
**Gambar 4. 14** Grafik Karakteristik Daya Moda Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU ..... 84
**Gambar 4.16** Grafik RHP WMTC part 1 ..... 87
**Gambar 4.17** Intensitas Moda Berkendara pada Driving Cycle WMTC ..... 90

**Halaman Sengaja Dikosongkan**

## DAFTAR TABEL

**Tabel 2.1** Koefisien drag berbagai bentuk dan jenis kendaraan[3] ..... 19
**Tabel 2.2** Nilai efisiensi transmisi berdasarkan jenis transmisi[4] ..... 25
**Tabel 2.3** Tabel Karakteristik Utama Siklus WMTC part 1[14] .. 32
**Tabel 2.4** Tabel Karakteristik Utama Siklus WMTC Part 2[14] .. 33
**Tabel 2.5** Tabel Karakteristik Utama Siklus WMTC Part 3[14] .. 34
**Tabel 3.1** Spesifikasi Honda Revo 110 FI[10] ..... 38
**Tabel 4.1** Konsumsi energi sepeda motor hybrid seri. ..... 93
**Tabel 5.1** Spesifikasi motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor..... 95
**Tabel 5.2** Konsumsi energi sepeda motor hybrid seri ..... 97

**Halaman Sengaja Dikosongkan**

# BAB 1
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Jumlah pengguna kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia sampai dengan tahun 2018, jumlah kendaraan bermotor di Indonesia meningkat hingga menyentuh angka 146.858.759 unit dari 137.211.818 unit pada tahun 2017. Sampai saat ini jenis kendaraan bermotor yang menjadi favorit penduduk Indonesia adalah sepeda motor, terbukti pada tahun 2018 sepeda motor bertahan menempati urutan pertama jenis kendaraan bermotor yang paling banyak digunakan dengan jumlah 120.101.047 unit[2].

Dengan jumlah pengguna kendaraan bermotor yang tinggi maka konsumsi bahan bakar semakin banyak juga. Dari data yang didapatkan dari *handbook of energy and economic statistic of Indonesia* 2018, pemakaian energi nomor 1 di Indonesia adalah kegiatan transportasi yaitu sebesar 42% [8]. 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. Langkah antisipasi yang harus dilakukan agar dapat mengurangi pemakaian minyak bumi adalah pengembangan teknologi sarana transportasi yang seminimal mungkin menggunakan bahan bakar minyak[12].

Selain keterbatasan ketersediaan bahan bakar minyak untuk mesin kendaraan, terdapat permasalahan-permasalahan lain yang harus bisa diatasi dalam perkembangan teknologi otomotif otomotif kedepan diantaranya adalah kualitas emisi gas buang dan kehilangan energi saat kendaraan beroperasi mencapai

80%[12]. 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 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.

Dalam tugas akhir ini penulis merancang kendaraan sepeda motor berbasis tenaga *hybrid* dengan konfigurasi seri. Penulis mengembangkan sepeda motor bertenaga *hybrid* karena 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. Dalam perancangan kendaraan ini diperlukan perhitungan yang tepat untuk mendapatkan jenis motor yang sesuai dengan daya yang dibutuhkan. Kemudian akan dilakukan pula analisa sistem manajemen daya yang sesuai dengan moda operasi kendaraan sehingga mampu menghasilkan sepeda motor yang hemat energi dan ramah lingkungan bagi masyarakat Indonesia. Lalu menganalisa transmisi yang dibutuhkan untuk memaksimalkan kinerja kendaraan berdasarkan kecepatan maksimal dari kendaraan yang dipengaruhi kondisi jalan agar mendapat karakteristik yang paling baik dari kendaraan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang terdapat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana spesifikasi baterai dan motor listrik yang sesuai berdasarkan kebutuhan daya sepeda motor *hybrid* seri?
2. Bagaimana karakteristik traksi dan karakteristik power dari transmisi dan laju kendaraan?
3. Berpakah nilai konsumsi energi dari sepeda motor *hybrid* seri?

## 1.3 Tujuan

Mengacu pada perumusan masalah di atas, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mencari spesifikasi baterai dan motor listrik yang sesuai berdasarkan kebutuhan daya sepeda motor *hybrid* seri.
2. Mengetahui karakteristik traksi dan karkteristik power dari transmisi dan laju kendaraan.
3. Mengetahui nilai konsumsi energi dari sepeda motor *hybrid* seri.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan di dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa tidak menyertakan *regenerative braking.*
2. Tidak membahas sistem kontrol manajamen daya.
3. Menggunakan *engine* 110 cc.
4. Dimensi kendaraan yang digunakan menggunakan refrensi motor konvensional yang sudah ada.
5. Sudut tanjakan maksimum 30 derajat.
6. Kecepatan maksimal sepeda motor *hybrid* seri 100 km/jam.
7. Massa yang digunakan adalah massa motor ditambah 2 penumpang, dengan massa 1 penumpang 70 kg.

## 1.5 Manfaat Penelitian

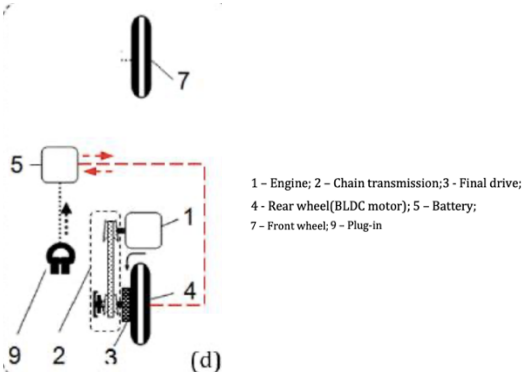
Tugas akhir ini memiliki manfaat antara lain:

1. Menawarkan inovasi terhadap sepeda motor yang sudah ada dengan memadukan kelebihan-kelebihan dari kendaraan motor listrik untuk dapat dikembangkan kedepannya sebagai kendaraan massal di Indonesia yang ramah lingkungan.
2. Mengetahui spesifikasi komponen pada sepeda motor *hybrid.*
3. Sebagai refrensi atau acuan untuk pengembangan sepeda motor *hybrid* selanjutnya.

# BAB 2
# DASAR TEORI

## 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait dengan sepeda motor *hybrid* sebelumnya telah dilakukan oleh Van-Tran Nguyen dan Pyung Hwang[9]. Penelitian ini menggunakan sepeda motor 110 cc bertransmisi manual yang nantinya akan diubah menjadi sepeda motor *hybrid* dengan ditambahkan motor listrik *Hub motor* 48 V *rear wheel* 500 W terletak pada roda belakang yang mana spesifikasinya dijelaskan pada gambar 2.1. Pada penelitian ini membahas konsumsi energi serta penghematan yang bisa dilakukan sepeda motor *hybrid* dengan rangkaian paralel *plug-in* tanpa generator. Berikut merupakan gambar dari rangkaian paralel *plug-in* tanpa generator pada sepeda motor *hybrid.*

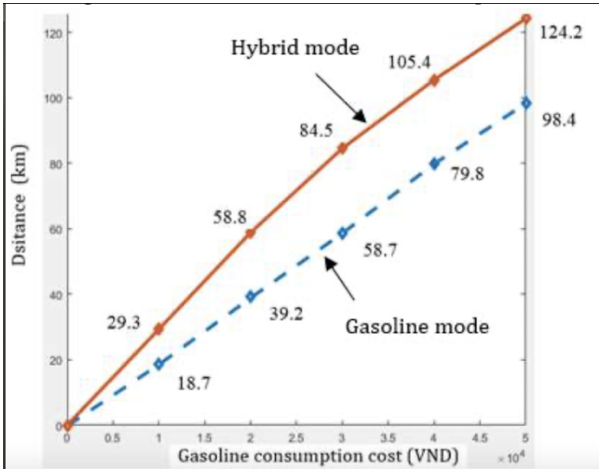



**Gambar 2.1** Sepeda Motor *Hybrid* dengan Rangkaian Paralel *plug-in* tanpa generator[9]

| *Specifications* | *Contents* |
|---|---|
| **Rated Voltage** | 24/36/48V |
| **Rated Power** | 350-500W |
| **Wheel Size** | 18-28inch |
| **Rated Speed** | 30km/h |
| **Rated Efficiency** | ≥80 |
| **Noise** | ≤50db |
| **Reduction ratio** | 1:5 |

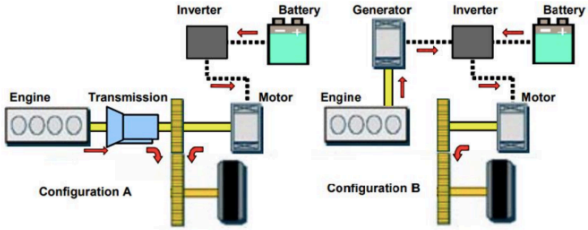
**Gambar 2.2** Spesifikasi *Hub Motor* 48 V *rear wheel* 500 W[9]

Hasil dari penelitian ini adalah dengan kondisi jalan dan jarak yang sama (47 km) sepeda motor *hybrid* melakukan penghematan bahan bakar sebanyak 0,5 USD per jarak 47 km dibandingkan dengan sepeda motor konvensional yang ditunjukkan pada gambar 2.3.




**Gambar 2.3** Grafik perbandingan Harga BBM yang dikonsumsi terhadap jarak pada
sepeda motor *hybrid* dan sepeda motor konvensional[9]

Kemudian penelitian terdahulu tentang sepeda motor hybrid dapat dijadikan acuan adalah yang dilakukan Ahmed Zia Sheikh pada tahun 2013 yang membandingkan sistem *power* antara *hybrid* paralel dan *hybrid* seri yang dirakit pada suatu sepeda elektrik dengan rangkaian seperti pada gambar 2.4. Pada rangkaian *hybrid* paralel menggunakan motor sebesar 500 W sedangkan untuk rangkaian *hybrid* seri menggunakan motor sebesar 1000 W yang diletakkan pada roda belakang. Setelah perakitan lalu dilakukan pengetesan *driving cycle* untuk mengetahui performa dan konsumsi energi dari masing-masing rangkaian[13].




**Gambar 2.4** Rangkaian *hybrid* paralel *(configuration* A*)* dan rangkaian *hybrid* seri (*configuration* B)[13].

Hasil dari tes *driving cycle* untuk *hybrid* paralel yang menggunakan motor sebesar 500 W pada moda *electric only* kecepatan maksimum yang bisa ditempuh adalah 40,4 km/jam dengan konsumsi energi 13,21 Wh/km, kemudian pada moda *engine only* kecepatan maksimum yang bisa dicapai adalah 43,3 km/jam dengan konsumsi bahan bakar 1,62 L/100 km, sedangkan pada moda *hybrid* kecepatan maksimum yang bisa ditempuh adalah 45,4 km/jam dengan konsumsi energi listrik sebesar 2,95 Wh/km dan konsumsi bahan bakar sebesar 1,35 L/100 km. Untuk rangkaian *hybrid* seri, pergantian moda akan dari CD (*charge* depleting) mode ke CS (*charge sustaining*) *mode* berdasarkan dari SOC baterai, ketika SOC masih lebih dari 60% moda yang beroperasi adalah CD *mode* sedangkan ketika SOC sudah kurang dari 60% maka CS *mode* akan beroperasi. Kecepatan maksimum

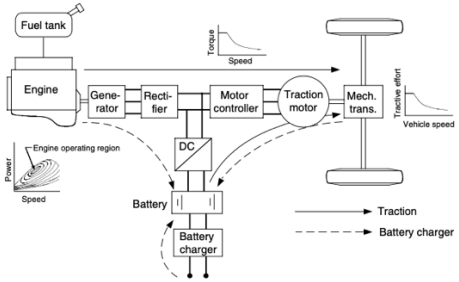
yang mampu ditempuh pada rangkaian *hybrid* seri ini dengan kapasitas motor sebesar 1000 W adalah 48,3 km/jam dengan konsumsi energi listrik sebesar 9,43 Wh/km dan konsumsi bahan bakarnya sebesar 1,52L/100km.

## 2.2 Kendraan *Hybrid*

Kendaraan *hybrid* adalah kendaraan yang menggunakan dua atau lebih sumber energi. Pada umumnya energi yang digunakan untuk kendaraan *hybrid* adalah energi listrik yang disediakan oleh baterai/accu dan energi yang berasal dari fosil. Berdasarkan skema aliran daya untuk menggerakkan kendaraan, sistem *hybrid* dibagi menjadi tiga, yaitu sistem *hybrid* parallel, seri, dan seri-paralel. Ketiga macam sistem *hybrid* ini mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing[3].

### 2.2.1. *Hybrid* Seri

Kendaraan *hybrid* dengan konfigurasi seri ini merupakan konfigurasi *hybrid* paling sederhana. Pada *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. Ketika kendaraan membutuhkan tenaga yang kecil maka sebagian tenaga listrik yang dihasilkan dari mesin dan generator dapat digunakan untuk mengisi baterai/accu. Apabila tenaga listrik yang dihasilkan oleh baterai telah mencukupi kendaraan untuk bergerak maka mesin dapat mati secara otomatis oleh sistem pengendali. Namun ketika kendaraan membutuhkan tenaga yang besar melebihi tenaga yang dapat diberikan oleh mesinatau ketika kendaraan berjalan dengan kecepatan yang tinggi maka tenaga yang dihasilkan oleh mesin bisa mendapat tenaga dari baterai yang dapat membantu memasok listrik pada motor listrik[12]. Pada gambar 2.5 merupakan konfigurasi seri dari kendaraan *hybrid* yang pada umumnya ditemui.




**Gambar 2.5** Skema *power* dan *drivetrain* kendaraan *hybrid* seri[3].

Kendaraan *hybrid* dengan konfigurasi seri mempunyai beberapa kelebihan, yaitu:

1. Fleksibillitas penempatan mesin dan generator.
2. Kontrol sistem penggerak lebih ringkas.
3. Mesin dapat diatur untuk beroperasi pada putaran optimumnya.
4. Cocok untuk moda berkendara jarak dekat.

Namun konfigurasi seri pada kendaraan *hybrid* ini juga mempunyai beberapa kekurangan, yaitu:

1. Kendaraan membutuhkan tiga komponen penggerak, yaitu mesin pembakaran dalam, generator, dan motor listrik.
2. Efisiensi total rendah saat kendaraan melaju kencang dan ketika mengemudi jarak jauh[5].

Terdapat beberapa moda operasi kendaraan yang dapat digunakan sesuai dengan kondisi operasi dan kebutuhan kendaraan *hybrid* seri, yaitu :

1. Murni penggerak listrik (*Pure Electric Traction Mode*) : Pada moda ini kendaraan mendapat asupan daya dari baterai. Daya listrik dari baterai dirubah menjadi daya gerak oleh motor listrik yang kemudian digunakan untuk menggerakan kendaraan. Pada moda ini motor pembakaran dalam dan generator tidak beroperasi. Pada kondisi ini tenaga yang

dibutuhkan kendaraan ditambah dengan kehilangannya dalam proses transmisi adalah sama dengan tenaga dari accu (Pb).

$$Pb = (fr.W+0{,}50.\ \rho.Cd.Af.Vk^2)Vk/Et \qquad (2.1)$$

dimana Pb adalah tenaga accu, kemudian Et adalah efisiensi transmisi dan motor listrik, dan Vk merupakan kecepatan kendaraan.

2. Murni penggerak mesin (*Pure Engine Traction Mode*) : Pada moda ini kendaraan mendapat asupan daya dari mesin. Daya mekanik yang dihasilkan mesin dirubah menjadi daya listrik. Daya listrik yang dihasilkan generator kemudian digunakan sepenuhnya untuk memutar motor dan menggerakan kendaraan. Pada kondisi ini tenaga yang dibutuhkan kendaraan ditambah dengan kehilangannya dalam proses transmisi adalah sama dengan tenaga dari mesin.

$$Pe = (fr.W+0{,}50.\ \rho.Cd.Af.Vk^2)Vk/Egmt \qquad (2.2)$$

dimana Pe adalah tenaga mesin dan Egmt adalah efisiensi transmisi, generator, dan motor.

3. Penggerak hibrid (*Hybrid Traction Mode*) : Pada moda ini kendaraan mendapatkan daya dari mesin dan baterai. Pada moda ini, kendaraan membutuhkan asupan daya yang cukup besar sehingga asupan daya dari salah satu sumber saja tidak cukup. Pada umumnya kondisi ini terjadi saat kendaraan dipercepat, berada pada kecepatan tinggi atau kendaraan menanjak. Tenaga yang dibutuhkan kendaraan termasuk semua kehilangan dalam proses transmisi adalah sama dengan tenaga yang diberikan dari mesin dan accu.

$$Pe+Pb = \frac{(fr.W+0{,}50.\rho.Cd.Af.Vk2+W.\sin\theta)Vk}{Egtm} \qquad (2.3)$$

dimana θ merupakan sudut tanjakan jalan

4. Penggerak mesin dan mengisi accu (*Engine Traction with Battery Charging Mode*) : Pada moda ini daya listrik yang dihasilkan generator digunakan untuk menggerkan kendaraan dan mengisi baterai. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh mesin dan generator digunakan sebagian untuk menggerakkan kendaraan dan sisanya untuk mengisi accu.

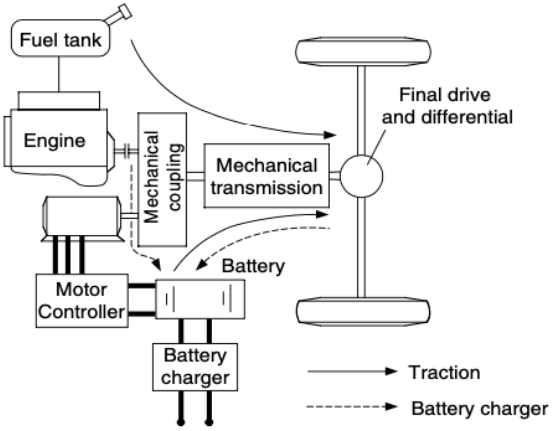
$$Pe = \frac{(fr.W+0{,}50.\rho.Cd.Af.Vk2+W.\sin\theta)Vk}{Egtm} + \frac{Psb}{Eb} \quad (2.4)$$

dimana Psb adalah energi masuk ke accu dan Eb adalah efisiensi accu

5. Unduh energi pengereman (*Regenerative Braking Mode*) : Pada moda ini motor listrik pada kendaraan akan berubah fungsi menjadi generator. Energi kinetik yang terbuang pada roda saat mengalami pengereman akan ditangkap dan dirubah menjadi energi listrik oleh motor listrik. Energi listrik tersebut kemudian akan disimpan dalam baterai. Pada moda ini mesin dan generator tidak beroperasi.
6. Pengisian accu (*Battery Charging Mode*) : Pada moda ini daya mekanik yang dihasilkan oleh mesin akan dirubah menjadi daya listrik oleh generator. Daya listrik tersebut kemudian akan sepenuhnya disimpan dalam baterai.
7. Pengisian accu secara hibrid (*Hybrid Battery Charging Mode*): Pada moda ini baterai kendaraan akan menerima daya dari mesin dan motor listrik yang dioperasikan sebagai generator[12].

### 2.2.2. *Hybrid* Paralel

Tenaga penggerak kendaraan *hybrid* dengan konfigurasi paralel dapat dilakukan oleh mesin dan motor listrik yang dihubungkan secara parallel dimana keduanya tehubung langsung ke *drivetrain.* Karena menggunakan konfigurasi parallel, ukuran mesin dan motor listrik yang dibutuhkan lebih kecil dari kendaraan *hybrid* konfigurasi seri, namun jumlah baterai yang dibutuhkan bisa meningkat. Pada kendaraan *hybrid* parallel tidak butuh generator, tetapi membutuhkan kopling mekanik untuk dapat menggabungkan energi mekanik dari mesin dan motor listrik[12]. Gambar 2.6 merupakan kendaraan *hybrid* dengan konfigurasi paralel yang pada umumnya ditemui.




**Gambar 2.6** Skema *power* dan *drivetrain* kendaraan *hybrid* sistem paralel[3]

Kendaraan *hybrid* dengan konfigurasi paralel memiliki beberapa kelebihan, yaitu:

1. Kendaraan hanya membutuhkan dua komponen penggerak, yaitu motor listrik/generator dan mesin pembakaran dalam. Pada konfigurasi parallel motor listrik dapat digunakan sebagai generator.

2. Motor dan mesin bisa menggunakan kapasitas yang lebih kecil untuk mencapai performa yang sama dengan sistem *hybrid* seri.
3. Proses transmisi daya lebih ringkas disbanding konfigurasi seri, sehingga kerugian energi dapat dikurangi.

Namun konfigurasi paralel pada kendaraan *hybrid* ini juga mempunyai beberapa kekurangan, yaitu:

1. Membutuhkan sistem kontrol yang kompleks untuk dapat menyatukan dan mengatur daya yang dihasilkan oleh kedua sumber tenaga kendaraan, motor listrik dan motor pembakaran dalam.
2. Mesin pada konstruksi ini tidak dapat diatur untuk beroperasi pada putaran optimumnya. Sehingga tingkat efisiensi bahan bakar dari konstruksi paralel lebih kecil dibanding konstruksi seri[5].

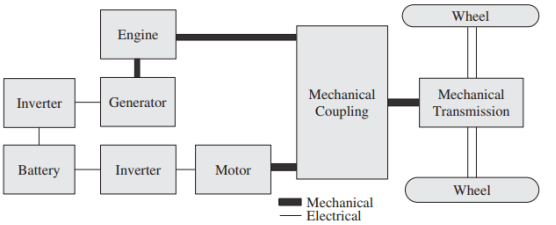
Meskipun ada perbedaan komponen dan aliran daya pada konstruksi seri dan paralel, moda operasi dari konstruksi paralel memiliki kesamaan dengan moda operasi yang ada pada konstruksi seri.

### 2.2.3. *Hybrid* Seri-Paralel

Kendaraan *hybrid* dengan konfigurasi seri-paralel merupakan gabungan dari kendaraan *hybrid* konfigurasi seri dan parallel. Pengembangan ini dimaksudkan bisa mengambil keunggulan dari masing-masing konfigurasi. Salah satu keuntungan dari konstruksi ini dapat dicapai dengan mengoptimasikan strategi operasi dari mesin. Pada umumnya, motor pembakaran dalam memiliki tingkat efisiensi yang buruk jika dioperasikan pada putaran dan daya rendah, terutama mesin yang menggunakan bahan bakar bensin. Dengan meningkatkan daya dan putaran mesin, kondisi operasi optimum dapat tercapai dan daya yang berlebih dapat digunakan mengisi baterai. Dengan penggunaan konstruksi seri/paralel, kondisi berkendara yang optimal dan efisien dapat dicapai, namun konstruksi ini

membutuhkan sistem kontrol yang jauh lebih kompleks dari kontruksi seri maupun paralel[14].

Konfigurasi seri-paralel dapat dibentuk dengan menambahkan satu motor yang berfungsi sebagai generator, seperti pada gambar 2.7.




**Gambar 2.7** Skema *power* dan *drivetrain* kendaraan *hybrid* sistem seri-paralel[3]

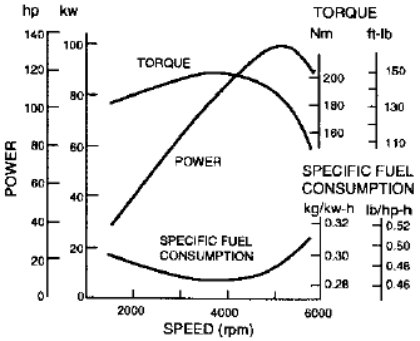
## 2.3 Komponen Sistem Penggerak

### 2.3.1 Mesin Pembakaran Dalam (Internal Combustion Engine / ICE)

Komponen pembangkit tenaga adalah kelompok komponen kendaraan yang fungsi utamanya menghasilkan dan merubah tenaga dari pembakaran bahan bakar menjadi tenaga nekanis putar sebagai sumber tenaga penggerak kendaraan dan kebutuhan lain kendaraan. Mesin atau pembangkit tenaga dengan bersumber pada tenaga pembakaran bahan bakar di dalan mesin disebut mesin pembakaran dalam (internal combustion engine / ICE)[15].

Untuk kinerja mesin pembakaran dalam didapatkan grafik karakteristik seperti pada gambar 2.8. Karakteristik mesin pembakaran dalam ditunjukan dengan torsi, tenaga atau daya, dan konsumsi bahan bakar. Daya yang dihasilkan mesin nilainya meningkat dengan meningkatnya putaran mesin dan akan menurun pada putaran tertentu. Menurunnya tenaga pada putaran tertentu diakibatkan oleh menurunnya kesempatan campuran bahan bakar untuk masuk ke dalam ruang bakar saat putaran tinggi. Disamping itu, kesempatan bahan bakar yang sudah terbakar untuk keluar dari

ruang bakar berkurang, sehingga di dalam ruang bakar masih tersisa gas buang.



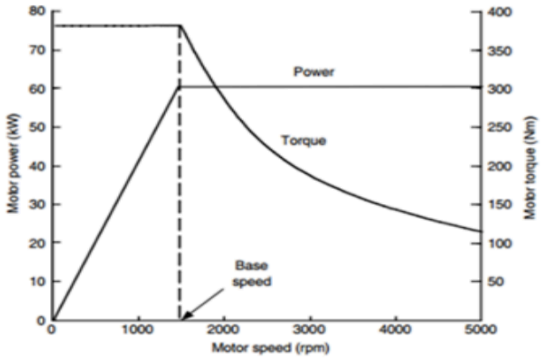

**Gambar 2.8** Karakteristik dari mesin bensin[15].

### 2.3.2 Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya[12].

### 2.3.3 Motor Listrik

Motor listrik adalah pembangkit energi kinetik sebagai sumber tenaga penggerak kendaraan *hybrid* maupun listrik dan memiliki karakteristik seperti pada gambar 2.9



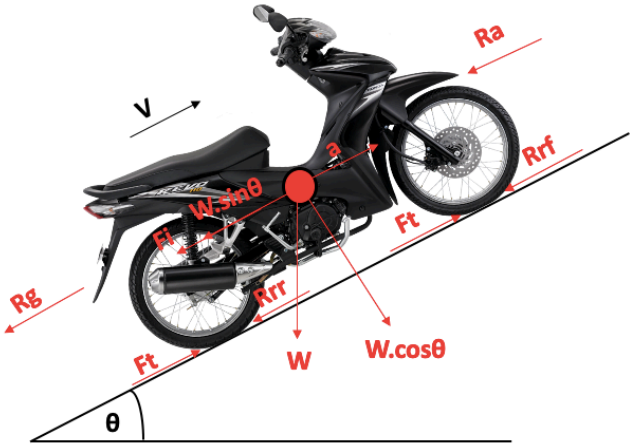

**Gambar 2.9** Karakteristik motor listrik[14].

Berdasarkan karakterisitik diatas dapat diketahui bahwa *power* atau tenaga dari motor listrik dibawah kecepatan dasar (base speed) akan terus bertambah secara linier sampai mencapai tenaga maksimum yang tepat berada saat berada pada kecepatan base. Dan dari kecepatan dasar sampai dengan kecepatan maksimum, tenaga yang dihasilkan motor listrik konstan sebesar tenaga maksimum yang dapat dihasilkan motor listrik. Sedangkan dari segi torsi yang dihasilkan oleh motor listrik berdasarkan karakteristik diatas dapat dijelaskan bahwa torsi akan tetap pada kecepatan dibawah kecepatan dasar, yaitu sebesar torsi maksimum yang dapat dihasilkan motor listrik. Lalu setelah melewati kecepatan dasar torsi dari motor listrik akan menurun secara hiperbolik, hal ini karena pada kecepatan rendah dibawah kecepatan dasar, tegangan listrik masuk ke motor meningkat dengan meningkatnya putaran yang diatur melalui converter elektronik, sedangkan flux dijaga konstan. Pada saat motor sudah mencapai kecepatan dasar, tegangan pada motor mencapai tegangan dari sumber pemasuk energi. Setelah melewati kecepatan dasar, tegangan pada motor dijaga tetap sedangkan kekuatan flux melemah secara hiperbolik dengan bertambahnya kecepatan.

Kurva karakteristik dari motor listrik seperti diatas ditentukan oleh besarnya kecepatan dasar (Vb) dan besarnya rasio kecepatan (x). Rasio kecepatan merupakan perbandingan antara kecepatan maksimum dan kecepatan dasar. Torsi yang dihasilkan oleh motor listrik pada kondisi dibawah kecepatan dasar merupakan tenaga dibagi dengan kecepatan. Jadi torsi maksimum adalah tenaga maksimum yang dihasilkan dibagi dengan kecepatan dasar. Perbandingan kecepatan maksimum yang dihasilkan motor listrik dengan kecepatan dasar disebut rasio kecepatan (x). Torsi maksimum yang dihasilkan oleh motor listrik akan lebih besar dengan rasio kecepatan yang lebih besar[14].

## 2.4 Dinamika Kendaraan

Berikut merupakan gambar yang menunjukkan gaya-gaya yang terjadi apabila sebuah kendaraan melaju pada suatu jalan yang mempunyai sudut tanjakan tertentu.




**Gambar 2.10** Dinamika kendaraan saat menanjak

Dari gambar 2.10 menunjukkan dalam melawan gaya-gaya yang terjadi dibutuhkan gaya dorong (Ft). Gaya dorong terdiri dari

2 macam yaitu gaya dorong pada roda depan (Ff) dan gaya dorong pada roda belakang (Fr). Kendaraan pada kondisi berjalan akan menerima beberapa hambatan, diantaranya adalah *drag force, rolling resistance,* serta gaya hambat kendaraan akibat sudut menanjak.

### 2.4.1 Gaya Hambat Angin (*Drag Force*)

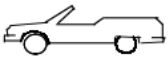
*Drag force* adalah gaya yang menghambat gaya dorong dari kendaraan karena arah gaya ini berlawanan dengan arah laju kendaraan. Gaya hambat angin (*drag* force) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut.

$$R_a = 0.5 \times \rho \times A_f \times C_D \times V^2 \qquad (2.5)$$

dimana : $\rho$ = Densitas udara
$A_f$ = Luasan frontal kendaraan
$C_D$ = Koefisien *drag*
V = Kecepatan relative udara dengan kendaraan
$R_a$ = Gaya hambat angina

*Drag force* dipengaruhi oleh koefisien *drag* kendaraan itu, dimana $C_D$ merupakan koefisien hambatan aerodinamik yang dipengaruhi oleh faktor bentuk dan kehalusan permukaan kendaraan. Koefisien *drag* ($C_D$) dari sebuah kendaraan dapat dianggap sebagai beban aero terhadap gerakan maju. Semakin besar nilai $C_D$ maka semakin besar pula hambatan aerodinamiknya[12]. Berikut ini merupakan tabel koefisien drag untuk beberapa bentuk dan jenis kendaraan:

**Tabel 2.1** Koefisien drag berbagai bentuk dan jenis kendaraan[3]

| Vehicle Type | Coefficient of Aerodymanic Resistance |
|---|---|
|  Open convertible | 0.5–0.7 |
| Van body | 0.5–0.7 |
| Ponton body | 0.4–0.55 |
| Wedge-shaped body; headlamps and bumpers are integrated into the body, covered underbody, optimized cooling air flow | 0.3–0.4 |
| Headlamp and all wheels in body, covered underbody | 0.2–0.25 |
| K-shaped (small breakway section) | 0.23 |
| Optimum streamlined design | 0.15–0.20 |
| Trucks, road trains | 0.8–1.5 |
| Buses | 0.6–0.7 |
| Streamlined buses | 0.3–0.4 |
| Motorcycles | 0.6–0.7 |

### 2.4.2 Gaya Hambat Rolling (*Rolling Resistance)*

*Rolling resistance* adalah gaya hambat yang terjadi karena adanya gesekan antara ban dan jalan akibat adanya defleksi pada roda yang berputar dimana arah gayanya berlawanan dengan arah gaya dorong dari kendaraan. Untuk mencari besarnya gaya hambat rolling yang timbul, nilai koefisien hambatan rolling (fr) harus diketahui terlebih dahulu. Nilai fr dapat dicari menggunakan persamaan hasil eksperimen J.J Taborek berikut.

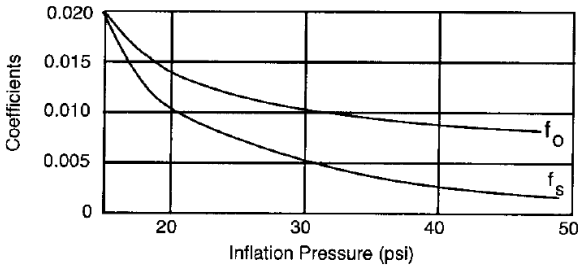
$$fr = fo + fs \,.\left(\frac{V}{100}\right)^{2,5} \qquad (2.6)$$

dimana: $fr$ = Koefisien hambat *rolling*

$fo, fs$ = Koefisien yang tergantung pada tekanan ban (didapat dari gambar 2.10)

$V$ = Kecepatan kendaraan (Km/jam)

Koefisien $f_o$ dan $f_s$ merupakan koefisien hambatan *rolling* yang dipengaruhi oleh besar tekanan ban. Nilai dari $f_o$ dan $f_s$ dapat dicari melalui gambar 2.11 sebagai berikut:




**Gambar 2.11** Koefisien hambatan rolling (fo & fs) akibat pengaruh tekanan ban[15]

Setelah mendapatkan nilai koefisien hambat rolling (fr), sehingga dengan menggunakan rumus dibawah ini maka didapat nilai dari gaya hambat *rolling*[14].

$$R_r = f_R \times W \qquad (2.7)$$

dimana: $f_R$ = koefisien *rolling*
W = gaya berat kendaraan
Rr = gaya hambat rolling

### 2.4.3 Gaya Hambat Tanjakan (*Gradient Resistance*)

Gaya hambat tanjak merupakan gaya hambat yang terjadi karena adanya sudut tanjakan pada jalan. Dengan adanya gaya hambatan tanjakan maka beban kendaraan akan bertambah akibat pengaruh gaya gravitasi bumi. Besar gaya hambat akibat sudut tanjak dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$R_G = W.\sin\theta \quad (2.8)$$

dimana: $R_G$ = Gaya hambat tanjakan (N)
W = Berat kendaraan (N)
Θ = Sudut tanjakan

Setelah mengetahui penjelasan dari masing-masing gaya hambat yang mempengaruhi kendaraan, maka dapat dirumuskan gaya hambat total yang terjadi pada kendaraan adalah sebagai berikut.

$$F_t = R_a + R_r + R_g \quad (2.9)$$

Gaya rolling resistance akan terpengaruhi oleh besarnya sudut tanjakan. Hal ini terjadi karena perbedaan gaya normal pada kendaraan yang besarnya lebih kecil dibandingkan saat berjalan mendatar. Besarnya gaya normal kendaraan sama dengan berat kendaraan dikalikan cos sudut tanjakan. Sehingga gaya hambat total kendaraan saat kondisi jalan menanjak berubah menjadi[14].

$$F_t = R_a + R_r + R_g \quad (2.10)$$

$$F_t = (0{,}5 \times \rho \times Cd \times Af \times Va^2) + (fr \times W\cos\Theta) + W\sin\Theta \quad (2.11)$$

## 2.5 Analisa Kebutuhan Torsi dan Tenaga

Torsi yang dibutuhkan kendaraan adalah torsi yang dibutuhkan oleh torsi penggerak untuk menghasilkan gaya dorong yang diperlukan untuk menggerakkan kendaraan melawan semua hambatan yang terjadi[14].

