



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 184835

ANALISIS PERANCANGAN SISTEM *POWER* DAN KOMPONEN *DRIVETRAIN* MOBIL TOYOTA CALYA BERTENAGA LISTRIK

PUTRI NABILA AULIYA
NRP 0211164000091

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

**ANALISIS PERANCANGAN SISTEM *POWER* DAN
KOMPONEN *DRIVETRAIN* MOBIL TOYOTA CALYA
BERTENAGA LISTRIK**

PUTRI NABILA AULIYA
0211164000091

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

**ANALYSIS OF POWER SYSTEM AND DRIVETRAIN
COMPONENT DESIGN FOR TOYOTA CALTA ELECTRIC
CAR**

Putri Nabila Auliya
0211164000091

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

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PERANCANGAN SISTEM *POWER* DAN KOMPONEN *DRIVETRAIN* MOBIL TOYOTA CALYA BERTENAGA LISTRIK

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

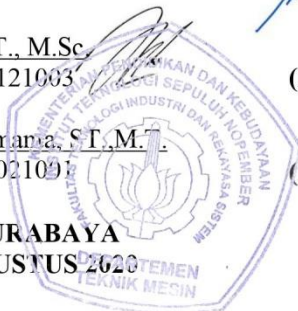
Oleh:

Putri Nabila Auliya
NRP. 0211164000091

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D. 
NIP. 195106051978031002 (Pembimbing)
2. Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc 
NIP. 197805102001121001 (Penguji)
3. Dr.Eng. Yohanes, ST., M.Sc. 
NIP. 198006272012121003 (Penguji)
4. Dr. Bambang Sudarnana, S.T., M.T. 
NIP. 197301161997021001 (Penguji)

SURABAYA
AGUSTUS 2020



ANALISIS PERANCANGAN SISTEM POWER DAN KOMPONEN DRIVETRAIN MOBIL CALYA BERTENAGA LISTRIK

Nama Mahasiswa : Putri Nabila Auliya
NRP : 0211164000091
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi semakin inovatif khususnya pada bidang kendaraan. Pada tahun 2018, berdasarkan hasil data dari Badan Pusat Statistik sebanyak 146.858.759 kendaraan bermotor di Indonesia. Salah satu kendaraan yang banyak digunakan oleh masyarakat khususnya masyarakat Indonesia ialah Toyota Calya. Dikutip dari GAIKINDO 2020 terdapat 42,000 unit lebih mobil Calya yang berhasil dijual pada tahun 2019. Besarnya tingkat penggunaan mobil tersebut berdampak buruk bagi lingkungan karena kendaraan bermotor menghasilkan emisi gas CO₂ dan menimbulkan efek rumah kaca sehingga dibutuhkan inovasi kendaraan dengan energi bersih seperti kendaraan penumpang bertenaga listrik.

Pada tugas akhir ini terdapat tiga tahapan, yakni tahapan pengambilan data, kedua ialah tahap perhitungan, dan yang ketiga ialah tahap analisa terhadap sistem transmisi dan sistem tenaga dari mobil Calya bertenaga listrik. Untuk tahap pengambilan data, diambil data karakteristik torsi dan power dari mobil Calya berbahan bakar bensin sehingga diketahui kecepatan maksimum dan sudut tanjak maksimum sebagai acuan desain. Pada tahap perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan gaya hambat berupa gaya hambat aerodinamis, rolling, dan gradien, kemudian dilakukan perhitungan spesifikasi motor. Selanjutnya dilakukan perhitungan rasio transmisi yang digunakan, perhitungan karakteristik traksi,

karakteristik power, konsumsi energi, kebutuhan energi baterai, center of gravity, dan nilai slip dan skid kendaraan listrik. Langkah akhir ialah tahap analisa yang digunakan yaitu analisa terhadap karakteristik traksi dan karakteristik power yang didapat dari tahap perhitungan, juga perilaku belok kendaraan terhadap center of gravity yang didapat.

Hasil akhir yang didapat dari penelitian ini adalah rasio dan tingkat transmisi pada mobil Calya bertenaga listrik memiliki 2 tingkat kecepatan dengan rasio pertama 1.83 dan rasio kedua 0.707. Dari karakteristik traksi dan karakteristik power dari mobil Calya bertenaga listrik, didapatkan kemampuan tanjak maksimum kendaraan sebesar 30° dan dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 136 km/jam. Adapun motor yang digunakan ialah tipe motor BLDC HVH250-90 60 kW. Nilai konsumsi energi kendaraan listrik yang didapat sebesar 0.431 kWh/km sedangkan kendaraan Toyota Calya bensin bernilai 0.539 kWh/km. Baterai yang digunakan untuk dapat menempuh minimum 85 km ialah baterai Li-ion Polymer dengan energi 39 kWh. Berdasarkan perilaku belok kendaraan, konfigurasi kendaraan listrik dengan nilai center of gravity $a=1.345$ m dan $b=1.180$ m memiliki batas kecepatan maksimum skid lebih besar dan berdasarkan nilai koefisien understeer cenderung sedikit mengalami understeer sehingga lebih aman dikendarai.

Kata kunci : mobil listrik, transmisi, konsumsi energi, center of gravity

ANALYSIS OF POWER SYSTEM AND DRIVETRAIN COMPONENT DESIGN FOR TOYOTA CALYA ELECTRIC CAR

Student Name : Putri Nabila Auliya
NRP : 0211164000091
Departement : Mechanical Engineering FTIRS-ITS
Advisor : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

The development of science and technology, especially in vehicle study, increase innovatively. In 2018, based on Badan Pusat Statistik data, there were 146,858,759 conventional vehicle in Indonesia. One of the most vehicle widely used, especially Indonesian, is Toyota Calya. Based on GAIKINDO 2020, there are 42,000 more units of Toyota Calya that were successfully sold in the end of 2019. The high level of using conventional vehicle has a negative impact on the environment because of producing CO₂ gas emissions. So the innovation in clean energy vehicle such as electric vehicle is needed.

In this study, there are three stages, first is phase of data collection, the second is the calculation phase, and the third is analysis of the transmission and power system of electric-powered Toyota Calya. For the data collection stage, torque and power data is obtained from Toyota Calya Internal Combustion Engine (ICE) dynotes so that the maximum speed and maximum climb-ability are identified as the design reference. In calculation stage, the resistant force is calculated as aerodynamic, rolling, and gradient force. Then the motor needed is calculated and selected. Next the transmission ratio used is calculated so the traction and power characteristic, energy consumption, battery energy, center of gravity, and value of slip and skid.

The desired final result from this study is the transmission ratio and stage used for the electric-powered Toyota Calya having two levels of speed with first ratio of 1.83 and second ratio

of 0.707. From the traction and power characteristic of the electric-powered Toyota Calya, the maximum climb-ability of vehicle is 30° and can reach maximum speed of 136 km/hour. The motor used is the BLDC motor HVH250-90 60 kW. The value of energy consumption of electric vehicle obtained is 0.431 kWh/km while the Toyota Calya ICE is 0.539 kWh/km. The minimum battery energy amount to reach 85 km is a Li-ion Polymer battery with 39 kWh of energy. The best configuration of electric car with a center of gravity with value of $a=1.345$ m and $b=1.180$ m has a higher value of maximum skid speed limit and lower value of understeer coefficient so the turning condition behavior tend to be slightly understeer, making it safer to drive.

Key words : electric vehicle, transmission, energy consumption, center of gravity

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir di Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS Surabaya. Semangat dari penulis dalam melaksanakan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan berbagai pihak. Penulis mengucapkan syukur kepada pihak-pihak yang banyak membantu dan mendukung baik secara moral dan materiil dalam proses tugas ini, antara lain:

1. Ibu Susilawati dan bapak Djohan Suadi selaku orang tua Penulis serta Mas Rizky Muhammad Ramdhany, Mas Naufal Valian Akbar, Dimas Aqila Maulana, dan si bungsu Ajeng Sakila Audina selaku saudara yang senantiasa memberi dukungan dan doa sehingga bisa berkembang hingga saat ini. Juga kepada eyang Dedeh Sumarni dan keluarga besar Sukirjanto yang senantiasa membantu dan mendoakan sehingga kehidupan perkuliahan Penulis menjadi lancar.
2. Bapak Prof. I Nyoman Sutantra, M. Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing Penulis yang selalu memberikan saran, bimbingan, dan motivasi sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan sebaik-baiknya.
3. Pak Dr. Bambang Sudarmanta, S.T, pak Dr. Eng. Yohanes, S.T., M.Sc. dan Pak Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc. selaku dosen penguji tugas akhir Penulis yang telah memberikan ilmu, masukan, dan motivasi dalam perbaikan tugas akhir ini.
4. Nindi, Emy, Echa, Karin, Vega, Tatya, dan Sita yang menjadikan kehidupan perkuliahan Penulis lebih humoris dan bermakna.
5. Kepada M. Yusuf Bachtiar, Nadila, tante Betti, om Muslih, dan keluarga yang sudah mendukung dan menemani Penulis dalam prosesi tugas akhir ini.
6. Kepada eyang Ari Soewono yang telah membimbing dan menambah ilmu Penulis seputar mata kuliah teknik mesin

sehingga mendapat ilmu yang lebih dalam seputar tugas akhir Penulis.

7. Kepada teman-teman SC 1 yang sudah menemani dan mendukung Penulis pada masa-masa awal perkuliahan hingga sekarang.
8. Kepada rekan BSO saya Yusuf, Lanang, Sasongko, Afli, dan Vega, Iqbal, Agi, Farrel, dan Anas, juga pada rekan-rekan Himpunan Mahasiswa Mesin periode 2018/2019 yang telah memberikan pengalaman yang berharga kepada Penulis.
9. Kepada rekan-rekan MMC atas dukungan dan kebersamaan yang diberikan kepada Penulis.
10. Kepada keluarga besar angkatan M59 atas cerita, kebersamaan, dan kerusuhan selama masa perkuliahan.
11. Kepada Elza Lisdarina dan keluarga yang selalu mendukung dan memberi asupan penyemangat kepada Penulis.
12. Kepada Sarah, Sandra, Ofin, Denita, dan Nurul yang selalu menunggu dan mendukung Penulis walaupun dari jarak yang sangat jauh.
13. Kepada mantan anggota Mechanical City 2019 yang selalu membantu Penulis selama ama berjalannya proses pengonsepan.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu seluruh saran, masukan, dan dukungan dari semua pihak sangat Penulis butuhkan. Penulis berharap semoga penulisan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang otomotif listrik.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 DASAR TEORI	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Sistem Transmisi Kendaraan Konvensional.....	11
2.2.1 Aliran Energi	13
2.2.2 Efisiensi Kendaraan ICE.....	15
2.3 Gaya Hambat Kendaraan.....	16
2.3.1.1 Gaya Hambat Aerodinamis (Drag Force)	18
2.3.1.2 Gaya Hambat Rolling (Rolling Resistance).....	20
2.3.1.3 Gaya Hambat Tanjakan (Gradien)	23
2.4 Battery Electric Vehicle (BEV).....	24

2.5 Motor Listrik	26
2.6 Desain Rasio Transmisi Kendaraan Listrik	29
2.7 Karakteristik Traksi Kendaraan Listrik	30
2.8 Karakteristik <i>Power</i> Kendaraan Listrik	32
2.9 Driving Cycle	35
2.9.1 WLTP <i>Class</i> 1	36
2.9.2 WLTP <i>Class</i> 2	37
2.9.3 WLTP <i>Class</i> 3	38
2.10 Konsumsi Energi Kendaraan Listrik	39
2.11 Baterai.....	41
2.12 Titik Berat Kendaraan	42
2.13 Perilaku Belok Kendaraan	47
2.13.1 <i>Skid</i>	48
2.13.2 Slip.....	50
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	57
3.1 Data dan Acuan Kendaraan	57
3.2 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	58
3.3 <i>Flowchart</i> Pengujian	64
3.4 <i>Flowchart</i> Perhitungan	69
3.4.1 Perhitungan Gaya Hambat Kendaraan Bensin ...	69
3.4.2 <i>Flowchart</i> Perhitungan Performa Kendaraan Bensin	72
3.4.3 Menghitung Gaya Hambat Kendaraan Listrik.....	74

3.4.4	<i>Flowchart</i> Perhitungan Motor yang Digunakan ..	76
3.4.5	<i>Flowchart</i> Perhitungan Rasio dan Tingkat Transmisi Kendaraan Listrik	78
3.4.6	Menghitung Karakteristik Traksi Kendaraan Listrik	81
3.4.7	Menghitung Karakteristik <i>Power</i> Kendaraan Listrik	83
3.4.8	Menghitung Konsumsi Energi dan Kemampuan Jelajah Kendaraan.....	85
3.4.9	Menentukan Spesifikasi Baterai	88
3.4.10	Perhitungan <i>Slip, Skid</i>	90
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		95
4.1	Performa Kendaraan ICE	95
4.1.1	Gaya Hambat Kendaraan ICE	95
4.1.2	Karakteristik Traksi Kendaraan ICE	104
4.1.3	Analisa Performa Kendaraan ICE	106
4.2	Gaya Hambat Kendaraan Listrik	108
4.2.1	Gaya Hambat Aerodinamis	109
4.2.2	Gaya Hambat Rolling	110
4.2.3	Gaya Hambat Gradien	112
4.2.4	Gaya Hambat Total Kendaraan Listrik.....	113
4.3	Motor Listrik	115
4.3.1	Perhitungan Kebutuhan Daya Jalan Kendaraan Listrik	115
4.3.2	Perhitungan Kebutuhan Daya Motor Listrik	117

4.3.3 Pemilihan Motor Listrik	117
4.4 Rasio dan Tingkat Transmisi Kendaraan Listrik	121
4.4.1 Perhitungan Rasio dan Tingkat Transmisi	121
4.4.2 Analisis Rasio dan Tingkat Transmisi	123
4.5 Karakteristik Traksi Kendaraan Listrik	123
4.5.1 Perhitungan Kecepatan Kendaraan Listrik tiap Tingkat Transmisi	123
4.5.2 Perhitungan Gaya Traksi Kendaraan Listrik	124
4.5.3 Analisis Grafik Karakteristik Traksi Kendaraan Listrik	125
4.6 Karakteristik Power Kendaraan Listrik	130
4.6.1 Perhitungan Power Kendaraan Listrik	130
4.6.2 Analisis Karakteristik Power Kendaraan Listrik	130
4.7 Konsumsi Energi	132
4.7.1 Pemilihan Driving Cycle Kendaraan	133
4.7.2 Konsumsi Energi ICE	134
4.7.3 Konsumsi Energi BEV	138
4.7.4 Analisa Konsumsi Energi Kendaraan	143
4.8 Pemilihan Baterai	143
4.8.1 Perhitungan Kebutuhann Baterai	143
4.8.2 Pemilihan Spesifikasi Baterai	144
4.9 Perilaku Belok Kendaraan	148
4.9.1 Posisi CG Kendaraan	149
4.9.2 Perhitungan Kecepatan <i>Skid</i>	152

4.9.3 Perhitungan Sudut Slip.....	155
4.9.4 Analisa <i>Skid</i>	160
4.9.5 Analisa <i>Slip</i>	163
4.10 Perbandingan Kendaraan Toyota Calya ICE dan Toyota Calya BEV.....	168
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	171
5.1 Kesimpulan.....	171
5.2 Saran.....	172
LAMPIRAN	175
LAMPIRAN A Hasil Uji Dynotest	175
LAMPIRAN B Simulasi Nilai Koefisien <i>Drag</i>	177
LAMPIRAN B Asumsi Penelitian	180
LAMPIRAN C Perhitungan Gaya Hambat dan Power Kendaraan.....	181
LAMPIRAN D Perhitungan Gaya Traksi Kendaran.....	188
LAMPIRAN E Perhitungan Rhp <i>Driving Cyle</i>	193
LAMPIRAN F Center of Gravity.....	202
LAMPIRAN G Perhitungan Slip, Skid, dan Kus	206
DAFTAR PUSTAKA	211
BIODATA PENULIS	216

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Gambar emisi penggunaan bahan bakar (MtCO ₂ /tahun) oleh Enerdata 2018	2
Gambar 2. 1 Katakarakteristik Traksi 2 tingkat pada Mobil Multiguna Pedesaan	8
Gambar 2. 2 Kurva Karakteristik <i>Power</i> Kendaraan Multiguna Pedesaan	9
Gambar 2. 3 Grafik batas kecepatan <i>skid</i> (<i>Vs</i>) vs. Sudut belok kendaraan Toyota Agya pada jalan aspal kering dan basah	10
Gambar 2. 4 Grafik nilai Kus terhadap sudut belok pada kemiringan jalan 5.7° pada Toyota Agya dengan 2 orang penumpang	11
Gambar 2. 5 Powertrain kendaraan ICE	12
Gambar 2. 6 Skema Aliran Energi Transmisi Kendaraan	13
Gambar 2. 7 Skema Penggunaan Energi Kendaraan Bensin	15
Gambar 2. 8 Dinamika Kendaraan Toyota Callya	17
Gambar 2. 9 Koefisien hambat aerodinamis pada berbagai jenis tipe kendaraan	19
Gambar 2. 10 <i>Pneumatic trail</i> pada roda kendaraan	20
Gambar 2. 11 Grafik besaran koefisien hambatan <i>rolling</i> (<i>fo</i> dan <i>fs</i>) akibat pengaruh tekanan ban	22
Gambar 2. 12 Konstruksi BEV konvensional	25
Gambar 2. 13 Konstruksi Motor BLDC	27
Gambar 2. 14 Karakteristik motor listrik	28
Gambar 2. 15 Karakteristik gaya traksi terhadap kecepatan	32
Gambar 2. 16 Grafik Karakteristik <i>Power</i> Kendaraan listrik Ezzy II ITS	33
Gambar 2. 17 Grafik Siklus WLTP <i>Class</i> 1	36
Gambar 2. 18 Grafik Siklus WLTC <i>Class</i> 2	37
Gambar 2. 19 Grafik Siklus WLTP <i>Class</i> 3	38
Gambar 2. 20 Baterai <i>pack</i> Li-ion	41

Gambar 2. 21 Skema Perhitungan CG berdasarkan posisi komponen kendaraan.....	43
Gambar 2. 22 FBD CG vertikal.....	45
Gambar 2. 23 Skema CG lateral.....	46
Gambar 2. 24 perilaku belok kendaraan <i>understeer</i> dan <i>oversteer</i>	48
Gambar 2. 25 <i>Free-Body Diagram</i> kendaraan saat berbelok <i>full model</i>	49
Gambar 2. 26 <i>Free-Body Diagram</i> kendaraan saat berbelok pada bidang datar bicycle model.....	51
Gambar 2. 27 <i>Free-Body Diagram</i> kendaraan roda depan untuk mencari Fz pada jalan datar.....	52
Gambar 2. 28 Kondisi nyata keadaan belok.....	55
Gambar 3. 1 Mobil Toyota Calya E M/T	57
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> penelitian tugas akhir	61
Gambar 3. 3 Konsep Rancangan Kendaraan.....	63
Gambar 3. 4 <i>Flowchart</i> pengujian <i>dynotest</i>	65
Gambar 3. 5 Pengambilan data dengan pengujian <i>dynotest</i>	66
Gambar 3. 6 Hasil <i>dynotest</i> Toyota Calya (a) torsi ;(b) power ...	68
Gambar 3. 7 Grafik torsi dan <i>power dynotest</i> Toyota Calya E M/T	68
Gambar 3. 8 <i>Flowchart</i> perhitungan gaya hambat kendaraan.....	70
Gambar 3. 9 <i>Flowchart</i> perhitungan performa kendaraan Toyota Calya berbahan bakar bensin.....	73
Gambar 3. 10 <i>Flowchart</i> perhitungan kebutuhan daya motor.....	77
Gambar 3. 11 <i>Flowchart</i> perhitungan gaya hambat kendaraan listrik.....	75
Gambar 3. 12 <i>Flowchart</i> perhitungan rasio transmisi	80
Gambar 3. 13 <i>Flowchart</i> perhitungan traksi kendaraan Toyota Calya listrik	82

Gambar 3. 14 <i>Flowchart</i> perhitungan karakteristik power kendaraan Toyota Calya listrik.....	84
Gambar 3. 15 <i>Flowchart</i> perhitungan konsumsi energi dan kemampuan jelajah kendaraan.....	87
Gambar 3. 16 <i>Flowchart</i> pemilihan baterai.....	89
Gambar 3. 17 Alur perhitungan <i>slip</i> dan <i>skid</i> untuk analisis perilaku belok kendaraan.....	92
Gambar 4. 1 Luas frontal kendaraan berdasarkan modelling SW	96
Gambar 4. 2 Simulasi nilai Cd Kendaraan dengan kecepatan 30 km/jam.....	97
Gambar 4. 3 Grafik gaya hambat aerodinamis Toyota Calya ICE	98
Gambar 4. 4 Grafik Gaya hambat <i>rolling</i> Toyota Calya ICE ...	101
Gambar 4. 5 Grafik gaya hambat gradien Toyota Calya ICE dengan 7 penumpang	102
Gambar 4. 6 Grafik gaya hambat total Toyota Calya ICE 7 penumpang	104
Gambar 4. 7 Grafik gaya traksi dan gaya hambat vs. Kecepatan Toyota Calya ICE	107
Gambar 4. 8 Gaya Hambat aerodinamis kendaraan Toyota Calya BEV	110
Gambar 4. 9 Grafik gaya hambat <i>rolling</i> Toyota Calya BEV ...	111
Gambar 4. 10 Gaya hambat tanjakan Toyota Calya BEV	113
Gambar 4. 11 Grafik gaya hambat total kendaraan Toyota Calya BEV	114
Gambar 4. 12 Kebutuhan Daya Jalan Toyota Calya BEV.....	116
Gambar 4. 13 Komparasi nilai efisiensi terhadap jenis motor untuk kendaraan listrik	118
Gambar 4. 14 Spesifikasi motor listrik.....	119
Gambar 4. 15 Karakteristik torsi dan daya motor HVH250-90.	120