### 2.5.1. Gaya Dorong Kecepatan Tetap dengan Operasi pada Jalan Datar

Kendaraan berjalan pada jalan datar dengan kecepatan konstan membutuhkan gaya dorong ($Ft$) hanya untuk melawan

gaya hambat *rolling* ($Rr$), dan gaya hambat angin ($R$a). Besar gaya dorong yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut

$$Ft = Rr + Rd = fr.M.g + 0{,}50.\rho.Cd.Af.Va^2 \qquad (2.12)$$

### 2.5.2. Gaya Dorong Kecepatan Tetap dengan Operasi pada Jalan Menanjak

Kendaraan yang berjalan pada jalan menanjak dengan sudut tanjak θ dan dengan kecepatan tetap ($Vk$) harus memiliki gaya dorong yang dapat melawan semua gaya-gaya hambat. Ada tiga gaya hambat yang terjadi pada kendaraan saat tanjakan yaitu, gaya hambat *rolling* ($Rr$), gaya hambat angin ($Ra$), dan gaya hambat tanjakan ($Rg$). Gaya hambat *rolling* dan tanjakan tergantung pada berat (W) kendaraan, sudut tanjaka, dan koefisien dari hambatan *rolling* ($fr$). Besarnya gaya dorong yang dibutuhkan kendaraan yang saat menanjak dapat dirumuskan sebagai berikut

$$Ft = Rr + Ra + Rg = fr.W.cos\theta + 0{,}50.\rho.Af.Va^2 + W.sin\theta \quad (2.13)$$

### 2.5.3. Gaya Dorong Kecepatan Berubah dengan Operasi pada Jalan Datar

Gaya dorong yang dibutuhkan ($Ft$) oleh kendaraan yang berjalan pada jalan datar dengan percepatan tetap ($ak$) harus mampu melawan gaya hambatan *rolling* ($Rr$), gaya hambat angin ($Ra$) dan gaya inertia ($Fi$). Besarnya gaya dorong yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut

$$Ft = Rr + Ra + Fi = fr.M.g + 0{,}50.\rho.Cd.Af.Va^2 + M.ak \quad (2.14)$$

dimana M adalah massa kendaraan dan $ak$ adalah percepatan kendaraan.

### 2.5.4. Gaya Dorong Kecepatan Berubah dengan Operasi pada Jalan Menanjak

Kendaraan yang berjalan pada jalan menanjak dengan sudut tanjak θ dan dengan percepatan tetap ($ak$) harus memiliki gaya dorong yang mampu melawan gaya hambat *rolling* ($Rr$), gaya hambat angin ($Ra$), dan gaya hambat tanjakan ($Rg$) dan gaya inersia ($Fi$). Besarnya gaya dorong yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Ft = Rr + Ra + Rg + Fi \quad (2.15)$$

$$Ft = fr.W.cos\theta + 0{,}50.\rho.Cd.Af.Va^2 + Wsin\theta + M.ak \quad (2.16)$$

## 2.6 Kebutuhan Torsi dan Tenaga

Untuk menghasilkan gaya dorong pada roda, dibutuhkan torsi (Tp) yang bekerja pada poros penggerak kendaraan. Besarnya torsi poros penggerak yang dibutuhkan untuk dapat menggerakkan kendaraan tergantung pada besarnya gaya dorong yang dibutuhkan ($Ft$) dan jari-jari roda penggerak yang digunakan (R). Torsi yang dibutuhkan poros penggerak ($Tp$) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Tp = R.Ft \quad (2.17)$$

Tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan pada beban dan kecepatan tertentu dinamakan tenaga pada beban jalan atau road load horse *power* ($Rhp$). Besarnya tenaga yang dibutuhkan tergantung pada besarnya gaya dorong ($Ft$) dan kecepatan dari kendaraan ($Vk$). Tenaga yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut[14].

$$P = Ft \times V_k \quad (2.18)$$

## 2.7 Sistem Transmisi Kendaraan

Sistem transmisi adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengkonversikan torsi dan kecepatan dari mesin menjadi torsi dan kecepatan yang berbeda-beda dan selanjutnya diteruskan ke penggerak akhir. Dalam suatu kendaraan sistem transmisi adalah bagian dari sistem pemindah tenaga.

Sedangkan sistem pemindah tenaga dalam suatu kendaraan terdiri dari kopling, transmisi dan penggerak akhir. Dengan adanya sistem transmisi maka putaran mesin dengan putaran poros yang dihubungkan dengan penggerak akhir dapat dikontrol. Fungsi dari kontrol sendiri supaya tenaga yang dihasilkan oleh mesin sesuai dengan kebutuhan kendaraan. Sedangkan penggerak akhir atau final drive mempunyai fungsi untuk meneruskan tenaga yang dihasilkan mesin ke roda penggerak.

Dalam sistem transmisi menentukan besar dari rasio transmisi perlu diperhatikan beberapa hal antara lain kemampuan output gaya traksi kendaraan dan yang kedua adalah menentukan ukuran dari komponen transmisi supaya dimensi dari transmisi terlihat ideal dengan kendaraan. Maka yang pertama harus diperhitungkan adalah rasio transmisi pada tingkat gigi pertama. Hal ini karena pada tingkat pertama dibutuhkan torsi maksimum supaya kendaraan bergerak, serta dengan diperhitungkannya torsi maksimum dapat diketahui seberapa besar sudut tanjakan jalan yang dapat dicapai dengan menggunakan rasio transmisi pertama. Dibawah ini merupakan rumus untuk menentukan besar rasio transmisi pertama,

$$i_1 = \frac{Ft \times r}{T_m \times i_d \times \eta_t} = \frac{(W sin\theta_{max} + f_r \times W + Ra) r}{T_m \times i_d \times \eta_t} \qquad (2.19)$$

dimana: Ft = gaya torsi kendaraan
W = berat kendaraan
Fr = koefisien rolling ban
Tm = torsi mesin
$\eta t$ = efisiensi dari transmisi
r = jari-jari roda

$I_d$ = perbandingan gigi diferensial

Untuk nilai efisiensi dari transmisi, tabel berikut menunjukkan nilai efisiensi transmisi berdasarkan jenis transmisi yang digunakan.

**Tabel 2.2** Nilai efisiensi transmisi berdasarkan jenis transmisi[4]

| Transmission type | Efficiency |
|---|---|
| Manual | 97% |
| Automatic | 86% |
| CVT belt | 88% |
| CVT toroidal | 93% |

Pada perumusan 2.19 gaya hambat drag dapat diabaikan ketika kendaraan menanjak pada sudut tersebut, karena kecepatan kendaraan saat menanjak umumnya terjadi pada kecepatan rendah.

Setelah menentukan rasio transmisi tingkat pertama, selanjutnya menentukan besar dari rasio transmisi terakhir pada kendaraan berdasarkan kecepatan maksimum yang ditentukan. Saat ingin mencapai kecepatan maksimum yang ditentukan maka motor harus dapat mencukupi daya untuk mengatasi gaya hambat yang ada seperti rolling resistance dan gaya hambat aerodinamis yang terjadi pada kendaraan. Berdasarkan hal tersebut perumusan rasio transmisi pada tingkat gigi akhir adalah seperti dibawah ini[12].

$$i_m = \frac{Ft \times r}{T_m \times i_d \times \eta_t} = \frac{(f_r \times W + 0.5 \times \rho \times C_d \times A_f \times V_m) r}{T_m \times i_d \times \eta_t} \qquad (2.20)$$

## 2.8 Karakteristik Traksi Kendaraan

Pada kendaraan *hybrid* seri tenaga penggerak dari kendaraan sepenuhnya dan langsung dari motor listrik melalui suatu sistem transmisi mekanik. Besarnya gaya dorong atau gaya traksi yang dapat dihasilkan pada roda penggerak dapat dirumuskan sebagai berikut.

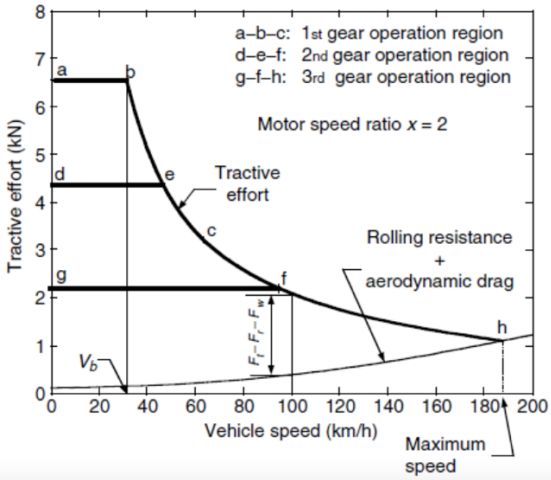
$$Fts = \frac{Imt \times Tm}{R} Emt \qquad (2.21)$$

$$Vks = \frac{\pi \times R \times Nm}{30 \times Imt \times Ig} \qquad (2.22)$$

dimana:
Fts = gaya traksi kendaraan *hybrid* seri
Imt = rasio transmisi mekanik
Vks = kecepatan kendaraan *hybrid* seri
Emt = efisiensi transmisi mekanik
Nm = putaran motor listrik

Karena kendaraan *hybrid* seri tenaga penggerakya langsung dari listrik sehingga karakteristik traksi dari kendaraan ini identik dengan karakteristik traksi kendaraan listrik.

Berikut ini merupakan gambar traksi kendaraan *hybrid* seri dengan 3 tingkat kecepatan dan dengan rasio kecepatan (x=2)[14]:




**Gambar 2.12** Karakteristik Traksi Kendaraan *Hybrid* seri[14]

Berdasarkan gambar 2.12 diketahui bahwa kendaraan menggunakan 3 tingkat transmisi. Kecepatan maksimum yang bisa dicapai pada tingkat transmisi 1 adalah 70 km/jam, kecepatan maksimum yang dapat dicapai pada tingkat transmisi ke 2 adalah sebesar 98 km/jam, dan yang terakhir pada transmisi ke 3 kendaraan dapat mencapai kecepatan 185 km/jam.

Untuk menghitung kebutuhan traksi kendaraan yang didapat dari setiap titik pada *driving cycle* adalah dengan persamaan 2.23 sebagai berikut:

$$T_p = (F_r + (m.a)).R \qquad (2.23)$$

dimana, $T_p$ merupakan traksi kendaraan setiap titik *driving cycle*, $F_r$ merupakan gaya hambat total, m sebagai massa kendaraan, a sebagai percepatan kendaraan dan R merupakan jari-jari roda penggerak.

## 2.9 Karakteristik Power Kendaraan

Karakteristik power suatu kendaraan menunjukkan seberapa besar power yang dapat diberikan sistem transmisi untuk memenuhi kebutuhan power yang dibutuhkan akibat adanya gaya hambat. Gambar 2.8 merupakan karakteristik dari mesin bensin, karakteristik power yang dihasilkan oleh mesin bensin adalah beberapa grafik daya yang diterjadi oleh masing-masing tingkat transmisi sehingga dapat memenuhi grafik yang didiberikan dari daya akibat gaya hambat kendaraan. Selanjutnya berdasarkan gambar 2.8 diatas menunjukkan karakteristik kinerja dari motor listrik, dimana untuk karakteristik power yang dihasilkan oleh kendaraan listrik adalah terdiri dari grafik power atau daya dari masing-masing tingkat transmisi yang nantinya akan diplotkan dengan grafik daya yang dibutuhkan akibat terjadinya gaya hambat. Sehingga karakteristik power yang terjadi untuk mesin bensin maupun kendaraan listrik adalah hampir sama, terkecuali setelah mencapai power maksimum dari masing-masing kendaraan maka power untuk mesin bensin akan berkurang sampai kekecepatan maksimum dan untuk kendaraan listrik adalah power yang dihasilkan cenderung konstan sampai dengan kecepatan maksimum kendaraan.

Untuk menghitung power yang didapat dari masing- masing tingkat transmisi adalah dengan rumus sebagai berikut.

$$Pt = Ft \times V \tag{2.24}$$

dimana : Pt = power yang diberikan oleh trasmisi (KW)
Ft = gaya dorong tiap transmisi (N)
V = kecepatan kendaraan (m/s).

Sedangkan untuk menentukan besarnya power yang dibutuhkan oleh adanya gaya hambat dapat dilihat berdasarkan rumus

$$Pr = Fr \times V \tag{2.25}$$

dimana: Pr = power yang dibutuhkan oleh gaya hambat (KW)

Fr =gaya hambat (N)

Untuk menghitung kebutuhan *power* kendaraan yang didapat dari setiap titik pada *driving cycle* adalah dengan persamaan 2.24 sebagai berikut:

$$R_{hp} = (F_r + (m.a)).V \quad (2.26)$$

dimana, $R_{hp}$ merupakan power kendaraan setiap titik *driving cycle*, $F_r$ merupakan gaya hambat total, m sebagai massa kendaraan, a sebagai percepatan kendaraan dan V merupakan kecepatan kendaraan.

## 2.10 Pengelolaan Energi

Dengan menerapkan pengelolaan energi yang baik pada suatu kendaraan hibrid, terdapat beberapa keuntungan yang diperoleh, yaitu :

1. Meminimalkan penggunaan bahan bakar dan tingkat emisi tanpa mengganggu performa kendaraan. Pengelola energi memiliki tujuan untuk mencapai performa kendaraan tertentu dengan menggunakan sumber daya tenaga penggerak seminimal mungkin dan mengoperasikannya secara optimal.
2. Meningkatkan umur komponen kendaraan. Penerapan pengelolaan energi yang baik dapat menjaga komponen-komponen penggerak pada kendaraan beroperasi pada kondisi optimal. Dengan pengoperasian komponen pada kondisi optimal, komponen dapat bertahan lebih lama.

## 2.11 Konsumsi Energi

Untuk kendaraan *hybrid*, ekonomi bahan bakar dapat dikonversikan dan dirumuskan sebagai berikut[6].

$$F_E = \frac{E}{S}\left(Watt, \frac{hour}{mile}\right) = \frac{1}{E/S} \times 33700\left(\frac{mile}{gallons}\right) \quad (2.27)$$

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

Konsumsi energi suatu kendaraan (Wh/km) dapat dihitung dengan suatu siklus, contohnya siklus WLTC, WLTP, dan sebagainya. Konsumsi energi dihitung berdasarkan beban jalan. Untuk kendaraan menanjak dengan percepatan berubah beraturan, dengan diketahuinya massa total kendaraan ($m$) dan percepatan kendaraan ($a$). Total beban poros ($F_{tot}$) adalah penjumlahan dari gaya inersia ($F_i$), gaya hambat gradien ($R_g$), gaya hambat *rolling* ($R_r$), dan gaya hambat *drag* ($R_a$)dimana:

$$F_{tot} = F_r + F_i = \left(R_a + R_r + R_g\right) + (m \times a) \tag{2.28}$$

Setelah mendapatkan beban poros total, dilakukan perhitungan terhadap *power* yang dibutuhkan beban jalan menggunakan rumus:

$$RHP_p = F_{tot} \times v_k \tag{2.29}$$

dimana $RHP_p$ merupakan *power* yang dibutuhkan poros (kW) dan $v_k$ adalah kecepatan kendaraan (m/s).

Konsumsi energi suatu kendaraan (Wh/km) dapat dihitung dengan suatu *driving cycle.* Secara umum, energi yang dibutuhkan poros akibat pembebanan jalan merupakan fungsi integral dari energi poros (Ep) dan dapat ditulis sebagai berikut.

$$E_p = \int RHP \times \mathrm{dt} \tag{2.30}$$

Sehingga energi yang dibutuhkan oleh kendaraan total dari persamaan berikut ini.

$$E_b = \frac{E_m}{E_{fpc} \times E_{fb}} = \frac{E_p}{E_{ft} \times E_{fm}} \times \frac{1}{E_{fpc} \times E_{fb}} \tag{2.31}$$

$$E_e = \frac{E_m}{E_{fpc} \times E_{fg} \times E_{fe}} = \frac{E_p}{E_{ft} \times E_{fm}} \times \frac{1}{E_{fpc} \times E_{fg} \times E_{fe}} \quad (2.32)$$

dimana $E_b$ merupakan energi baterai (kWh), $E_m$ merupakan energi motor yang dibutuhkan (kW), $E_e$ merupakan energi mesin yang dibutuhkan (kWh), $E_{fpc}$ merupakan efisiensi *power control*, $E_{fb}$ merupakan efisiensi baterai, $E_{ft}$ merupakan efisiensi transmisi, $E_{fm}$ merupakan efisiensi motor listrik, $E_{fg}$ merupakan efisiensi generator, dan $E_{fe}$ merupakan efisiensi mesin.

Sedangkan untuk jarak tempuh yang dilalui kendaraan dengan percepatan konstan, digunakan rumus:

$$s = (v \times t) + \frac{(a \times t^2)}{2} \quad (2.33)$$

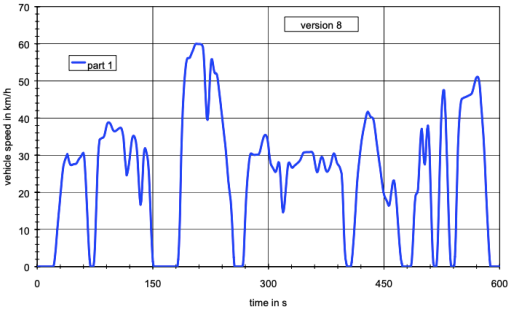
dimana s merupakan jarak tempuh (m) dan $t$ merupakan waktu tempuh kendaraan (s)

## 2.12 Driving Cycle

*Driving cycle* adalah sekumpulan data yang menggambarkan hubungan antara kecepatan kendaraan terhadap waktu berkendara. Karena kondisi jalan, moda berkendara dan kondisi lingkungan di tiap belahan dunia berbeda – beda, diperlukan sebuah standar driving cycles tertentu pada tiap tempat. Salah satu *driving cycle* adalah WMTC (*World Motorcycle Test Cycle*). WMTC merupakan *driving cycle* yang digunakan untuk sepeda motor dan berasal dari proyek antara VROM (*Netherlands Ministry of the Environment*), TNO *Automotive*, dan IMMA (*International Motorcycle Manufacturer Association*). WMTC versi yang paling baru adalah versi ke-8 dengan prosedur pengujian *driving cycle* yang terbagi menjadi 3 kelas. Berikut penjelasan dari 3 kelas WMTC versi ke-7[16].

### 2.12.1 WMTC *Part* 1

Siklus WMTC *part* 1 ini mewakili kecepatan rendah serta penggunaan pada zona perkotaan dengan siklus sebagai berikut:




**Gambar 2.13** Grafik Siklus WMTC *part* 1[16]

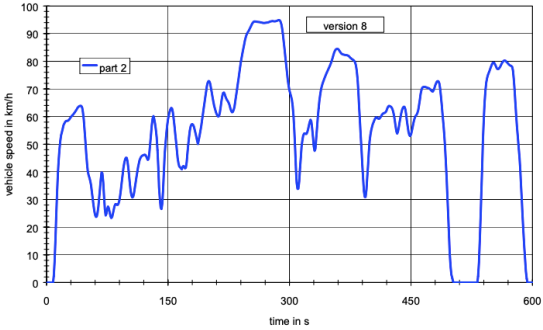
Berikut merupakan tabel karakteristik utama dari siklus WMTC *part* 1:

**Tabel 2.3** Tabel Karakteristik Utama Siklus WMTC *part* 1[16]

| | |
|---|---|
| *Distance* | 4,07 km |
| *Duration* | 600 s |
| *Average speed* | 24,4 km/jam |
| *Maximum speed* | 60 km/jam |

### 2.11.2 WMTC *Part* 2

Siklus WMTC *part 2* mewakili kecepatan kendaraan sedang dan penggunaan pada zona pedesaan jalan sekunder dengan siklus sebagai berikut:




**Gambar 2.14** Grafik Siklus WMTC *Part* 2[16]

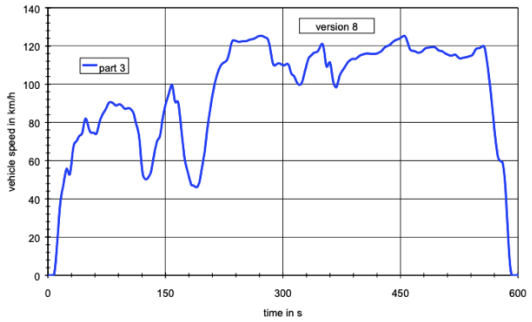
Berikut merupakan tabel karakteristik utama dari siklus WMTC *part* 2 :

**Tabel 2.4** Tabel Karakteristik Utama Siklus WMTC *Part* 2[16]

| | |
|---|---|
| *Distance* | 9,11 km |
| *Duration* | 600 s |
| *Average speed* | 54,7 km/jam |
| *Maxium speed* | 95 km/jam |

### 2.11.3 WMTC *Part* 3

Siklus WMTC *part* 3 mewakili kecepatan kendaraan relatif tinggi serta penggunaan pada zona pedesaan jalan utama dengan siklus sebagai berikut




**Gambar 2.15** Grafik Siklus WMTC *Part* 3[16]

Berikut adalah tabel karakteristik utama dari siklus WMTC *part* 3:

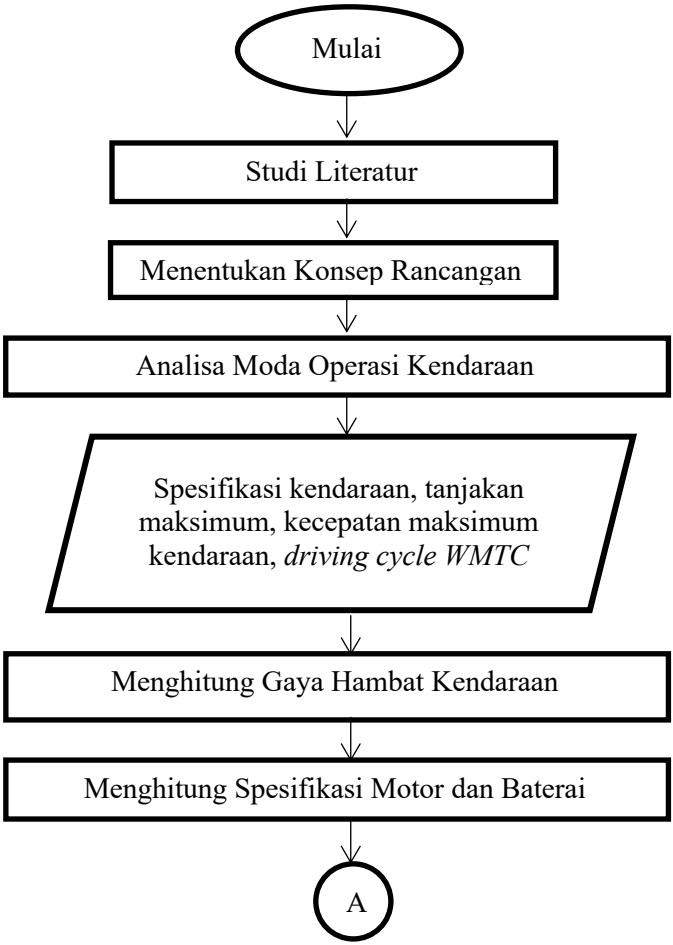
**Tabel 2.5** Tabel Karakteristik Utama Siklus WMTC *Part* 3[16]

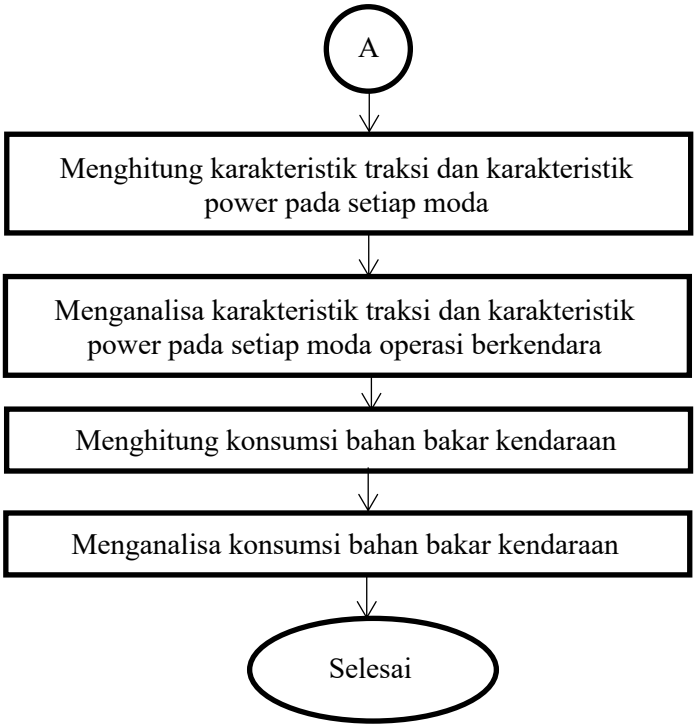
| | |
|---|---|
| *Distance* | 15,74 km |
| *Duration* | 600 s |
| *Average speed* | 94,4 km/jam |
| *Maximum speed* | 125 km/jam |

# BAB 3
# METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Metodologi Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini, dilakukan beberapa tahapan pengerjaan yang dilakukan oleh penulis. Tahapan tersebut dinyatakan dalam diagram alir sebagai berikut.






**Gambar 3.1** *Flowchart* Penelitian Tugas Akhir

Berdasarkan flowchart diatas maka dalam penyusunan tugas akhir ini melalui beberapa tahapan, diantaranya:

- Tahap pertama, penelitian dilakukan dengan langkah awal melakukan studi literatur dari beberapa jurnal serta tugas akhir terdahulu yang berkaitan dengan kendaran *hybrid* sehingga didapat konsep sistem tenaga dan moda kendaraan yang akan digunakan dalam perancangan kendaraan.
- Tahap kedua, setelah mendapat konsep yang diinginkan maka selanjutnya melakukan perhitungan untuk kebutuhan tenaga setiap moda operasi. Dimulai dari perhitungan terhadap gaya hambat, spesifikasi motor dan baterai.

- Tahap ketiga, dalam tahap ini dilakukan analisa dari hasil-hasil perhitungan yang telah didapat. Analisa yang didapat berupa Analisa terhadap rancangan rasio dan tingkat transmisi sehingga didapatkan karakteristik traksi dan power untuk kendaraan sepeda motor *hybrid* yang kemudian karakteristik *power* ini digunakan untuk mendapatkan tingkat konsumsi bahan bakar berdasarkan pola *driving cycle* WMTC.

## 3.2 Data dan Spesifikasi Acuan Kendaraan

Perancangan sepeda motor bertenaga *hybrid* menggunakan sepeda motor Honda Revo 110 FI sebagai acuan perancangan. Berikut merupakan spesifikasi dari sepeda motor Honda Revo 110 FI.

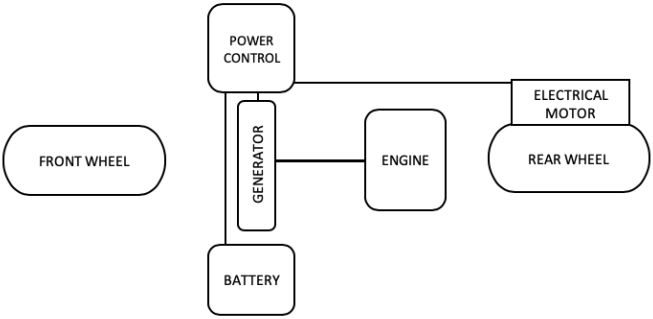
**Gambar 3.2** Honda Revo 110 FI

**Tabel 3.1** Spesifikasi Honda Revo 110 FI[10]

| Spesifikasi | Keterangan |
|---|---|
| **Tipe mesin** | 4 langkah, SOHC |
| **Volume langkah** | 109.17 cc |
| **Daya maksimum** | 6,56 kW / 7500 rpm |
| **Torsi maksimum** | 8,76 N.m / 6000 rpm |
| **Kopling** | Multiplate wet clutch with diaphragm spring |
| **Sistem bahan bakar** | Injeksi (PGM-FI) |
| **Dimensi** | 1.919 x 709 x 1.080 mm |
| **Rasio Transmisi ke-1** | 2,615 |
| **Rasio Transmisi ke-2** | 1,555 |
| **Rasio Transmisi ke-3** | 1,136 |
| **Rasio Transmisi ke-4** | 0,916 |
| **Rasio final drive** | 2,642 |
| **Jarak Sumbu Roda** | 1.227 mm |
| **Jarak Terendah ke Tanah** | 135 mm |
| **Berat kosong** | 97,5 kg |
| **Luas *frontal* area** | 0,25 $m^2$ |

## 3.3 Konsep Rancangan

Penentuan konsep rancangan dilakukan untuk dapat menentukan konfigurasi awal dalam perancangan kendaraan. Konsep rangkaian dari kendaran ditunjukkan pada gambar 3.3.




**Gambar 3.3** Rangkaian *Hybrid* Seri pada Sepeda Motor *Hybrid*

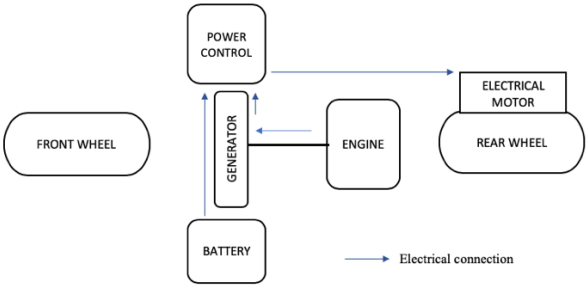
Dalam penelitian ini sepeda motor *hybrid* menggunakan rangkaian seri karena sepeda motor *hybrid* ini tidak membutuhkan konsumsi bahan bakar yang banyak, kemudian dirancang untuk digunakan di dalam kota, yang mana pengemudi tidak memerlukan kecepatan tinggi. Selain itu rangkaian seri pada kendaraan *hybrid* merupakan rangkaian yang sederhana.

## 3.4 Analisis Moda Kendaraan

Dalam penelitian sepeda motor *hybrid* dengan rangkaian seri ini dilakukan beberapa analisa mengenai moda berkendara apa saja yang mampu dilakukan. Beberapa hal yang menjadi pertimbangannya adalah kebutuhan kecepatan dan akselerasi kendaraan yang sesuai dengan konsep rancangan, serta pengisian baterai yang efisien. Kemudian dari pertimbangan-pertimbangan tersebut dipilih moda operasi berkendara yang dianggap memumpuni, diantaranya adalah sebagai berikut

### 3.4.1 Moda Murni Penggerak listrik (*Pure Electric Traction Mode*)

Sepeda motor *hybrid* seri dengan moda murni penggerak listrik mempunyai skema yang ditunjukkan pada gambar 3.4.

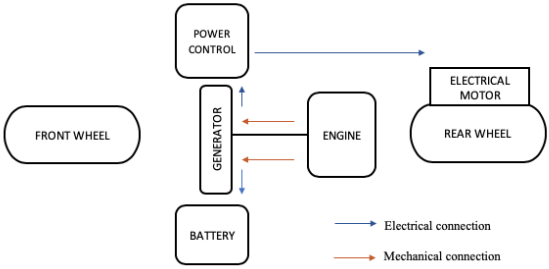



**Gambar 3.4** Skema moda penggerak listrik sepeda motor *hybrid* seri

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.

### 3.4.2 Moda Penggerak Mesin dan Mengisi ACCU (*Engine Traction with Battery Charging Mode*)

Sepeda motor *hybrid* seri dengan dengan moda penggerak mesin dan mengisi ACCU mempunyai skema yang ditunjukkan pada gambar 3.5.

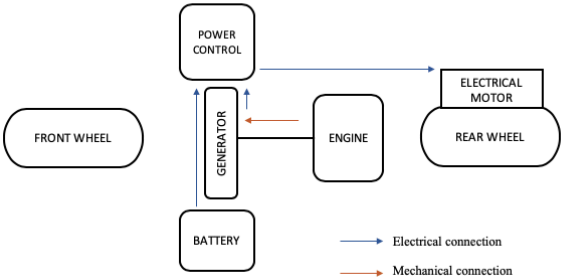



**Gambar 3.5** Skema moda penggerak mesin dan mengisi ACCU sepeda motor *hybrid* seri

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.

### 3.4.3 Moda Penggerak *Hybrid* (*Hybrid Traction Mode*)

Pada sepeda motor *hybrid* seri dengan moda penggerak *hybrid* mempunyai skema yang ditunjukkan pada gambar 3.6.




**Gambar 3.6** Skema moda penggerak *hybrid* sepeda motor *hybrid* seri

Pada 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.

Dengan beberapa macam moda berkendara dalam sebuah sepeda motor *hybrid* seri, dibutuhkan perancangan perpindahan moda berkendara. Berikut merupakan tabel parameter perpindahan moda berkendara pada sepeda motor *hybrid.*

**Tabel 3.2** Parameter Perpindahan Moda Berkendara

| **Sepeda Motor *Hybrid* Seri** | |
|---|---|
| **Moda** | **SOC Baterai** |
| Murni Penggerak Listrik (*Pure Electric*) | $> 60\%$ |
| *Hybrid* | $\leq 60\%$ |
| Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU | $\leq 20\%$ |

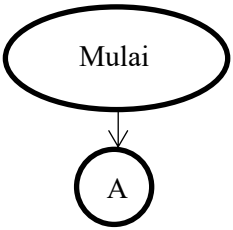
Dalam perancangan perpindahan moda berkendara ini yang menjadi acuan adalah SOC (*State of Charge*) dari baterai. Berdasarkan tabel 3.2, sepeda motor *hybrid* seri akan menggunakan moda berkendara murni penggerak listrik ketika baterai masih dalam keadaan lebih dari 60%, kemudian untuk moda *hybrid* akan beroperasi ketika SOC baterai kurang dari sama dengan 60%, dan untuk moda penggerak mesin dan pengisi ACCU akan beroperasi ketika SOC baterai sudah mencapai kurang dari sama dengan 20%.

## 3.5 *Flowchart* Perhitungan

Pada sub bab ini berisi mengenai *flowchart* dari masing-masing perhitungan yang dibutuhkan.

### 3.5.1 *Flowchart* Perhitungan Gaya Hambat pada Kendaraan

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan gaya hambat dari sepeda motor *hybrid* seri.



A
Beban kendaraan, kecepatan kendaraan, luas frontal area kendaraan
Menentukan koefisien drag berdasarkan literatur
Menghitung gaya hambat drag kendaraan
Menentukan koefisien rolling resistance
Menghitung gaya hambat rolling kendaraan
Menghitung gaya hambat tanjakan kendaraan berdasarkan sudut tanjakan yang ditentukan
Menghitung total gaya hambat berdasarkan variasi kecepatan kendaraan
Memplot hasil perhitungan total gaya hambat kendaraan (kecepatan vs gaya hambat)
A

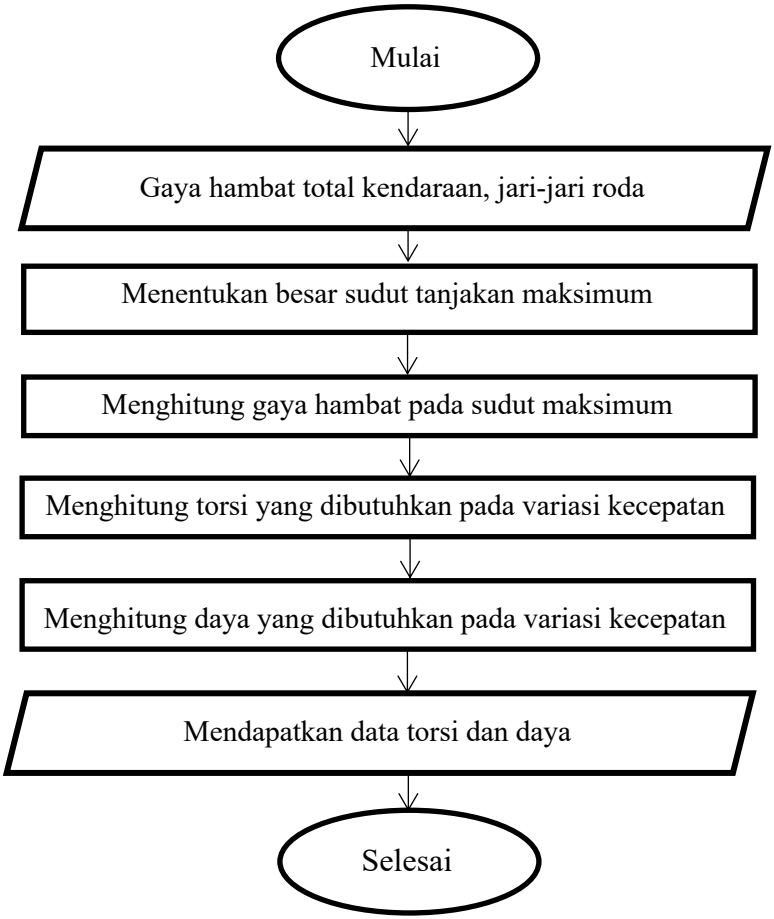
**Gambar 3.8** *Flowchart* Perhitungan Gaya Hambat

Berikut merupakan langkah-langkah untuk melakukan perhitungan gaya hambat

1. Menentukan variasi kecepatan kendaraan dan menghitung luas frontal kendaraan.
2. Menentukan koefisien drag yang sesuai berdasarkan literatur.
3. Menghitung gaya hambat kendaraan berdasarkan persamaan 2.3.
4. Menentukan koefisien rolling resistance ban berdasarkan tekanan ban kendaraan yang ada pada persamaan 2.4.
5. Menghitung gaya hambat *rolling* kendaraan berdasarkan variasi sudut berdasarkan persamaan 2.5.
6. Menghitung gaya hambat tanjakan yang terjadi pada kendaraan berdasarkan persamaan 2.6.
7. Menghitung gaya hambat total yang terjadi pada kendaraan berdasarkan persamaan 2.8.

### 3.5.2 *Flowchart* Perhitungan Motor Kendaraan

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan motor pada sepeda motor *hybrid* seri.




**Gambar 3.8** *Flowchart* Perhitungan Motor

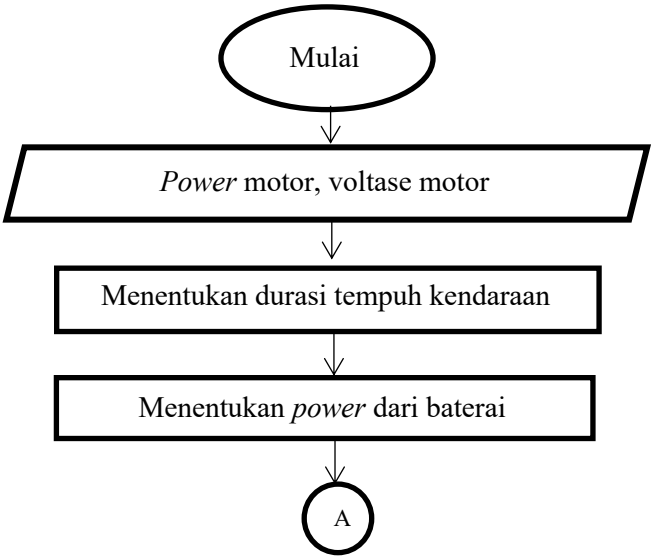
Berikut merupakan langkah-langkah untuk menentukan jenis motor yang dibutuhkan

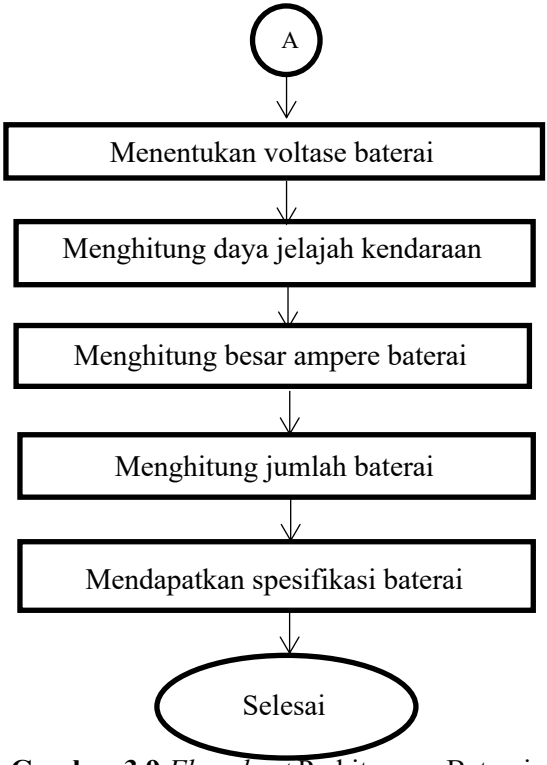
1. Mendapatkan data perhitungan gaya hambat kendaraan dari *flowchart* gambar 3.8 dan mengetahui jari-jari roda penggerak.

2. Menentukan besar sudut tanjakan maksimum yang dapat ditempuh kendaraan.
3. Menghitung gaya hambat yang terjadi pada sudut tanjakan maksimum kendaraan.
4. Menentukan besar kecepatan kendaraan yang diharapkan pada sudut maksimum kendaraan.
5. Menghitung besar torsi yang dibutuhkan berdasarkan persamaan 2.14
6. Menghitung besar daya yang dibuthkan berdasarkan persamaan 2.15
7. Mendapatkan data torsi dan daya pada tiap kecepatan.
8. Menentukan jenis motor yang digunakan berdasarakan data yang didapat.

### 3.5.3 *Flowchart* Perhitungan Baterai Kendaraan

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan bsterai pada sepeda motor *hybrid* seri.






**Gambar 3.9** *Flowchart* Perhitungan Baterai

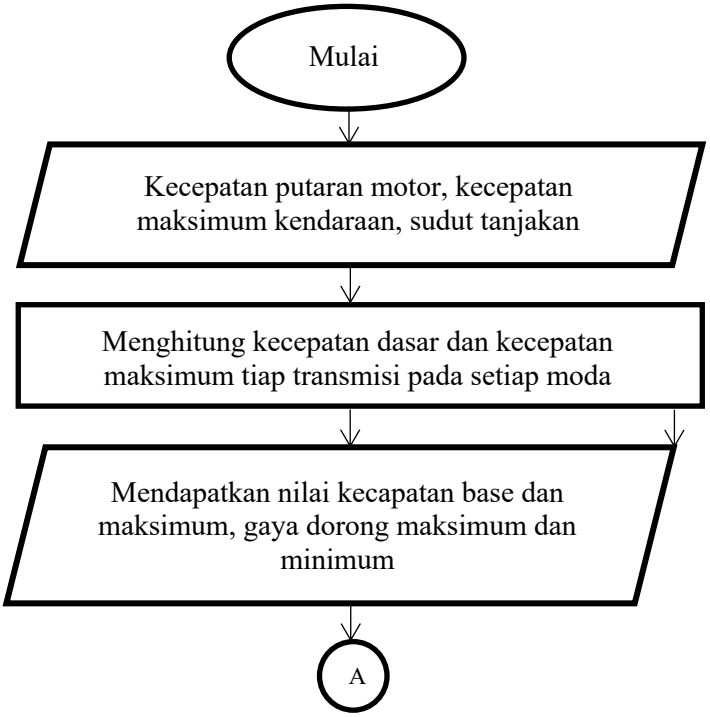
Langkah-langkah untuk menentukan baterai adalah sebagai berikut

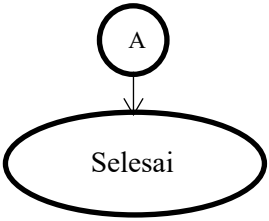
1. Berdasarkan energi baterai yang digunakan, langkah pertama yang dilakukan adalah menetapkan voltase baterai yang digunakan. Sebelumnya telah diketahui besar dari voltase motor, jadi besar voltase motor dan baterai sama.
2. Menentukan besar kwh yang diperlukan baterai untuk memenuhi kebutuhan kendaraan.
3. Menentukan besar voltase pada baterai. Sebelumnya telah diketahui besar dari voltase motor, jadi besar voltase motor dan baterai sama.

4. Menghitung jelajah yang dapat ditempuh oleh kendaraan berdasarkan rumus 2.1.
5. Menghitung besar ampere baterai yang dibutuhkan berdasarkan rumus 2.2.
6. Menghitung jumlah baterai yang diperlukan berdasarkan ketersediaan baterai di pasaran.
7. Mendapatkan spesifikasi baterai yang diperlukan kendaraan.

### 3.5.4 *Flowchart* Analisa Karakteristik Traksi Kendaraan

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan karakteristik transmisi sepeda motor *hybrid* seri.





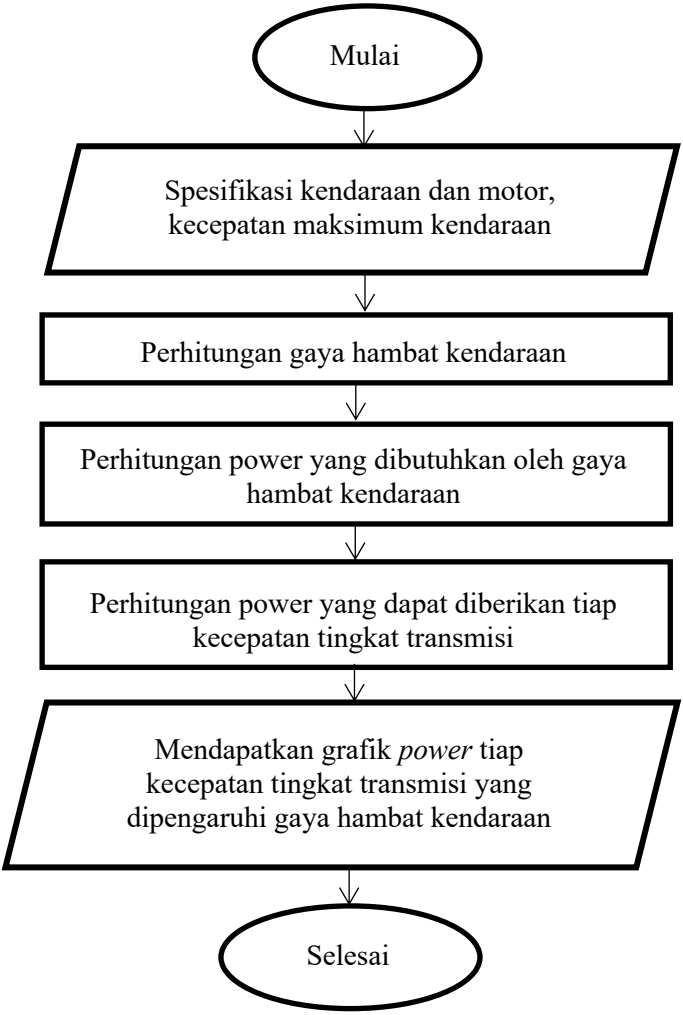

**Gambar 3.10** *Flowchart* Perhitungan Karakteristik Traksi Kendaraan

Langkah-langkah untuk menentukan rasio transmisi kendaraan adalah sebagai berikut

1. Mendapatkan data kecepatan putaran motor, kecepatan maksimum dari kendaraan dan sudut tanjakan maksimum yang dapat dilalui kendaraan.
2. Menghitung kecepatan base dan maksimum yang dihasilkan tiap transmisi.
3. Menghitung gaya dorong maksimum dan minimum yang dihasilkan transmisi.
4. Membuat grafik traksi dari perhitungan gaya dorong diatas.
5. Menganalisa kesesuaian grafik traksi dengan teori yang ada.
6. Mendapatkan nilai kecepatan base dan maksimum tiap transmisi, gaya dorong maksimum dan minimum tiap transmisi.

### 3.5.5 *Flowchart* Perhitungan Karakteristik Power Kendaraan

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan karakteristik power pada sepeda motor *hybrid* seri.



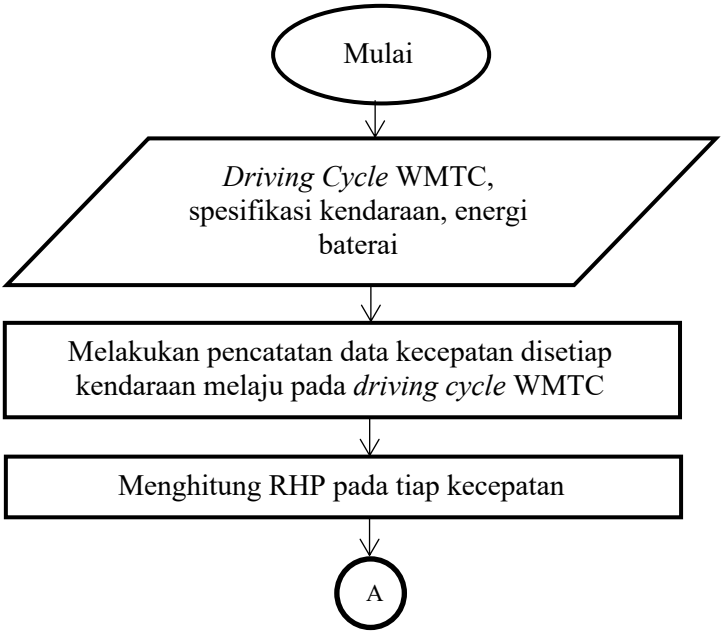

**Gambar 3.11** *Flowchart* Perhitungan Karakteristik Power Kendaraan

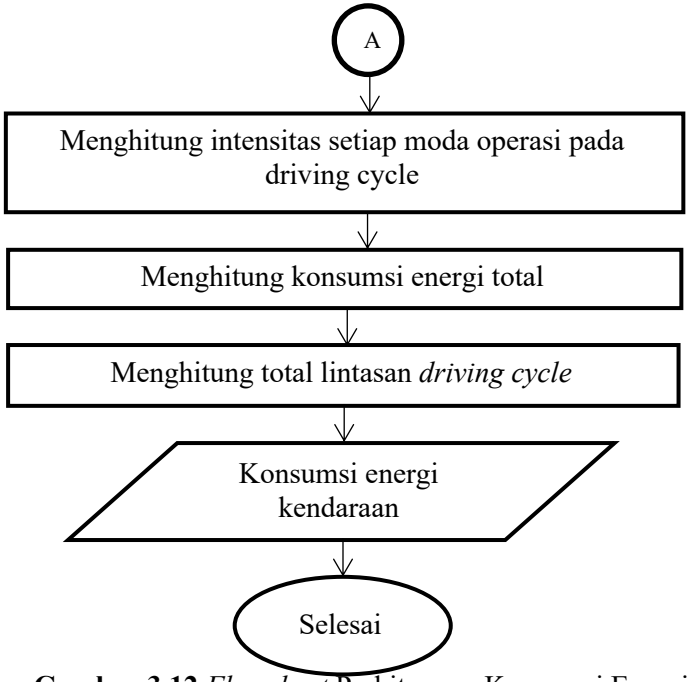
Langkah-langkah untuk menentukan rasio transmisi kendaraan adalah sebagai berikut

1. Mendapatkan spesifikasi kendaraan, spesifikasi motor dan kecepatan maksimum dari kendaraan.
2. Mendapatkan perhitungan gaya hambat kendaraan.
3. Menghitung kebutuhan power untuk gaya hambat.
4. Menghitung kebutuhan power tiap tingkat transmisi berdasarkan kecepatan maksimum tiap tingkat transmisi.
5. Membuat grafik karakteristik power kendaraan berdasarkan hasil yang diperoleh di langkah ketiga dan keempat.

### 3.5.6 *Flowchart* Menghitung Konsumsi Energi Kendaraan

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan konsumsi bakar pada sepeda motor *hybrid* seri






**Gambar 3.12** *Flowchart* Perhitungan Konsumsi Energi Kendaraan

Langkah-langkah untuk menghitung konsumsi energi kendaraan adalah sebagai berikut

1. Melakukan pencatatan data kecepatan di setiap titik-titik kecepatan pada *driving cycle* pilihan.
2. Menghitung besar daya pada setiap titik-titik kecepatan pada *driving cycle* berdasarkan persamaan 2.15
3. Menghitung intensitas setiap moda operasi berdasarkan kecepatan yang ada pada gambar 3.7
4. Memplot besar daya pada setiap titik-titik kecepatan pada *driving cycle*
5. Mendapatkan konsumsi energi dari hasil integral daya terhadap waktu.

# BAB 4
# HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab 4 ini menjelaskan tentang hasil perhitungan dan pembahasan analisis dari gaya hambat kendaraan, menentukan spesifikasi motor listrik dan baterai yang sesuai dengan kebutuhan kendaraan, lalu karakteristik traksi dan daya, dan yang terakhir konsumsi energi pada sepeda motor *hybrid* seri.

## 4.1 Gaya Hambat Kendaraan

Gaya hambat kendaraan adalah total dari gaya hambat angin, gaya hambat *rolling,* dan gaya hambat akibat tanjakan. Kemudian setelah mengetahui total gaya hambat yang terjadi dapat menentukan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan berdasarkan sumber tenaga yang digunakan.

### 4.1.1 Gaya Hambat Angin (Ra)

Dalam sub bab 4.1.1 ini akan membahas perhitungan dan juga analisis dari gaya hambat angin.

#### 4.1.1.1 Perhitungan Gaya Hambat Angin

Untuk menghitung gaya hambat angin dibutuhkan massa jenis udara, koefisien drag kendaraan, luas frontal kendaraan, serta kecepatan. Untuk nilai massa jenis udara, koefisien drag kendaraan, dan luas frontal kendaaran pada perhitungan ini menggunakan refrensi dari penelitian Van-Tran Nguyen dan Pyung Hwang. Berikut merupakan contoh perhitungan gaya hambat angina pada kecepatan 9 km/h atau 2,5 m/s.

$$\mathrm{Ra} = 0{,}5 \times \rho_u \times \mathrm{C_D} \times \mathrm{Af} \times \mathrm{Vk}^2$$

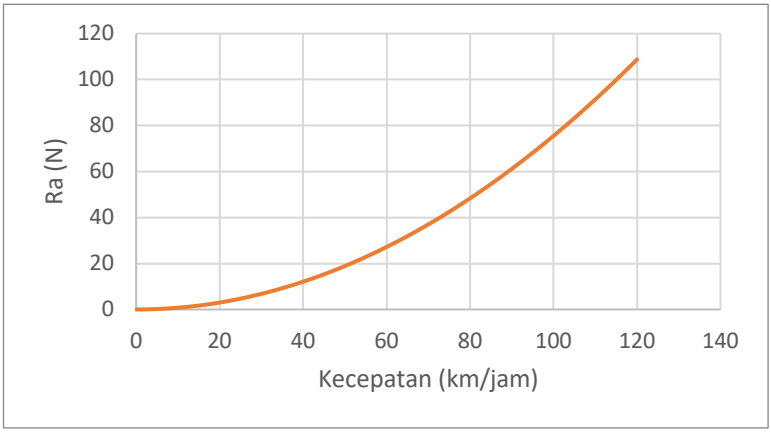
dimana : $\rho_u = 1{,}2\ {}^{\mathrm{kg}}/_{\mathrm{m}^3}$ $\mathrm{Af} = 0{,}25\ \mathrm{m}^2$

$$C_D = 0{,}65 \qquad Vk = 9\ {}^{km}/_{h} = 2{,}5\ {}^{m}/_{s}$$

$$Ra = 0{,}5 \times 1{,}2\ {}^{kg}/_{m^3} \times 0{,}65 \times 0{,}25\ m^2 \times (2{,}5\ {}^{m}/_{s})^2$$
$$Ra = 0{,}6117\ N$$

### 4.1.1.2 Analisis Gaya Hambat Angin

Gambar di bawah ini merupakan grafik dari plotting gaya hambat angin dengan variasi kecepatan berdasarkan hasil dari perhitungan seperti pada sub bab 4.1.1.1.




**Gambar 4.1** Grafik Gaya Hambat Angin Kendaraan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1 dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya nilai kecepatan kendaraan, semakin besar nilai gaya hambat angin kendaraan. Pada grafik menunjukkan gaya hambat paling kecil terjadi pada kecepatan 0 km/jam dengan nilai gaya hambat angin kendaraan 0 N,sedangkan nilai gaya hambat angin yang paling besar adalah 108,757 N pada kecepatan maksimal 120 km/jam.

### 4.1.2 Gaya Hambat *Rolling* (Rr)

Dalam sub bab 4.1.2 ini akan membahas penentuan nilai koefisien *rolling resistance,* lalu perhitungan dan analisis gaya hambat *rolling.*

#### 4.1.2.1 Penentuan Nilai Koefisien Rolling Resistance (fr)

Dalam menentukan nilai koefisien *rolling resistance* digunakan grafik dari gambar 2.11. Tekanan ban sepeda motor diasumsikan sebesar 30 psi sehingga didapat fo dengan nilai 0,01 dan fs dengan nilai 0,005 dari grafik. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai fr berdasarkan persamaan 2.4. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk menentukan koefisien *rolling resistance* dengan kecepatan 2,5 m/s.

$$\mathrm{fr} = \mathrm{fo} + \mathrm{fs}\left(\frac{\mathrm{v}}{100}\right)^{2,5}$$

dimana : $\mathrm{fo} = 0{,}01$ $\mathrm{fs} = 0{,}005$
$\mathrm{Vk} = 2{,}5\ \mathrm{m/s}$

$$\mathrm{fr} = 0{,}01 + 0{,}05\left(\frac{2{,}5}{100}\right)^{2,5}$$
$$\mathrm{fr} = 0{,}01001215$$

#### 4.1.2.2 Perhitungan Gaya Hambat Rolling

Setelah menentukan nilai koefisien *rolling,* dilakukan perhitungan gaya hambat *rolling* berdasarkan sudut dan berat total kendaraan menggunakan persamaann 2.5. Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan pada kecepatan 2,5 m/s.

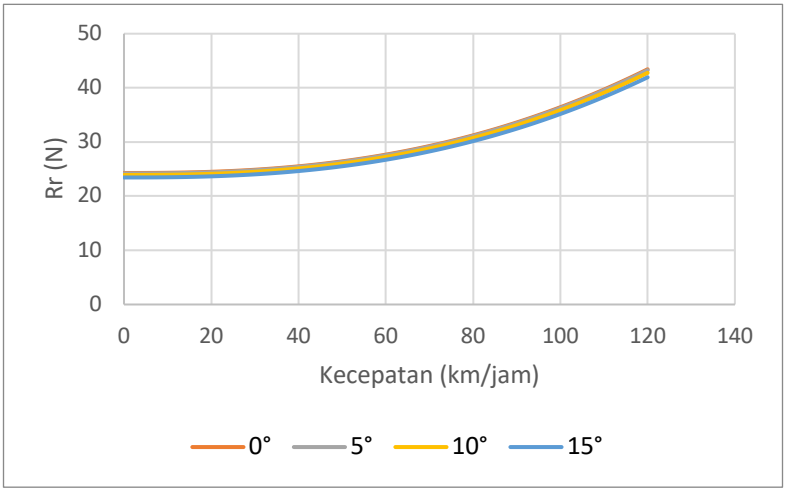
$$\mathrm{Rr} = \mathrm{fr} \times \mathrm{W}\cos\theta$$

dimana : m total $= 247{,}5$ kg $\theta = 0^{o}$
g $= 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$
$\mathrm{fr}\left(2{,}5\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right) = 0{,}01001215$

$$\text{Rr} = 0{,}01001215 \times 247{,}5\ \text{kg} \times 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \cos(0)$$
$$\text{Rr} = 24{,}309\ \text{N}$$

### 4.1.2.3 Analisis Gaya Hambat Rolling

Gambar di bawah ini merupakan grafik dari plottingan gaya hambat *rolling* dengan variasi kecepatan berdasarkan hasil dari perhitungan seperti pada sub bab 4.1.2.2 yang didapatkan setelah menentukan koefisien *rolling* sperti pada sub bab 4.1.2.1.




**Gambar 4.2** Gaya Hambat *Rolling* Kendaraan

Dalam perhitungan koefisien *rolling,* didapatkan nilai koefisien *rolling* akan semakin besar apabila kecepatan kendaraan terus bertambah. Sedangkan berdasarkan variasi sudut tanjak kendaraan, semakin besar sudut tanjak yang dilalui kendaraan maka semakin kecil gaya hambat *rolling* yang terjadi pada kendaraan. Hal tersebut dikarenakan gaya normal pada ban semakin kecil seiring bertambahnya sudut tanjak. Terlihat bahwa gaya hambat *rolling* kendaraan paling besar ketika kendaraan

melewati jalan mendatar 0°, sedangkan gaya hambat *rolling* kendaraan bernilai paling minim pada sudut 15°

### 4.1.3 Gaya Hambat Tanjakan (Rg)

Dalam sub bab 4.1.3 ini akan membahas perhitungan dan analisis gaya hambat gradien dengan variasi sudut 0°, 5°, 10°, 15°.

#### 4.1.3.1 Perhitungan Gaya Hambat Gradien

Untuk menghitung gaya hambat gradien berdasarkan variasi sudut dan berat total kendaraan menggunakan persamaan 2.6. Berikut merupakan contoh perhitungan gaya hambat gradien dengan sudut 15°.

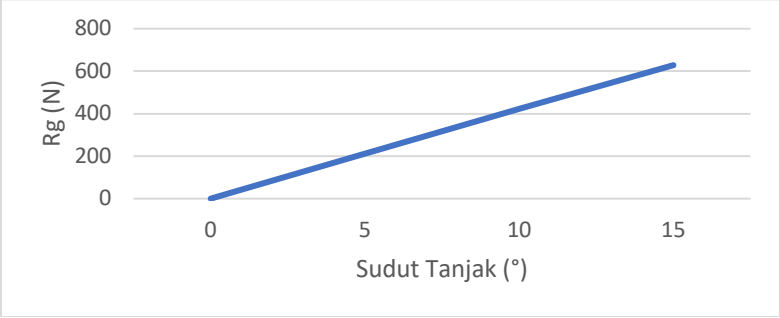
$$Rg = m \times g \times \sin(\theta)$$

dimana : m total = 247,5 kg $\theta = 15^{o}$
g = 9,81 m/s$^2$

$$Rg = 247{,}5 \text{ kg} \times 9{,}81 \, {}^{m}/_{s^2} \times \sin(20)$$
$$Rg = 628{,}406 \text{ N}$$

#### 4.1.3.2 Analisis Gaya Hambat Gradien

Gambar di bawah ini merupakan grafik dari plottingan gaya hambat gradien dengan variasi sudut tanjakan berdasarkan hasil dari perhitungan seperti pada sub bab 4.1.3.1.




**Gambar 4.3** Gaya Hambat Gradien

Berdasarkan grafik pada gambar 4.3 menunjukkan besar gaya hambat tanjakan akan semakin besar ketika nilai sudut tanjakan yang dilalui kendaraan juga semakin besar. Nilai gaya hambat gradien paling kecil adalah 0 N pada sudut 0°, hal ini disebabkan karena kendaraan tidak mengalami pertambahan berat akibat adanya sudut tanjakan. Sedangkan nilai gaya hambat tanjakan terjadi pada sudut tanjak 15 ° dengan nilai 628,406 N.

### 4.1.4 Gaya Hambat Total (Ft)

Dalam sub bab 4.1.4 ini akan membahas perhitungan dan analisis gaya hambat total. Gaya hambat total ini merupakan penjumlahan dari gaya hambat angina, gaya hambat *rolling,* dan gaya hambat gradien.

#### 4.1.4.1 Perhitungan Gaya Hambat Total

Untuk melakukan perhitungan gaya hambat total, dilakukan pejumlahan dari gaya hambat angina, gaya hambat *rolling,* dan gaya hambat gradien yang sudah didaptkan dari perhitungan sebelumnya dengan setiap variasi sudut $0^o$, $5^o$, $10^o$, $15^o$. Berikut merupakan contoh perhitungan gaya hambat total pada kecepatan 2,5 m/s dengan sudut $15^o$

$$Ft = Ra + Rr + Rg$$

$$Ft = (0{,}5 \cdot \rho u \cdot Cd \cdot Af \cdot Vk^2) + (fr \cdot W\cos\Theta) + W\sin\Theta$$

dimana : m = 247,5 kg $\theta = 15^o$

g = 9,81 $m/s^2$ fr (2,5 m/s) = 0,01001215

$\rho_u = 1{,}2\ {}^{kg}/_{m^3}$ Af = 0,25 $m^2$

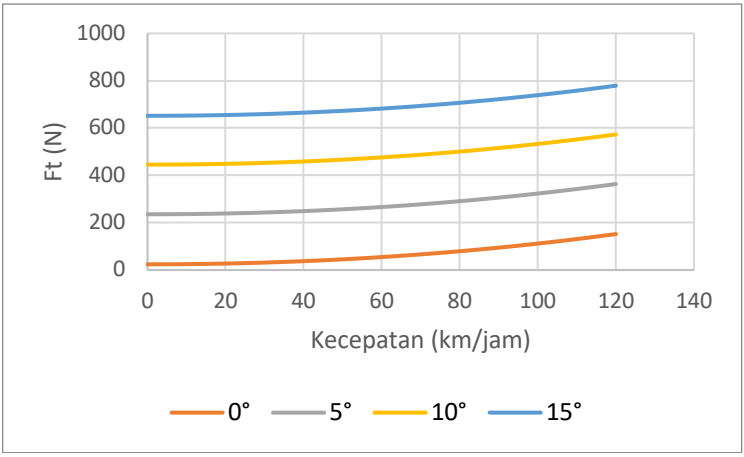
Cd = 0,65 Vk = 9 km/h = 2,5 m/s

$$Ft = \left(0{,}5 \times 1{,}2\ {}^{kg}/_{m^3} \times 0{,}65 \times 0{,}25\ m^2 \times 2{,}5^2\right) + (0{,}01001215 \times 247{,}5\ kg \times 9{,}81\ {}^{m}/_{s^2} \times \cos(15)) + (247{,}5\ kg \times 9{,}81\ {}^{m}/_{s^2} \times \sin(15))$$

$$Ft = 652{,}36\ N$$

### 4.1.4.2 Analisis Gaya Hambat Total

Gambar di bawah ini merupakan plotting dari gaya hambat total kendaraan dengan variasi kecepatan dan juga sudut tanjakan berdasarkan hasil dari perhitungan seperti pada sub bab 4.1.4.1.




**Gambar 4.4** Gaya Hambat Total Kendaraan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.4 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 $15^o$ 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 $0^o$ dengan n ilai berkisar antara 24,279 N – 152,187 N.

## 4.2 Motor Listrik

Pada sub bab 4.2 ini akan membahas mengenai perhitungan daya dan torsi yang dibutuhkan motor listrik pada sepeda motor *hybrid* seri, dimana motor listrik merupakan penggerak utama dari kendaraan.

### 4.2.1 Perhitungan Kebutuhan Daya Motor Listrik

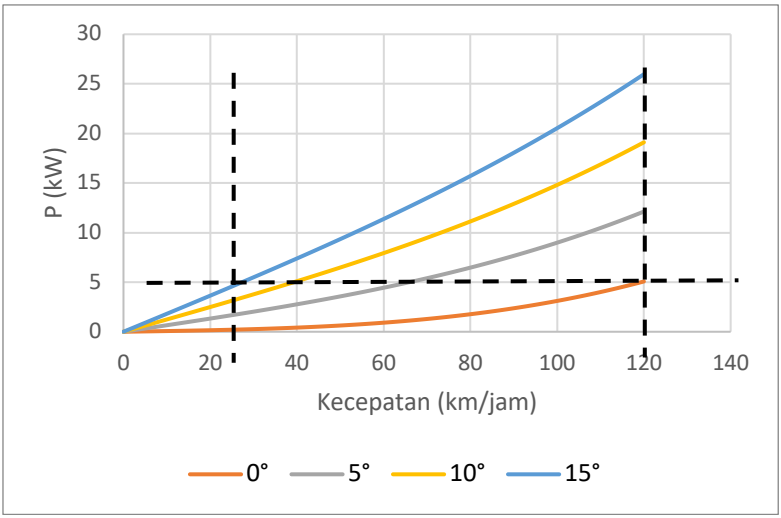
Ketika kendaraan melaju, kendaraan membutuhkan daya untuk dapat melawan gaya hambat yang terjadi saat kendaraan melaju. Berikut merupakan contoh perhitungan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan menggunakan persamaan 2.15 pada kecepatan 120 km/jam atau 33,33 m/s dengan sudut kemiringan jalan sebesar $0^o$.

$$\mathrm{RHP} = \mathrm{Ft} \times \mathrm{Vk}$$

dimana : $\mathrm{Ft}_{33{,}33\mathrm{m/s}}(0^o)$ = 152,187 N
$\mathrm{Vk} = 33{,}33\mathrm{m/s}$

$$\mathrm{RHP} = 152{,}187\ \mathrm{N} \times 33{,}33\ \mathrm{m/s}$$
$$\mathrm{RHP} = 5{,}072\ \mathrm{kW}$$

Perhitungan diatas dilakukan pada setiap kecepatan, lalu dilakukan *plotting* sehingga terbentuk grafik seperti pada gambar 4.5.