Gambar 4. 16 Grafik karakteristik traksi Toyota Calya BEV dengan 5 tingkat transmisi.....	126
Gambar 4. 17 Karakteristik traksi Toyota Calya BEV 1 tingkat	128
Gambar 4. 18 Karakteristik traksi Toyota Calya BEV 2 tingkat	128
Gambar 4. 19 Karakteristik <i>power</i> 1 tingkat transmisi Toyota Calya BEV.....	131
Gambar 4. 20 Karakteristik <i>power</i> Toyota Calya BEV 2 tingkat transmisi	131
Gambar 4. 21 RHP Toyota Calya ICE dengan driving cycle WLTP kelas 3.....	136
Gambar 4. 22 Rhp Toyota Calya BEV dengan driving cycle WLTP kelas 3.....	140
Gambar 4. 23 Baterai Li-ion Polymer LG Chem	147
Gambar 4. 24 Konfigurasi BEV 2	151
Gambar 4. 25 Konefigurasi BEV 2	152
Gambar 4. 26 Kecepatan maksimum <i>skid</i> Toyota Calya CG1 (ICE).....	161
Gambar 4. 27 Kecepatan maksimum <i>skid</i> CG2 (Toyota Calya BEV 1).....	161
Gambar 4. 28 Kecepatan maksimum <i>skid</i> CG3 (Toyota Calya BEV 2).....	162
Gambar 4. 29 Sudut slip terhadap sudut belok roda depan pada kecepatan 20 km/jam.....	164
Gambar 4. 30 Sudut <i>slip</i> terhadap sudut belok roda belakang pada kecepatan 20 km/jam.....	164
Gambar 4. 31 Nilai Kus terhadap sudut belok dengan variasi kecepatan pada CG 1	165
Gambar 4. 32 Nilai Kus terhadap sudut belok dengan variasi kecepatan pada CG2.....	166

Gambar 4. 33 Nilai Kus terhadap sudut belok dengan variasi kecepatan pada CG3	166
GAMBAR 1 Coefficient of Drag (kecepatan 15 m/s)	177
GAMBAR 2 Coefficient of Drag (kecepatan 20 m/s)	178
GAMBAR 3 Coefficient of Drag (kecepatan 25 m/s)	178
GAMBAR 4 Coefficient of Drag (kecepatan 30 m/s)	179
GAMBAR 5 Coefficient of Drag (kecepatan 35 m/s)	179

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai rata-rata dari koefisien adhesi berbagai jenis ban kendaraan dan berbagai kondisi jalan	22
Tabel 2. 2 Kelas WLTP	36
Tabel 2. 3 Karakteristik Siklus WLTP <i>Class 1</i>	37
Tabel 2. 4 Karakteristik Siklus WLTC <i>Class 2</i>	38
Tabel 2. 5 Karakteristik Siklus WLTP <i>Class 3</i>	38
Tabel 3. 1 Spesifikasi mobil Toyota Calya E M/T 2019	57
Tabel 3. 2 Dynotest Torsi- <i>Power</i> Toyota Calya.....	68
Tabel 4. 1 Spesifikasi jenis baterai kendaraan.....	145
Tabel 4. 2 Spesifikasi Baterai.....	148
Tabel 4. 3 Posisi baterai dan nilai CG Toyota Calya BEV dengan 5 penumpang	152
Tabel 4. 4 Nilai sudut <i>slip</i> kendaraan terhadap sudut belok dan kecepatan	159
Tabel 4. 5 Spesifikasi kendaraan Toyota Calya ICE dan Toyota Calya BEV.....	168
TABEL 1 : Hasil uji Torsi Dynotest sebanyak 6 kali pengambilan data	175
TABEL 2 : Hasil uji <i>Power</i> Dynotest sebanyak 6 kali pengambilan data.....	175
TABEL 3 : Hasil simulasi nilai koefisien <i>drag</i> pada <i>Solidwork</i>	177
TABEL 4 : Tabel asumsi massa kendaraan ICE dan BEV.....	180
TABEL 5 : Efisiensi Transmisi Manual	180
TABEL 6 : Tabel perhitungan gaya hambat kendaraan ICE....	181
TABEL 7 : Tabel Perhitungan RHP gaya hambat kendaraan ICE	182
TABEL 8 : Tabel perhitungan gaya hambat kendaraan BEV ..	183

TABEL 9. Perhitungan RHP gaya hambat kendaraan BEV.....	186
TABEL 10. Perhitungan gaya traksi kendaraan ICE dengan 5 transmisi	188
TABEL 11. Perhitungan gaya traksi kendaraan BEV dengan 5 transmisi	188
TABEL 12. Perhitungan gaya traksi kendaraan BEV dengan 2 transmisi	191
TABEL 13. Perhitungan Rhp Kendaraan ICE.....	193
TABEL 14 Perhitungan Rhp Kendaraan Listrik	199
TABEL 15. Posisi dan massa komponen CG ICE	203
TABEL 16. Posisi dan massa komponen BEV konfigurasi 1 ..	204
TABEL 17. Posisi dan massa komponen BEV konfigurasi 2 ..	205
TABEL 18. Perhitungan <i>skid</i> CG 1 (ICE).....	206
TABEL 19. Perhitungan <i>skid</i> CG2.....	206
TABEL 20. Perhitungan <i>skid</i> CG3.....	207
TABEL 21. Perhitungan <i>slip</i> dan Kus CG1	208
TABEL 22. Perhitungan <i>slip</i> dan Kus CG2	209
TABEL 23. Perhitungan <i>slip</i> dan Kus CG3	210

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

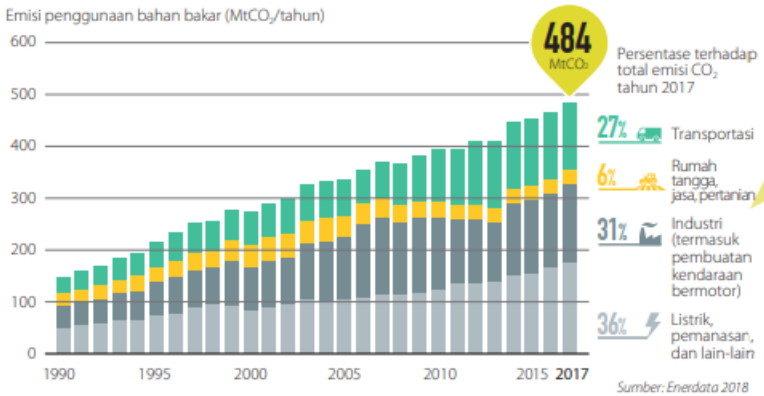
Pada bab pendahuluan penulis menulis mengenai latar belakang dari penyusunan tugas akhir ini, selanjutnya adalah mengenai rumusan masalah yang akan dicari dalam penelitian ini. Sehingga nantinya akan didapat tujuan dan batasan masalah dari penelitian ini. Dan yang terakhir adalah mengenai manfaat masalah dan sistematika penulisan laporan yang digunakan dalam tugas akhir penulis, sehingga diharapkan pembaca dapat dengan mudah memahami isi dari bab pendahuluan ini.

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan yang semakin inovatif membuat manusia dapat melakukan berbagai hal dengan mudah, salah satunya ialah mobilisasi. Aktivitas manusia yang menuntut untuk memiliki mobilitas yang tinggi mengakibatkan penggunaan kendaraan bermotor menjadi solusi dan terus meningkat tiap waktunya. Pada tahun 2018 berdasarkan hasil data Badan Pusat Statistik, terdapat sebanyak 146.858.759 kendaraan bermotor di Indonesia. Adapun salah satu kendaraan yang diminati oleh masyarakat Indonesia ialah mobil Toyota Calya. Dikutip dari data mobil terlaris (GAIKINDO, 2020), penjualan mobil Toyota Calya menembus lebih dari 42,000 unit. Hal yang pertimbangan masyarakat memilih mobil tersebut selain harga yang relatif lebih murah ialah Toyota Calya dilengkapi dengan *safety system* salah satunya pengereman ABS yang membantu kendali kendaraan saat kondisi jalan licin.

Banyaknya jumlah kendaraan di Indonesia menyebabkan emisi gas CO₂ yang tinggi dari penggunaan kendaraan berbahan bakar di Indonesia. Dikutip dari *Enerdata 2018* bahwa emisi CO₂ berasal dari penggunaan transportasi di Indonesia pada tahun 2017 sebesar 27%, yakni sebesar 130,68 MtCO₂ pada tahun 2017. Tingkat emisi yang tinggi akibat penggunaan kendaraan menjadi tantangan bagi para *engineer* untuk solusi yang dapat mengurangi

dampak dari penggunaan kendaraan tanpa menurunkan performa dari kendaraan tersebut. Tingginya emisi gas dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar1.1 Gambar emisi penggunaan bahan bakar (MtCO₂/tahun) oleh Enerdata 2018

Sumber : (Enerdata.com, 2018)

Tingginya emisi CO₂ akibat sumbangan dari penggunaan transportasi yang disebabkan dari kebutuhan masyarakat, membuat pemerintah mengeluarkan Perpres Nomor 55 tahun 2019 tentang percepatan program kendaraan listrik berbasis baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk transportasi jalan.

Listrik merupakan salah satu hasil dari energi terbarukan yang dihasilkan dari perkembangan teknologi pembangkit energi guna memenuhi kebutuhan masyarakat. Pemanfaatan energi listrik sudah diterapkan dalam berbagai sektor, salah satunya sektor transportasi. Perkembangan teknologi transportasi menggunakan energi listrik menjadi populer pada pertengahan abad ke-19 dan awal abad ke-20. Teknologi transportasi kini berkembang menjadi berbagai tipe kendaraan yaitu dengan menggabungkan dua sumber energi ataupun menggunakan energi listrik sepenuhnya seperti *Battery Electric Vehicle* (BEV). Kendaraan listrik dapat menjadi salah satu solusi pengurangan

efek rumah kaca, menghemat konsumsi bahan bakar fosil, biaya bahan bakar lebih murah untuk jarak tempuh sama, operasional lebih aman, dan perawatan yang lebih mudah. Namun, terdapat kekurangan dalam penerapan energi listrik pada kendaraan, yaitu performa mobil listrik yang belum bisa sebanding dengan performa mobil *Internal Combustion Engine* dengan bobot yang sama seperti *driveability* dan jarak tempuh kendaraan.

Dibutuhkannya kendaraan yang ramah lingkungan solusi dari pengurangan emisi CO₂ menjadi tantangan bagi para *engineer* untuk memajukan teknologi salah satunya kendaraan listrik. Pada penelitian ini dilakukan studi desain untuk mendapatkan performa yang dapat mengimbangi kendaraan bertenaga bahan bakar. Sehingga pada tugas akhir ini dilakukan re-desain mobil Toyota Calya tipe E M/T tahun 2019 dengan motor listrik dan transmisi yang ditentukan oleh penulis, karakteristik *power* dan traksi, begitu pula dengan analisa kebutuhan dan konsumsi energi, pusat massa kendaraan, dan perilaku belok kendaraan berdasarkan *skid* dan *slip*.