**Gambar 4.5** Daya yang dibutuhkan kendaraan

Grafik pada gambar 4.5 merupakan plotting dari perhitungan daya yang dibutuhkan kendaraan sampai dengan kecepatan 120 km/jam dengan variasi sudut 0º, 5º, 10º, 15º. Berdasarkan grafik pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa seiring bertambahnya kecepatan kendaraan, semakin besar daya yang dibutuhkan, begitu pula pada kemiringan sudut jalan yang ditempuh kendaraan. Pada gambar 4.5 bisa dilihat saat kendaraan melaju dengan kecepatan 120 km/jam pada sudut tanjakan 0º membutuhkan daya sebesar 5,072 kW sedangkan kecepatan pada tanjakan 15 º yang membutuhkan daya seperti kecepatan maksimum di tanjakan 0º adalah 28 km/jam dengan kebutuhan daya sebesar 5,119 kW.

### 4.2.3 Perhitungan Kebutuhan Torsi Motor Listrik

Selain membutuhkan daya untuk menentukan motor listrik dibutuhkan juga torsi. Berikut merupakan perhitungan untuk mendapatkan torsi pada kecepatan maksimum di jalan mendatar dan pada tanjakan 15 º dengan kecepatan 28 km/jam.

$$Td = Ft.R$$

dimana : $Ft_{33,33m/s}(0^o)$ = 152.18 N R = 0,2879 m
$Ft_{7,778m/s}(15^o)$ = 658,26 N

$Td_0 = 152.18\ N.\ 0{,}2879\ m$ $Td_{15o} = 658{,}26\ N.\ 0{,}2879\ m$
$Td_{0o} = 43{,}814\ Nm$ $Td_{15o} = 189{,}514\ Nm$

Berdasarkan perhitungan diatas torsi yang dibutuhkan pada kecepatan maksimum di jalan mendatar adalah 43,814, sedangkan untuk jalan dengan tanjakan 15 $^o$ pada kecepatan 28 km/jam membutuhkan torsi 189,514 Nm.

### 4.2.4 Analisis Pemilihan Motor Listrik

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan daya yang dibutuhkan kendaraan dengan kecepatan maksimum dan juga menanjak sekitar 5 kW seperti yang sudah dilakukan pada sub bab sebelumnya, dapat dilakukan survey untuk menentukan motor listrik yang memenuhi syarat dan yang tersedia di pasaran. Setelah melakukan survey didapatkan motor listrik yang sesuai dengan yang dibutuhkan kendaraan yaitu motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor. Berikut merupakan gambar dan juga spesifikasi dari motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor.

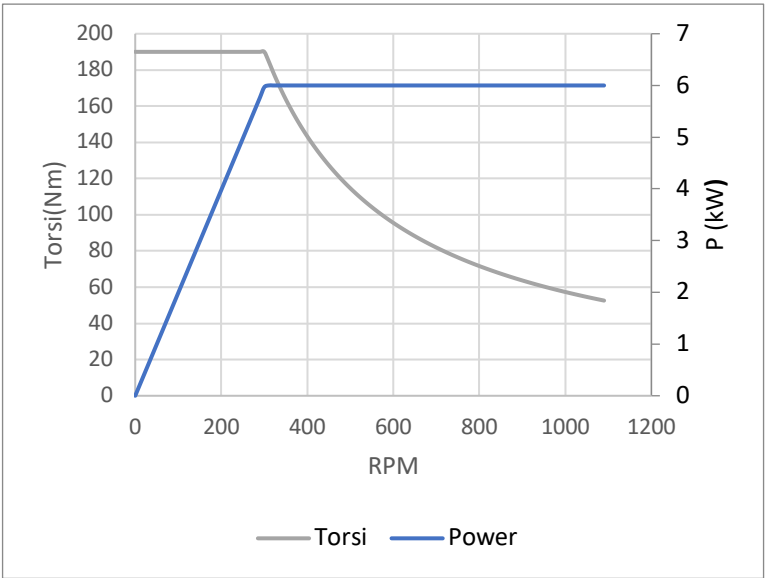
**SPECIFICATION**

| | |
|---|---|
| Motor Type: | BLDC In-Wheel Hub Motor |
| Brand: | QS Motor, QSMOTOR |
| Motor Design: | Double axle with rim(integrated) |
| Matched Tire: | 10-3.0 |
| PCD : | 3*80mm M8 |
| CB: | 58mm |
| Stator: | Aluminum Core |
| Rated Power: | 3000W |
| Peak Power | 6000W |
| Rated Voltage: | 60V |
| Speed: | 1090RPM |
| Drop-outs: | 200mm |
| Max Torque: | approx 160N.m |
| Max Efficiency: | approx 87% |
| Thermic Probe: | KTY83/122(as default) |
| Working Temperature: | 70-120℃ , peak 150 ℃ |
| Brake type: | Disc brake |
| Hall Sensor: | Dual Halls with waterproof connectos (not include insulation layer) |
| Phase Wire: | 10mm² |
| Waterproof Grade: | IP54 |
| Color: Black | Black |
| N.W./G.W.: | approx 13.44kgs/14.82kgs |
| Package Dimension: | 34cm*34cm*33cm/piece |

**Gambar 4.6** Spesifikasi QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor.

Motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor ini memenuhi kebutuhan sepeda motor *hybrid* seri dengan *peak power* sebesar 6000 W untuk kebutuhan daya jalan kendaraan pada saat jalan datar dengan kecepatan maksimum yaitu 120 km/jam dan juga pada jalan menanjak 15° dengan kecepatan 28 km/jam. Setelah memilih motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor.sebagai motor yang akan digunakan pada sepeda motor *hybrid* seri, kemudian langkah selajutnya adalah

memplotting data torsi dan daya dari motor listrik untuk mendapatkan grafik. Dari data yang diketahui dengan torsi maksimum motor listrik sebesar 191 Nm, *peak power* 6000 W, dan putaran maksimum 1090 berikut merupakan grafik dari karakteristik motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor.




**Gambar 4.7** Karakteristik QS 3000W 205 50H BLDC *Hub Motor.*

Gambar diatas merupakan grafik karakteristik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor. yang dibuat berdasarkan pendekatan karakteristik motor listrik, dimana torsi motor listrik memiliki nilai maksimum sebesar 191 Nm pada putaran awal sampai pada putaran base di 300 rpm, kemudian turun secara hiperbolik sampai putaran maksimumnya yaitu 1090. Untuk daya motor listrik, pada grafik menunjukkan kenaikan dari putaran awal sampai putaran base yang mencapai daya maksimum yaitu 6000

W, kemudian akan cenderung konstan setelah melewati putaran basenya yang sesuai dengan teori dari karakteristik motor listrik.

## 4.3 Baterai

Setelah mengetahui spesifikasi motor listrik yang akan digunakan maka bisa dilakukan analisa perhitungan power baterai, jumlah baterai dan pemilihan jenis baterai yang digunakan untuk sepeda motor hybrid.

### 4.3.1 Perhitungan Baterai

Analisa perhitungan baterai akan dilakukan pada saat kondisi sedang pada moda murni elektrik, dimana kendaraan hanya akan digerakkan oleh motor listrik yang mendapatkan daya dari baterai. Kendaraan yang bisa dijadikan referensi adalah sepeda motor listrik Gesits karena pada perancangan ini didesain seperti sepeda motor listrik namun dapat mengisi baterai di jalan. Motor listrik Gesits menggunakan motor listrik berdaya 5 kW dengan kemampuan daya baterai bisa bertahan hingga jarak tempuh menapai 50 km dan konsumsi energinya sebesar 35 km/kWh . Berikut adalah langkah-langkah perhitungan yang digunakan untuk menghitung kebutuhan baterai.

- Langkah pertama adalah menentukan durasi tempuh dari kendaraan, dimana durasi tempuh ini adalah seberapa besarnya jarak yang bisa ditempuh kendaraan tiap kwh. Pada penelitian ini yang digunakan untuk acuan adalah dari sepeda motor listrik Gesits yang mampu menenmpuh jarak sejauh 50 km dengan konsumsi energi sebesar 35 km/kwh.
- Langkah kedua adalah menentukan jarak jelajah kendaraan sesuai dengan kebutuhan yaitu sebesar 30 km.
- Langkah ketiga adalah menghitung energi baterai yang dapat ditempuh oleh kendaraan berdasarkan data durasi tempuh kendaraan dan jarak jelajah kendaraan yang telah didapat pada langkah pertama dan kedua, berikut ini merupakan perhitungan energi yang dibutuhkan kendaraan:

$$E = \frac{s}{Fe}$$

$$E = \frac{30\ km}{35\ km/kWh} = 0{,}857\ kWh$$

- Langkah keempat adalah menentukan besar voltase pada baterai. Pada tahap ini terlebih dahulu mengetahui besar dari voltase motor, sehingga besar voltase motor dan baterai adalah sama.
- Langkah kelima adalah menghitung besar ampere baterai yang dibutuhkan. Berdasarkan langkah-langkah diatas sudah didapatkan power dan voltase dari baterai yang diinginkan, maka berikut ini merupakan perhitungan untuk mendapatkan ampere baterai:

$$Ah = \frac{E}{V}$$

$$Ah = \frac{0{,}857\ kWh}{60\ V} = 14{,}28\ Ah = 15\ Ah$$

- Langkah keenam adalah menghitung jumlah baterai yang diperlukan berdasarkan ketersediaan baterai di pasaran. Berdasarkan perhitungan minimal kebutuhan baterai di langkah sebelumnya maka didapatkan spesifikasi baterai yang ada di pasaran menggunakan baterai Rear Rack Type 60 V 15 Ah Electric Bicycle Lithium Battery Pack. Maka berikut ini merupakan perhitungan jumlah pack baterai yang harus digunakan:

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{60\ V}{60\ V} = 1$$

### 4.3.2 Spesifikasi Baterai

Berdasarkan perhitungan pada sub bab 4.4.1 ditentukan bahwa dalam perancangan sepeda motor hybrid ini akan menggunakan baterai Rear Rack Type 60 V 15 Ah Electric Bicycle Lithium Battery Pack. Gambar 4.17 menunjukkan penampakan dan spesifikasi dari baterai Rear Rack Type 60 V 25 Ah Electric Bicycle Lithium Battery Pack.

| | | |
|---|---|---|
| Model | | 60V 15AH |
| Nominal Voltage | | 60V |
| Nominal Capacity | | 15AH |
| Composed Type | | 16S7P |
| Cells | | 3.7V Samsung 2200MAH 18650 CELL |
| BMS | Continouns Discharge Current | 40amp |
| | Peak Discharge Current | 120amp |
| Fit Motor Power | | 60v 500w 750w 1000W 1500W 2000W |
| Charge Current | | 2A-5A |
| Charge Cut-off Voltage | | 67.2V |
| Discharge Cut-off Voltage | | 45.0V |
| Discharge Temperature | | -20 to 65°C |
| Charge Temperature | | 0 to 45°C |
| Dimensions | | 80*150*360mm |
| Battery Weight | | 6.1kg |
| Cycle life | | ≥80% capacity after 1000 cycles |

**Gambar 4.8** Baterai Rear Rack Type 60 V 15 Ah Electric Bicycle Lithium Battery Pack

## 4.4 Karakteristik Traksi Kendaraan

Pada kendaraan *hybrid* seri, tenaga penggerak sepenuhnya berasal dari motor listrik sehingga karakteristik traksinya sama persis dengan karakteristik traksi kendaraan listrik. Maka dari setiap moda pada kendaraan *hybrid* seri mempunyai karakteristik traksi yang sama. Motor listrik akan dipasang di roda belakang tanpa *gearbox* yang artinya tidak menerapkan tingkatan transmisi. Untuk menentukan karakteristik traksi tiap moda pada sepeda motor *hyrbrid* seri diperlukan perhitungan kecepatan *base* (Vbase), kecepatan maksimum (Vmax), gaya traksi minimum (Ft min), dan gaya traksi maksimum (Ft maks) dari kendaraan. Moda berkendara yang akan dihitung dan di analisis pada sub bab ini adalah moda murni penggerak listrik (*pure electric*) dan moda *hybrid,* sedangkan perhitungan dan analisis untuk moda penggerak mesin dan isi ACCU dilakukan setelah mendapatkan spesifikasi dari baterai.

### 4.4.1 Karakteristik Traksi Moda Murni Penggerak listrik (*Pure Electric*)

Pada sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik ini menggunakan motor listrik sebagai penggerak yang mendapatkan supply daya dari baterai. Untuk menentukan karakteristik traksi moda murni penggerak listrik pada tahap pertama dilakukan perhitungan Vbase dan Vmaks dari transmisi. Berikut merupakan perhitungan Vbase dan Vmaks menggunakan persamaan 2.21.

- Kecepatan *base*

$$V_{base} = \frac{\pi \times R \times N_{base}}{30 \times It \times Ig}$$

dimana : $N_{base}$ = 300 R = 0,2879 m

$$V_{base} = \frac{3{,}14 \times 0{,}2879\ \text{m} \times 300}{30 \times 1 \times 1} \times \frac{3600\ \text{s}}{1000\ \text{m}}$$

$$V_{base} = 32{,}544\ \text{km/jam}$$

- Kecepatan maksimum

$$V_{maks} = \frac{\pi \times R \times N_{maks}}{30 \times It \times Ig}$$

dimana : $N_{maks}$ = 1090 R = 0,2879 m

$$V_{maks} = \frac{3{,}14 \times 0{,}2879\ \text{m} \times 1090}{30 \times 1 \times 1} \times \frac{3600\ \text{s}}{1000\ \text{m}}$$

$$V_{maks} = 118{,}243\ \text{km/jam}$$

Berdasarkan perhitungan Vbase dan Vmaks berdasarkan putaran base sebesar 300 rpm dan putaran maksimum motor

sebesar 1090 rpm, didapatkan nilai Vbase yaitu 32,544 km/jam dan Vmaks sebesar 118,243 km/jam. Namun nilai kecepatan maksimum yang sebenarnya akan didapat dari perhitungan dan analisis gaya traksi pada kendaraan yang dipengaruhi gaya hambat total, dimana nanti akan didapat perpotongan garis gaya traksi dengan gaya hambat pada grafik karakteristik traksi.

Kemudian tahap berikutnya dalam menentukan karakteristik traksi yaitu melakukan perhitungan gaya traksi minimum (Ft min) dan gaya traksi maksimum (Ft maks) dari transmisi. Berikut merupakan perhitungan Ft min dan Ft maks berdasarkan persamaan 2.22.

- Ft minimum

$$\mathrm{Ft_{min}} = \frac{\mathrm{It} \times \mathrm{Ig} \times \mathrm{Tm_{min}}}{\mathrm{R}} \times \eta_t$$

dimana : $\mathrm{Tm_{min}}$ = 53 Nm R = 0,2879 m

$$\mathrm{Ft_{min}} = \frac{1 \times 1 \times 53\ \mathrm{Nm}}{0{,}2879\ \mathrm{m}} \times 1$$

$$\mathrm{Ft_{min}} = 182{,}67\ \mathrm{N}$$

- Ft maksimum

$$\mathrm{Ft_{maks}} = \frac{\mathrm{It} \times \mathrm{Ig} \times \mathrm{Tm_{maks}}}{\mathrm{R}} \times \eta_t$$

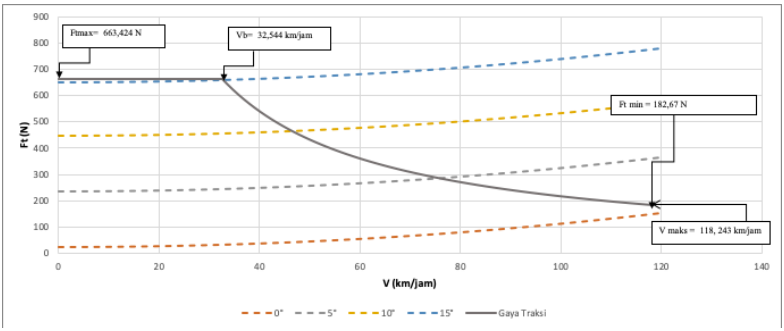
dimana : $\mathrm{Tm_{maks}}$ = 191 Nm R = 0,2879 m

$$\mathrm{Ft_{maks}} = \frac{1 \times 1 \times 191\ \mathrm{Nm}}{0{,}2879\ \mathrm{m}} \times 1$$

$$\mathrm{Ft_{maks}} = 663{,}424\ \mathrm{N}$$

Perhitungan untuk mendapatkan Ft min dan Ft maks diatas menggunakan torsi minimum dan juga torsi maksimum dari motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor. Didapatkan hasil sebesar 189,759 N untuk Ft min dan 663,424 N untuk Ft maks.

Berdasarkan hasil perhitungan V base, V maksimum, Ft minimum, dan juga Ft maksimum pada sub bab sebelumnya bisa dilakukan plotting sehingga didapatkan grafik karakteristik traksi. Berikut merupakan grafik dari karakteristik traksi sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik (*pure electric*).




**Gambar 4.9** Grafik Karakteristik Traksi Moda Murni Penggerak Listrik

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 *hyrbid* 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.

### 4.4.2 Karakteristik Traksi Moda *Hybrid*

Pada sepeda motor *hybrid* seri moda *hybrid* sama saja dengan moda murni penggerak listrik yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak namun mendapatkan dua supply daya yaitu dari baterai dan juga dari *engine*-generator. Sehingga untuk menentukan karakteristik traksi pada moda ini menggunakan spesifikasi motor listrik yang sama dengan moda murni penggerak listrik. Berikut merupakan perhitungan Vbase dan Vmaks pada moda *hybrid*.

- Kecepatan *base*

$$V_{base} = \frac{\pi \times R \times N_{base}}{30 \times It \times Ig}$$

dimana : $N_{base} = 300$ R $= 0{,}2879$ m

$$V_{base} = \frac{3{,}14 \times 0{,}2879\ \text{m} \times 300}{30 \times 1 \times 1} \times \frac{3600\ \text{s}}{1000\ \text{m}}$$

$$V_{base} = 32{,}544\ \text{km/jam}$$

- Kecepatan maksimum

$$V_{maks} = \frac{\pi \times R \times N_{maks}}{30 \times It \times Ig}$$

dimana : $N_{maks} = 1090$ R $= 0{,}2879$ m

$$V_{maks} = \frac{3{,}14 \times 0{,}2879\ \text{m} \times 1090}{30 \times 1 \times 1} \times \frac{3600\ \text{s}}{1000\ \text{m}}$$

$$V_{maks} = 118{,}243\ \text{km/jam}$$

Berdasarkan perhitungan Vbase dan Vmaks berdasarkan putaran base sebesar 300 rpm dan putaran maksimum motor sebesar 1090 rpm, didapatkan nilai Vbase yaitu 32,544 km/jam dan Vmaks sebesar 118,243 km/jam. Namun nilai kecepatan maksimum yang sebenarnya akan didapat dari perhitungan dan analisa gaya traksi pada kendaraan yang dipengaruhi gaya hambat total, dimana nanti akan didapat perpotongan garis gaya traksi dengan gaya hambat pada grafik karakteristik traksi.

Kemudian tahap berikutnya dalam menentukan karakteristik traksi sama dengan moda murni penggerak listrik yaitu melakukan perhitungan gaya traksi minimum (Ft min) dan gaya traksi maksimum (Ft maks) dari transmisi. Berikut merupakan perhitungan Ft min dan Ft maks berdasarkan persamaan 2.22.

- Ft minimum

$$Ft_{min} = \frac{It \times Ig \times Tm_{min}}{R} \times \eta_t$$

dimana : $Tm_{min} = 53\ \text{Nm}$ R $= 0{,}2879\ \text{m}$

$$Ft_{min} = \frac{1 \times 1 \times 53\ \text{Nm}}{0{,}2879\ \text{m}} \times 1$$

$$Ft_{min} = 182{,}67\ \text{N}$$

- Ft maksimum

$$\mathrm{Ft_{maks}} = \frac{\mathrm{It} \times \mathrm{Ig} \times \mathrm{Tm_{maks}}}{\mathrm{R}} \times \eta_t$$

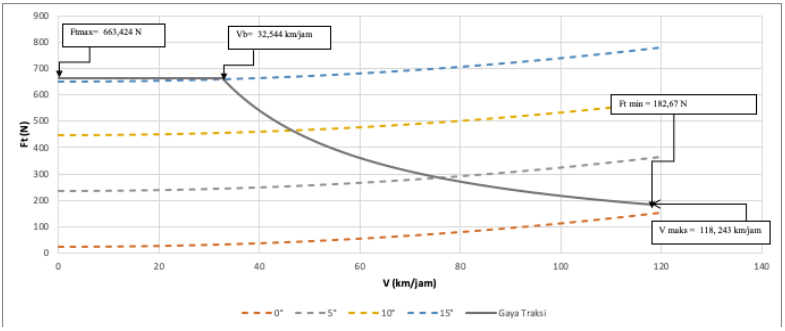
dimana : $\mathrm{Tm_{maks}} = 191\ \mathrm{Nm}$ R $= 0{,}2879\ \mathrm{m}$

$$\mathrm{Ft_{maks}} = \frac{1 \times 1 \times 191\ \mathrm{Nm}}{0{,}2879\ \mathrm{m}} \times 1$$

$$\mathrm{Ft_{maks}} = 663{,}424\ \mathrm{N}$$

Perhitungan untuk mendapatkan Ft min dan Ft maks diatas menggunakan torsi minimum dan juga torsi maksimum dari motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor. Didapatkan hasil sebesar 189,759 N untuk Ft min dan 663,424 N untuk Ft maks.

Berdasarkan hasil perhitungan V base, V maksimum, Ft minimum, dan juga Ft maksimum pada sub bab sebelumnya bisa dilakukan plotting sehingga didapatkan grafik karakteristik traksi. Berikut merupakan grafik dari karakteristik traksi sepeda motor *hybrid* seri moda *hybrid*.




**Gambar 4.10** Grafik Karakteristik Traksi Moda *Hybrid*

Dari gambar diatas 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 *hyrbid* 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 sama dengan Ketika moda murni penggerak listrik.

### 4.4.3 Karakteristik Traksi Moda Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU

Setelah mendapatkan spesifikasi baterai yang akan digunakan maka bisa dilakukan perhitungan dan analisis pada moda penggerak mesin dan isi accu. Pada sepeda motor *hybrid* seri moda penggerak mesin dan pengisi ACCU, *engine*-generator menjadi sumber daya untuk motor listrik dan juga untuk mengisi baterai Ketika SOC baterai sudah mencapai kurang dari 20%. Pada moda ini *engine*-generator akan membagi dua daya yang dihasilkannya, sehingga performa yang dihasilkan motor akan menurun dibandingkan dengan moda murni penggerak listrik dan juga moda *hybrid.* Untuk mendapatkan karakteristik traksi moda penggerak mesin dan pengisi ACCU, hal yang pertama dilakukan adalah mencari besar daya baterai (Pb) yang masuk untuk mengisi baterai menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$Pb = (V.I)/1000$$

dimana : Tegangan (V) = 60 V

Arus Pengisian (I) = 5A

$$Pb = (60\text{V} \,.\, 5\text{A})/1000$$
$$\text{Pb} = 0{,}3\ \text{kW}$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa daya maksimal yang bisa diterima baterai dari *engine*-generator ketika proses mengisi adalah sebesar 0,3 kW. Setelah itu untuk mendapatkan gaya traksi dibutuhkan torsi, karena sumber daya untuk motor listrik hanya berasal dari *engine*-generator yang menghasilkan daya 3 kW, berikut merupakan contoh perhitungan itu mencari torsi yang dapat dialirkan dikeluarkan motor listrik pada moda ini.

$$\text{Tm} = \frac{(\text{Pe} - \text{Pb}).\,60000}{2\,.\,\pi\,.\,\text{n}}\ (\text{Nm})$$

dimana : $P_e = 3$ kW n = 140

$$\text{Tm} = \frac{(3 - 0{,}3).\,60000}{2\,.\,3{,}14\,.\,140}\ (\text{Nm})$$

$$\text{Tm} = 184{,}258\ \text{Nm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan torsi maksimum dan minimum pada putarann 1090 yang dapat dikeluarkan motor listrik adalah sebesar 191 Nm dan 82,202 Nm. Setelah didapatkan besar torsi maksimum dan minimum, dapat dilakukan perhitungan Ft maksimum dan Ft minimum. Berikut merupakan perhitungan Ft min dan Ft maks berdasarkan persamaan 2.22.

- Ft minimum

$$\mathrm{Ft_{min}} = \frac{\mathrm{It} \times \mathrm{Ig} \times \mathrm{Tm_{min}}}{\mathrm{R}} \times \eta_t$$

dimana : $\mathrm{Tm_{min}} = 23{,}662$ Nm R $= 0{,}2879$ m

$$\mathrm{Ft_{min}} = \frac{1 \times 1 \times 19{,}853\ \mathrm{Nm}}{0{,}2879\ \mathrm{m}} \times 1$$

$$\mathrm{Ft_{min}} = 82{,}202\ \mathrm{N}$$

- Ft maksimum

$$\mathrm{Ft_{maks}} = \frac{\mathrm{It} \times \mathrm{Ig} \times \mathrm{Tm_{maks}}}{\mathrm{R}} \times \eta_t$$

dimana : $\mathrm{Tm_{maks}} = 191$ Nm R $= 0{,}2879$ m

$$\mathrm{Ft_{maks}} = \frac{1 \times 1 \times 191\ \mathrm{Nm}}{0{,}2879\ \mathrm{m}} \times 1$$

$$\mathrm{Ft_{maks}} = 663{,}424\ \mathrm{N}$$

Dari perhitungan diatas idapatkan hasil sebesar 82,202 N untuk Ft min dan 663,424 N untuk Ft maks. Setelah mendapatkan gaya traksi pada moda ini, berikutnya menghitung Vbase dan Vmaks berdasarkan putaran motor listrik. Berikut merupakan perhitungan untuk mencari Vbase dan Vmaks pada moda ini.

- Kecepatan *base*

$$\mathrm{V_{base}} = \frac{\pi \times \mathrm{R} \times \mathrm{N_{base}}}{30 \times \mathrm{It} \times \mathrm{Ig}}$$

dimana : $N_{base} = 135$ R $= 0{,}2879$ m

$$V_{base} = \frac{3{,}14 \times 0{,}2879\ \text{m} \times 113}{30 \times 1 \times 1} \times \frac{3600\ \text{s}}{1000\ \text{m}}$$

$$V_{base} = 14{,}65\ \text{km/jam}$$

- Kecepatan maksimum

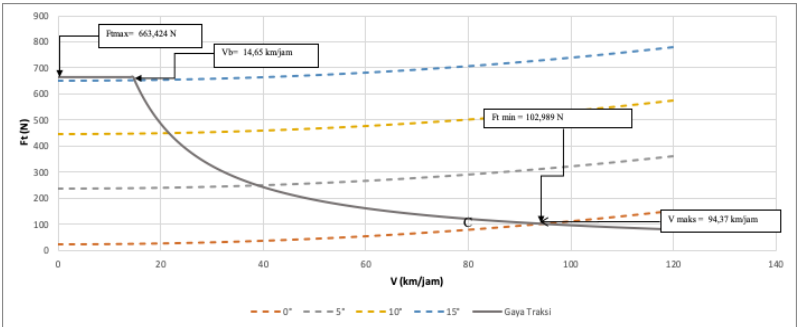
$$V_{maks} = \frac{\pi \times R \times N_{maks}}{30 \times It \times Ig}$$

dimana : $N_{maks} = 1090$ R $= 0{,}2879$ m

$$V_{maks} = \frac{3{,}14 \times 0{,}2879\ \text{m} \times 1090}{30 \times 1 \times 1} \times \frac{3600\ \text{s}}{1000\ \text{m}}$$

$$V_{maks} = 118{,}243\ \text{km/jam}$$

Berdasarkan perhitungan Vbase dan Vmaks berdasarkan putaran base sebesar 135 rpm dan putaran maksimum motor sebesar 1090 rpm, didapatkan nilai Vbase yaitu 14,65 km/jam dan Vmaks sebesar 118,243 km/jam. Namun nilai kecepatan maksimum yang sebenarnya akan didapat dari perhitungan dan analisa gaya traksi pada kendaraan yang dipengaruhi gaya hambat total, dimana nanti akan didapat perpotongan garis gaya traksi dengan gaya hambat pada grafik karakteristik traksi. Berikut merupakan grafik yang didapatkan dari *plotting* dari perhitungan yang sudah dilakukan.




**Gambar 4.11** Grafik Karakteristik Traksi Moda Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU.

Dari gambar diatas 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 *hyrbid* 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 karena terdapat perpotongan dai gaya traksi dan gaya hambat pada sudut 0 derajat.

## 4.5 Karakteristik Daya Kendaraan

Pada sub bab ini akan dilakukan perhitungan dan analisis daya yang diberikan kendaraan pada setiap moda berkendara

beserta pembahasan grafik karakteristik daya yang sudah didapatkan. Moda berkendara yang akan dianalisa adalah moda murni penggerak listrik dan moda *hybrid*, sedangkan perhitungan dan analisis untuk moda penggerak mesin dan isi ACCU dilakukan setelah mendapatkan spesifikasi dari baterai.

### 4.5.1 Karakteristik Daya Moda Murni Penggerak Listrik (*Pure Electric*)

Perhitungan karakteristik daya sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik ini diperoleh berdasarkan data torsi dan putaran motor listrik. Berikut ini menggunakan persamaan 2.24 merupakan contoh perhitungan pada putaran motor listrik 200 rpm dan torsi sebesar 191 Nm.

$$P_t = F_t \times V$$

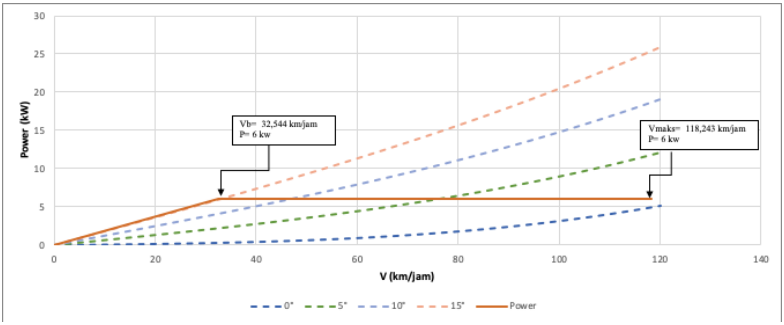
dimana : $F_t = 663{,}424\ \text{N}$ $V = 21{,}69\ \text{km/jam}$

$$P_t = \left(\frac{663{,}424\ \text{N}}{1000}\right) \times \left(\frac{21{,}69\ \text{km/jam}}{3.6}\right)$$

$$P_t = 3{,}998\ \text{kW}$$

Perhitungan diatas dilakukan pada putaran motor listrik dari 0 rpm sampai 1090 rpm, dan juga dilakukan pada torsi 191 Nm sampai dengan 52 Nm. Pada sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik ini daya yang dikeluarkan oleh motor listrik didapatkan sepenuhnya dari daya yang dihasilkan baterai.

Setelah melakukan perhitungan daya yang dikeuarkan oleh motor listrik, maka dapat diperoleh karakteristik power dengan melukakn *plotting* untuk mendapatkan grafik. Berikut merupakan karakteristik power sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik.




**Gambar 4.12** Grafik Karakteristik Daya Moda Murni Penggerak Listrik.

Dari gambar diatas 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 *hyrbid* 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.

### 4.5.2 Karakteristik Daya Moda *Hybrid*

Perhitungan karakteristik daya sepeda motor *hybrid* seri moda *hybrid* ini diperoleh berdasarkan data torsi dan putaran motor listrik sama dengan moda murni penggerak listrik. Berikut ini menggunakan persamaan 2.24 merupakan contoh perhitungan pada putaran motor listrik 200 rpm dan torsi sebesar 191 Nm.

$$P_t = F_t \times V$$

dimana : $F_t = 663{,}424\ \text{N}$ $V = 21{,}69\ \text{km/jam}$

$$P_t = \left(\frac{663{,}424\ \text{N}}{1000}\right) \times \left(\frac{21{,}69\ \text{km/jam}}{3.6}\right)$$

$$P_t = 3{,}998\ \text{kW}$$

Perhitungan diatas dilakukan pada putaran motor listrik dari 0 rpm sampai 1090 rpm, atau dilakukan pada torsi 191 Nm sampai dengan 52 Nm, hasil dari perhitungan karakteristik daya yang dilakukan pada moda *hybrid* sama dengan pada moda murni penggerak listrik. Perbedaan dari kedua moda ini hanya dari *supply* dayanya, untuk moda murni penggerak listrik daya yang didapatkan hanya dari baterai, sedangkan untuk moda *hybrid* mendapatkan dua *supply* daya dari baterai dan juga *engine*-generator. Dalam perancangan sepeda motor *hybrid* seri moda *hybrid* ini motor listrik akan mendapatkan daya dari baterai sebesar 50%, sedangkan dari *engine*-generator sebesar 50%. Daya yang dialirkan dari *engine*-generator hanya sebesar 50% dari total yang dibutuhkan motor listrik karena daya yang dikeluarkan *engine*-generator hanya sebesar 3 kW. Berikut merupakan contoh perhitungan dari daya yang dibutuhkan baterai dan *engine*-generator untuk untuk menggerakkan motor listrik pada moda murni penggerak listrik berdasarkan persamaan 2.3.

$$P_b + P_e = P_t$$

dimana : $P_{t200} = 5{,}966\ \text{kW}$

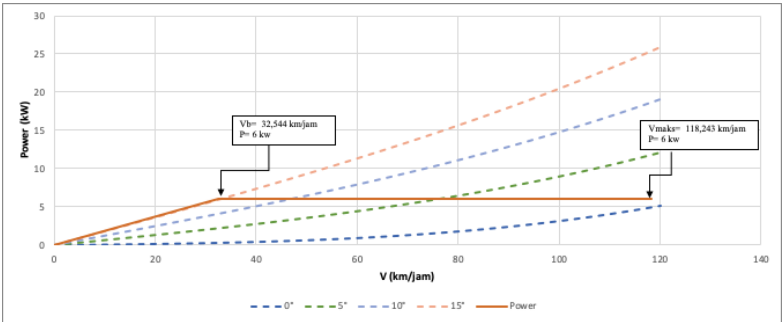
$$P_b + P_e = 3{,}998\ \text{kW}$$

$P_b = 0{,}5 \times 3{,}998\ \text{kW}$ $P_e = 0{,}5 \times 3{,}998\ \text{kW}$

$P_b = 1{,}999\ \text{kW}$ $P_e = 1{,}999\ \text{kW}$

Dari perhitungan diatas menunjukkan bahwa daya untuk menggerakkan motor listrik pada moda *hybrid* yang mengeluarkan daya sebesar 3,998 kW membutuhkan daya dari baterai sebesar 1,999 kW dan dari *engine*-generator sebesar 1,999 kW.