3

1.2 Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini, penulis merumuskan beberapa masalah :

1. Berapakah rasio komposisi transmisi yang tepat untuk desain mobil Toyota Calya bertenaga listrik?
2. Bagaimana spesifikasi motor listrik yang sesuai dengan mobil Toyota Calya bertenaga listrik?
3. Bagaimana karakteristik traksi dan *power* dari laju mobil Toyota Calya bertenaga listrik?
4. Berapakah nilai konsumsi energi dari mobil Toyota Calya bertenaga listrik?
5. Bagaimana perilaku belok berdasarkan *skid* terhadap pusat massa mobil Toyota Calya bertenaga listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan tugas akhir ini ialah :

1. Mendapatkan rasio transmisi yang tepat untuk desain mobil Toyota Calya bertenaga listrik.
2. Mendapatkan motor listrik yang sesuai dengan mobil Toyota Calya bertenaga listrik.
3. Mengetahui karakteristik traksi dan *power* dari laju mobil Toyota Calya bertenaga listrik.
4. Mengetahui nilai konsumsi energi dari mobil Toyota Calya bertenaga listrik.
5. Mengetahui perilaku belok berdasarkan *skid* terhadap pusat massa mobil Toyota Calya bertenaga listrik.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat pada tugas akhir ini ialah :

1. Spesifikasi kendaraan menggunakan referensi mobil Toyota Calya E M/T tahun 2019.
2. Kendaraan penggerak roda depan (*front wheel drive*).
3. Massa kendaraan yang digunakan ialah beban penumpang penuh dengan masing-masing penumpang 70 kg.
4. Tekanan ban 35 psi.
5. Kondisi ban tanpa slip.
6. Asumsi massa kendaraan listrik sebesar 1270 kg.
7. Kecepatan relatif angin sama dengan kecepatan relatif kendaraan.
8. Gaya hambat yang diperhitungkan ialah gaya hambat aerodinamis, gaya hambat rolling, gaya hambat pada kondisi jalan beraspal, gaya hambat tanjakan.
9. Menggunakan *driving cycle* WLTP dengan asumsi jalan yang dilalui tidak bergradien (rata).
10. Kemiringan jalan saat berbelok dianggap rata (0°).
11. Tidak membahas tentang sistem kontrol dan elektrik kendaraan listrik.

12. Tidak menganalisa perilaku belok kendaraan terhadap guling.
13. Perilaku belok kendaraan dianalisa dengan keadaan 5 penumpang.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik traksi dan *power*, juga analisis energi pada mobil Toyota Calya E M/T 2019 menggunakan motor listrik dan transmisi yang ditentukan.
2. Memberikan inovasi terhadap mobil Toyota Calya E M/T tahun 2019 yang sudah ada, sehingga lebih ramah lingkungan dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil untuk kendaraan bermotor.
3. Menambah pengetahuan mengenai mobil listrik.
4. Sebagai referensi bagi mahasiswa selanjutnya dalam melakukan penelitian lebih lanjut.

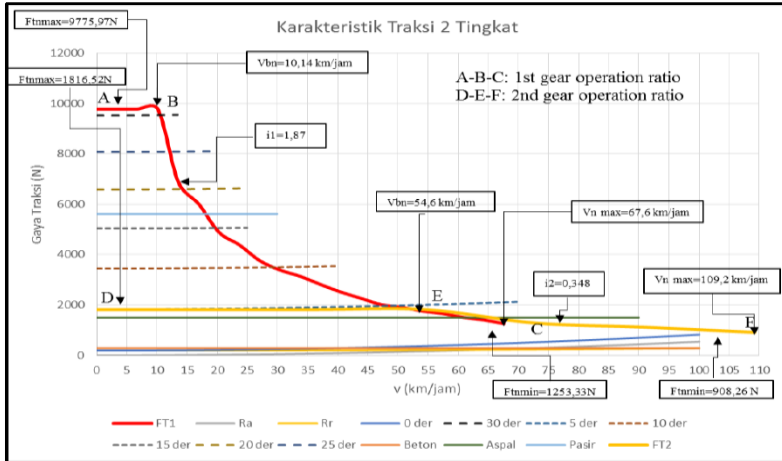
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab ini penulis menjabarkan teori-teori yang dipakai sebagai dasar dalam mencapai tujuan tugas akhir. Diawali dengan penelitian-penelitian terdahulu, teori tentang kendaraan manual, dinamika kendaraan, tentang *Battery Electric Vehicle* (BEV), karakteristik motor listrik, kebutuhan tenaga dan torsi kendaraan listrik, desain rasio transmisi kendaraan listrik, konsumsi energi kendaraan, nilai *center of gravity*, dan juga analisis stabilitas kendaraan. Diharapkan dengan adanya teori tersebut dapat menjadi dasar yang kuat dalam mencapai tujuan tugas akhir.

2.1 Penelitian Terdahulu

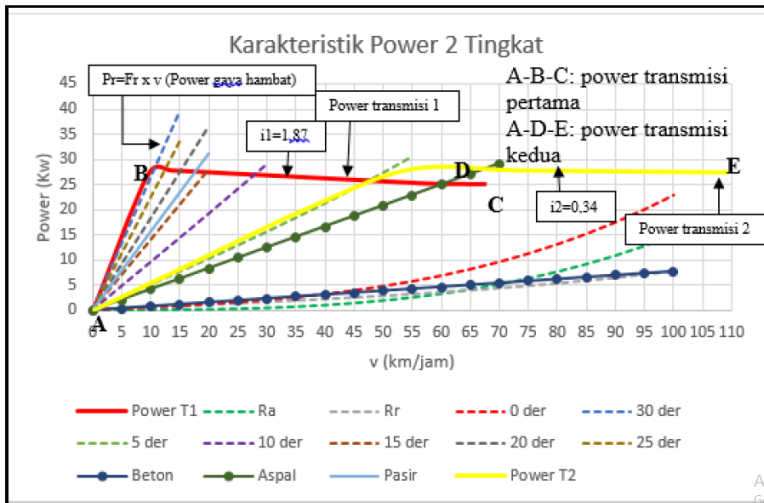
Penelitian terdahulu yang membahas tentang desain kendaraan multiguna bertenaga listrik (Prasetyo, 2017). Pada penelitian ini dilakukan dua tahap yakni tahap perhitungan dan tahap analisa. Pada tahap pergitungan, peneliti menghitung besar dari gaya hambat yang terjadi pada kendaraan. Kemudian peneliti mencari spesifikasi motor dan baterai yang digunakan kendaraan. Terakhir ialah menghitung traksi dan power dari transmisi yang diunakan. Sedangkan pada tahap analisa, peneliti melakukan analisa terhadap karakteristik traksi dan power pada transmisi yang digunakan. Pada penelitian ini dilakukan perancangan transmisi angkutan multiguna perdesaan dengan dua tingkat kecepatan dengan sumber tenaga listrik, yakni rasio gigi pertama sebesar 1,87 dan 0,35 untuk gigi kedua. Serta kendaraan ini menggunakan motor dengan menghasilkan rancangan mobil Yasa P400 Series 25 kW yang sesuai dengan rancangan dan baterai LiFePO₄ 12V 100 Ah. Perancangan transmisi tersebut didasarkan perhitungan gaya hambat dan perhitungan motor listrik dan baterai yang menjadi sumber tenaga listrik yang digunakan. Sehingga didapatkan hasil analisa rancangan sebagai berikut.



Gambar 2. 1 Karakteristik Traksi 2 tingkat pada Mobil Multiguna Pedesaan

Sumber : (Prasetyo, 2017)

Gambar di atas merupakan hasil perhitungan karakteristik traksi pada tingkat gigi pertama dan gigi kedua yang diplot dalam bentuk grafik. Didapati bahwa kendaraan dengan tahanan maksimum sebesar 30 derajat dapat menempuh kecepatan sebesar 11 km/jam. Kendaraan pada tingkat gigi pertama ialah sebesar 60 km/jam pada kondisi jalan mendatar dan permukaan jalan aspal, sedangkan untuk tingkat gigi kedua ialah sebesar 100 km/jam. Sedangkan untuk karakteristik traksi yang didapatkan ialah untuk tingkat pertama, traksi maksimum yang dapat dicapai ialah sebesar 9775,97 N dan pada transmisi tingkat kedua ialah 1818,97 N.



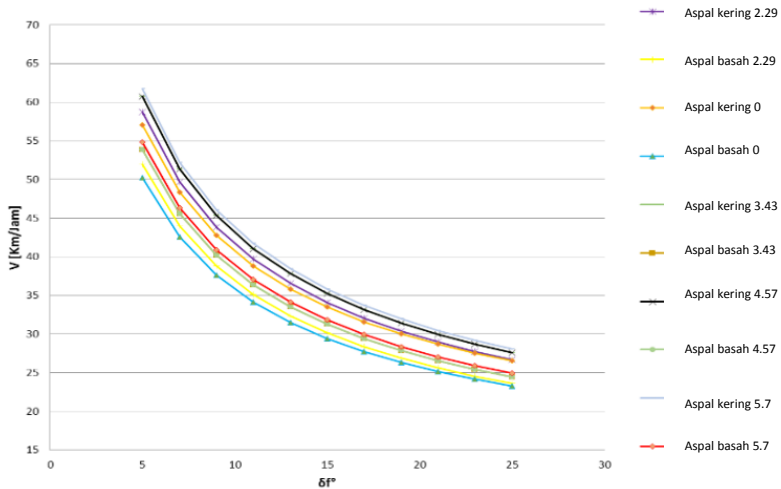
Gambar 2. 2 Kurva Karakteristik Power Kendaraan Multiguna Pedesaan
 Sumber: (Prasetyo, 2017)

9

Pada gambar di atas terlihat grafik karakteristik *power* untuk dua tingkat transmisi pada kendaraan multiguna pedesaan. Terlihat bahwa nilai *power* kendaraan meningkat seiring meningkatnya kecepatan kendaraan, kemudian bernilai konstan pada nilai 25 kW untuk kedua transmisi. Dengan nilai rasio transmisi pertama, kendaraan mampu menanjak dengan sudut tanjak maksimum dengan kecepatan maksimum 11 km/jam dan daya maksimum yang dibutuhkan sebesar 25 kW. Begitu pula dengan transmisi kedua, dengan daya 25 kW kendaraan dapat menempuh kecepatan maksimum 100 km/jam pada jalan mendatar sehingga penggunaan motor dengan daya 25 kW sesuai dengan keinginan peneliti.

Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Faisal Rahman dimana dilakukan analisis terhadap variasi konfigurasi beban penumpang terhadap stabilitas kendaraan berupa *slip*, *skid*, dan guling (Rahman, 2017). Dari penelitian ini dilakukan

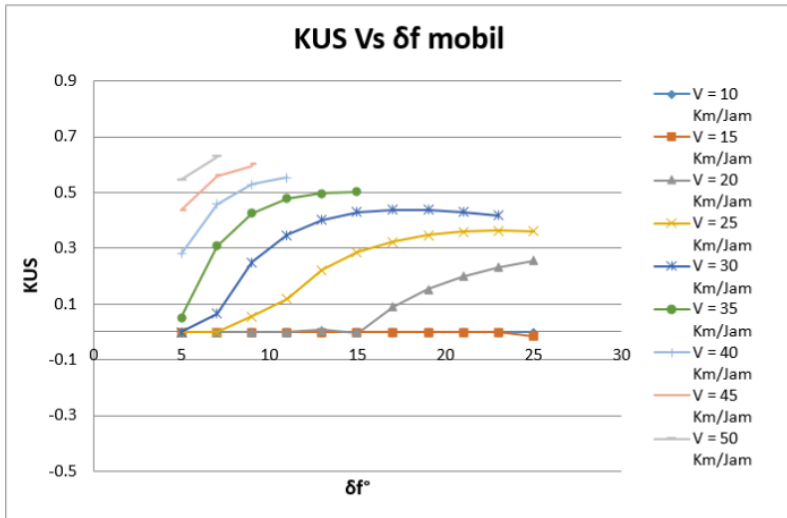
beberapa variasi jumlah penumpang. Dari variasi tersebut dicari nilai dari *center of gravity* (CG) dimana penumpang depan berada 1.2 m dari poros roda depan dan penumpang belakang berjarak 2.1 m dari poros roda depan. Diketahui nilai CG dengan 2 penumpang yakni $L_f=0.998$, $L_r=1.452$, dan $h=0.345$.



Gambar 2.3 Grafik batas kecepatan *skid* (Vs) vs. Sudut belok kendaraan Toyota Agya pada jalan aspal kering dan basah

Sumber: (Rahman, 2017)

Pada gambar tersebut, peneliti menggunakan variasi beban 2 penumpang. Terlihat pada gambar 2.3 bahwa semakin besar sudut belok kendaraan maka nilai batas kecepatan *skid* semakin kecil. Dari nilai batas kecepatan *skid* roda depan dan belakang, dapat dilihat bahwa kendaraan cenderung mengalami *understeer*. Hal ini dikarenakan nilai batas kecepatan *skid* roda depan jauh lebih kecil daripada roda belakang sehingga roda depan lebih cepat mengalami *skid*.



Gambar 2. 4 Grafik nilai Kus terhadap sudut belok pada kemiringan jalan 5.7° pada Toyota Agya dengan 2 orang penumpang

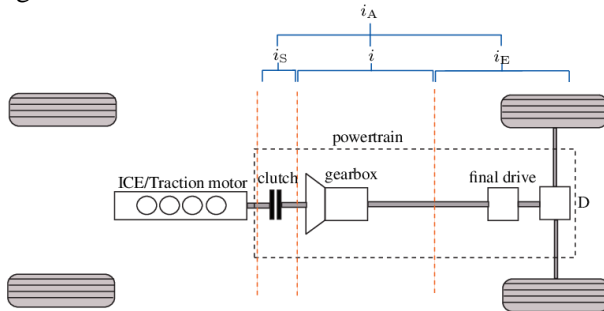
Sumber : (Rahman, 2017)

Pada gambar 2.4 ditunjukkan nilai Kus pada mobil Toyota Agya dengan 2 orang pada kemiringan lateral 5.7. Dapat dilihat bahwa kendaraan tidak mengalami *oversteer* dan cenderung mengalami *understeer*. Sedangkan pada variasi 1, 3, dan 4 penumpang kendaraan memiliki kondisi *oversteer* pada kecepatan dan sudut belok tertentu. Dikarenakan penumpang dengan 2 orang memiliki kondisi *oversteer* yang paling aman sehingga dapat dikatakan Toyota Agya dengan 2 orang penumpang memiliki kondisi yang relatif paling aman.

2.2 Sistem Transmisi Kendaraan Konvensional

Transmisi adalah salah satu bagian dari sistem pemindah tenaga yang berfungsi untuk mendapatkan variasi momen dan kecepatan sesuai dengan kondisi jalan dan kondisi pembebanan, yang umumnya menggunakan perbandingan roda gigi (Rasyad,

2019). Adapun komponen yang menyusun sistem transmisi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 5 Powertrain kendaraan ICE

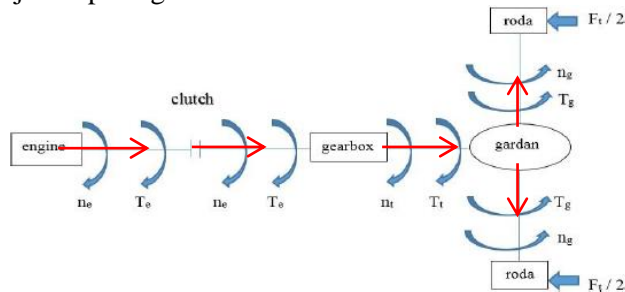
Sumber : (Ehsani & Gao, Modern Electric Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicle Fundamentals Theory and Design, 2010)

Pada gambar 2.5 terlihat susunan komponen *powertrain*. *Clutch* dibutuhkan untuk menghubungkan atau melepas hubungan mesin dan transmisi dalam rangka mengubah rasio gigi transmisi. Transmisi/*gearbox* berfungsi untuk menyalurkan dan mengubah torsi mesin sedemikian rupa untuk dapat menghasilkan gaya dorong sesuai dengan kebutuhan kendaraan. Prinsip dasar transmisi adalah mengubah kecepatan putaran suatu poros menjadi kecepatan putaran yang diinginkan. Rasio transmisi yaitu perbandingan putaran mesin masuk transmisi dengan putaran keluar transmisi untuk menentukan besar torsi poros yang keluar dari transmisi, sehingga tingkat kecepatan dan momen mesin dapat diatur sesuai dengan kondisi kendaraan. *Drive Shaft* merupakan poros yang menghubungkan transmisi dengan gardan yang ada pada poros roda. Gardan memiliki fungsi yaitu memungkinkan terjadinya perbedaan putaran antara roda penggerak kiri dan kanan pada saat berbelok, meningkatkan torsi pada poros roda akibat adanya rasio gardan, dan merubah arah putaran mesin searah putaran roda. Rasio gardan adalah perbandingan putaran *drive shaft* yang masuk gardan dengan

putaran poros roda sebagai keluaran gardan (perbandingan putaran poros propeller yang masuk gardan dengan putaran poros penggerak sebagai keluaran gardan).

2.2.1 Aliran Energi

Transmisi manual adalah transmisi yang pengoperasiannya dilakukan secara langsung oleh pengemudi. Terdapat berbagai komponen pada suatu sistem transmisi sehingga didapat alur transmisi energi dari sumber energi menuju komponen penggerak. Adapun skema keseluruhan dari transmisi manual ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Skema Aliran Energi Transmisi Kendaraan

Sumber : (Mahmuddah, 2019)

Pada gambar di atas terlihat skema aliran energi kendaraan dengan transmisi manual. Alur tenaga pada perpindahan transmisi manual berawal dari sumber tenaga (*engine*) menuju ke sistem pemindah tenaga (*engine*) menuju ke sistem pemindah tenaga masuk ke unit *clutch*. Setelahnya diteruskan ke transmisi (*gearbox*), menuju gardan (*final drive*). Gardan adalah bagian terakhir dari sistem pemindah tenaga yang memindahkan tenaga mesin ke roda penggerak.

Besar putaran yang dihasilkan sumber energi seperti *engine* tidak sama dengan besar putaran pada roda penggerak. Perbandingan putaran mesin dan poros

penggerak yang diakibatkan oleh perbandingan gigi transmisi dan gigi diferensial berperan untuk mentransmisikan torsi mesin ke roda penggerak (Sutantra & Sampurno, 2010). Parameter yang menentukan besarnya kemampuan transmisi manual untuk mentransformasikan torsi yang dihasilkan yaitu perbandingan gigi dan tingkatan gigi transmisi. Umumnya semakin banyak tingkatan gigi transmisi maka gaya dorong yang dihasilkan pada roda penggerak akan semakin baik sehingga dapat memenuhi gaya dorong yang dibutuhkan kendaraan.

Adapun besar torsi yang disalurkan dari *engine* ke roda penggerak dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T_g = \eta_t \times T_e \times i_t \times i_g \quad (2.1)$$

dimana i_t adalah rasio gear, i_g adalah rasio gardan, n_e adalah putaran engine, n_g adalah putaran gardan, n_t adalah putaran transmisi, T_g adalah torsi gardan, T_t adalah torsi transmisi, T_e adalah torsi engine, dan η_t adalah efisiensi dari drive train. Sedangkan nilai kecepatan kendaraan (v_{kt}) yang dihasilkan dari transmisi setelah diketahui putaran *engine* (ω) dan jari-jari roda kendaraan (R) ialah:

$$v_{kt} = \frac{2\pi \cdot \omega \cdot R}{60 \cdot i_g \cdot i_t} \quad (2.2)$$

Menghitung besarnya gaya dorong aktual yang mampu dihasilkan oleh kendaraan dapat dilakukan secara analitis/ perhitungan dengan menggunakan data pengujian *dynotest* kendaraan yang membuat nilai torsi dan power di setiap kecepatan kendaraan. Persamaan gaya dorong yang mampu dihasilkan kendaraan adalah sebagai berikut.

$$F_t = \frac{i_t \cdot i_g \cdot T_e}{R} \times \eta_t \quad (2.3)$$

dimana :

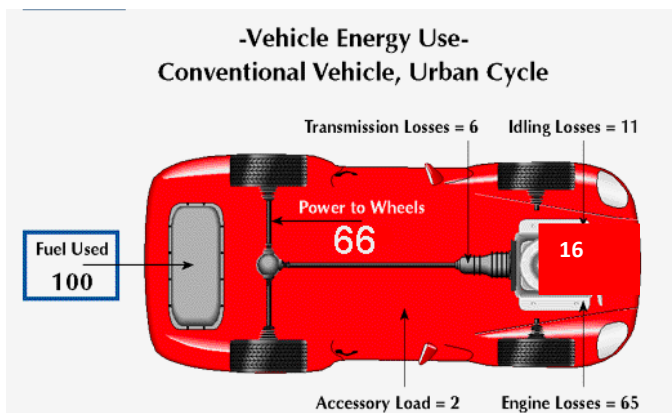
F_t : gaya dorong roda penggerak (N)

- i_t : perbandingan gigi transmisi
 i_g : perbandingan transmisi gardan
 $T_{e/m}$: torsi keluaran dari *engine* (N.m)
 R : jari-jari roda penggerak (m)
 η_t : efisiensi transmisi

2.2.2 Efisiensi Kendaraan ICE

Mesin kendaraan pada dasarnya adalah berfungsi sebagai pembangkit dan pengkonversi energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanik atau energi kinetik untuk dapat menggerakkan kendaraan. Dalam proses pembangkitkan dan pengkonversian energi di dalam mesin, terjadi kehilangan energi sekitar 60% sampai 70% yang berupa kehilangan energi panas, energi akibat gesekan komponen, dan energi kinetis (Sutantra I. N., Teknologi Otomotif Hybrid, 2015). Adanya kehilangan energi tersebut membuat kendaraan bensin memiliki efisiensi yang rendah, serta konsumsi bahan bakar yang lebih besar daripada energi yang dapat dihasilkan.

15



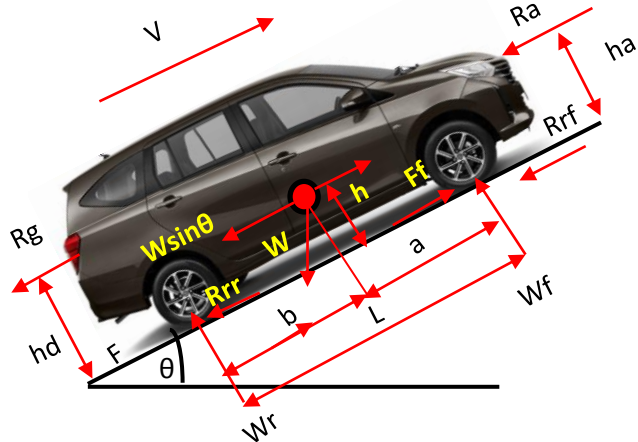
Gambar 2. 7 Skema Penggunaan Energi Kendaraan Bensin
 Sumber: (Chattanooga, 2014)

Dari gambar di atas terlihat penggunaan energi pada kendaraan bensin dimana ketika nilai bensin yang digunakan ialah 100%, maka akan terjadi *losses* pada mesin sebesar 65%, diikuti *losses* pada keadaan *idling* sebesar 11%, *losses* pada transmisi sebesar 6%, dan penggunaan daya pada aksesoris kendaraan sebesar 2% sehingga daya yang digunakan untuk roda penggerak berputar hanya sebesar 16%. Akibat dari *losses* yang sangat besar terjadi pada mesin, maka dilakukan pengkajian untuk meningkatkan ataupun mencari alternatif lain guna mendapatkan efisiensi terbaik yang dapat dihasilkan oleh sistem *powertrain* kendaraan.