Setelah melakukan perhitungan daya yang dikeuarkan oleh motor listrik, maka dapat diperoleh karakteristik power dengan melakukan *plotting* untuk mendapatkan grafik. Berikut merupakan karakteristik power sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik.




**Gambar 4. 13** Grafik Karakteristik Daya Moda *Hybrid*

Dari gambar diatas didapatkan karakteristik daya 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 *hyrbid* 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.

### 4.5.3 Karakteristik Daya Moda Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU

Perhitungan karakteristik daya sepeda motor *hybrid* seri moda *hybrid* ini diperoleh berdasarkan data torsi dan putaran motor listrik yang sesuai pada subbab 4.5.3. Berikut ini menggunakan persamaan 2.24 merupakan contoh perhitungan pada putaran motor listrik 120 rpm dan torsi sebesar 180 Nm.

$$P_t = F_t \times V$$

dimana : $F_t = 626{,}378\ \text{N}$ $V = 13{,}017\ \text{km/jam}$

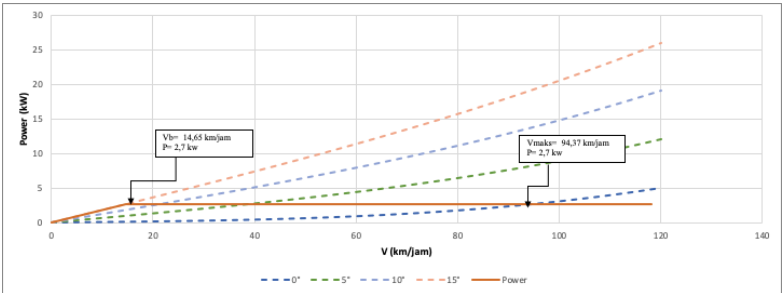
$$P_t = \left(\frac{626{,}378\text{N}}{1000}\right) \times \left(\frac{13{,}017\ \text{km/jam}}{3.6}\right)$$

$$P_t = 2{,}265\ \text{kW}$$

Perhitungan diatas dilakukan pada putaran motor listrik dari 0 rpm sampai 1090 rpm, atau dilakukan pada torsi 191 Nm sampai dengan 19,85 Nm. Pada moda ini *supply* daya yang didapatkan motor listrik hanya dari *engine*-generator. Selain untuk menggerakkan motor listrik, *engine*-generator pada moda ini juga sebagai pengisi baterai. Dalam perancangan sepeda motor *hybrid* seri moda penggerak mesin dan pengisi ACCU ini baterai akan

mendapatkan daya maksimal untuk keadaan mengisi, sedangkan motor listrik akan mendapatkan daya dari *engine*-generator yang sudah dikurangi dengan daya ke baterai.

Setelah melakukan perhitungan daya yang dikeuarkan oleh motor listrik, maka dapat diperoleh karakteristik power dengan melakukan *plotting* untuk mendapatkan grafik. Berikut merupakan karakteristik power sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak listrik.




**Gambar 4. 14** Grafik Karakteristik Daya Moda Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU

Dari gambar diatas 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 *hyrbid* 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

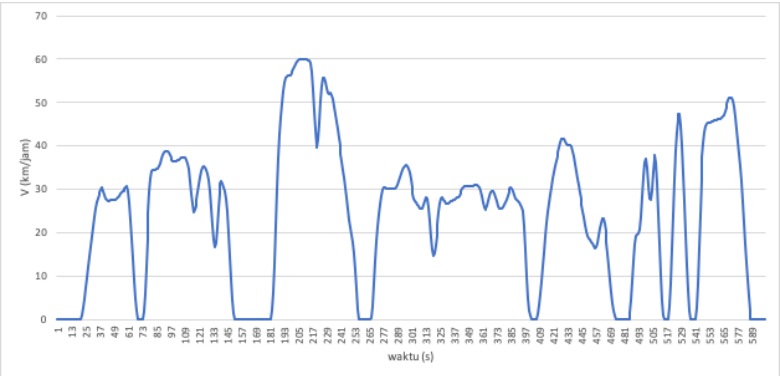
dicapai pada sepeda motor *hybrid* seri moda murni penggerak mesin dan pengisi ACCU adalah 94,37 km/jam karena terdapat perpotangan antara gaya traksi dan gaya hambat pada sudut 0 derajat.

## 4.6 Konsumsi Energi

Pada subbab konsumsi energi ini membahas mengenai perhitungan dan analisis konsumsi energi yang didapatkan dari suatu *driving cycle* .

### 4.6.1 Driving Cycle

*Driving cycle* yang dipilih adalah *driving cycle World Motorcycle Test Cycle* (WMTC). *Driving cycle* ini dipilih karena WMTC merupakan *driving cycle* untuk pengujian sepeda motor. Pada *driving cycle* ini terdapat 3 *part* yaitu untuk zona perkotaan, luar kota jalan sekunder, dan luar kota jalan utama. Pada analisis konsumsi energi ini menggunakan *part* 1 dikarenakan sepeda motor *hybrid* seri dirancang untuk digunakan di dalam kota. Berikut merupakan *plotting driving cycle* yang sesuai dengan gambar 2.13.




**Gambar 4.15** Grafik siklus WMTC *part* 1

### 4.6.2 Perhitungan Daya Kendaraan

Dilakukan perhitungan daya sepeda motor *hybrid* seri selema berjalan sesuai dengan *driving cycle* WMTC *part* 1 dan *part* 2 tanpa pengereman. Untuk mengetahui daya sepeda motor *hybrid seri* diperlukan total gaya hambat dari gaya hambat angina, gaya hambat *rolling,* dan gaya inersianya. Berikut merupakan contoh perhitungan gaya hambat total pada detik ke-200 untuk WMTC *part* 1.

$$F_{tot} = \left(f_r . W + \frac{1}{2} . \rho . C_d . A_f . V^2\right) + (m \times k_m \times a)$$

dimana : $\mathrm{m} = 247{,}5\ \mathrm{kg}$ $V_{200} = 57{,}2 \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{jam}} = 15{,}889 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

$\mathrm{g} = 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ $a_{200} = 0{,}1389 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

$\rho_u = 1{,}2\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$ $\mathrm{Af} = 0{,}25\ \mathrm{m}^2$

$\mathrm{Cd} = 0{,}65$ $\mathrm{km} = 1{,}0426$

$\mathrm{fr}_{200} = 0{,}01123$

$$\mathrm{F_{tot}} = \left(0{,}01123 \times 247{,}5\ \mathrm{kg} \times 9{,}81\ {}^{\mathrm{m}}/_{\mathrm{s}^2}\right) + \left(\frac{1}{2} \times 1{,}2\ {}^{\mathrm{kg}}/_{\mathrm{m}^3} \times 0{,}65 \times 0{,}25\ \mathrm{m}^2 \times \left(15{,}889 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2\right) + \left(247{,}5\ \mathrm{kg} \times 1{,}0426 \times 0{,}1389 \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}\right)$$

$$\mathrm{F_{tot}} = 85{,}291\ \mathrm{N}$$

Setelah mengetahui gaya hambat dari sepeda motor *hybrid* seri, dilakukan perhitungan untuk mencari daya. Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan untuk mencari daya sepeda motor *hybrid* seri pada detik ke-200 WMTC *part* 1.

$$\mathrm{RHP_p} = \mathrm{F_{tot}} \times \mathrm{V_k}$$

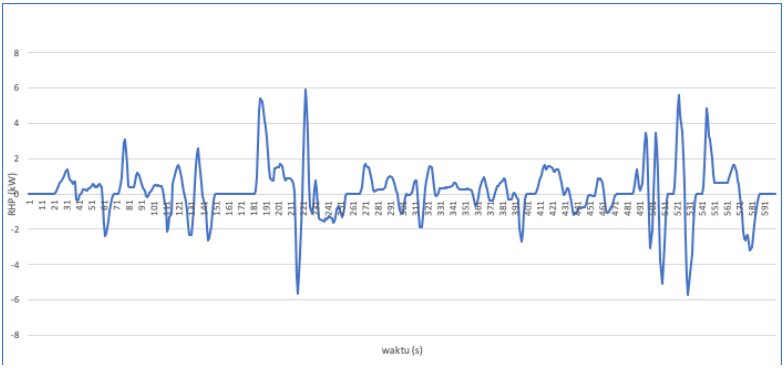
dimana : $\mathrm{F_{tot}} = 85{,}291\ \mathrm{N}$

$$V_{200} = 57{,}2\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{jam}} = 15{,}889\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

$$\mathrm{RHP_p} = 85{,}291 \times 15{,}889\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

$$\mathrm{RHP_p} = 1355{,}179\ \mathrm{W} = 1{,}355\mathrm{kW}$$

Setelah melakukan perhitungan mencari daya yang dibutuhkan sepeda motor *hybrid* seri pada grafik WMTC *part* 1 maka dapat di*plotting* sehingga didapatkan grafik terhadap waktu seperti berikut.




**Gambar 4.16** Grafik RHP WMTC *part* 1

Dapat dilihat grafik di atas, *road horse power* pada WMTC *part* 1 yang berada di daerah bernilai positif merupakan RHP ketika kendaraan berakselerasi, sedangkan garis yang berada di daerah bernilai negatif merupakan RHP ketika kendaraan berdeselerasi.

### 4.6.3 Perhitungan Konsumsi Energi

Dari sub bab sebelumnya telah didapatkan nilai *road horse power* sepeda motor *hybrid* seri pada setiap detik dari *driving cycle*,

setelah itu dapat dilakukan perhitungan kosnusmsi energi sepeda motor *hybrid* seri dengan melakukan perhitungan energi yang terpakai ketika melakukan akselerasi dengan cara pengintegralan. Adapun menghitung energi dengan rumus integral pada kurva linear dengan cara trapezoid ialah pada detik 22 ke 24 pada WMTC *part* 1 sebagai berikut.

$$E_p = \int_a^b RHP_p . dt$$
$$= \frac{\Delta x}{2}[RHP_0 + 2RHP_1 + \cdots + 2RHP_{n-1} + RHP_n]$$

dimana :
$$RHP_{mid\ 22} = 0{,}037\ kW$$
$$RHP_{mid\ 23} = 0{,}126\ kW$$
$$RHP_{mid\ 24} = 0{,}251\ kW$$
$$\Delta x = \frac{b-a}{n} = \frac{24-22}{2} = 1$$

$$E_p = \frac{1}{2}[0{,}037\ kW + 2(0{,}126) + 0{,}251\ kW]$$
$$E_p = 0{,}27\ KWs$$

Dari perhitungan sperti diatas untuk semua titik RHP akselerasi kemudian didapatkan nilai total energi yang terpakai dari detik 0 ke 600 untuk WMTC *part* 1 sebesar 0,08788 kWh.

Pada sepeda motor *hybrid* seri ini pergantian moda dirancang berdasarkan SOC baterai, Ketika SOC baterai lebih dari 60% akan beroperasi moda murni penggerak listrik, ketika SOC baterai kurang dari 60% namun masih lebih dari 20% akan beroperasi moda *hybrid,* sedangkan pada saat SOC kurang dari 20% maka akan beroperasi moda mesin dan isi ACCU. 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. Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan intensitas per moda operasi berkendara pada *driving cycle* WMTC *part* 1.

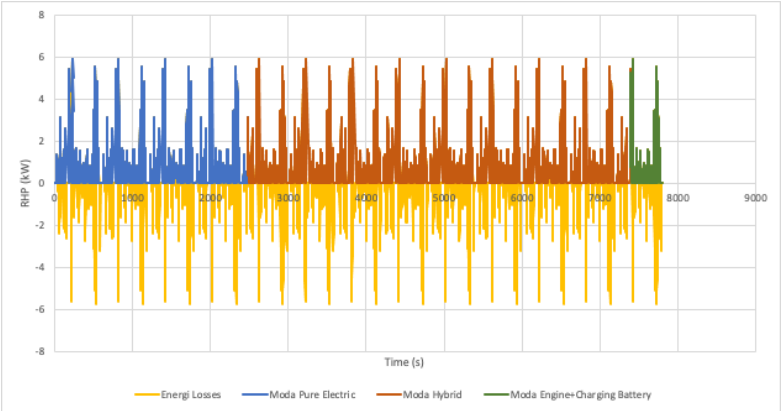
$$E_p = E_b - (SOC \times E_b)$$

Dimana : $E_b = 0{,}9$ kWh

$$E_p = 0{,}9 \text{ kWh} - (0{,}6 \times 1{,}5 \text{ kWh})$$
$$E_p = 0{,}36 \text{ kWh}$$

$$E_p = 0{,}9 \text{ kWh} - (0{,}2 \times 0{,}9 \text{ kWh})$$
$$E_p = 0{,}72 \text{ kWh}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, pada baterai berkapasitas 0,9 kWh dengan SOC baterai 60% artinya nilai kapasitas baterai yang telah terpakai sebesar 0,36 kWh sehingga moda yang akan beroperasi adalah moda *hybrid* pada *driving cycle* WMTC. Sedangkan ketika kendaraan menggunakan energi dari baterai masih kurang dari 0,36 kWh maka moda berkendara yang akan beroperasi adalah moda murni penggerak listrik (*pure electric*). Untuk SOC baterai 20% pada baterai 0,9 kWh artinya energi yang telah terpakai dari baterai bernilai sebesar 0,72 kWh, maka moda yang akan beroperasi adalah moda penggerak mesin dan pengisi ACCU dalam *driving cycle* WMTC ini. Dari klasifikasi moda operasi berkendara diatas maka didapatkan grafik seperti pada gambar 4.17.




**Gambar 4.17** Intensitas Moda Berkendara pada *Driving Cycle* WMTC

Gambar diatas merupakan grafik tiga belas siklus RHP WMTC *part* 1 yang 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.

Kemudian untuk jarak tempuh yang dapat dilalui kendaraan pada satu *driving cycle* WMTC *part* 1 dan *part* 2 dengan persamaan 2.33 detik ke 22 hingga 23 ialah sebagai berikut.

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

Dimana : $v_o = 1\frac{km}{jam} = 0{,}2778\frac{m}{s}$

$$\Delta t = 23s - 22s = 1s$$

$$a = 0{,}444\ m/s^2$$

$$s = (0{,}2778\frac{m}{s} \times 1s) + \frac{(0{,}444\ m/s^2 \times 1s)}{2}$$

$$s = 0{,}5\ m$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui total jarak tempuh ketika berakselerasi pada setiap detik dalam satu *driving cycle* WMTC *part* 1 ialah sebesar 2,365 km.

Setelah diketahui nilai kebutuhan energi motor, maka dilakukan perhitungan kebutuhan energi baterai menggunakan nilai efisiensi dari komponen yang dialiri energi nilai efisiensi yang digunakan ialah efisiensi motor listrik sebesar 0.9, efisiensi *power control* sebesar 0.95, dan efisiensi baterai sebesar 0.95 sesuai dengan literatur yang ada. Dengan nilai efisiensi demikian, dengan diketahui nilai total dari energi dan total jarak tempuh, konsumsi energi dapat dihitung dengan persamaan 2.27 sebagai berikut.

$$\mathrm{FE_{listrik}} = \frac{\mathrm{E_C}}{\mathrm{s} \times \eta_{\mathrm{m}} \times \eta_{\mathrm{fpc}} \times \eta_{\mathrm{fb}}} \left(\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{km}}\right)$$

Dimana : $\mathrm{E_{p\,tot}} = 0{,}7191$ kWh $\quad \eta_{\mathrm{m}} = 0.9$

$\mathrm{s_{tot}} = 28{,}997$ km $\quad \eta_{\mathrm{fpc}} = 0.95$

$\eta_{\mathrm{fb}} = 0.95$

$$\mathrm{FE_{listrik}} = \frac{0{,}7191\ \mathrm{kWh}}{28{,}997\ \mathrm{km} \times 0.9 \times 0.95 \times 0.95}$$

$$\mathrm{FE_{listrik}} = 0{,}0305\,\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{km}}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan konsumsi energi listrik pada sepeda motor *hybrid* seri sebesar 0,0305 kWh/km. Kemudian dilakukan perhitungan untuk konsumsi energi dari bahan bakar dengan efisiensi dari mesin sebesar 0.25. Berikut merupakan perhitungan konsumsi energi mesin.

$$\mathrm{FE_{bahan\ bakar}} = \frac{\mathrm{E_C}}{\mathrm{s} \times \eta_\mathrm{m} \times \eta_\mathrm{fpc} \times \eta_\mathrm{fe}} \left(\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{km}}\right)$$

Dimana : $\mathrm{E_{p\ tot}} = 0{,}4260\ \mathrm{kWh}$ $\quad \mathrm{s_{tot}} = 21{,}055\mathrm{km}$

$\eta_\mathrm{m} = 0.9$ $\quad \eta_\mathrm{fpc} = 0.95$

$\eta_\mathrm{fe} = 0.25$

$$FE = \frac{0{,}4260\mathrm{kWh}}{21{,}055\mathrm{km} \times 0.9 \times 0.95 \times 0.25}$$

$$\mathrm{FE_{bahan\ bakar}} = 0{,}0946\,\frac{\mathrm{kWh}}{\mathrm{km}}$$

$$\mathrm{FE_{bahan\ bakar}} = 6{,}564\,\frac{\mathrm{mile}}{\mathrm{gallons}}$$

$$\mathrm{FE_{bahan\ bakar}} = 94{,}33\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{liter}}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan konsumsi bahan bakar pada sepeda motor *hybrid* seri sebesar 94,33 km/liter.

### 4.6.4 Analisis Konsumsi Energi Kendaraan

Berikut merupakan hasil dari perhitungan konsumsi energi sepeda motor *hybrid* seri.

**Tabel 4.1** 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 |

Pada hasil perhitungan konsumsi energi kendaraan yang menggunakan *driving cycle* WMTC *part* 1 dengan kecepatan rata-rata 39,499 km/jam, didapatkan nilai konsumsi listrik dan bahan bakar dari sepeda motor *hybrid* seri adalah 0,0305 kWh/km dan 94,33 km/liter dengan nilai efisiensi mesin 0,25, efisiensi motor sebesar 0,90, efisiensi *power control* sebesar 0,95, dan efisiensi baterai 0,95.

**Halaman Sengaja Dikosongkan**

# BAB 5
# KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab 5 ini berisikan tentang kesimpulan yang diperoleh dari perhitungan dan perancangan Tugas dan juga saran yang berguna untuk perancangan Tugas Akhir ini agar kedepannya bisa dilanjutkan dan disempurnakan.

## 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan pada bab 4 maka didapatkan kesimpulan tugas akhir sebagai berikut:

1. Dalam perancangan sepeda motor *hybrid* seri ini motor listrik yang digunakan adalah motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor dengan spesifikasi sebagai berikut

**Tabel 5.1** Spesifikasi motor listrik QS 10inch 3000 W 205 50H BLDC Hub motor

| | |
|---|---|
| **Peak Power** | 6000 W |
| **Maximum Torque** | 191 Nm |
| **Maximum Efficiency** | 90% |
| **Speed** | 1090 rpm |
| **Size** | 10x3 inc |

2. Baterai yang digunakan pada sepeda motor *hybrid* seri adalah Rear Rack Type 60 V 15 Ah Electric Bicycle Lithium Battery Pack dengan spesifikasi sebagai berikut

**Tabel 5.2** Spesifikasi Rear Rack Type 60 V 15 Ah Electric Bicycle Lithium Battery Pack

| | | |
|---|---|---|
| Model | | 60V 15AH |
| Nominal Voltage | | 60V |
| Nominal Capacity | | 15AH |
| Composed Type | | 16S7P |
| Cells | | 3.7V Samsung 2200MAH 18650 CELL |
| BMS | Continouns Discharge Current | 40amp |
| | Peak Discharge Current | 120amp |
| Fit Motor Power | | 60v 500w 750w 1000W 1500W 2000W |
| Charge Current | | 2A-5A |
| Charge Cut-off Voltage | | 67.2V |
| Discharge Cut-off Voltage | | 45.0V |
| Discharge Temperature | | -20 to 65°C |
| Charge Temperature | | 0 to 45°C |
| Dimensions | | 80*150*360mm |
| Battery Weight | | 6.1kg |
| Cycle life | | ≥80% capacity after 1000 cycles |

3. Karakteristik traksi pada moda berkendara murni penggerak listrik (*pure electric*) mampu melawan gaya hambat hingga sudut 15 derajat sampai pada kecepatan 32,544 km/jam dengan nilai gaya traksi sebesar 663,424 N dan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 118,243 km/jam pada sudut 0 derajat, kemudian karakteristik traksi pada moda berkendara *hybrid* mampu melawan gaya hambat hingga sudut 15 derajat sampai pada kecepatan 32,544 km/jam dengan nilai gaya traksi sebesar 663,424 N dan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 118,243 km/jam pada sudut 0 derajat, dan karakteristik traksi pada moda penggerak mesin dan pengisi ACCU mampu melawan gaya hambat hingga sudut 15 derajat sampai pada kecepatan 14,65 km/jam dengan nilai gaya traksi sebesar 663,424 N dan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 94,37 km/jam pada sudut 0 derajat.

4. Karakteristik *power* pada moda berkendara murni penggerak listrik (*pure electric*) mampu melawan gaya hambat hingga sudut 15 derajat sampai pada kecepatan 32,544 km/jam dan mencapai kecepatan maksimum sebesar 118,243 km/jam dengan *power* sebesar 6 kW, kemudian karakteristik *power* pada moda *hybrid* mampu melawan gaya hambat hingga sudut 15 derajat sampai pada kecepatan 32,544 km/jam dan mencapai kecepatan maksimum sebesar 118,243 km/jam dengan *power* sebesar 6 kW, dan karakteristik *power* pada moda penggerak mesin dan pengisi ACCU mampu melawan gaya hambat hingga sudut 15 derajat sampai pada kecepatan 14,65 km/jam dan mencapai kecepatan maksimum sebesar 88,954 km/jam dengan *power* sebesar 2,7 kW.

5. Konsumsi energi yang bisa didapatkan dari *driving cycle* WMTC pada rancangan sepeda motor *hybrid* seri adalah sebagai berikut

**Tabel 5.2** 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 |

## 5.2 Saran

Berdasarkan analisis dan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Perlu adanya variabel-variabel masukan yang lebih kompleks seperti kondisi jalan, temperature operasi kendaraan, dan faktor lain dalam perhitungan dan analisis agar didapat hasil yang mendekati keadaan nyata.

2. Perlu dilakukan perhitungan dan analisis lebih lanjut untuk penempatan komponen-komponen yang telah ditentukan pada tugas akhir ini.
3. Perlu dilakukan pembahasan mengenai *control* yang telah dianjurkan pada lampiran untuk menunjang terrealisasinya kendaraan.

# DAFTAR PUSTAKA

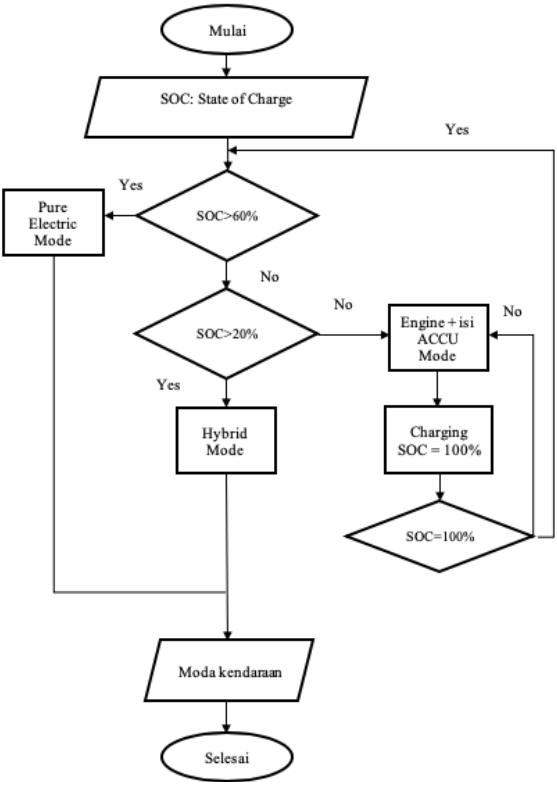

1. Badan Pusat Statistik. 2019. *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis, 1949-2018.* https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133.
2. Ehsani, Mehrdad dan Yimin Gao. 2010. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicle Fundamentals, Theory, and Design*. New York: CRC Press.
3. Heath, RPG. 2007. Seamless AMT offers efficient alternative to CVT. *JSAE Annual Congress,* 314. https://www.scribd.com/document/195202379/Seamless-AMT-Offers-Efficient-Alternative-to-CVT
4. Husain, I. 2005. *Elcetric and Hybrid Vehicles : Design Fundamentals.* Ohio: Taylor and Franci e-Library.
5. Li, B., Hu, C., Wang, H., Khajepour, A., Huang, Y., Zhao, K., & Ji, J. (2018). A review of power management strategies and component sizing methods for hybrid vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *96*(April 2017), 132–144. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.020
6. Mi, C., Masrur, M. A., & Gao, D. W. 2011. *Hybrid Elecetric Vehicles : Principles and Applications With Practical Prespectives*. West Sussex: John Wiley and Sons Ltd.
7. Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia. 2018. *Handbook of Energy & Economic Statistics*

*of Indonesia.* https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2018-final-edition.pdf.

8. Nguyen, Van-Trang dan Pyung Hwang. 2019. Study of a Novel Hybrid Powertrain System for Honda Wave 110 cc Motorcycle with Rear Wheel Electric Motor. *International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology,* 5, 43-46. http://ijisset.org/wp-content/uploads/2019/04/IJISSET-050416.pdf
9. PT Astra Honda Motor. 2016. *Spesifikasi Motor Honda Revo.* https://www.astra-honda.com/product/revo-x.
10. QSMOTOR 10inch 3000W 205 50H V3 60V 80KPH. *Catalogue E-Scooter Motorcycle Motor.* Taizhou city, China.
11. Rear Rack Type 60 V 15 Ah Electric Bicycle Lithium Battery Pack. *Catalogue AliExpress.* USA.
12. Rifa'I, Muchlis. 2016. Analisis Perancangan Sistem Suplai Daya pada Kendaraan Produksi Pertanian Multiguna Pedesaan. *Laporan Tugas Akhir*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
13. Sheikh, Ahmed Zia. 2019. Comparative Analysis of Parallel vs Series Hybrid Electric Powertrains. *Thesis*. New York. Rochester Institute of Technologi.

14. Sutantra, I.N. 2015. *Teknologi Otomotif Hybrid* (1 ed).Surabaya: Guna Widya.
15. Sutantra, I. Nyoman dan Bambang Sampurno. 2010. *Teknologi Otomotif* (2 ed). Surabaya: Widya Guna.
16. United Nations Economic Comission for Europe. 2003. *Worldwide Harmonised Motorcycle Emissions Certification Procedure.* https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2003/wp29grpe/TRANS-WP29-GRPE-45-inf09e.pdf.

## Lampiran 1: Rekomendasi *Flowchart control system*



# Lampiran 2: Hasil Perhitungan Gaya Hambat Kendaraan

| v (km/jam) | V (m/s) | Ft(N) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0° | 5° | 10° | 15° |
| 0 | 0 | 24.27975 | 235.799323 | 445.52432 | 651.858609 |
| 1 | 0.2777778 | 24.287424 | 235.806996 | 445.531992 | 651.866278 |
| 2 | 0.5555556 | 24.3106472 | 235.830217 | 445.555207 | 651.889482 |
| 3 | 0.8333333 | 24.3496159 | 235.869181 | 445.594157 | 651.92841 |
| 4 | 1.1111111 | 24.4044766 | 235.924035 | 445.648988 | 651.983203 |
| 5 | 1.3888889 | 24.4753517 | 235.994899 | 445.719819 | 652.053979 |
| 6 | 1.6666667 | 24.5623492 | 236.081881 | 445.806757 | 652.140843 |
| 7 | 1.9444444 | 24.6655664 | 236.185079 | 445.909898 | 652.243889 |
| 8 | 2.2222222 | 24.7850928 | 236.304582 | 446.029329 | 652.363203 |
| 9 | 2.5000000 | 24.9210116 | 236.440472 | 446.165134 | 652.498865 |
| 10 | 2.7777778 | 25.073401 | 236.592828 | 446.317388 | 652.650952 |
| 11 | 3.0555556 | 25.242335 | 236.761722 | 446.486165 | 652.819534 |
| 12 | 3.3333333 | 25.4278838 | 236.947226 | 446.671534 | 653.004679 |
| 13 | 3.6111111 | 25.6301146 | 237.149406 | 446.873561 | 653.206453 |
| 14 | 3.8888889 | 25.8490919 | 237.368326 | 447.09231 | 653.424917 |
| 15 | 4.1666667 | 26.0848776 | 237.604048 | 447.327841 | 653.660131 |
| 16 | 4.4444444 | 26.3375315 | 237.856631 | 447.580213 | 653.912154 |
| 17 | 4.7222222 | 26.6071114 | 238.126134 | 447.849484 | 654.181041 |
| 18 | 5.0000000 | 26.8936735 | 238.412611 | 448.135708 | 654.466846 |
| 19 | 5.2777778 | 27.1972721 | 238.716118 | 448.43894 | 654.769622 |
| 20 | 5.5555556 | 27.5179602 | 239.036707 | 448.759231 | 655.089419 |
| 21 | 5.8333333 | 27.8557894 | 239.374428 | 449.096632 | 655.426288 |
| 22 | 6.1111111 | 28.2108098 | 239.729334 | 449.451193 | 655.780278 |
| 23 | 6.3888889 | 28.5830707 | 240.101471 | 449.822962 | 656.151435 |
| 24 | 6.6666667 | 28.97262 | 240.490889 | 450.211986 | 656.539806 |
| 25 | 6.9444444 | 29.3795047 | 240.897634 | 450.618311 | 656.945437 |
| 26 | 7.2222222 | 29.8037708 | 241.321751 | 451.041984 | 657.368371 |
| 27 | 7.5000000 | 30.2454633 | 241.763286 | 451.483047 | 657.808653 |
| 28 | 7.7777778 | 30.7046266 | 242.222283 | 451.941546 | 658.266324 |
| 29 | 8.0555556 | 31.1813039 | 242.698784 | 452.417521 | 658.741428 |
| 30 | 8.3333333 | 31.6755379 | 243.192833 | 452.911017 | 659.234005 |
| 31 | 8.6111111 | 32.1873706 | 243.704472 | 453.422073 | 659.744096 |
| 32 | 8.8888889 | 32.7168432 | 244.23374 | 453.95073 | 660.27174 |
| 33 | 9.1666667 | 33.2639962 | 244.780679 | 454.497029 | 660.816977 |
| 34 | 9.4444444 | 33.8288696 | 245.345328 | 455.061008 | 661.379845 |
| 35 | 9.7222222 | 34.4115027 | 245.927727 | 455.642707 | 661.960383 |
| 36 | 10.0000000 | 35.0119342 | 246.527915 | 456.242163 | 662.558627 |
| 37 | 10.2777778 | 35.6302024 | 247.145928 | 456.859414 | 663.174615 |
| 38 | 10.5555556 | 36.2663449 | 247.781805 | 457.494498 | 663.808382 |
| 39 | 10.8333333 | 36.9203989 | 248.435584 | 458.147451 | 664.459966 |
| 40 | 11.1111111 | 37.5924011 | 249.107299 | 458.818308 | 665.129401 |
| 41 | 11.3888889 | 38.2823877 | 249.796988 | 459.507106 | 665.816722 |
| 42 | 11.6666667 | 38.9903945 | 250.504686 | 460.21388 | 666.521964 |
| 43 | 11.9444444 | 39.7164568 | 251.230428 | 460.938665 | 667.245161 |
| 44 | 12.2222222 | 40.4606096 | 251.97425 | 461.681495 | 667.986347 |