2.3 Gaya Hambat Kendaraan

Secara umum kinerja kendaraan dapat dibedakan menjadi 3 jenis kinerja. Jenis kinerja kendaraan yaitu kinerja traksi kendaraan, kinerja kestabilan arah kendaraan, dan kinerja pengaman kendaraan. Kinerja traksi merupakan kemampuan kendaraan untuk melaju, dipercepat, dan mengatasi hambatan yang terjadi pada kendaraan yaitu gaya hambat angin, gaya hambat tanjakan, serta gaya hambat *rolling* (Sutantra & Sampurno, 2010).

Dalam pengoperasian kendaraan, besarnya kebutuhan tenaga agar kendaraan bergerak ialah tergantung pada dinamikanya. Dinamika kendaraan tersebut meliputi gaya-gaya hambat kendaraan seperti gaya hambat angin (aerodinamis), gaya hambat *rolling*. Adapun gaya-gaya yang bekerja dan posisi kerjanya pada kendaraan dua poos saat berjalan lurus dapat dilihat melalui gambar berikut :



Gambar 2. 8 Dinamika Kendaraan Toyota Calya

dimana:

- R_a : gaya hambatan aerodinamik
 R_g : gaya hambatan gradien
 R_{rr}, R_{rf} : gaya hambatan *rolling* pada roda belakang (rr) dan depan (rf)
 F_f : gaya dorong pada roda penggerak
 W_f, W_r : gaya reaksi normal jalan pada roda depan dan roda belakang
 W : gaya berat total kendaraan
 F_i : gaya inersia untuk memberi percepatan pada kecepatan sebesar $a \text{ m/s}^2$
 h : posisi tinggi dari pusat massa kendaraan
 h_a : posisi tinggi garis kerja dari gaya hambat aerodinamik (R_a)
 h_d : posisi tinggi garis kerja dari gaya R_d
 θ : sudut tanjak kendaraan
 L : jarak sumbu roda depan-belakang
 L_r : jarak sumbu roda belakang ke titik pusat masa kendaraan

L_f : jarak sumbu roda depan ke titik pusat masa kendaraan

F_t merupakan gaya dorong yang dibutuhkan kendaraan dari mesin kepada roda penggerak, dimana gaya dorong terjadi pada roda penggerak depan (F_f) dan pada roda penggerak belakang (F_r). Gaya dorong kendaraan harus mampu melawan gaya-gaya hambat yang terjadi pada kendaraan, yakni gaya hambat angin (*drag force*), gaya hambat *rolling* (*rolling resistance*), dan gaya hambat tanjakan.

2.3.1.1 Gaya Hambat Aerodinamis (Drag Force)

Drag force adalah gaya hambat angin atau hambat aerodinamis yang terjadi pada kendaraan dalam arah horizontal (parallel terhadap aliran) dan berlawanan arah dengan gerak maju kendaraan yang dapat disebut sebagai gaya hambat aerodinamis. Gaya hambat total terdiri dari beberapa jenis gaya hambat yaitu hambatan bentuk, hambatan pusaran (turbulensi), hambatan tonjolan, dan hambatan aliran dalam. Namun pada kenyataannya hanya hambatan bentuk dan hambatan pusaran yang paling besar pengaruhnya terhadap gaya hambat secara keseluruhan (Sutantra & Sampurno, 2010). Secara umum perumusan gaya hambat angin adalah:

$$R_a = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho \times V_a^2 \times A_f \quad (2.4)$$

dimana:

R_a : hambatan aerodinamis (N)

C_d : koefisien gaya hambat aerodinamis

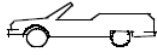





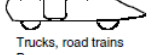
ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

V_a : kecepatan relatif angin terhadap kendaraan (m/s)

A_f : luas frontal kendaraan (m^2)

Dari persamaan di atas, dapat diketahui bahwa bentuk bodi sebuah kendaraan sangat berpengaruh pada

koefisien hambat aerodinamis (C_d) dari kendaraan. Semakin besar permukaan kendaraan, maka semakin besar pula nilai koefisien hambat aerodinamis. Hal tersebut dapat diilustrasikan dalam gambar 2.9.

Vehicle Type	Coefficient of Aerodynamic 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

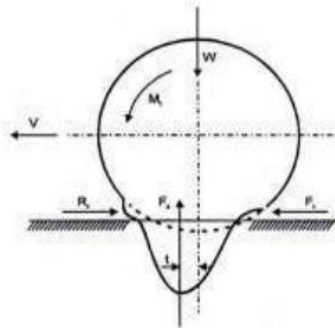
Gambar 2. 9 Koefisien hambat aerodinamis pada berbagai jenis tipe kendaraan

Sumber : (Ehsani M. , Gao, Gay, & Emadi, 2005)

Dari gambar 2.9 didapatkan nilai berbagai tipe kendaraan beserta nilai *coefficient drag*. Semakin besar luas frontal kendaraan, maka semakin besar pula nilai rentang *coefficient drag* dari kendaraan. Dikarenakan mobil Toyota Calya merupakan kendaraan penumpang dengan kapasitas 7 orang, maka *body* kendaraan dapat dianggap seperti *body* mobil van rentang nilai koefisien kendaraan berkisar 0.5-0.7.

2.3.1.2 Gaya Hambat Rolling (Rolling Resistance)

Rolling resistance atau gaya hambat *rolling* adalah gaya hambat yang terjadi antara ban kendaraan dengan jalan akibat adanya defleksi pada roda yang berputar, yang arah gayanya berlawanan dengan arah gaya dorong dari kendaraan (Sutantra, M.Sc, Ph.D, 2015). Ada banyak faktor yang mempengaruhi besarnya tahanan *rolling* pada ban, antara lain adalah konstruksi ban, ketebalan dan sifat karet ban dan gaya longitudinal pada ban. Berikut merupakan skema terjadinya *pneumatic trail* pada roda kendaraan.



Gambar 2. 10 *Pneumatic trail* pada roda kendaraan

Sumber : (Sutantra, M.Sc, Ph.D, 2015)

Gambar 2.10 menunjukkan akibat adanya defleksi pada roda yang berputar maka akan terjadi distribusi tekanan yang tidak simetris antara jalan dan roda sehingga terjadi *pneumatic trail* (t). Dengan adanya *pneumatic trail* tersebut maka terjadi momen tahanan *rolling* yaitu (M_r) yang melawan arah momen penggerak roda. Momen hambatan *rolling* tersebut dapat dikonversikan menjadi gaya hambat *rolling* (R_r) antara roda dan jalan yang arahnya berlawanan dengan gaya dorong (F_t). Adapun besarnya gaya hambatan *rolling* (R_r) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R_r = \frac{M_r}{r} = \frac{t \times N}{r} = f_r \times N \quad (2.5)$$

dimana :

- R_r : gaya *rolling resistance* (N)
- M_r : momen hambatan *rolling* (N.m)
- r : jari-jari roda (m)
- t : *pneumatic trail* (m)
- N : gaya normal (N)
- f_r : koefisien hambatan *rolling*

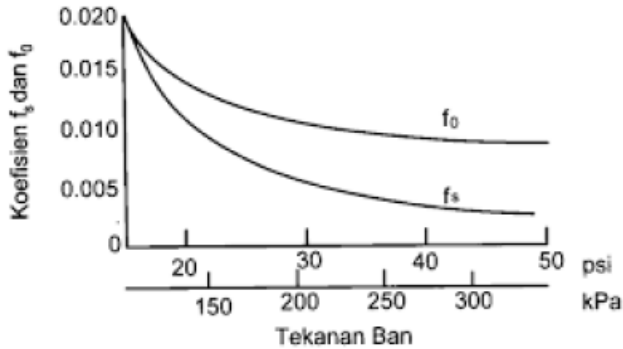
Berdasarkan hasil eksperimen dari J.J. Taborek dihasilkan dua buah rumus dasar untuk memprediksi harga koefisien hambatan *rolling*. Eksperimen ini mengambil tekanan ban dan kecepatan kendaraan sebagai kendaraan sebagai parameter pokok yang mempengaruhi hambatan *rolling*. Rumus empiris pertama yang dihasilkan merupakan rumusan koefisien hambatan *rolling* (f_r) unruk ban dari kendaraan penumpang yang berjalan pada jalan beton (Wardana, 2016). Koefisien hambatan *rolling* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$f_r = f_o + f_s \left(\frac{V}{100} \right)^{2,5} \quad (2.6)$$

dimana :

- f_r : koefisien hambatan *rolling*
- f_o, f_s : koefisien yang tergantung pada tekanan ban (gambar 2.9)
- V : kecepatan kendaraan (km/jam)

Secara umum harga rata-rata dari koefisien hambatan *rolling* untuk berbagai jenis ban kendaraan dan berbagai kondisi jalan ditunjukkan pada tabel 2.1 Sebagai hasil studi dari J.J. Taborek (Sutantra & Sampurno, 2010). Adapun hubungan antara koefisien hambatan *rolling* (f_o dan f_s) terhadap tekanan ban dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 11 Grafik besaran koefisien hambatan rolling (f_0 dan f_s) akibat pengaruh tekanan ban
 Sumber : (Sutantra & Sampurno, 2010)

Grafik di atas memperlihatkan bahwa semakin besar tekanan ban yang diberikan, maka semakin kecil koefisien hambatan rolling f_0 dan f_s begitu pula sebaliknya. Sedangkan koefisien adhesi jalan merupakan koefisien yang mempengaruhi koefisien gesek jalan seperti pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Nilai rata-rata dari koefisien adhesi berbagai jenis ban kendaraan dan berbagai kondisi jalan.

Permukaan jalan	Koefisien Adhesi tertinggi	Koefisien adhesi roda lock
Aspal dan beton (kering)	0,8 - 0,9	0,75
Aspal (basah)	0,5 - 0,7	0,55 - 0,6
Beton (basah)	0,8	0,7
Gravel	0,6	0,55
Jalan tanah (kering)	0,68	0,65
Jalan tanah (basah)	0,55	0,4 - 0,5
Snow	0,2	0,15
Ice	0,1	0,07

Sumber : (Taborek, 1957)

Pada tabel 2.1 menunjukkan nilai rata-rata dari koefisien adhesi jalan untuk berbagai jenis ban kendaraan dan berbagai kondisi jalan. Pada jalan aspal dan beton kering, nilai koefisien adhesi sebesar 0.8 – 0.9, sedangkan pada aspal basah nilai koefisien adhesi menjadi 0.5 – 0.7 dan pada beton basah sebesar 0.8. Semakin kecil nilai koefisien adhesi roda dan jalan mengakibatkan ketika kendaraan melewati permukaan yang basah, gaya adhesi yang terjadi pada roda lebih kecil dan dapat mengalami slip.

2.3.1.3 Gaya Hambat Tanjakan (*Gradien*)

Gaya hambat tanjakan merupakan gaya yang terjadi akibat adanya sudut tanjakan yang dilewati oleh kendaraan sehingga menyebabkan beban kendaraan akan bertambah akibat adanya gaya gravitasi. Besarnya gaya hambat akibat adanya sudut tanjakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_g = W \times \sin \theta \quad (2.7)$$

dimana :

- R_g : gaya hambat tanjakan (N)
- W : berat kendaraan (N)
- θ : sudut tanjakan

Ketika kendaraan dalam posisi menanjak, maka digunakan satuan *gradeability* sebagai acuan. *Gradeability* adalah kemampuan suatu kendaraan untuk mendaki suatu tanjakan. Jika kendaraan didesain dengan gradien 20%, maka kemampuan kendaraan tersebut harus mampu menempuh menanjak dengan gradien sebesar 20%. Jika kendaraan belum mampu menempuh tanjakana sesuai dengan desain, maka kendaraan tersebut tidak memenuhi kriteria *gradeability* yang disyaratkan (Mahmuddah, 2019). Gradien tanjakan (G) dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$G = \tan \theta = \frac{\text{vertical projection}}{\text{horizontal projection}} \quad (2.8)$$

Maka, kebutuhan gaya hambat total (F_r) pada kendaraan menanjak dengan kecepatan tetap dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

$$F_r = f_r \cdot W \cdot \cos \theta_{max} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot V^2 + W \cdot \sin \theta_{max} \quad (2.10)$$

dimana :

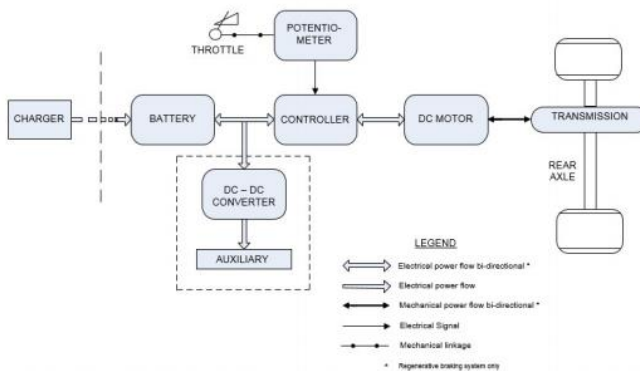
- F_r : gaya hambat total kendaraan (N)
- f_r : koefisien hambatan *rolling*
- W : berat kendaraan (N)
- θ : sudut tanjakan (deg)
- ρ : massa jenis udara (kg/m^3)
- C_d : koefisien gaya hambat aerodinamika
- A_f : luasan *forntal* kendaraan (m^2)
- V : kecepatan kendaraan (m/s^2)

Dari rumus di atas terlihat bahwa besarnya sudut tanjak akan berpengaruh terhadap besarnya hambatan *rolling* kendaraan akibat perbedaan gaya normal pada kendaraan yang nilainya lebih kecil dibandingkan saat jalan mendatar. Sedangkan pada kendaraan berjalan pada jalan mendatar dengan kecepatan konstan hanya membutuhkan gaya dorong (F_t) hanya untuk melawan gaya hambat *rolling* (R_r) dan gaya hambat angin (R_a) (Sutantra, M.Sc, Ph.D, 2015).

2.4 Battery Electric Vehicle (BEV)

Battery electric vehicle (BEV) merupakan kendaraan yang digerakkan oleh motor listrik menggunakan sumber tenaga seluruhnya yang berasal dari energi listrik yang mana energi

tersebut disimpan dalam baterai. Kendaraan listrik dalam perkembangannya, ada dua model yaitu : model dengan motor langsung yang hanya menggunakan satu motor, dan yang kedua adalah dengan motor yang langsung dengan menggunakan dua atau empat motor listrik yang langsung ditempelkan pada roda penggerak. Energi kinetik dari motor listrik kemudian ditransmisikan oleh sistem penyalur daya menjadi gaya dorong pada roda penggerak. Effisiensi dari transmisinya sama dengan pada kendaraan dengan mesin, sedangkan efisiensi total dari kendaraan listrik ini lebih besar dari kendaraan dengan mesin. Hal tersebut disebabkan oleh efisiensi dari mesin, yang hanya mencapai 45%, jauh lebih kecil dibandingkan dengan efisiensi dari motor listrik yang dapat mencapai 98% (Sutantra, M.Sc, Ph.D, 2015). Adapun konfigurasi BEV tipe konvensional dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 12 Konstruksi BEV konvensional

Sumber : (Burrige & Alakahoon, 2017)

Tipe konfigurasi BEV konvensional seperti pada gambar 2.10 pada kendaraan listrik ialah tipe kendaraan yang memiliki differential, transmisi, clutch, controller, converter, dan motor listrik. Konfigurasi ini disebut sebagai sandingan dari kendaraan ICE dengan kemudi *rear-engine-front-wheel*, yang mana ICE diganti dengan sebuah motor listrik (Park, Lee, Jin, & Kwak,

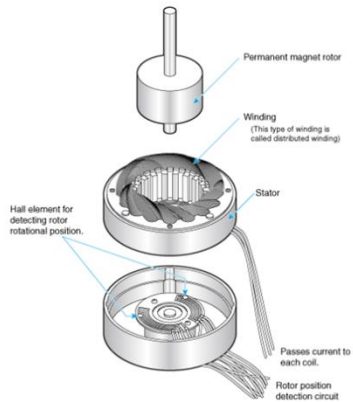
2013). Pada penelitian ini, digunakan konfigurasi konvensional sehingga didapatkan rasio transmisi yang sesuai dengan penggunaan mobil bersumber tenaga listrik.

Pada kendaraan BEV diperlukan komponen tambahan seperti *converter*, *inverter*, dan *power controller*. Kegunaan dari *converter* ialah untuk mengkonversi voltase DC yang bernilai lebih tinggi berasal dari baterai menjadi voltase DC yang lebih rendah yang dibutuhkan untuk keperluan kendaraan. *Power controller* merupakan unit yang berfungsi mengatur aliran energi listrik dari baterai baterai untuk disalurkan, mengatur kecepatan dan torsi yang dihasilkan motor listrik agar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan pengemudi. Sedangkan *inverter* merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah arah arus listrik DC yang berasal dari baterai menjadi arus AC yang digunakan motor listrik. Komponen ini juga digunakan untuk merubah arus AC ke DC ketika digunakan sebagai *regenerative braking*.

2.5 Motor Listrik

Salah satu motor listrik yang digunakan pada kendaraan listrik umumnya ialah menggunakan tipe *Brushless DC Motor* (BLDC motor) dimana merupakan salah satu jenis motor-sinkron yang tidak memiliki sikat. Motor BLDC tidak mengalami *slip*, seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. Terdapat magnet di bagian rotor motor dan gulungan kawat pada bagian stator. Dengan menggunakan rangkaian sederhana (*simple computer system*) maka arus elektro-magnet yang dihasilkan dapat dirubah ketika rotor berputar (Masudi, 2014).

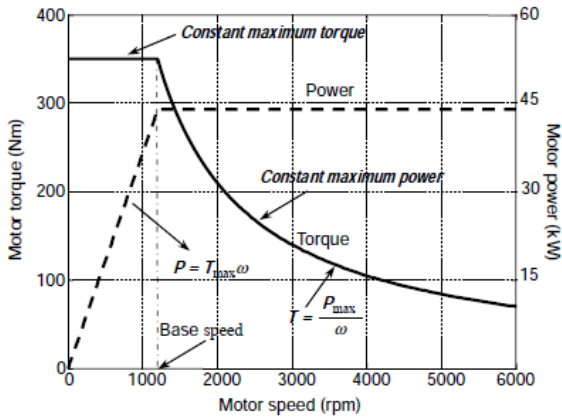
Adapun kelebihan dari penggunaan BLDC ini ialah dapat beroperasi pada kecepatan tinggi di atas 10.000 rpm, lebih responsif karena memiliki inersia rotor yang rendah sehingga dapat melakukan *akselerasi* dan perlambatan dengan cepat, memiliki torsi berjalan yang tinggi daripada motor DC lainnya, dan ketahanan (*lifetime*) yang tinggi karena tidak memiliki sikat.



Gambar 2. 13 Konstruksi Motor BLDC
 Sumber: (Oneexperience, 2016)

Pada gambar terlihat konstruksi motor BLDC yakni dua bagian utama rotor (bagian yang berputar) dan stator (bagian stasioner), dan komponen lainnya seperti gulungan stator dan magnet rotor. Rotor merupakan bagian pada motor yang berputar karena adanya gaya elektromagnetik dari stator, dimana pada motor BLDC bagian rotornya berbeda dengan motor DC konvensional yang hanya tersusun oleh satu buah elektromagnet diantara *brushes* yang terhubung pada dua motor. Stator merupakan bagian pada motor yang statis, dimana berfungsi sebagai medan putar motor untuk memberikan gaya elektromagnetik pada rotor sehingga motor dapat berputar.

Motor listrik merupakan komponen yang berpotensi untuk bekerja sebagai motor ataupun generator yang dapat digunakan sebagai pembangkit traksi ataupun gaya *baking* ketika dibutuhkan (Mashadi & Crolla, 2012). Karakteristik motor listrik ditunjukkan seperti pada gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Karakteristik motor listrik
 Sumber : (Mashadi & Crolla, 2012)

Berdasarkan karakteristik di atas, 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 pada kecepatan dasar. Kemudian *power* yang dihasilkan motor listrik bernilai konstan dari kecepatan dasar hingga kecepatan maksimum. Untuk karakteristik torsi pada motor listrik, torsi akan bernilai konstan pada setiap kecepatan di bawah kecepatan dasar, kemudian nilai torsi akan berkurang secara hiperbolik setelah melewati kecepatan dasar. Hal tersebut dikarenakan pada kecepatan rendah di bawah kecepatan dasar, tegangan listrik yang masuk ke motor meningkat seiring dengan meningkatnya putaran yang diatur melalui konverter 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 motor tetap dijaga tetap sedangkan kekuatan flux melemah secara hiperbolik dengan bertambahnya kecepatan yang menyebabkan penurunan torsi secara hiperbolik.

2.6 Desain Rasio Transmisi Kendaraan Listrik

Dalam perancangan rasio transmisi, dibutuhkan nilai torsi dan *power* yang dihasilkan motor listrik. Transmisi harus dirancang sesuai dengan pergerakan kendaraan dan karakteristik dari sumber tenaganya. Untuk nilai rasio gigi terendah dilakukan perancangan untuk digunakan ketika kecepatan kendaraan rendah dan harus menyediakan traksi yang tinggi untuk percepatan dan *hill climbing*. Selain itu untuk gigi tertinggi, digunakan saat kecepatan tinggi dan harus menyesuaikan antara karakteristik torsi-kecepatan dengan percepatan dan kecepatan kendaraan.

Dalam sistem transmisi, menentukan besar dari rasio transmisi perlu memperhatikan beberapa hal diantaranya kemampuan *output* gaya traksi kendaraan dan menentukan ukuran dari komponen transmisi agar dimensi dari transmisi sesuai dengan dimensi kendaraan yang dirancang. Sehingga yang pertama harus diperhitungkan ialah rasio transmisi pada tingkat gigi pertama (Prasetyo, 2017). Hal ini dikarenakan pada tingkat gigi pertama dibutuhkan torsi yang tinggi agar kendaraan dapat bergerak serta dengan perhitungan torsi maksimum dapat diketahui seberapa besar sudut tanjakan jalan yang dapat dicapai dengan menggunakan rasio transmisi pertama. Untuk menentukan besar rasio transmisi pertama (i_1), menggunakan persamaan:

$$i_1 = \frac{F_t \times R}{T_{m \max} \times i_g \times \eta_t} = \frac{(W \cdot \sin \theta_{\max} + f_r \cdot W + R_a) R}{T_{m \max} \times i_g \times \eta_t} \quad (2.11)$$

dimana :

- F_t : gaya traksi yang terjadi pada roda
- R : jari-jari roda
- $T_{m \max}$: torsi maksimum motor listrik
- i_g : rasio gardan
- η_t : efisiensi transmisi
- W : berat kendaraan
- θ : sudut tanjak kendaraan

f_r : koefisien *rolling* ban
 R_a : gaya hambat aerodinamis

Pada persamaan di atas, 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 rasio transmisi tingkat terakhir pada kendaraan berdasarkan kecepatan maksimum yang ditentukan. Saat ingin mencapai kecepatan maksimum, maka motor harus dapat mencukupi daya untuk mengatasi gaya hambat yang ada seperti gaya hambat *rolling* dan gaya hambat aerodinamis kendaraan. Berdasarkan hal tersebut, perumusan rasio transmisi pada tingkat gigi akhir adalah :

$$i_m = \frac{F_{tm} \times R}{T_{m \max} \times i_g \times \eta_t} \quad (2.12)$$

dimana i_m adalah rasio transmisi terakhir, F_{tm} adalah gaya hambat maksimum yang ingin dicapai pada jalan mendatar.