| v (km/jam) | V (m/s) | Ft(N) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0° | 5° | 10° | 15° |
| 45 | 12.5000000 | 41.2228873 | 252.736185 | 462.442404 | 668.745554 |
| 46 | 12.7777778 | 42.0033241 | 253.516267 | 463.221426 | 669.522817 |
| 47 | 13.0555556 | 42.8019537 | 254.31453 | 464.018593 | 670.318168 |
| 48 | 13.3333333 | 43.6188095 | 255.131008 | 464.83394 | 671.131638 |
| 49 | 13.6111111 | 44.4539246 | 255.965733 | 465.667497 | 671.96326 |
| 50 | 13.8888889 | 45.3073315 | 256.818738 | 466.519298 | 672.813065 |
| 51 | 14.1666667 | 46.1790627 | 257.690055 | 467.389375 | 673.681085 |
| 52 | 14.4444444 | 47.0691503 | 258.579715 | 468.277758 | 674.567351 |
| 53 | 14.7222222 | 47.9776258 | 259.487752 | 469.18448 | 675.471892 |
| 54 | 15.0000000 | 48.9045208 | 260.414195 | 470.109571 | 676.394741 |
| 55 | 15.2777778 | 49.8498664 | 261.359076 | 471.053061 | 677.335925 |
| 56 | 15.5555556 | 50.8136933 | 262.322425 | 472.014982 | 678.295476 |
| 57 | 15.8333333 | 51.7960322 | 263.304273 | 472.995362 | 679.273423 |
| 58 | 16.1111111 | 52.7969134 | 264.304651 | 473.994233 | 680.269795 |
| 59 | 16.3888889 | 53.8163668 | 265.323588 | 475.011623 | 681.284622 |
| 60 | 16.6666667 | 54.8544221 | 266.361113 | 476.047563 | 682.317931 |
| 61 | 16.9444444 | 55.9111091 | 267.417256 | 477.10208 | 683.369751 |
| 62 | 17.2222222 | 56.9864568 | 268.492047 | 478.175204 | 684.440111 |
| 63 | 17.5000000 | 58.0804943 | 269.585514 | 479.266963 | 685.529039 |
| 64 | 17.7777778 | 59.1932504 | 270.697686 | 480.377386 | 686.636562 |
| 65 | 18.0555556 | 60.3247537 | 271.828591 | 481.506501 | 687.762708 |
| 66 | 18.3333333 | 61.4750325 | 272.978257 | 482.654335 | 688.907505 |
| 67 | 18.6111111 | 62.644115 | 274.146713 | 483.820917 | 690.07098 |
| 68 | 18.8888889 | 63.832029 | 275.333987 | 485.006274 | 691.253158 |
| 69 | 19.1666667 | 65.0388022 | 276.540105 | 486.210434 | 692.454069 |
| 70 | 19.4444444 | 66.2644623 | 277.765096 | 487.433422 | 693.673737 |
| 71 | 19.7222222 | 67.5090364 | 279.008987 | 488.675267 | 694.912189 |
| 72 | 20.0000000 | 68.7725516 | 280.271804 | 489.935994 | 696.169452 |
| 73 | 20.2777778 | 70.055035 | 281.553574 | 491.215631 | 697.445552 |
| 74 | 20.5555556 | 71.3565132 | 282.854325 | 492.514204 | 698.740514 |
| 75 | 20.8333333 | 72.6770128 | 284.174082 | 493.831739 | 700.054363 |
| 76 | 21.1111111 | 74.0165601 | 285.512871 | 495.168261 | 701.387126 |
| 77 | 21.3888889 | 75.3751814 | 286.87072 | 496.523798 | 702.738828 |
| 78 | 21.6666667 | 76.7529026 | 288.247653 | 497.898373 | 704.109494 |
| 79 | 21.9444444 | 78.1497497 | 289.643697 | 499.292013 | 705.499148 |
| 80 | 22.2222222 | 79.5657483 | 291.058877 | 500.704744 | 706.907816 |
| 81 | 22.5000000 | 81.000924 | 292.493219 | 502.136589 | 708.335523 |
| 82 | 22.7777778 | 82.4553021 | 293.946747 | 503.587575 | 709.782292 |
| 83 | 23.0555556 | 83.9289078 | 295.419487 | 505.057725 | 711.248148 |
| 84 | 23.3333333 | 85.4217662 | 296.911464 | 506.547066 | 712.733116 |
| 85 | 23.6111111 | 86.9339023 | 298.422703 | 508.05562 | 714.237219 |
| 86 | 23.8888889 | 88.4653407 | 299.953229 | 509.583413 | 715.760482 |
| 87 | 24.1666667 | 90.016106 | 301.503065 | 511.130469 | 717.302928 |
| 88 | 24.4444444 | 91.5862229 | 303.072237 | 512.696812 | 718.86458 |
| 89 | 24.7222222 | 93.1757155 | 304.660768 | 514.282466 | 720.445463 |
| 90 | 25.0000000 | 94.7846082 | 306.268682 | 515.887455 | 722.0456 |
| 91 | 25.2777778 | 96.4129248 | 307.896005 | 517.511802 | 723.665013 |
| 92 | 25.5555556 | 98.0606895 | 309.542759 | 519.155531 | 725.303726 |
| 93 | 25.8333333 | 99.727926 | 311.208968 | 520.818665 | 726.961762 |

| v (km/jam) | V (m/s) | Ft(N) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0° | 5° | 10° | 15° |
| 94 | 26.1111111 | 101.414658 | 312.894655 | 522.501229 | 728.639145 |
| 95 | 26.3888889 | 103.120909 | 314.599845 | 524.203244 | 730.335895 |
| 96 | 26.6666667 | 104.846702 | 316.324561 | 525.924734 | 732.052037 |
| 97 | 26.9444444 | 106.592061 | 318.068825 | 527.665722 | 733.787593 |
| 98 | 27.2222222 | 108.357009 | 319.832661 | 529.426231 | 735.542585 |
| 99 | 27.5000000 | 110.141569 | 321.616092 | 531.206283 | 737.317035 |
| 100 | 27.7777778 | 111.945763 | 323.41914 | 533.005901 | 739.110966 |
| 101 | 28.0555556 | 113.769615 | 325.241829 | 534.825108 | 740.924399 |
| 102 | 28.3333333 | 115.613148 | 327.08418 | 536.663926 | 742.757356 |
| 103 | 28.6111111 | 117.476384 | 328.946217 | 538.522377 | 744.60986 |
| 104 | 28.8888889 | 119.359345 | 330.827962 | 540.400483 | 746.481932 |
| 105 | 29.1666667 | 121.262054 | 332.729438 | 542.298266 | 748.373594 |
| 106 | 29.4444444 | 123.184533 | 334.650665 | 544.215749 | 750.284867 |
| 107 | 29.7222222 | 125.126804 | 336.591667 | 546.152952 | 752.215772 |
| 108 | 30 | 127.088889 | 338.552465 | 548.109899 | 754.166331 |
| 109 | 30.2777778 | 129.070811 | 340.533082 | 550.08661 | 756.136565 |
| 110 | 30.5555556 | 131.072591 | 342.533539 | 552.083106 | 758.126496 |
| 111 | 30.8333333 | 133.094251 | 344.553857 | 554.09941 | 760.136143 |
| 112 | 31.1111111 | 135.135812 | 346.594059 | 556.135543 | 762.165529 |
| 113 | 31.3888889 | 137.197297 | 348.654165 | 558.191526 | 764.214674 |
| 114 | 31.6666667 | 139.278726 | 350.734197 | 560.267379 | 766.283598 |
| 115 | 31.9444444 | 141.380121 | 352.834177 | 562.363125 | 768.372322 |
| 116 | 32.2222222 | 143.501503 | 354.954126 | 564.478784 | 770.480868 |
| 117 | 32.5 | 145.642893 | 357.094064 | 566.614376 | 772.609254 |
| 118 | 32.7777778 | 147.804313 | 359.254013 | 568.769924 | 774.757503 |
| 119 | 33.0555556 | 149.985783 | 361.433993 | 570.945446 | 776.925633 |
| 120 | 33.3333333 | 152.187325 | 363.634026 | 573.140965 | 779.113665 |

# Lampiran 3: Hasil Perhitungan Kebutuhan Daya Kendaraan

| V (km/jam) | V (m/s) | RHP yang dibutuhkan (Kw) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0° | 5° | 10° | 15° |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0.2777778 | 0.00674651 | 0.06550194 | 0.12375889 | 0.18107397 |
| 2 | 0.5555556 | 0.01350592 | 0.13101679 | 0.24753067 | 0.36216082 |
| 3 | 0.8333333 | 0.02029135 | 0.19655765 | 0.37132846 | 0.54327368 |
| 4 | 1.1111111 | 0.02711609 | 0.26213782 | 0.49516554 | 0.72442578 |
| 5 | 1.3888889 | 0.03399354 | 0.32777069 | 0.6190553 | 0.90563053 |
| 6 | 1.6666667 | 0.04093725 | 0.3934698 | 0.74301126 | 1.08690141 |
| 7 | 1.9444444 | 0.04796082 | 0.45924877 | 0.86704702 | 1.26825201 |
| 8 | 2.2222222 | 0.05507798 | 0.52512129 | 0.99117629 | 1.44969601 |
| 9 | 2.5000000 | 0.06230253 | 0.59110118 | 1.11541283 | 1.63124716 |
| 10 | 2.7777778 | 0.06964834 | 0.6572023 | 1.23977052 | 1.81291931 |
| 11 | 3.0555556 | 0.07712936 | 0.7234386 | 1.36426328 | 1.99472635 |
| 12 | 3.3333333 | 0.08475961 | 0.78982409 | 1.48890511 | 2.17668226 |
| 13 | 3.6111111 | 0.09255319 | 0.85637285 | 1.61371008 | 2.35880108 |
| 14 | 3.8888889 | 0.10052425 | 0.92309904 | 1.73869231 | 2.5410969 |
| 15 | 4.1666667 | 0.10868699 | 0.99001687 | 1.863866 | 2.72358388 |
| 16 | 4.4444444 | 0.1170557 | 1.05714058 | 1.98924539 | 2.90627624 |
| 17 | 4.7222222 | 0.12564469 | 1.12448452 | 2.11484479 | 3.08918825 |
| 18 | 5.0000000 | 0.13446837 | 1.19206306 | 2.24067854 | 3.27233423 |
| 19 | 5.2777778 | 0.14354116 | 1.25989062 | 2.36676107 | 3.45572856 |
| 20 | 5.5555556 | 0.15287756 | 1.3279817 | 2.49310684 | 3.63938566 |
| 21 | 5.8333333 | 0.1624921 | 1.39635083 | 2.61973036 | 3.82332002 |
| 22 | 6.1111111 | 0.17239939 | 1.4650126 | 2.74664618 | 4.00754614 |
| 23 | 6.3888889 | 0.18261406 | 1.53398162 | 2.87386892 | 4.19207861 |
| 24 | 6.6666667 | 0.1931508 | 1.60327259 | 3.00141324 | 4.37693204 |
| 25 | 6.9444444 | 0.20402434 | 1.67290023 | 3.12929383 | 4.56212109 |
| 26 | 7.2222222 | 0.21524946 | 1.74287931 | 3.25752544 | 4.74766046 |
| 27 | 7.5000000 | 0.22684098 | 1.81322465 | 3.38612285 | 4.9335649 |
| 28 | 7.7777778 | 0.23881376 | 1.88395109 | 3.51510091 | 5.11984919 |
| 29 | 8.0555556 | 0.25118273 | 1.95507354 | 3.64447448 | 5.30652817 |
| 30 | 8.3333333 | 0.26396282 | 2.02660695 | 3.77425847 | 5.49361671 |
| 31 | 8.6111111 | 0.27716902 | 2.09856628 | 3.90446785 | 5.68112972 |
| 32 | 8.8888889 | 0.29081638 | 2.17096658 | 4.0351176 | 5.86908214 |
| 33 | 9.1666667 | 0.30491997 | 2.24382289 | 4.16622276 | 6.05748896 |
| 34 | 9.4444444 | 0.31949488 | 2.31715032 | 4.29779841 | 6.24636521 |
| 35 | 9.7222222 | 0.33455628 | 2.39096402 | 4.42985965 | 6.43572594 |
| 36 | 10.0000000 | 0.35011934 | 2.46527915 | 4.56242163 | 6.62558627 |
| 37 | 10.2777778 | 0.3661993 | 2.54011093 | 4.69549954 | 6.81596132 |
| 38 | 10.5555556 | 0.38281142 | 2.61547461 | 4.82910859 | 7.00686626 |
| 39 | 10.8333333 | 0.39997099 | 2.69138549 | 4.96326405 | 7.1983163 |
| 40 | 11.1111111 | 0.41769335 | 2.76785888 | 5.0979812 | 7.39032667 |
| 41 | 11.3888889 | 0.43599386 | 2.84491014 | 5.23327538 | 7.58291266 |
| 42 | 11.6666667 | 0.45488794 | 2.92255467 | 5.36916194 | 7.77608958 |
| 43 | 11.9444444 | 0.47439101 | 3.0008079 | 5.50565628 | 7.96987275 |
| 44 | 12.2222222 | 0.49451856 | 3.07968528 | 5.64277383 | 8.16427757 |

| V (km/jam) | V (m/s) | RHP yang dibutuhkan (Kw) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0° | 5° | 10° | 15° |
| 45 | 12.5000000 | 0.51528609 | 3.15920231 | 5.78053005 | 8.35931943 |
| 46 | 12.7777778 | 0.53670914 | 3.23937452 | 5.91894044 | 8.55501378 |
| 47 | 13.0555556 | 0.55880328 | 3.32021748 | 6.05802052 | 8.75137608 |
| 48 | 13.3333333 | 0.58158413 | 3.40174678 | 6.19778586 | 8.94842184 |
| 49 | 13.6111111 | 0.60506731 | 3.48397803 | 6.33825205 | 9.14616659 |
| 50 | 13.8888889 | 0.62926849 | 3.56692691 | 6.4794347 | 9.34462591 |
| 51 | 14.1666667 | 0.65420339 | 3.65060911 | 6.62134948 | 9.54381538 |
| 52 | 14.4444444 | 0.67988773 | 3.73504033 | 6.76401207 | 9.74375062 |
| 53 | 14.7222222 | 0.70633727 | 3.82023634 | 6.90743818 | 9.94444731 |
| 54 | 15.0000000 | 0.73356781 | 3.90621292 | 7.05164356 | 10.1459211 |
| 55 | 15.2777778 | 0.76159518 | 3.99298588 | 7.19664399 | 10.3481877 |
| 56 | 15.5555556 | 0.79043523 | 4.08057105 | 7.34245527 | 10.551263 |
| 57 | 15.8333333 | 0.82010384 | 4.16898433 | 7.48909324 | 10.7551625 |
| 58 | 16.1111111 | 0.85061694 | 4.2582416 | 7.63657376 | 10.9599023 |
| 59 | 16.3888889 | 0.88199046 | 4.3483588 | 7.78491272 | 11.165498 |
| 60 | 16.6666667 | 0.91424037 | 4.43935188 | 7.93412604 | 11.3719655 |
| 61 | 16.9444444 | 0.94738268 | 4.53123684 | 8.08422968 | 11.5793208 |
| 62 | 17.2222222 | 0.98143342 | 4.6240297 | 8.23523962 | 11.7875797 |
| 63 | 17.5000000 | 1.01640865 | 4.71774649 | 8.38717185 | 11.9967582 |
| 64 | 17.7777778 | 1.05232445 | 4.8124033 | 8.54004242 | 12.2068722 |
| 65 | 18.0555556 | 1.08919694 | 4.90801622 | 8.69386738 | 12.4179378 |
| 66 | 18.3333333 | 1.12704226 | 5.00460138 | 8.84866282 | 12.6299709 |
| 67 | 18.6111111 | 1.16587658 | 5.10217494 | 9.00444485 | 12.8429877 |
| 68 | 18.8888889 | 1.2057161 | 5.20075309 | 9.16122963 | 13.0570041 |
| 69 | 19.1666667 | 1.24657704 | 5.30035202 | 9.31903331 | 13.2720363 |
| 70 | 19.4444444 | 1.28847566 | 5.40098798 | 9.4778721 | 13.4881004 |
| 71 | 19.7222222 | 1.33142822 | 5.50267724 | 9.63776221 | 13.7052126 |
| 72 | 20.0000000 | 1.37545103 | 5.60543608 | 9.79871989 | 13.923389 |
| 73 | 20.2777778 | 1.42056043 | 5.70928081 | 9.96076142 | 14.1426459 |
| 74 | 20.5555556 | 1.46677277 | 5.81422779 | 10.1239031 | 14.3629994 |
| 75 | 20.8333333 | 1.51410443 | 5.92029337 | 10.2881612 | 14.5844659 |
| 76 | 21.1111111 | 1.56257182 | 6.02749395 | 10.4535522 | 14.8070616 |
| 77 | 21.3888889 | 1.61219138 | 6.13584595 | 10.6200923 | 15.0308027 |
| 78 | 21.6666667 | 1.66297956 | 6.24536582 | 10.7877981 | 15.2557057 |
| 79 | 21.9444444 | 1.71495284 | 6.35607002 | 10.9566858 | 15.4817869 |
| 80 | 22.2222222 | 1.76812774 | 6.46797504 | 11.1267721 | 15.7090626 |
| 81 | 22.5000000 | 1.82252079 | 6.58109742 | 11.2980733 | 15.9375493 |
| 82 | 22.7777778 | 1.87814855 | 6.69545368 | 11.4706059 | 16.1672633 |
| 83 | 23.0555556 | 1.9350276 | 6.8110604 | 11.6443864 | 16.3982212 |
| 84 | 23.3333333 | 1.99317455 | 6.92793417 | 11.8194315 | 16.6304394 |
| 85 | 23.6111111 | 2.05260603 | 7.04609161 | 11.9957577 | 16.8639343 |
| 86 | 23.8888889 | 2.11333869 | 7.16554935 | 12.1733815 | 17.0987226 |
| 87 | 24.1666667 | 2.17538923 | 7.28632407 | 12.3523197 | 17.3348208 |
| 88 | 24.4444444 | 2.23877434 | 7.40843245 | 12.5325887 | 17.5722453 |
| 89 | 24.7222222 | 2.30351075 | 7.5318912 | 12.7142054 | 17.8110128 |
| 90 | 25.0000000 | 2.3696152 | 7.65671706 | 12.8971864 | 18.05114 |
| 91 | 25.2777778 | 2.43710449 | 7.78292679 | 13.0815483 | 18.2926434 |
| 92 | 25.5555556 | 2.5059954 | 7.91053717 | 13.267308 | 18.5355397 |
| 93 | 25.8333333 | 2.57630475 | 8.039565 | 13.4544822 | 18.7798455 |

| V (km/jam) | V (m/s) | RHP yang dibutuhkan (Kw) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0° | 5° | 10° | 15° |
| 94 | 26.1111111 | 2.6480494 | 8.17002711 | 13.6430876 | 19.0255777 |
| 95 | 26.3888889 | 2.7212462 | 8.30194036 | 13.8331412 | 19.2727528 |
| 96 | 26.6666667 | 2.79591205 | 8.43532162 | 14.0246596 | 19.5213877 |
| 97 | 26.9444444 | 2.87206386 | 8.57018778 | 14.2176597 | 19.771499 |
| 98 | 27.2222222 | 2.94971857 | 8.70655577 | 14.4121585 | 20.0231037 |
| 99 | 27.5000000 | 3.02889313 | 8.84444252 | 14.6081728 | 20.2762185 |
| 100 | 27.7777778 | 3.10960453 | 8.983865 | 14.8057195 | 20.5308602 |
| 101 | 28.0555556 | 3.19186976 | 9.12484019 | 15.0048155 | 20.7870456 |
| 102 | 28.3333333 | 3.27570586 | 9.26738511 | 15.2054779 | 21.0447918 |
| 103 | 28.6111111 | 3.36112987 | 9.41151678 | 15.4077236 | 21.3041154 |
| 104 | 28.8888889 | 3.44815885 | 9.55725225 | 15.6115695 | 21.5650336 |
| 105 | 29.1666667 | 3.5368099 | 9.7046086 | 15.8170328 | 21.8275632 |
| 106 | 29.4444444 | 3.62710013 | 9.85360292 | 16.0241304 | 22.0917211 |
| 107 | 29.7222222 | 3.71904667 | 10.0042523 | 16.2328794 | 22.3575243 |
| 108 | 30 | 3.81266668 | 10.156574 | 16.443297 | 22.6249899 |
| 109 | 30.2777778 | 3.90797734 | 10.310585 | 16.6554001 | 22.8941349 |
| 110 | 30.5555556 | 4.00499584 | 10.4663026 | 16.869206 | 23.1649763 |
| 111 | 30.8333333 | 4.10373941 | 10.6237439 | 17.0847318 | 23.4375311 |
| 112 | 31.1111111 | 4.20422527 | 10.7829263 | 17.3019947 | 23.7118165 |
| 113 | 31.3888889 | 4.3064707 | 10.9438668 | 17.5210118 | 23.9878495 |
| 114 | 31.6666667 | 4.41049298 | 11.1065829 | 17.7418003 | 24.2656473 |
| 115 | 31.9444444 | 4.51630941 | 11.2710918 | 17.9643776 | 24.545227 |
| 116 | 32.2222222 | 4.62393731 | 11.4374107 | 18.1887608 | 24.8266057 |
| 117 | 32.5 | 4.73339403 | 11.6055571 | 18.4149672 | 25.1098008 |
| 118 | 32.7777778 | 4.84469693 | 11.7755482 | 18.6430142 | 25.3948293 |
| 119 | 33.0555556 | 4.95786339 | 11.9474015 | 18.8729189 | 25.6817084 |
| 120 | 33.3333333 | 5.07291083 | 12.1211342 | 19.1046988 | 25.9704555 |

# Lampiran 4: Perhitungan Traksi dan Power Kendaraan Moda Murni Penggerak Listrik dan *Hybrid*

| N (rpm) | Torsi (Nm) | Ft | V (km/jam) | Power (kW) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 191 | 663.4248 | 0 | 0 |
| 10 | 191 | 663.4248 | 1.084807 | 0.199913333 |
| 20 | 191 | 663.4248 | 2.169614 | 0.399826667 |
| 30 | 191 | 663.4248 | 3.254422 | 0.59974 |
| 40 | 191 | 663.4248 | 4.339229 | 0.799653333 |
| 50 | 191 | 663.4248 | 5.424036 | 0.999566667 |
| 60 | 191 | 663.4248 | 6.508843 | 1.19948 |
| 70 | 191 | 663.4248 | 7.59365 | 1.399393333 |
| 80 | 191 | 663.4248 | 8.678458 | 1.599306667 |
| 90 | 191 | 663.4248 | 9.763265 | 1.79922 |
| 100 | 191 | 663.4248 | 10.84807 | 1.999133333 |
| 110 | 191 | 663.4248 | 11.93288 | 2.199046667 |
| 120 | 191 | 663.4248 | 13.01769 | 2.39896 |
| 130 | 191 | 663.4248 | 14.10249 | 2.598873333 |
| 140 | 191 | 663.4248 | 15.1873 | 2.798786667 |
| 150 | 191 | 663.4248 | 16.27211 | 2.9987 |
| 160 | 191 | 663.4248 | 17.35692 | 3.198613333 |
| 170 | 191 | 663.4248 | 18.44172 | 3.398526667 |
| 180 | 191 | 663.4248 | 19.52653 | 3.59844 |
| 190 | 191 | 663.4248 | 20.61134 | 3.798353333 |
| 200 | 191 | 663.4248 | 21.69614 | 3.998266667 |
| 210 | 191 | 663.4248 | 22.78095 | 4.19818 |
| 220 | 191 | 663.4248 | 23.86576 | 4.398093333 |
| 230 | 191 | 663.4248 | 24.95057 | 4.598006667 |
| 240 | 191 | 663.4248 | 26.03537 | 4.79792 |
| 250 | 191 | 663.4248 | 27.12018 | 4.997833333 |
| 260 | 191 | 663.4248 | 28.20499 | 5.197746667 |
| 270 | 191 | 663.4248 | 29.28979 | 5.39766 |
| 280 | 191 | 663.4248 | 30.3746 | 5.597573333 |
| 290 | 191 | 663.4248 | 31.45941 | 5.797486667 |
| 300 | 191 | 663.4248 | 32.54422 | 5.9974 |
| 310 | 184.91884 | 642.302331 | 33.62902 | 6 |
| 320 | 179.14013 | 622.230383 | 34.71383 | 6 |
| 330 | 173.71164 | 603.374917 | 35.79864 | 6 |
| 340 | 168.60247 | 585.628596 | 36.88344 | 6 |
| 350 | 163.78526 | 568.896351 | 37.96825 | 6 |
| 360 | 159.23567 | 553.093674 | 39.05306 | 6 |
| 370 | 154.932 | 538.145196 | 40.13787 | 6 |
| 380 | 150.85484 | 523.983481 | 41.22267 | 6 |
| 390 | 146.98677 | 510.548007 | 42.30748 | 6 |
| 400 | 143.3121 | 497.784307 | 43.39229 | 6 |
| 410 | 139.81668 | 485.643226 | 44.4771 | 6 |
| 420 | 136.48772 | 474.080292 | 45.5619 | 6 |
| 430 | 133.31358 | 463.055169 | 46.64671 | 6 |
| 440 | 130.28373 | 452.531188 | 47.73152 | 6 |
| 450 | 127.38854 | 442.474939 | 48.81632 | 6 |

| N (rpm) | Torsi (Nm) | Ft | V (km/jam) | Power (kW) |
|---|---|---|---|---|
| 460 | 124.61922 | 432.855919 | 49.90113 | 6 |
| 470 | 121.96775 | 423.646219 | 50.98594 | 6 |
| 480 | 119.42675 | 414.820256 | 52.07075 | 6 |
| 490 | 116.98947 | 406.354536 | 53.15555 | 6 |
| 500 | 114.64968 | 398.227445 | 54.24036 | 6 |
| 510 | 112.40165 | 390.419064 | 55.32517 | 6 |
| 520 | 110.24008 | 382.911005 | 56.40997 | 6 |
| 530 | 108.16008 | 375.686269 | 57.49478 | 6 |
| 540 | 106.15711 | 368.729116 | 58.57959 | 6 |
| 550 | 104.22698 | 362.02495 | 59.6644 | 6 |
| 560 | 102.36579 | 355.560219 | 60.7492 | 6 |
| 570 | 100.5699 | 349.322321 | 61.83401 | 6 |
| 580 | 98.835932 | 343.299522 | 62.91882 | 6 |
| 590 | 97.160747 | 337.480886 | 64.00362 | 6 |
| 600 | 95.541401 | 331.856204 | 65.08843 | 6 |
| 610 | 93.975149 | 326.415939 | 66.17324 | 6 |
| 620 | 92.459421 | 321.151166 | 67.25805 | 6 |
| 630 | 90.991811 | 316.053528 | 68.34285 | 6 |
| 640 | 89.570064 | 311.115192 | 69.42766 | 6 |
| 650 | 88.192063 | 306.328804 | 70.51247 | 6 |
| 660 | 86.855819 | 301.687459 | 71.59728 | 6 |
| 670 | 85.559464 | 297.184661 | 72.68208 | 6 |
| 680 | 84.301236 | 292.814298 | 73.76689 | 6 |
| 690 | 83.079479 | 288.570613 | 74.8517 | 6 |
| 700 | 81.89263 | 284.448175 | 75.9365 | 6 |
| 710 | 80.739212 | 280.441863 | 77.02131 | 6 |
| 720 | 79.617834 | 276.546837 | 78.10612 | 6 |
| 730 | 78.527179 | 272.758524 | 79.19093 | 6 |
| 740 | 77.466001 | 269.072598 | 80.27573 | 6 |
| 750 | 76.433121 | 265.484964 | 81.36054 | 6 |
| 760 | 75.427422 | 261.99174 | 82.44535 | 6 |
| 770 | 74.447845 | 258.58925 | 83.53015 | 6 |
| 780 | 73.493386 | 255.274003 | 84.61496 | 6 |
| 790 | 72.56309 | 252.042687 | 85.69977 | 6 |
| 800 | 71.656051 | 248.892153 | 86.78458 | 6 |
| 810 | 70.771408 | 245.819411 | 87.86938 | 6 |
| 820 | 69.908342 | 242.821613 | 88.95419 | 6 |
| 830 | 69.066073 | 239.896051 | 90.039 | 6 |
| 840 | 68.243858 | 237.040146 | 91.1238 | 6 |
| 850 | 67.440989 | 234.251438 | 92.20861 | 6 |
| 860 | 66.656792 | 231.527585 | 93.29342 | 6 |
| 870 | 65.890622 | 228.866348 | 94.37823 | 6 |
| 880 | 65.141865 | 226.265594 | 95.46303 | 6 |
| 890 | 64.409933 | 223.723284 | 96.54784 | 6 |
| 900 | 63.694268 | 221.23747 | 97.63265 | 6 |
| 910 | 62.994331 | 218.806289 | 98.71746 | 6 |
| 920 | 62.30961 | 216.427959 | 99.80226 | 6 |
| 930 | 61.639614 | 214.100777 | 100.8871 | 6 |
| 940 | 60.983873 | 211.823109 | 101.9719 | 6 |
| 950 | 60.341938 | 209.593392 | 103.0567 | 6 |

| N (rpm) | Torsi (Nm) | Ft | V (km/jam) | Power (kW) |
|---|---|---|---|---|
| 960 | 59.713376 | 207.410128 | 104.1415 | 6 |
| 970 | 59.097774 | 205.271879 | 105.2263 | 6 |
| 980 | 58.494735 | 203.177268 | 106.3111 | 6 |
| 990 | 57.90388 | 201.124972 | 107.3959 | 6 |
| 1000 | 57.324841 | 199.113723 | 108.4807 | 6 |
| 1010 | 56.757268 | 197.1423 | 109.5655 | 6 |
| 1020 | 56.200824 | 195.209532 | 110.6503 | 6 |
| 1030 | 55.655185 | 193.314294 | 111.7351 | 6 |
| 1040 | 55.120039 | 191.455503 | 112.8199 | 6 |
| 1050 | 54.595086 | 189.632117 | 113.9048 | 6 |
| 1060 | 54.080038 | 187.843135 | 114.9896 | 6 |
| 1070 | 53.574618 | 186.087591 | 116.0744 | 6 |
| 1080 | 53.078556 | 184.364558 | 117.1592 | 6 |
| 1090 | 52.591597 | 182.67314 | 118.244 | 6 |

# Lampiran 5: Perhitungan Traksi dan Power Kendaraan Moda Penggerak Mesin dan Pengisi ACCU

| N (rpm) | Torsi (Nm) | Ft | V (km/jam) | Power (kW) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 191 | 663.4248 | 0 | 0 |
| 10 | 191 | 663.4248 | 1.084807 | 0.199913333 |
| 20 | 191 | 663.4248 | 2.169614 | 0.399826667 |
| 30 | 191 | 663.4248 | 3.254422 | 0.59974 |
| 40 | 191 | 663.4248 | 4.339229 | 0.799653333 |
| 50 | 191 | 663.4248 | 5.424036 | 0.999566667 |
| 60 | 191 | 663.4248 | 6.508843 | 1.19948 |
| 70 | 191 | 663.4248 | 7.59365 | 1.399393333 |
| 80 | 191 | 663.4248 | 8.678458 | 1.599306667 |
| 90 | 191 | 663.4248 | 9.763265 | 1.79922 |
| 100 | 191 | 663.4248 | 10.84807 | 1.999133333 |
| 110 | 191 | 663.4248 | 11.93288 | 2.199046667 |
| 120 | 191 | 663.4248 | 13.01769 | 2.39896 |
| 130 | 191 | 663.4248 | 14.10249 | 2.598873333 |
| 135 | 191 | 663.4248 | 14.651246 | 2.7 |
| 140 | 184.258417 | 640.008394 | 15.1873 | 2.7 |
| 150 | 171.974522 | 597.341168 | 16.27211 | 2.7 |
| 160 | 161.226115 | 560.007345 | 17.35692 | 2.7 |
| 170 | 151.742226 | 527.065737 | 18.44172 | 2.7 |
| 180 | 143.312102 | 497.784307 | 19.52653 | 2.7 |
| 190 | 135.76936 | 471.585133 | 20.61134 | 2.7 |
| 200 | 128.980892 | 448.005876 | 21.69614 | 2.7 |
| 210 | 122.838944 | 426.672263 | 22.78095 | 2.7 |
| 220 | 117.255356 | 407.278069 | 23.86576 | 2.7 |
| 230 | 112.157297 | 389.570327 | 24.95057 | 2.7 |
| 240 | 107.484076 | 373.33823 | 26.03537 | 2.7 |
| 250 | 103.184713 | 358.404701 | 27.12018 | 2.7 |
| 260 | 99.2160706 | 344.619905 | 28.20499 | 2.7 |
| 270 | 95.5414013 | 331.856204 | 29.28979 | 2.7 |
| 280 | 92.1292084 | 320.004197 | 30.3746 | 2.7 |
| 290 | 88.9523391 | 308.96957 | 31.45941 | 2.7 |
| 300 | 85.9872611 | 298.670584 | 32.54422 | 2.7 |
| 310 | 83.2134785 | 289.036049 | 33.62902 | 2.7 |
| 320 | 80.6130573 | 280.003673 | 34.71383 | 2.7 |
| 330 | 78.1702374 | 271.518713 | 35.79864 | 2.7 |
| 340 | 75.8711128 | 263.532868 | 36.88344 | 2.7 |
| 350 | 73.7033667 | 256.003358 | 37.96825 | 2.7 |
| 360 | 71.656051 | 248.892153 | 39.05306 | 2.7 |
| 370 | 69.7194009 | 242.165338 | 40.13787 | 2.7 |
| 380 | 67.8846799 | 235.792566 | 41.22267 | 2.7 |
| 390 | 66.144047 | 229.746603 | 42.30748 | 2.7 |
| 400 | 64.4904459 | 224.002938 | 43.39229 | 2.7 |
| 410 | 62.9175082 | 218.539452 | 44.4771 | 2.7 |
| 420 | 61.4194722 | 213.336131 | 45.5619 | 2.7 |
| 430 | 59.9911124 | 208.374826 | 46.64671 | 2.7 |
| 440 | 58.6276781 | 203.639035 | 47.73152 | 2.7 |

| N (rpm) | Torsi (Nm) | Ft | V (km/jam) | Power (kW) |
|---|---|---|---|---|
| 450 | 57.3248408 | 199.113723 | 48.816324 | 2.7 |
| 460 | 56.0786486 | 194.785164 | 49.901131 | 2.7 |
| 470 | 54.8854858 | 190.640798 | 50.985938 | 2.7 |
| 480 | 53.7420382 | 186.669115 | 52.070746 | 2.7 |
| 490 | 52.6452619 | 182.859541 | 53.155553 | 2.7 |
| 500 | 51.5923567 | 179.20235 | 54.24036 | 2.7 |
| 510 | 50.5807419 | 175.688579 | 55.325167 | 2.7 |
| 520 | 49.6080353 | 172.309952 | 56.409974 | 2.7 |
| 530 | 48.6720346 | 169.058821 | 57.494782 | 2.7 |
| 540 | 47.7707006 | 165.928102 | 58.579589 | 2.7 |
| 550 | 46.9021424 | 162.911228 | 59.664396 | 2.7 |
| 560 | 46.0646042 | 160.002099 | 60.749203 | 2.7 |
| 570 | 45.2564532 | 157.195044 | 61.83401 | 2.7 |
| 580 | 44.4761696 | 154.484785 | 62.918818 | 2.7 |
| 590 | 43.7223362 | 151.866399 | 64.003625 | 2.7 |
| 600 | 42.9936306 | 149.335292 | 65.088432 | 2.7 |
| 610 | 42.288817 | 146.887172 | 66.173239 | 2.7 |
| 620 | 41.6067393 | 144.518025 | 67.258046 | 2.7 |
| 630 | 40.9463148 | 142.224088 | 68.342854 | 2.7 |
| 640 | 40.3065287 | 140.001836 | 69.427661 | 2.7 |
| 650 | 39.6864282 | 137.847962 | 70.512468 | 2.7 |
| 660 | 39.0851187 | 135.759356 | 71.597275 | 2.7 |
| 670 | 38.5017587 | 133.733097 | 72.682082 | 2.7 |
| 680 | 37.9355564 | 131.766434 | 73.76689 | 2.7 |
| 690 | 37.3857657 | 129.856776 | 74.851697 | 2.7 |
| 700 | 36.8516833 | 128.001679 | 75.936504 | 2.7 |
| 710 | 36.3326456 | 126.198838 | 77.021311 | 2.7 |
| 720 | 35.8280255 | 124.446077 | 78.106118 | 2.7 |
| 730 | 35.3372306 | 122.741336 | 79.190926 | 2.7 |
| 740 | 34.8597005 | 121.082669 | 80.275733 | 2.7 |
| 750 | 34.3949045 | 119.468234 | 81.36054 | 2.7 |
| 760 | 33.9423399 | 117.896283 | 82.445347 | 2.7 |
| 770 | 33.5015303 | 116.365163 | 83.530154 | 2.7 |
| 780 | 33.0720235 | 114.873302 | 84.614962 | 2.7 |
| 790 | 32.6533903 | 113.419209 | 85.699769 | 2.7 |
| 800 | 32.2452229 | 112.001469 | 86.784576 | 2.7 |
| 810 | 31.8471338 | 110.618735 | 87.869383 | 2.7 |
| 820 | 31.4587541 | 109.269726 | 88.95419 | 2.7 |
| 830 | 31.0797329 | 107.953223 | 90.038998 | 2.7 |
| 840 | 30.7097361 | 106.668066 | 91.123805 | 2.7 |
| 850 | 30.3484451 | 105.413147 | 92.208612 | 2.7 |
| 860 | 29.9955562 | 104.187413 | 93.293419 | 2.7 |
| 870 | 29.6507797 | 102.989857 | 94.378226 | 2.7 |
| 880 | 29.313839 | 101.819517 | 95.463034 | 2.7 |
| 890 | 28.98447 | 100.675478 | 96.547841 | 2.7 |
| 900 | 28.6624204 | 99.5568613 | 97.632648 | 2.7 |
| 910 | 28.3474487 | 98.4628299 | 98.717455 | 2.7 |
| 920 | 28.0393243 | 97.3925818 | 99.802262 | 2.7 |
| 930 | 27.7378262 | 96.3453497 | 100.88707 | 2.7 |
| 940 | 27.4427429 | 95.3203992 | 101.97188 | 2.7 |

| N (rpm) | Torsi (Nm) | Ft | V (km/jam) | Power (kW) |
|---|---|---|---|---|
| 950 | 27.1538719 | 94.3170265 | 103.05668 | 2.7 |
| 960 | 26.8710191 | 93.3345575 | 104.14149 | 2.7 |
| 970 | 26.5939983 | 92.3723456 | 105.2263 | 2.7 |
| 980 | 26.322631 | 91.4297706 | 106.31111 | 2.7 |
| 990 | 26.0567458 | 90.5062376 | 107.39591 | 2.7 |
| 1000 | 25.7961783 | 89.6011752 | 108.48072 | 2.7 |
| 1010 | 25.5407706 | 88.7140349 | 109.56553 | 2.7 |
| 1020 | 25.2903709 | 87.8442894 | 110.65033 | 2.7 |
| 1030 | 25.0448333 | 86.9914322 | 111.73514 | 2.7 |
| 1040 | 24.8040176 | 86.1549762 | 112.81995 | 2.7 |
| 1050 | 24.5677889 | 85.3344526 | 113.90476 | 2.7 |
| 1060 | 24.3360173 | 84.5294106 | 114.98956 | 2.7 |
| 1070 | 24.1085779 | 83.7394161 | 116.07437 | 2.7 |
| 1080 | 23.8853503 | 82.9640511 | 117.15918 | 2.7 |
| 1090 | 23.6662187 | 82.202913 | 118.24398 | 2.7 |

# Lampiran 6: Perhitungan Konsumsi Energi

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 0 | 23.29875 | 68.79736106 | 0 | 0.138888889 | 0 |
| 22 | 1 | 0.007552614 | 23.29886649 | 110.0757777 | 0.03705061 | 0.5 | 0.018525305 |
| 23 | 2.6 | 0.051055669 | 23.3000198 | 151.3541943 | 0.126176028 | 1.027777778 | 0.081613319 |
| 24 | 4.8 | 0.174012222 | 23.30463038 | 165.1136665 | 0.251456412 | 1.666666667 | 0.18881622 |
| 25 | 7.2 | 0.3915275 | 23.31495443 | 165.1136665 | 0.377640297 | 2.333333333 | 0.314548355 |
| 26 | 9.6 | 0.696048889 | 23.33201448 | 165.1136665 | 0.504377946 | 3 | 0.441009122 |
| 27 | 12 | 1.087576389 | 23.35686065 | 158.2339304 | 0.608927892 | 3.652777778 | 0.556652919 |
| 28 | 14.3 | 1.544433998 | 23.38883297 | 158.2339304 | 0.727580812 | 4.291666667 | 0.668254352 |
| 29 | 16.6 | 2.081198262 | 23.42953949 | 158.2339304 | 0.847267081 | 4.930555556 | 0.787423946 |
| 30 | 18.9 | 2.69786918 | 23.47965773 | 158.2339304 | 0.968160151 | 5.569444444 | 0.907713616 |
| 31 | 21.2 | 3.394446752 | 23.53981951 | 158.2339304 | 1.090434936 | 6.208333333 | 1.029297544 |
| 32 | 23.5 | 4.170930978 | 23.61061905 | 144.4744582 | 1.124448943 | 6.819444444 | 1.107441939 |
| 33 | 25.6 | 4.949680988 | 23.68503028 | 103.1960416 | 0.937463131 | 7.319444444 | 1.030956037 |
| 34 | 27.1 | 5.546715109 | 23.74412502 | 61.91762495 | 0.686597057 | 7.652777778 | 0.812030094 |
| 35 | 28 | 5.921249228 | 23.78202876 | 48.15815274 | 0.605588906 | 7.875 | 0.646092981 |
| 36 | 28.7 | 6.221012471 | 23.81280237 | 34.39868053 | 0.513670171 | 8.041666667 | 0.559629539 |
| 37 | 29.2 | 6.43966064 | 23.8354848 | 41.27841663 | 0.580378892 | 8.194444444 | 0.547024532 |
| 38 | 29.8 | 6.707023169 | 23.86348316 | 41.27841663 | 0.594749418 | 8.361111111 | 0.587564155 |
| 39 | 30.4 | 6.97982358 | 23.89234001 | -55.03788885 | 0 | 0 | 0.297374709 |
| 40 | 29.6 | 6.617298117 | 23.85405541 | -61.91762495 | 0 | 0 | 0 |
| 41 | 28.7 | 6.221012471 | 23.81280237 | -55.03788885 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | 27.9 | 5.879030117 | 23.77772532 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 27.5 | 5.711664195 | 23.7607419 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0 |
| 44 | 27.3 | 5.628887548 | 23.75238781 | 6.879736106 | 0.274979337 | 7.597222222 | 0.137489668 |
| 45 | 27.4 | 5.670200345 | 23.75655342 | 6.879736106 | 0.276332728 | 7.625 | 0.275656033 |
| 46 | 27.5 | 5.711664195 | 23.7607419 | 6.879736106 | 0.277689975 | 7.652777778 | 0.277011352 |
| 47 | 27.6 | 5.753279097 | 23.76495329 | 0 | 0.226306448 | 7.666666667 | 0.251998212 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 48 | 27.6 | 5.753279097 | 23.76495329 | 0 | 0.226306448 | 7.666666667 | 0.226306448 |
| 49 | 27.6 | 5.753279097 | 23.76495329 | 6.879736106 | 0.279051092 | 7.680555556 | 0.25267877 |
| 50 | 27.7 | 5.795045052 | 23.76918762 | 6.879736106 | 0.280416093 | 7.708333333 | 0.279733592 |
| 51 | 27.8 | 5.836962058 | 23.77344495 | 20.63920832 | 0.388038696 | 7.763888889 | 0.334227395 |
| 52 | 28.1 | 5.963619392 | 23.78635531 | 34.39868053 | 0.500715892 | 7.875 | 0.444377294 |
| 53 | 28.6 | 6.177735993 | 23.80833626 | 27.51894442 | 0.45684541 | 8 | 0.478780651 |
| 54 | 29 | 6.351748216 | 23.82634129 | 13.75947221 | 0.353941469 | 8.083333333 | 0.40539344 |
| 55 | 29.2 | 6.43966064 | 23.8354848 | 20.63920832 | 0.41297198 | 8.152777778 | 0.383456725 |
| 56 | 29.5 | 6.57266217 | 23.84937721 | 13.75947221 | 0.362042942 | 8.222222222 | 0.387507461 |
| 57 | 29.7 | 6.662085117 | 23.85875738 | 27.51894442 | 0.478828242 | 8.305555556 | 0.420435592 |
| 58 | 30.1 | 6.84274364 | 23.87780373 | 27.51894442 | 0.486946862 | 8.416666667 | 0.482887552 |
| 59 | 30.5 | 7.025818998 | 23.89723356 | 13.75947221 | 0.378560279 | 8.5 | 0.432753571 |
| 60 | 30.7 | 7.118262991 | 23.90709307 | -68.79736106 | 0 | 0 | 0.18928014 |
| 61 | 29.7 | 6.662085117 | 23.85875738 | -185.7528749 | 0 | 0 | 0 |
| 62 | 27 | 5.505855469 | 23.74002776 | -275.1894442 | 0 | 0 | 0 |
| 63 | 23 | 3.995332706 | 23.59429405 | -295.8286526 | 0 | 0 | 0 |
| 64 | 18.7 | 2.641073524 | 23.47490973 | -309.5881248 | 0 | 0 | 0 |
| 65 | 14.2 | 1.522909049 | 23.38726635 | -330.2273331 | 0 | 0 | 0 |
| 66 | 9.4 | 0.667348956 | 23.33030893 | -309.5881248 | 0 | 0 | 0 |
| 67 | 4.9 | 0.181338258 | 23.30494146 | -199.5123471 | 0 | 0 | 0 |
| 68 | 2 | 0.030210455 | 23.29940899 | -137.5947221 | 0 | 0 | 0 |
| 69 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 70 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 71 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 72 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 73 | 0 | 0 | 23.29875 | 116.9555138 | 0 | 0.236111111 | 0 |
| 74 | 1.7 | 0.021827054 | 23.29918896 | 282.0691803 | 0.144212037 | 1.041666667 | 0.072106019 |
| 75 | 5.8 | 0.254069929 | 23.30818784 | 412.7841663 | 0.703002572 | 2.444444444 | 0.423607305 |
| 76 | 11.8 | 1.051625947 | 23.35446956 | 447.1828469 | 1.545763756 | 4.180555556 | 1.124383164 |
| 77 | 18.3 | 2.529294839 | 23.46564001 | 426.5436386 | 2.300404415 | 5.944444444 | 1.923084085 |
| 78 | 24.5 | 4.53345644 | 23.64486294 | 337.1070692 | 2.485970006 | 7.486111111 | 2.39318721 |
| 79 | 29.4 | 6.528177274 | 23.84472273 | 213.2718193 | 1.989765207 | 8.597222222 | 2.237867607 |
| 80 | 32.5 | 7.977448339 | 24.00022311 | 116.9555138 | 1.3445357 | 9.263888889 | 1.667150454 |
| 81 | 34.2 | 8.833839219 | 24.09558406 | 13.75947221 | 0.443544507 | 9.527777778 | 0.894040104 |
| 82 | 34.4 | 8.93746108 | 24.10728483 | 6.879736106 | 0.381500606 | 9.569444444 | 0.412522557 |
| 83 | 34.5 | 8.989498589 | 24.11317363 | 6.879736106 | 0.383164746 | 9.597222222 | 0.382332676 |
| 84 | 34.6 | 9.041687151 | 24.11908808 | 6.879736106 | 0.384833803 | 9.625 | 0.383999275 |
| 85 | 34.7 | 9.094026765 | 24.12502823 | 6.879736106 | 0.386507792 | 9.652777778 | 0.385670798 |
| 86 | 34.8 | 9.146517431 | 24.13099412 | 27.51894442 | 0.587699074 | 9.722222222 | 0.487103433 |
| 87 | 35.2 | 9.357990617 | 24.15511574 | 55.03788885 | 0.865831953 | 9.888888889 | 0.726765514 |
| 88 | 36 | 9.7881875 | 24.2046054 | 68.79736106 | 1.02790154 | 10.13888889 | 0.946866746 |
| 89 | 37 | 10.33952831 | 24.26882863 | 61.91762495 | 0.992072592 | 10.40277778 | 1.009987066 |
| 90 | 37.9 | 10.84865001 | 24.32890044 | 48.15815274 | 0.877339764 | 10.625 | 0.934706178 |
| 91 | 38.6 | 11.25309247 | 24.37712767 | 13.75947221 | 0.529567257 | 10.75 | 0.703453511 |
| 92 | 38.8 | 11.37000694 | 24.39115062 | 0 | 0.385425809 | 10.77777778 | 0.457496533 |
| 93 | 38.8 | 11.37000694 | 24.39115062 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0.192712905 |
| 94 | 38.7 | 11.31147418 | 24.38412556 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0 |
| 95 | 38.5 | 11.19486182 | 24.37015693 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 96 | 38 | 10.90597434 | 24.33570908 | -41.27841663 | 0 | 0 | 0 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 97 | 37.4 | 10.5642941 | 24.29525993 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 98 | 36.9 | 10.28371449 | 24.26228732 | -20.63920832 | 0 | 0 | 0 |
| 99 | 36.6 | 10.11717936 | 24.24282248 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 36.4 | 10.0069112 | 24.22997813 | 0 | 0.346172992 | 10.11111111 | 0.173086496 |
| 101 | 36.4 | 10.0069112 | 24.22997813 | 6.879736106 | 0.415734768 | 10.125 | 0.38095388 |
| 102 | 36.5 | 10.06196975 | 24.23638711 | 13.75947221 | 0.487252989 | 10.16666667 | 0.451493879 |
| 103 | 36.7 | 10.17254002 | 24.24928429 | 13.75947221 | 0.491181551 | 10.22222222 | 0.48921727 |
| 104 | 36.9 | 10.28371449 | 24.26228732 | 6.879736106 | 0.424613814 | 10.26388889 | 0.457897682 |
| 105 | 37 | 10.33952831 | 24.26882863 | 13.75947221 | 0.4971138 | 10.30555556 | 0.460863807 |
| 106 | 37.2 | 10.4516091 | 24.28199099 | 6.879736106 | 0.430004474 | 10.34722222 | 0.463559137 |
| 107 | 37.3 | 10.50787607 | 24.28861212 | 6.879736106 | 0.431811991 | 10.375 | 0.430908232 |
| 108 | 37.4 | 10.5642941 | 24.29525993 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0.215905995 |
| 109 | 37.3 | 10.50787607 | 24.28861212 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 36.8 | 10.22805173 | 24.25577255 | -68.79736106 | 0 | 0 | 0 |
| 111 | 35.8 | 9.679731966 | 24.19207645 | -75.67709716 | 0 | 0 | 0 |
| 112 | 34.7 | 9.094026765 | 24.12502823 | -199.5123471 | 0 | 0 | 0 |
| 113 | 31.8 | 7.637505191 | 23.96305944 | -199.5123471 | 0 | 0 | 0 |
| 114 | 28.9 | 6.308018582 | 23.82180485 | -151.3541943 | 0 | 0 | 0 |
| 115 | 26.7 | 5.38418286 | 23.727872 | -144.4744582 | 0 | 0 | 0 |
| 116 | 24.6 | 4.570539774 | 23.64840552 | 41.27841663 | 0.47489864 | 6.916666667 | 0.23744932 |
| 117 | 25.2 | 4.796211875 | 23.67011757 | 68.79736106 | 0.680845834 | 7.138888889 | 0.577872237 |
| 118 | 26.2 | 5.184416225 | 23.7080633 | 96.31630548 | 0.911241713 | 7.472222222 | 0.796043773 |
| 119 | 27.6 | 5.753279097 | 23.76495329 | 110.0757777 | 1.070220744 | 7.888888889 | 0.990731229 |
| 120 | 29.2 | 6.43966064 | 23.8354848 | 123.8352499 | 1.25000654 | 8.361111111 | 1.160113642 |
| 121 | 31 | 7.258061873 | 23.92206397 | 123.8352499 | 1.334854624 | 8.861111111 | 1.292430582 |
| 122 | 32.8 | 8.125404043 | 24.01652319 | 103.1960416 | 1.233079272 | 9.319444444 | 1.283966948 |
| 123 | 34.3 | 8.885574623 | 24.10142165 | 55.03788885 | 0.838681544 | 9.638888889 | 1.035880408 |
| 124 | 35.1 | 9.304895742 | 24.14904655 | 13.75947221 | 0.460330791 | 9.777777778 | 0.649506168 |
| 125 | 35.3 | 9.411236545 | 24.16121085 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0.230165396 |
| 126 | 35.1 | 9.304895742 | 24.14904655 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 127 | 34.6 | 9.041687151 | 24.11908808 | -61.91762495 | 0 | 0 | 0 |
| 128 | 33.7 | 8.57742798 | 24.06677857 | -103.1960416 | 0 | 0 | 0 |
| 129 | 32.2 | 7.830852105 | 23.98414717 | -178.8731388 | 0 | 0 | 0 |
| 130 | 29.6 | 6.617298117 | 23.85405541 | -247.6704998 | 0 | 0 | 0 |
| 131 | 26 | 5.105566937 | 23.70029664 | -275.1894442 | 0 | 0 | 0 |
| 132 | 22 | 3.655465085 | 23.56320959 | -240.7907637 | 0 | 0 | 0 |
| 133 | 18.5 | 2.584882077 | 23.47023729 | -130.714986 | 0 | 0 | 0 |
| 134 | 16.6 | 2.081198262 | 23.42953949 | 68.79736106 | 0.434865122 | 4.75 | 0.217432561 |
| 135 | 17.6 | 2.339497654 | 23.45013551 | 233.9110276 | 1.269647675 | 5.361111111 | 0.852256399 |
| 136 | 21 | 3.330702691 | 23.53417407 | 288.9489164 | 1.842247127 | 6.416666667 | 1.555947401 |
| 137 | 25.2 | 4.796211875 | 23.67011757 | 268.3097081 | 2.077432263 | 7.541666667 | 1.959839695 |
| 138 | 29.1 | 6.395628902 | 23.83090126 | 158.2339304 | 1.523388723 | 8.402777778 | 1.800410493 |
| 139 | 31.4 | 7.446575114 | 23.94236587 | 34.39868053 | 0.573814254 | 8.791666667 | 1.048601489 |
| 140 | 31.9 | 7.685615341 | 23.96829432 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0.286907127 |
| 141 | 31.4 | 7.446575114 | 23.94236587 | -55.03788885 | 0 | 0 | 0 |
| 142 | 30.6 | 7.071965469 | 23.90215123 | -75.67709716 | 0 | 0 | 0 |
| 143 | 29.5 | 6.57266217 | 23.84937721 | -103.1960416 | 0 | 0 | 0 |
| 144 | 28 | 5.921249228 | 23.78202876 | -213.2718193 | 0 | 0 | 0 |
| 145 | 24.9 | 4.682696089 | 23.65916345 | -323.347597 | 0 | 0 | 0 |
| 146 | 20.2 | 3.08176854 | 23.51238925 | -371.5057497 | 0 | 0 | 0 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 147 | 14.8 | 1.654324529 | 23.39691505 | -364.6260136 | 0 | 0 | 0 |
| 148 | 9.5 | 0.681623397 | 23.33115497 | -323.347597 | 0 | 0 | 0 |
| 149 | 4.8 | 0.174012222 | 23.30463038 | -233.9110276 | 0 | 0 | 0 |
| 150 | 1.4 | 0.014803123 | 23.29902016 | -96.31630548 | 0 | 0 | 0 |
| 151 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 152 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 153 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 154 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 155 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 156 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 157 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 158 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 159 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 160 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 161 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 162 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 163 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 164 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 165 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 166 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 167 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 168 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 169 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 170 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 171 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 172 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 173 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 174 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 175 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 176 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 177 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 178 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 179 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 181 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 182 | 0 | 0 | 23.29875 | 137.5947221 | 0 | 0.277777778 | 0 |
| 183 | 2 | 0.030210455 | 23.29940899 | 275.1894442 | 0.165843924 | 1.111111111 | 0.082921962 |
| 184 | 6 | 0.271894097 | 23.30902261 | 440.3031108 | 0.773140046 | 2.555555556 | 0.469491985 |
| 185 | 12.4 | 1.1612899 | 23.36182494 | 619.1762495 | 2.217186699 | 4.694444444 | 1.495163373 |
| 186 | 21.4 | 3.458795021 | 23.5455454 | 591.6573051 | 3.677599782 | 7.138888889 | 2.947393241 |
| 187 | 30 | 6.797352431 | 23.87300629 | 488.4612635 | 4.326096852 | 9.319444444 | 4.001848317 |
| 188 | 37.1 | 10.39549318 | 24.2753965 | 371.5057497 | 4.185875923 | 11.05555556 | 4.255986387 |
| 189 | 42.5 | 13.6419087 | 24.67049994 | 282.0691803 | 3.782282648 | 12.375 | 3.984079285 |
| 190 | 46.6 | 16.40095405 | 25.02565091 | 220.1515554 | 3.385983964 | 13.38888889 | 3.584133306 |
| 191 | 49.8 | 18.73078436 | 25.33755637 | 178.8731388 | 3.0840238 | 14.19444444 | 3.235003882 |
| 192 | 52.4 | 20.7376649 | 25.61417567 | 137.5947221 | 2.677444412 | 14.83333333 | 2.880734106 |
| 193 | 54.4 | 22.35090321 | 25.84147782 | 82.55683327 | 1.975765905 | 15.27777778 | 2.326605159 |
| 194 | 55.6 | 23.34784823 | 25.98403017 | 34.39868053 | 1.293171966 | 15.51388889 | 1.634468935 |
| 195 | 56.1 | 23.76966171 | 26.04480846 | 6.879736106 | 0.883484715 | 15.59722222 | 1.08832834 |
| 196 | 56.2 | 23.85447757 | 26.05706216 | 0 | 0.779174592 | 15.61111111 | 0.831329654 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 197 | 56.2 | 23.85447757 | 26.05706216 | 0 | 0.779174592 | 15.61111111 | 0.779174592 |
| 198 | 56.2 | 23.85447757 | 26.05706216 | 34.39868053 | 1.316176216 | 15.68055556 | 1.047675404 |
| 199 | 56.7 | 24.28082262 | 26.1188225 | 34.39868053 | 1.335573629 | 15.81944444 | 1.325874923 |
| 200 | 57.2 | 24.71094397 | 26.18140519 | 34.39868053 | 1.355179694 | 15.95833333 | 1.345376661 |
| 201 | 57.7 | 25.14484164 | 26.24481387 | 34.39868053 | 1.374996386 | 16.09722222 | 1.36508804 |
| 202 | 58.2 | 25.58251561 | 26.30905214 | 34.39868053 | 1.39502568 | 16.23611111 | 1.385011033 |
| 203 | 58.7 | 26.02396588 | 26.37412358 | 41.27841663 | 1.527447474 | 16.38888889 | 1.461236577 |
| 204 | 59.3 | 26.55869094 | 26.45331412 | 34.39868053 | 1.439848238 | 16.54166667 | 1.483647856 |
| 205 | 59.8 | 27.0084491 | 26.52023108 | 13.75947221 | 1.117730976 | 16.63888889 | 1.278789607 |
| 206 | 60 | 27.18940972 | 26.54723415 | 0 | 0.895610731 | 16.66666667 | 1.006670853 |
| 207 | 60 | 27.18940972 | 26.54723415 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0.447805366 |
| 208 | 59.9 | 27.09885388 | 26.53371571 | 0 | 0.892386366 | 16.63888889 | 0.446193183 |
| 209 | 59.9 | 27.09885388 | 26.53371571 | 0 | 0.892386366 | 16.63888889 | 0.892386366 |
| 210 | 59.9 | 27.09885388 | 26.53371571 | 0 | 0.892386366 | 16.63888889 | 0.892386366 |
| 211 | 59.9 | 27.09885388 | 26.53371571 | 0 | 0.892386366 | 16.63888889 | 0.892386366 |
| 212 | 59.9 | 27.09885388 | 26.53371571 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0.446193183 |
| 213 | 59.8 | 27.0084491 | 26.52023108 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0 |
| 214 | 59.6 | 26.82809268 | 26.49336315 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 215 | 59.1 | 26.37984505 | 26.42678301 | -137.5947221 | 0 | 0 | 0 |
| 216 | 57.1 | 24.6246176 | 26.16882269 | -268.3097081 | 0 | 0 | 0 |
| 217 | 53.2 | 21.37570971 | 25.70356519 | -337.1070692 | 0 | 0 | 0 |
| 218 | 48.3 | 17.61941724 | 25.1874825 | -302.7083887 | 0 | 0 | 0 |
| 219 | 43.9 | 14.55547286 | 24.78627381 | -247.6704998 | 0 | 0 | 0 |
| 220 | 40.3 | 12.26612457 | 24.49981149 | -55.03788885 | 0 | 0 | 0 |
| 221 | 39.5 | 11.7839657 | 24.44108995 | 123.8352499 | 1.756217241 | 11.22222222 | 0.878108621 |
| 222 | 41.3 | 12.88241785 | 24.57571136 | 268.3097081 | 3.507836578 | 12.01388889 | 2.63202691 |
| 223 | 45.2 | 15.43029212 | 24.89885585 | 337.1070692 | 4.738921393 | 13.23611111 | 4.123378986 |
| 224 | 50.1 | 18.95713619 | 25.36840016 | 247.6704998 | 4.063611503 | 14.41666667 | 4.401266448 |
| 225 | 53.7 | 21.77939692 | 25.76046822 | 144.4744582 | 2.864213657 | 15.20833333 | 3.46391258 |
| 226 | 55.8 | 23.51612047 | 26.00824356 | 0 | 0.767627642 | 15.5 | 1.81592065 |
| 227 | 55.8 | 23.51612047 | 26.00824356 | -75.67709716 | 0 | 0 | 0.383813821 |
| 228 | 54.7 | 22.59810026 | 25.87667894 | -96.31630548 | 0 | 0 | 0 |
| 229 | 53.3 | 21.45614505 | 25.71488195 | -68.79736106 | 0 | 0 | 0 |
| 230 | 52.3 | 20.65858903 | 25.60314459 | -20.63920832 | 0 | 0 | 0 |
| 231 | 52 | 20.42226775 | 25.57024081 | 6.879736106 | 0.763710201 | 14.45833333 | 0.3818551 |
| 232 | 52.1 | 20.50089046 | 25.5811772 | -20.63920832 | 0 | 0 | 0.3818551 |
| 233 | 51.8 | 20.26547548 | 25.54846252 | -68.79736106 | 0 | 0 | 0 |
| 234 | 50.8 | 19.49057731 | 25.44145265 | -110.0757777 | 0 | 0 | 0 |
| 235 | 49.2 | 18.2821591 | 25.27670034 | -116.9555138 | 0 | 0 | 0 |
| 236 | 47.5 | 17.04058491 | 25.11024296 | -123.8352499 | 0 | 0 | 0 |
| 237 | 45.7 | 15.77355842 | 24.94347436 | -123.8352499 | 0 | 0 | 0 |
| 238 | 43.9 | 14.55547286 | 24.78627381 | -130.714986 | 0 | 0 | 0 |
| 239 | 42 | 13.32281076 | 24.63050965 | -123.8352499 | 0 | 0 | 0 |
| 240 | 40.2 | 12.20532602 | 24.49237459 | -130.714986 | 0 | 0 | 0 |
| 241 | 38.3 | 11.07885367 | 24.35629672 | -130.714986 | 0 | 0 | 0 |
| 242 | 36.4 | 10.0069112 | 24.22997813 | -123.8352499 | 0 | 0 | 0 |
| 243 | 34.6 | 9.041687151 | 24.11908808 | -130.714986 | 0 | 0 | 0 |
| 244 | 32.7 | 8.075934423 | 24.01106486 | -144.4744582 | 0 | 0 | 0 |
| 245 | 30.6 | 7.071965469 | 23.90215123 | -171.9934026 | 0 | 0 | 0 |
| 246 | 28.1 | 5.963619392 | 23.78635531 | -178.8731388 | 0 | 0 | 0 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 247 | 25.5 | 4.911087131 | 23.68126906 | -165.1136665 | 0 | 0 | 0 |
| 248 | 23.1 | 4.030150256 | 23.59751697 | -130.714986 | 0 | 0 | 0 |
| 249 | 21.2 | 3.394446752 | 23.53981951 | -116.9555138 | 0 | 0 | 0 |
| 250 | 19.5 | 2.871881402 | 23.49435914 | -116.9555138 | 0 | 0 | 0 |
| 251 | 17.8 | 2.39297016 | 23.45447295 | -171.9934026 | 0 | 0 | 0 |
| 252 | 15.3 | 1.767991367 | 23.40541728 | -261.429972 | 0 | 0 | 0 |
| 253 | 11.5 | 0.998833177 | 23.3509953 | -295.8286526 | 0 | 0 | 0 |
| 254 | 7.2 | 0.3915275 | 23.31495443 | -323.347597 | 0 | 0 | 0 |
| 255 | 2.5 | 0.047203836 | 23.2999012 | -171.9934026 | 0 | 0 | 0 |
| 256 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 257 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 258 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 259 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 260 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 261 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 262 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 263 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 264 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 265 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 266 | 0 | 0 | 23.29875 | 34.39868053 | 0 | 0.069444444 | 0 |
| 267 | 0.5 | 0.001888153 | 23.29877059 | 165.1136665 | 0.026168656 | 0.472222222 | 0.013084328 |
| 268 | 2.9 | 0.063517482 | 23.30041839 | 364.6260136 | 0.312547459 | 1.541666667 | 0.169358058 |
| 269 | 8.2 | 0.507837753 | 23.32118041 | 343.9868053 | 0.837802709 | 2.972222222 | 0.575175084 |
| 270 | 13.2 | 1.315967431 | 23.37249583 | 316.4678609 | 1.250906522 | 4.305555556 | 1.044354615 |
| 271 | 17.8 | 2.39297016 | 23.45447295 | 247.6704998 | 1.352394273 | 5.444444444 | 1.301650398 |
| 272 | 21.4 | 3.458795021 | 23.5455454 | 185.7528749 | 1.264723446 | 6.319444444 | 1.30855886 |
| 273 | 24.1 | 4.386633628 | 23.63090839 | 158.2339304 | 1.246850135 | 7.013888889 | 1.255786791 |
| 274 | 26.4 | 5.263869722 | 23.7159194 | 137.5947221 | 1.221546416 | 7.611111111 | 1.234198275 |
| 275 | 28.4 | 6.091636196 | 23.79947408 | 103.1960416 | 1.049909754 | 8.097222222 | 1.135728085 |
| 276 | 29.9 | 6.752112274 | 23.86823278 | 41.27841663 | 0.59715916 | 8.388888889 | 0.823534457 |
| 277 | 30.5 | 7.025818998 | 23.89723356 | 0 | 0.261986973 | 8.472222222 | 0.429573066 |
| 278 | 30.5 | 7.025818998 | 23.89723356 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0.130993487 |
| 279 | 30.3 | 6.933979214 | 23.88747055 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0 |
| 280 | 30.2 | 6.888285901 | 23.88262514 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0 |
| 281 | 30.1 | 6.84274364 | 23.87780373 | 0 | 0.25685791 | 8.361111111 | 0.128428955 |
| 282 | 30.1 | 6.84274364 | 23.87780373 | 0 | 0.25685791 | 8.361111111 | 0.25685791 |
| 283 | 30.1 | 6.84274364 | 23.87780373 | 0 | 0.25685791 | 8.361111111 | 0.25685791 |
| 284 | 30.1 | 6.84274364 | 23.87780373 | 0 | 0.25685791 | 8.361111111 | 0.25685791 |
| 285 | 30.1 | 6.84274364 | 23.87780373 | 0 | 0.25685791 | 8.361111111 | 0.25685791 |
| 286 | 30.1 | 6.84274364 | 23.87780373 | 6.879736106 | 0.314380148 | 8.375 | 0.285619029 |
| 287 | 30.2 | 6.888285901 | 23.88262514 | 13.75947221 | 0.373560437 | 8.416666667 | 0.343970293 |
| 288 | 30.4 | 6.97982358 | 23.89234001 | 41.27841663 | 0.609271566 | 8.527777778 | 0.491416002 |
| 289 | 31 | 7.258061873 | 23.92206397 | 55.03788885 | 0.742432904 | 8.722222222 | 0.675852235 |
| 290 | 31.8 | 7.637505191 | 23.96305944 | 61.91762495 | 0.826077341 | 8.958333333 | 0.784255123 |
| 291 | 32.7 | 8.075934423 | 24.01106486 | 61.91762495 | 0.853875337 | 9.208333333 | 0.839976339 |
| 292 | 33.6 | 8.526598889 | 24.06109371 | 55.03788885 | 0.81783876 | 9.444444444 | 0.835857048 |
| 293 | 34.4 | 8.93746108 | 24.10728483 | 41.27841663 | 0.710199109 | 9.638888889 | 0.764018934 |
| 294 | 35 | 9.251951919 | 24.14300324 | 27.51894442 | 0.592218468 | 9.777777778 | 0.651208788 |
| 295 | 35.4 | 9.464633524 | 24.16733191 | 6.879736106 | 0.398365065 | 9.847222222 | 0.495291767 |
| 296 | 35.5 | 9.518181556 | 24.17347897 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0.199182533 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 297 | 35.3 | 9.411236545 | 24.16121085 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 298 | 34.9 | 9.199159149 | 24.13698578 | -68.79736106 | 0 | 0 | 0 |
| 299 | 33.9 | 8.679539319 | 24.07822443 | -103.1960416 | 0 | 0 | 0 |
| 300 | 32.4 | 7.928431875 | 23.99483961 | -123.8352499 | 0 | 0 | 0 |
| 301 | 30.6 | 7.071965469 | 23.90215123 | -116.9555138 | 0 | 0 | 0 |
| 302 | 28.9 | 6.308018582 | 23.82180485 | -75.67709716 | 0 | 0 | 0 |
| 303 | 27.8 | 5.836962058 | 23.77344495 | -41.27841663 | 0 | 0 | 0 |
| 304 | 27.2 | 5.587725802 | 23.74824502 | -20.63920832 | 0 | 0 | 0 |
| 305 | 26.9 | 5.46514688 | 23.73595319 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 306 | 26.5 | 5.303823049 | 23.7198811 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 307 | 26.1 | 5.144916055 | 23.70416881 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 308 | 25.7 | 4.988425897 | 23.68881361 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0 |
| 309 | 25.5 | 4.911087131 | 23.68126906 | 13.75947221 | 0.299992118 | 7.111111111 | 0.149996059 |
| 310 | 25.7 | 4.988425897 | 23.68881361 | 48.15815274 | 0.548519328 | 7.236111111 | 0.424255723 |
| 311 | 26.4 | 5.263869722 | 23.7159194 | 61.91762495 | 0.666581037 | 7.458333333 | 0.607550182 |
| 312 | 27.3 | 5.628887548 | 23.75238781 | 55.03788885 | 0.640178662 | 7.694444444 | 0.653379849 |
| 313 | 28.1 | 5.963619392 | 23.78635531 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0.320089331 |
| 314 | 27.9 | 5.879030117 | 23.77772532 | -130.714986 | 0 | 0 | 0 |
| 315 | 26 | 5.105566937 | 23.70029664 | -227.0312915 | 0 | 0 | 0 |
| 316 | 22.7 | 3.891786371 | 23.58475081 | -254.5502359 | 0 | 0 | 0 |
| 317 | 19 | 2.726493586 | 23.4820602 | -206.3920832 | 0 | 0 | 0 |
| 318 | 16 | 1.933469136 | 23.4180396 | -96.31630548 | 0 | 0 | 0 |
| 319 | 14.6 | 1.60991516 | 23.3936322 | 41.27841663 | 0.268810187 | 4.138888889 | 0.134405094 |
| 320 | 15.2 | 1.744955895 | 23.40368288 | 116.9555138 | 0.599995311 | 4.458333333 | 0.434402749 |
| 321 | 16.9 | 2.157102031 | 23.43552899 | 165.1136665 | 0.895260119 | 5.027777778 | 0.747627715 |
| 322 | 19.3 | 2.813273119 | 23.48938204 | 185.7528749 | 1.136853258 | 5.736111111 | 1.016056689 |
| 323 | 22 | 3.655465085 | 23.56320959 | 178.8731388 | 1.259449971 | 6.472222222 | 1.198151615 |
| 324 | 24.6 | 4.570539774 | 23.64840552 | 151.3541943 | 1.227083121 | 7.138888889 | 1.243266546 |
| 325 | 26.8 | 5.424589344 | 23.73190129 | 75.67709716 | 0.78042782 | 7.597222222 | 1.003755471 |
| 326 | 27.9 | 5.879030117 | 23.77772532 | 13.75947221 | 0.336475764 | 7.777777778 | 0.558451792 |
| 327 | 28.1 | 5.963619392 | 23.78635531 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0.168237882 |
| 328 | 27.7 | 5.795045052 | 23.76918762 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 329 | 27.2 | 5.587725802 | 23.74824502 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 330 | 26.8 | 5.424589344 | 23.73190129 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0 |
| 331 | 26.6 | 5.343927429 | 23.72386528 | 13.75947221 | 0.316445902 | 7.416666667 | 0.158222951 |
| 332 | 26.8 | 5.424589344 | 23.73190129 | 13.75947221 | 0.319485501 | 7.472222222 | 0.317965702 |
| 333 | 27 | 5.505855469 | 23.74002776 | 13.75947221 | 0.322540166 | 7.527777778 | 0.321012833 |
| 334 | 27.2 | 5.587725802 | 23.74824502 | 13.75947221 | 0.325610014 | 7.583333333 | 0.32407509 |
| 335 | 27.4 | 5.670200345 | 23.75655342 | 13.75947221 | 0.328695164 | 7.638888889 | 0.327152589 |
| 336 | 27.6 | 5.753279097 | 23.76495329 | 6.879736106 | 0.279051092 | 7.680555556 | 0.303873128 |
| 337 | 27.7 | 5.795045052 | 23.76918762 | 13.75947221 | 0.33335184 | 7.722222222 | 0.306201466 |
| 338 | 27.9 | 5.879030117 | 23.77772532 | 13.75947221 | 0.336475764 | 7.777777778 | 0.334913802 |
| 339 | 28.1 | 5.963619392 | 23.78635531 | 13.75947221 | 0.339615405 | 7.833333333 | 0.338045585 |
| 340 | 28.3 | 6.048812876 | 23.79507793 | 20.63920832 | 0.396853251 | 7.902777778 | 0.368234328 |
| 341 | 28.6 | 6.177735993 | 23.80833626 | 27.51894442 | 0.45684541 | 8 | 0.426849331 |
| 342 | 29 | 6.351748216 | 23.82634129 | 41.27841663 | 0.575621855 | 8.138888889 | 0.516233633 |
| 343 | 29.6 | 6.617298117 | 23.85405541 | 34.39868053 | 0.533375836 | 8.291666667 | 0.554498845 |
| 344 | 30.1 | 6.84274364 | 23.87780373 | 27.51894442 | 0.486946862 | 8.416666667 | 0.510161349 |
| 345 | 30.5 | 7.025818998 | 23.89723356 | 13.75947221 | 0.378560279 | 8.5 | 0.432753571 |
| 346 | 30.7 | 7.118262991 | 23.90709307 | 6.879736106 | 0.323246203 | 8.541666667 | 0.350903241 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 347 | 30.8 | 7.164711566 | 23.91205911 | 0 | 0.265879038 | 8.555555556 | 0.29456262 |
| 348 | 30.8 | 7.164711566 | 23.91205911 | 0 | 0.265879038 | 8.555555556 | 0.265879038 |
| 349 | 30.8 | 7.164711566 | 23.91205911 | 0 | 0.265879038 | 8.555555556 | 0.265879038 |
| 350 | 30.8 | 7.164711566 | 23.91205911 | 0 | 0.265879038 | 8.555555556 | 0.265879038 |
| 351 | 30.8 | 7.164711566 | 23.91205911 | 0 | 0.265879038 | 8.555555556 | 0.265879038 |
| 352 | 30.8 | 7.164711566 | 23.91205911 | 0 | 0.265879038 | 8.555555556 | 0.265879038 |
| 353 | 30.8 | 7.164711566 | 23.91205911 | 6.879736106 | 0.324739002 | 8.569444444 | 0.29530902 |
| 354 | 30.9 | 7.211311194 | 23.9170494 | 0 | 0.267185095 | 8.583333333 | 0.295962049 |
| 355 | 30.9 | 7.211311194 | 23.9170494 | 0 | 0.267185095 | 8.583333333 | 0.267185095 |
| 356 | 30.9 | 7.211311194 | 23.9170494 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0.133592548 |
| 357 | 30.8 | 7.164711566 | 23.91205911 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 358 | 30.4 | 6.97982358 | 23.89234001 | -55.03788885 | 0 | 0 | 0 |
| 359 | 29.6 | 6.617298117 | 23.85405541 | -82.55683327 | 0 | 0 | 0 |
| 360 | 28.4 | 6.091636196 | 23.79947408 | -89.43656938 | 0 | 0 | 0 |
| 361 | 27.1 | 5.546715109 | 23.74412502 | -75.67709716 | 0 | 0 | 0 |
| 362 | 26 | 5.105566937 | 23.70029664 | -41.27841663 | 0 | 0 | 0 |
| 363 | 25.4 | 4.872644327 | 23.67752989 | 6.879736106 | 0.249977701 | 7.069444444 | 0.12498885 |
| 364 | 25.5 | 4.911087131 | 23.68126906 | 55.03788885 | 0.592380902 | 7.194444444 | 0.421179301 |
| 365 | 26.3 | 5.224067447 | 23.71198015 | 68.79736106 | 0.713996847 | 7.444444444 | 0.653188874 |
| 366 | 27.3 | 5.628887548 | 23.75238781 | 75.67709716 | 0.796692658 | 7.736111111 | 0.755344752 |
| 367 | 28.4 | 6.091636196 | 23.79947408 | 55.03788885 | 0.669995438 | 8 | 0.733344048 |
| 368 | 29.2 | 6.43966064 | 23.8354848 | 20.63920832 | 0.41297198 | 8.152777778 | 0.541483709 |
| 369 | 29.5 | 6.57266217 | 23.84937721 | 0 | 0.249291712 | 8.194444444 | 0.331131846 |
| 370 | 29.5 | 6.57266217 | 23.84937721 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0.124645856 |
| 371 | 29 | 6.351748216 | 23.82634129 | -61.91762495 | 0 | 0 | 0 |
| 372 | 28.1 | 5.963619392 | 23.78635531 | -61.91762495 | 0 | 0 | 0 |
| 373 | 27.2 | 5.587725802 | 23.74824502 | -61.91762495 | 0 | 0 | 0 |
| 374 | 26.3 | 5.224067447 | 23.71198015 | -41.27841663 | 0 | 0 | 0 |
| 375 | 25.7 | 4.988425897 | 23.68881361 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0 |
| 376 | 25.5 | 4.911087131 | 23.68126906 | 6.879736106 | 0.251260654 | 7.097222222 | 0.125630327 |
| 377 | 25.6 | 4.949680988 | 23.68503028 | 27.51894442 | 0.399314885 | 7.166666667 | 0.325287769 |
| 378 | 26 | 5.105566937 | 23.70029664 | 27.51894442 | 0.40679028 | 7.277777778 | 0.403052582 |
| 379 | 26.4 | 5.263869722 | 23.7159194 | 41.27841663 | 0.515226842 | 7.416666667 | 0.461008561 |
| 380 | 27 | 5.505855469 | 23.74002776 | 48.15815274 | 0.58053027 | 7.597222222 | 0.547878556 |
| 381 | 27.7 | 5.795045052 | 23.76918762 | 55.03788885 | 0.650966324 | 7.805555556 | 0.615748297 |
| 382 | 28.5 | 6.134610569 | 23.80389351 | 61.91762495 | 0.727194355 | 8.041666667 | 0.689080339 |
| 383 | 29.4 | 6.528177274 | 23.84472273 | 55.03788885 | 0.697521442 | 8.277777778 | 0.712357899 |
| 384 | 30.2 | 6.888285901 | 23.88262514 | 20.63920832 | 0.431273779 | 8.430555556 | 0.564397611 |
| 385 | 30.5 | 7.025818998 | 23.89723356 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0.21563689 |
| 386 | 30.3 | 6.933979214 | 23.88747055 | -55.03788885 | 0 | 0 | 0 |
| 387 | 29.5 | 6.57266217 | 23.84937721 | -55.03788885 | 0 | 0 | 0 |
| 388 | 28.7 | 6.221012471 | 23.81280237 | -55.03788885 | 0 | 0 | 0 |
| 389 | 27.9 | 5.879030117 | 23.77772532 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 390 | 27.5 | 5.711664195 | 23.7607419 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0 |
| 391 | 27.3 | 5.628887548 | 23.75238781 | -20.63920832 | 0 | 0 | 0 |
| 392 | 27 | 5.505855469 | 23.74002776 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 393 | 26.5 | 5.303823049 | 23.7198811 | -48.15815274 | 0 | 0 | 0 |
| 394 | 25.8 | 5.027321858 | 23.69261908 | -55.03788885 | 0 | 0 | 0 |
| 395 | 25 | 4.720383632 | 23.66279297 | -240.7907637 | 0 | 0 | 0 |
| 396 | 21.5 | 3.491195734 | 23.54843864 | -378.3854858 | 0 | 0 | 0 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 397 | 16 | 1.933469136 | 23.4180396 | -412.7841663 | 0 | 0 | 0 |
| 398 | 10 | 0.755261381 | 23.33558856 | -343.9868053 | 0 | 0 | 0 |
| 399 | 5 | 0.188815345 | 23.3052622 | -192.632611 | 0 | 0 | 0 |
| 400 | 2.2 | 0.036554651 | 23.29958629 | -82.55683327 | 0 | 0 | 0 |
| 401 | 1 | 0.007552614 | 23.29886649 | -68.79736106 | 0 | 0 | 0 |
| 402 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 403 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 404 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 405 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 406 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 407 | 0 | 0 | 23.29875 | 82.55683327 | 0 | 0.166666667 | 0 |
| 408 | 1.2 | 0.010875764 | 23.29893376 | 137.5947221 | 0.053634844 | 0.611111111 | 0.026817422 |
| 409 | 3.2 | 0.077338765 | 23.30088392 | 185.7528749 | 0.185894309 | 1.263888889 | 0.119764576 |
| 410 | 5.9 | 0.262906487 | 23.30859992 | 199.5123471 | 0.365609649 | 2.041666667 | 0.275751979 |
| 411 | 8.8 | 0.584874414 | 23.32551143 | 220.1515554 | 0.596595856 | 2.888888889 | 0.481102753 |
| 412 | 12 | 1.087576389 | 23.35686065 | 233.9110276 | 0.861184882 | 3.805555556 | 0.728890369 |
| 413 | 15.4 | 1.791177892 | 23.40716876 | 240.7907637 | 1.137842305 | 4.763888889 | 0.999513594 |
| 414 | 18.9 | 2.69786918 | 23.47965773 | 220.1515554 | 1.293227682 | 5.694444444 | 1.215534994 |
| 415 | 22.1 | 3.688772112 | 23.56622507 | 185.7528749 | 1.307631659 | 6.513888889 | 1.30042967 |
| 416 | 24.8 | 4.645159599 | 23.65555574 | 137.5947221 | 1.142835236 | 7.166666667 | 1.225233447 |
| 417 | 26.8 | 5.424589344 | 23.73190129 | 130.714986 | 1.190154326 | 7.708333333 | 1.166494781 |
| 418 | 28.7 | 6.221012471 | 23.81280237 | 130.714986 | 1.281525162 | 8.236111111 | 1.235839744 |
| 419 | 30.6 | 7.071965469 | 23.90215123 | 123.8352499 | 1.315879616 | 8.75 | 1.298702389 |
| 420 | 32.4 | 7.928431875 | 23.99483961 | 110.0757777 | 1.277991443 | 9.222222222 | 1.296935529 |
| 421 | 34 | 8.730821566 | 24.08398549 | 96.31630548 | 1.219571618 | 9.638888889 | 1.24878153 |
| 422 | 35.4 | 9.464633524 | 24.16733191 | 75.67709716 | 1.074872449 | 9.986111111 | 1.147222034 |
| 423 | 36.5 | 10.06196975 | 24.23638711 | 68.79736106 | 1.045276029 | 10.27777778 | 1.060074239 |
| 424 | 37.5 | 10.62086317 | 24.30193446 | 75.67709716 | 1.152082237 | 10.56944444 | 1.098679133 |
| 425 | 38.6 | 11.25309247 | 24.37712767 | 75.67709716 | 1.193461791 | 10.875 | 1.172772014 |
| 426 | 39.7 | 11.9035991 | 24.45560491 | 68.79736106 | 1.159643231 | 11.16666667 | 1.176552511 |
| 427 | 40.7 | 12.51082925 | 24.52983673 | 55.03788885 | 1.040999217 | 11.41666667 | 1.100321224 |
| 428 | 41.5 | 13.00748914 | 24.59122713 | 13.75947221 | 0.592045784 | 11.55555556 | 0.8165225 |
| 429 | 41.7 | 13.13316463 | 24.60685547 | -13.75947221 | 0 | 0 | 0.296022892 |
| 430 | 41.5 | 13.00748914 | 24.59122713 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 431 | 41 | 12.69594382 | 24.55264817 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 432 | 40.6 | 12.4494265 | 24.5222887 | -20.63920832 | 0 | 0 | 0 |
| 433 | 40.3 | 12.26612457 | 24.49981149 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0 |
| 434 | 40.2 | 12.20532602 | 24.49237459 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0 |
| 435 | 40.1 | 12.14467854 | 24.4849654 | -20.63920832 | 0 | 0 | 0 |
| 436 | 39.8 | 11.96364238 | 24.46290365 | -61.91762495 | 0 | 0 | 0 |
| 437 | 38.9 | 11.42869075 | 24.3982029 | -96.31630548 | 0 | 0 | 0 |
| 438 | 37.5 | 10.62086317 | 24.30193446 | -116.9555138 | 0 | 0 | 0 |
| 439 | 35.8 | 9.679731966 | 24.19207645 | -110.0757777 | 0 | 0 | 0 |
| 440 | 34.2 | 8.833839219 | 24.09558406 | -116.9555138 | 0 | 0 | 0 |
| 441 | 32.5 | 7.977448339 | 24.00022311 | -110.0757777 | 0 | 0 | 0 |
| 442 | 30.9 | 7.211311194 | 23.9170494 | -103.1960416 | 0 | 0 | 0 |
| 443 | 29.4 | 6.528177274 | 23.84472273 | -96.31630548 | 0 | 0 | 0 |
| 444 | 28 | 5.921249228 | 23.78202876 | -103.1960416 | 0 | 0 | 0 |
| 445 | 26.5 | 5.303823049 | 23.7198811 | -103.1960416 | 0 | 0 | 0 |
| 446 | 25 | 4.720383632 | 23.66279297 | -103.1960416 | 0 | 0 | 0 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 447 | 23.5 | 4.170930978 | 23.61061905 | -110.0757777 | 0 | 0 | 0 |
| 448 | 21.9 | 3.62230911 | 23.56021461 | -103.1960416 | 0 | 0 | 0 |
| 449 | 20.4 | 3.143095764 | 23.51771669 | -68.79736106 | 0 | 0 | 0 |
| 450 | 19.4 | 2.842501734 | 23.49186097 | -41.27841663 | 0 | 0 | 0 |
| 451 | 18.8 | 2.669395826 | 23.47727426 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 452 | 18.4 | 2.557012932 | 23.46792928 | -27.51894442 | 0 | 0 | 0 |
| 453 | 18 | 2.447046875 | 23.45888412 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 454 | 17.5 | 2.31298798 | 23.4479943 | -41.27841663 | 0 | 0 | 0 |
| 455 | 16.9 | 2.157102031 | 23.43552899 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 456 | 16.4 | 2.031351011 | 23.42563557 | 13.75947221 | 0.178652757 | 4.583333333 | 0.089326378 |
| 457 | 16.6 | 2.081198262 | 23.42953949 | 75.67709716 | 0.46658835 | 4.763888889 | 0.322620553 |
| 458 | 17.7 | 2.366158381 | 23.45229504 | 116.9555138 | 0.701972005 | 5.152777778 | 0.584280178 |
| 459 | 19.4 | 2.842501734 | 23.49186097 | 103.1960416 | 0.698024956 | 5.597222222 | 0.699998481 |
| 460 | 20.9 | 3.299057239 | 23.5313814 | 96.31630548 | 0.714935264 | 6 | 0.70648011 |
| 461 | 22.3 | 3.755839322 | 23.57231768 | 61.91762495 | 0.552828038 | 6.319444444 | 0.633881651 |
| 462 | 23.2 | 4.065118858 | 23.60076088 | 0 | 0.178291225 | 6.444444444 | 0.365559632 |
| 463 | 23.2 | 4.065118858 | 23.60076088 | -68.79736106 | 0 | 0 | 0.089145612 |
| 464 | 22.2 | 3.722230191 | 23.56926108 | -130.714986 | 0 | 0 | 0 |
| 465 | 20.3 | 3.112356626 | 23.51504313 | -165.1136665 | 0 | 0 | 0 |
| 466 | 17.9 | 2.419932991 | 23.4566693 | -185.7528749 | 0 | 0 | 0 |
| 467 | 15.2 | 1.744955895 | 23.40368288 | -199.5123471 | 0 | 0 | 0 |
| 468 | 12.3 | 1.142634944 | 23.36056095 | -206.3920832 | 0 | 0 | 0 |
| 469 | 9.3 | 0.653225569 | 23.32947628 | -199.5123471 | 0 | 0 | 0 |
| 470 | 6.4 | 0.309355062 | 23.31082126 | -178.8731388 | 0 | 0 | 0 |
| 471 | 3.8 | 0.109059743 | 23.30202915 | -123.8352499 | 0 | 0 | 0 |
| 472 | 2 | 0.030210455 | 23.29940899 | -75.67709716 | 0 | 0 | 0 |
| 473 | 0.9 | 0.006117617 | 23.29883952 | -61.91762495 | 0 | 0 | 0 |
| 474 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 475 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 476 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 477 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 478 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 479 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 480 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 481 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 482 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 483 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 484 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 485 | 0 | 0 | 23.29875 | 96.31630548 | 0 | 0.194444444 | 0 |
| 486 | 1.4 | 0.014803123 | 23.29902016 | 213.2718193 | 0.092005528 | 0.819444444 | 0.046002764 |
| 487 | 4.5 | 0.15294043 | 23.30375419 | 295.8286526 | 0.399106684 | 1.847222222 | 0.245556106 |
| 488 | 8.8 | 0.584874414 | 23.32551143 | 316.4678609 | 0.832035714 | 3.083333333 | 0.615571199 |
| 489 | 13.4 | 1.356147336 | 23.37532105 | 268.3097081 | 1.090764379 | 4.263888889 | 0.961400047 |
| 490 | 17.3 | 2.260421788 | 23.44376666 | 130.714986 | 0.751681033 | 5.069444444 | 0.921222706 |
| 491 | 19.2 | 2.784195556 | 23.4869223 | 34.39868053 | 0.323572258 | 5.402777778 | 0.537626645 |
| 492 | 19.7 | 2.931093894 | 23.49941341 | 6.879736106 | 0.182281054 | 5.486111111 | 0.252926656 |
| 493 | 19.8 | 2.960926719 | 23.5019696 | 61.91762495 | 0.486092867 | 5.625 | 0.334186961 |
| 494 | 20.7 | 3.236219492 | 23.52585594 | 199.5123471 | 1.301077929 | 6.152777778 | 0.893585398 |
| 495 | 23.6 | 4.206503789 | 23.6139474 | 309.5881248 | 2.211900665 | 7.180555556 | 1.756489297 |
| 496 | 28.1 | 5.963619392 | 23.78635531 | 323.347597 | 2.756122712 | 8.458333333 | 2.484011688 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 497 | 32.8 | 8.125404043 | 24.01652319 | 240.7907637 | 2.486720073 | 9.597222222 | 2.621421393 |
| 498 | 36.3 | 9.952003694 | 24.2235955 | 55.03788885 | 0.899569338 | 10.19444444 | 1.693144705 |
| 499 | 37.1 | 10.39549318 | 24.2753965 | -137.5947221 | 0 | 0 | 0.449784669 |
| 500 | 35.1 | 9.304895742 | 24.14904655 | -275.1894442 | 0 | 0 | 0 |
| 501 | 31.1 | 7.304963605 | 23.92710286 | -213.2718193 | 0 | 0 | 0 |
| 502 | 28 | 5.921249228 | 23.78202876 | -34.39868053 | 0 | 0 | 0 |
| 503 | 27.5 | 5.711664195 | 23.7607419 | 137.5947221 | 1.276207229 | 7.916666667 | 0.638103615 |
| 504 | 29.5 | 6.57266217 | 23.84937721 | 309.5881248 | 2.786194401 | 8.819444444 | 2.031200815 |
| 505 | 34 | 8.730821566 | 24.08398549 | 206.3920832 | 2.259176185 | 9.861111111 | 2.522685293 |
| 506 | 37 | 10.33952831 | 24.26882863 | 68.79736106 | 1.06278099 | 10.41666667 | 1.660978588 |
| 507 | 38 | 10.90597434 | 24.33570908 | -130.714986 | 0 | 0 | 0.531390495 |
| 508 | 36.1 | 9.842641846 | 24.21090917 | -316.4678609 | 0 | 0 | 0 |
| 509 | 31.5 | 7.494081055 | 23.94750245 | -481.5815274 | 0 | 0 | 0 |
| 510 | 24.5 | 4.53345644 | 23.64486294 | -481.5815274 | 0 | 0 | 0 |
| 511 | 17.5 | 2.31298798 | 23.4479943 | -481.5815274 | 0 | 0 | 0 |
| 512 | 10.5 | 0.832675673 | 23.34036749 | -412.7841663 | 0 | 0 | 0 |
| 513 | 4.5 | 0.15294043 | 23.30375419 | -240.7907637 | 0 | 0 | 0 |
| 514 | 1 | 0.007552614 | 23.29886649 | -68.79736106 | 0 | 0 | 0 |
| 515 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 516 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 517 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 518 | 0 | 0 | 23.29875 | 199.5123471 | 0 | 0.402777778 | 0 |
| 519 | 2.9 | 0.063517482 | 23.30041839 | 350.8665414 | 0.30146344 | 1.513888889 | 0.15073172 |
| 520 | 8 | 0.483367284 | 23.31983762 | 550.3788885 | 1.275960207 | 3.333333333 | 0.788711824 |
| 521 | 16 | 1.933469136 | 23.4180396 | 550.3788885 | 2.558801765 | 5.555555556 | 1.917380986 |
| 522 | 24 | 4.350305556 | 23.62747348 | 550.3788885 | 3.855711117 | 7.777777778 | 3.207256441 |
| 523 | 32 | 7.733876543 | 23.97355388 | 467.8220552 | 4.440262094 | 9.833333333 | 4.147986606 |
| 524 | 38.8 | 11.37000694 | 24.39115062 | 295.8286526 | 3.573801287 | 11.375 | 4.007031691 |
| 525 | 43.1 | 14.02981094 | 24.71942848 | 199.5123471 | 2.85252066 | 12.375 | 3.213160974 |
| 526 | 46 | 15.98133083 | 24.9705996 | 103.1960416 | 1.841890753 | 12.98611111 | 2.347205707 |
| 527 | 47.5 | 17.04058491 | 25.11024296 | 0 | 0.556156757 | 13.19444444 | 1.199023755 |
| 528 | 47.5 | 17.04058491 | 25.11024296 | -185.7528749 | 0 | 0 | 0.278078378 |
| 529 | 44.8 | 15.15839802 | 24.86368989 | -323.347597 | 0 | 0 | 0 |
| 530 | 40.1 | 12.14467854 | 24.4849654 | -433.4233747 | 0 | 0 | 0 |
| 531 | 33.8 | 8.628408123 | 24.0724888 | -454.062583 | 0 | 0 | 0 |
| 532 | 27.2 | 5.587725802 | 23.74824502 | -495.3409996 | 0 | 0 | 0 |
| 533 | 20 | 3.021045525 | 23.50714036 | -495.3409996 | 0 | 0 | 0 |
| 534 | 12.8 | 1.237420247 | 23.36703535 | -399.0246941 | 0 | 0 | 0 |
| 535 | 7 | 0.370078077 | 23.31385246 | -330.2273331 | 0 | 0 | 0 |
| 536 | 2.2 | 0.036554651 | 23.29958629 | -151.3541943 | 0 | 0 | 0 |
| 537 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 538 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 539 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 540 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 541 | 0 | 0 | 23.29875 | 185.7528749 | 0 | 0.375 | 0 |
| 542 | 2.7 | 0.055058555 | 23.30014544 | 364.6260136 | 0.290985913 | 1.486111111 | 0.145492957 |
| 543 | 8 | 0.483367284 | 23.31983762 | 550.3788885 | 1.275960207 | 3.333333333 | 0.78347306 |
| 544 | 16 | 1.933469136 | 23.4180396 | 550.3788885 | 2.558801765 | 5.555555556 | 1.917380986 |
| 545 | 24 | 4.350305556 | 23.62747348 | 550.3788885 | 3.855711117 | 7.777777778 | 3.207256441 |
| 546 | 32 | 7.733876543 | 23.97355388 | 357.7462775 | 3.461810737 | 9.611111111 | 3.658760927 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 547 | 37.2 | 10.4516091 | 24.28199099 | 220.1515554 | 2.633813273 | 10.77777778 | 3.047812005 |
| 548 | 40.4 | 12.32707416 | 24.50727611 | 185.7528749 | 2.497923304 | 11.59722222 | 2.565868289 |
| 549 | 43.1 | 14.02981094 | 24.71942848 | 103.1960416 | 1.699400448 | 12.18055556 | 2.098661876 |
| 550 | 44.6 | 15.02335729 | 24.84628248 | 41.27841663 | 1.005334254 | 12.47222222 | 1.352367351 |
| 551 | 45.2 | 15.43029212 | 24.89885585 | 6.879736106 | 0.592733767 | 12.56944444 | 0.799034011 |
| 552 | 45.3 | 15.49864328 | 24.90772068 | 6.879736106 | 0.595016759 | 12.59722222 | 0.593875263 |
| 553 | 45.4 | 15.56714548 | 24.91661492 | 6.879736106 | 0.597306317 | 12.625 | 0.596161538 |
| 554 | 45.5 | 15.63579874 | 24.92553859 | 6.879736106 | 0.599602456 | 12.65277778 | 0.598454387 |
| 555 | 45.6 | 15.70460306 | 24.93449173 | 6.879736106 | 0.601905191 | 12.68055556 | 0.600753824 |
| 556 | 45.7 | 15.77355842 | 24.94347436 | 6.879736106 | 0.604214538 | 12.70833333 | 0.603059865 |
| 557 | 45.8 | 15.84266484 | 24.95248653 | 6.879736106 | 0.606530513 | 12.73611111 | 0.605372526 |
| 558 | 45.9 | 15.9119223 | 24.96152827 | 6.879736106 | 0.60885313 | 12.76388889 | 0.607691822 |
| 559 | 46 | 15.98133083 | 24.9705996 | 6.879736106 | 0.611182406 | 12.79166667 | 0.610017768 |
| 560 | 46.1 | 16.0508904 | 24.97970056 | 6.879736106 | 0.613518355 | 12.81944444 | 0.61235038 |
| 561 | 46.2 | 16.12060102 | 24.98883118 | 6.879736106 | 0.615860993 | 12.84722222 | 0.614689674 |
| 562 | 46.3 | 16.1904627 | 24.99799149 | 6.879736106 | 0.618210336 | 12.875 | 0.617035665 |
| 563 | 46.4 | 16.26047543 | 25.00718153 | 20.63920832 | 0.797910708 | 12.93055556 | 0.708060522 |
| 564 | 46.7 | 16.47141994 | 25.03493031 | 34.39868053 | 0.984656927 | 13.04166667 | 0.891283818 |
| 565 | 47.2 | 16.82601515 | 25.08177578 | 55.03788885 | 1.271065579 | 13.22222222 | 1.127861253 |
| 566 | 48 | 17.40122222 | 25.15829083 | 61.91762495 | 1.393028507 | 13.45833333 | 1.332047043 |
| 567 | 48.9 | 18.05988567 | 25.2466864 | 61.91762495 | 1.429295343 | 13.70833333 | 1.411161925 |
| 568 | 49.8 | 18.73078436 | 25.33755637 | 48.15815274 | 1.275799826 | 13.93055556 | 1.352547585 |
| 569 | 50.5 | 19.26105337 | 25.40995823 | 34.39868053 | 1.10917207 | 14.09722222 | 1.192485948 |
| 570 | 51 | 19.64434852 | 25.46260455 | 6.879736106 | 0.736478097 | 14.18055556 | 0.922825084 |
| 571 | 51.1 | 19.72146071 | 25.47322729 | -6.879736106 | 0 | 0 | 0.368239048 |
| 572 | 51 | 19.64434852 | 25.46260455 | -41.27841663 | 0 | 0 | 0 |
| 573 | 50.4 | 19.1848475 | 25.39952222 | -96.31630548 | 0 | 0 | 0 |
| 574 | 49 | 18.13382576 | 25.25666046 | -158.2339304 | 0 | 0 | 0 |
| 575 | 46.7 | 16.47141994 | 25.03493031 | -185.7528749 | 0 | 0 | 0 |
| 576 | 44 | 14.62186034 | 24.79475938 | -199.5123471 | 0 | 0 | 0 |
| 577 | 41.1 | 12.75795078 | 24.56030788 | -192.632611 | 0 | 0 | 0 |
| 578 | 38.3 | 11.07885367 | 24.35629672 | -199.5123471 | 0 | 0 | 0 |
| 579 | 35.4 | 9.464633524 | 24.16733191 | -247.6704998 | 0 | 0 | 0 |
| 580 | 31.8 | 7.637505191 | 23.96305944 | -309.5881248 | 0 | 0 | 0 |
| 581 | 27.3 | 5.628887548 | 23.75238781 | -337.1070692 | 0 | 0 | 0 |
| 582 | 22.4 | 3.789599506 | 23.5753949 | -323.347597 | 0 | 0 | 0 |
| 583 | 17.7 | 2.366158381 | 23.45229504 | -295.8286526 | 0 | 0 | 0 |
| 584 | 13.4 | 1.356147336 | 23.37532105 | -282.0691803 | 0 | 0 | 0 |
| 585 | 9.3 | 0.653225569 | 23.32947628 | -261.429972 | 0 | 0 | 0 |
| 586 | 5.5 | 0.228466568 | 23.30701436 | -240.7907637 | 0 | 0 | 0 |
| 587 | 2 | 0.030210455 | 23.29940899 | -137.5947221 | 0 | 0 | 0 |
| 588 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 589 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 590 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 591 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 592 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 593 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 594 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 595 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 596 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Time (s) | V (km/h) | Ra (N) | Rr (N) | Fi (N) | RHP acc (kW) | s acc (m) | trapezoidal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 597 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 598 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 599 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 600 | 0 | 0 | 23.29875 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Medan, 15 September 1998, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal yaitu di SD Muhammadiyah 15 Surabaya, SMP Al-Hikmah Surabaya. dan SMA Al-Hikmah Surabaya. Setelah lulus dari SMA Al-Hikmah Surabaya, penulis melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis diterima di Departemen Teknik Mesin ITS pada tahun 2016 melalui jalur SNMPTN. Selama penulis menjalani pendidikannya di Departemen Teknik Mesin ITS, penulis aktif dalam beberapa kegiatan maupun organisasi ditingkat departemen hingga institut. Jika ingin menghubungi penulis dapat melalui email: sitaangga@gmail.com.