2.7 Karakteristik Traksi Kendaraan Listrik

Kinerja traksi dipengaruhi oleh kemampuan mesin kendaraan, pemilihan tingkat dan rasio transmisi, dan jenis transmisi yang digunakan sehingga dibutuhkan gaya dorong yang cukup untuk mengatasi gaya hambat yang terjadi pada kendaraan. Gaya dorong terjadi pada roda penggerak kendaraan yang diubah oleh torsi mesin ke roda penggerak yang terdiri dari clutch, transmisi, dan poros penggerak.

Sebelum menentukan karakteristik kendaraan, perlu adanya nilai kecepatan dasar untuk setiap tingkat transmisi (V_{bn}), gaya traksi untuk setiap tingkat transmisi (F_{tn}), dan hambatan *rolling* kendaraan (R_r), hambatan aerodinamis yang terjadi (R_a), dan hambatan *gadien* yang dilalui kendaraan (R_g). Setelah mengetahui data-data di atas, maka karakteristik traksi kendaraan dapat diketahui dan fungsi dari karakteristik traksi kendaraan

adalah sebagai gambaran besar gaya traksi yang dapat dihasilkan kendaraan pada setiap kecepatan yang dapat dilalui kendaraan.

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mengetahui besar dari kecepatan dasar (V_{bn}) dan kecepatan maksimum (V_{nmak}) kendaraan dengan tingkat transmisi n :

$$V_{bn} = \frac{\pi \times R \times N_b}{30 \times i_{tn} \times i_g} \quad (2.13)$$

$$V_{nmak} = \frac{\pi \times R \times N_{nmak}}{30 \times i_{tn} \times i_g} \quad (2.14)$$

dimana N_b merupakan putaran dasar motor listrik, N_{nmak} merupakan putaran maksimum motor listrik, dan i_{tn} merupakan rasio transmisi ke “ n ” (Sutantra, M.Sc, Ph.D, 2015). Besarnya nilai gaya normal pada roda penggerak depan atau roda penggerak belakang dipengaruhi oleh *center of gravity* (CG) kendaraan. Gaya dorong didapatkan dari daya yang dihasilkan oleh sumber energi yang kemudian disalurkan melalui sistem transmisi sehingga dapat menggerakkan roda.

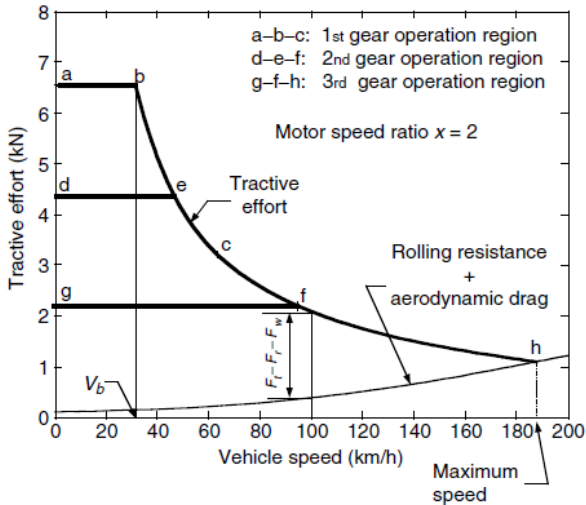
Gaya traksi maksimum yang dihasilkan motor terjadi ketika putaran 0 sampai pada kecepatan putaran dasar, hal ini dikarenakan torsi yang terjadi bernilai konstan sesuai dengan grafik sedangkan setelah kecepatan konstan maka torsi motor akan menurun secara hiperbolik begitu pula dengan gaya traksi kendaraan. Konsep tersebut sesuai dengan kebutuhan kendaraan dimana traksi diperlukan pada kecepatan awal sedangkan seiring dengan bertambahnya kecepatan, kebutuhan traksi kendaraan akan berkurang. Berikut merupakan persamaan untuk mencari besar gaya traksi maksimum dan minimum yang dapat dihasilkan pada tingkat transmisi “ n ”:

$$F_{tmax} = \frac{I_{tn} \times I_g \times T_{mmax}}{R} \cdot E_{dt} \quad (2.15)$$

$$F_{tmin} = \frac{I_{tn} \times I_g \times T_{mmin}}{R} \cdot E_{dt} \quad (2.16)$$

dimana T_{mmax} merupakan torsi motor listrik maksimum, T_{mmin} merupakan torsi motor minimum (Sutantra & Sampurno, 2010).

Dari berbagai persamaan di atas, dapat dilihat karakteristik traksi kendaraan listrik seperti pada gambar 2.13.



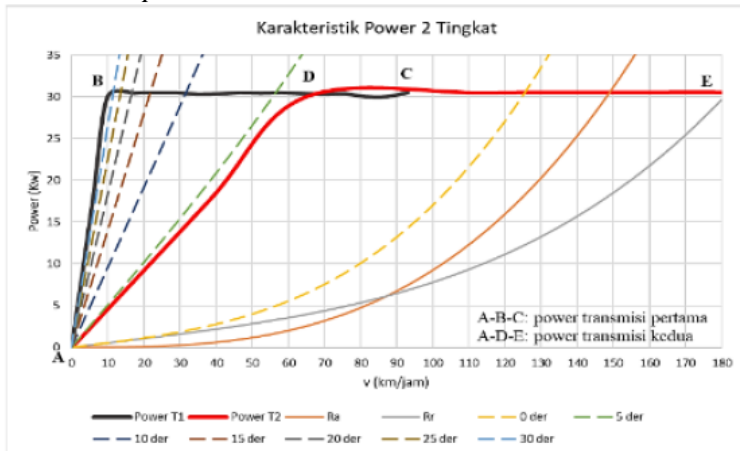
Gambar 2.15 Karakteristik gaya traksi terhadap kecepatan
 Sumber : (Ehsani M. , Gao, Gay, & Emadi, 2005)

Gambar di atas memperlihatkan penggunaan tiga tingkat kecepatan dengan rasio kecepatan $x=2$. Terlihat bahwa 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.

2.8 Karakteristik Power Kendaraan Listrik

Karakteristik power suatu kendaraan menunjukkan seberapa besar power yang dapat diberikan sistem transmisi untuk memenuhi kebutuhan *power* kendaraan akibat dari gaya-gaya hambat yang terjadi. Karakteristik *power* kendaraan listrik terdiri dari grafik *power* dari masing-masing tingkat transmisi yang nantinya akan diplot dengan grafik daya yang dibutuhkan akibat

adanya gaya hambat seperti yang terlihat pada gambar karakteristik *power* berikut:



Gambar 2. 16 Grafik Karakteristik Power Kendaraan listrik Ezzy II ITS

Sumber : (Yoga & Sutantra, 2019)

Pada gambar 2.14 terlihat karakteristik *power* kendaraan listrik dengan dua tingkat kecepatan. Grafik tersebut menjelaskan tentang besar *power* yang dibutuhkan oleh kendaraan akibat adanya gaya hambat dibandingkan dengan *power* yang dihasilkan oleh motor listriknya. Pada transmisi tingkat pertama, *power* maksimum dari motor listrik digunakan seluruhnya pada sudut 30° sedangkan pada transmisi berikutnya *power* yang dihasilkan hanya dapat dilalui oleh jalan datar dengan kecepatan maksimum yang lebih besar hingga perpotongan gaya hambat kendaraan. Semakin besar kecepatan kendaraan, maka semakin besar pula *power* yang dibutuhkan hingga pada nilai *power* maksimum yang dapat dihasilkan oleh motor listrik, kemudian kendaraan akan bertambah kecepatannya dengan *power* maksimum dengan nilai konstan.

Setelah mengetahui berbagai gaya hambat yang terjadi pada kendaraan, diperlukan perhitungan untuk menentukan

kebutuhan tenaga dan torsi kendaraan yang dibutuhkan untuk melawan gaya hambat tersebut sehingga kendaraan dapat melaju. Penentuan kebutuhan tenaga dari motor yang digunakan untuk kendaraan ini yaitu dengan menentukan besar sudut tanjakan maksimum dan kecepatan yang diinginkan saat kendaraan melalui jalan dengan sudut tanjakan maksimum, sehingga didapatkan gaya hambat kendaraan sesuai dengan persamaan 2.10.

Selanjutnya ialah menghitung besar torsi yang dibutuhkan oleh kendaraan berdasarkan variasi kecepatan dan sudut tanjakan maksimum kendaraan dengan persamaan berikut :

$$T_p = F_r \times R \quad (2.17)$$

Dimana :

- T_p : torsi yang dibutuhkan poros penggerak (N.m)
- F_r : besarnya gaya dorong yang dibutuhkan (N)
- R : jari-jari roda penggerak yang digunakan (m)

Tahap selanjutnya ialah mencari besar daya yang dibutuhkan kendaraan berdasarkan kecepatan yang diinginkan saat melalui jalan dengan sudut tanjakan maksimum menggunakan persamaan berikut :

$$P_r = F_r \times V_k \quad (2.18)$$

Dimana :

- P_r : *power* yang dibutuhkan akibat gaya hambat (kW)
- F_t : gaya traksi (N)
- V_k : kecepatan kendaraan (m/s)

Sedangkan untuk menentukan *power* yang didapat dari masing-masing tingkat transmisi adalah dengan persamaan:

$$P_t = F_t \times V_k \quad (2.19)$$

Dimana :

- P_t : *power* yang diberikan oleh transmisi (kW)
- F_t : gaya traksi (N)
- V_k : kecepatan kendaraan (m/s)

Daya kendaraan yang dibutuhkan berasal dari motor dan disalurkan oleh *drivetrain*, maka untuk menentukan besar tenaga motor (P_m) yang dibutuhkan dapat dihitung apabila kebutuhan daya kendaraan (P_r) dan diketahui efisiensi dari *drivetrain* (E_{dt}), sehingga persamaan kebutuhan tenaga motor listrik sebagai berikut :

$$P_m = \frac{P_r}{E_{dt}} \quad (2.20)$$

2.9 Driving Cycle

Driving cycle adalah sekumpulan data yang menggambarkan hubungan antara kecepatan kendaraan terhadap waktu berkendara. *Driving cycle* bervariasi tergantung dari negara dan organisasi yang membuat untuk menilai performa kendaraan dalam berbagai aspek, seperti konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Salah satu *driving cycle* yang sering digunakan untuk mengukur performa kendaraan ialah WLTP (*world harmonized light-duty vehicles testprocedures*). WLTP merupakan *driving cycle* yang dikembangkan oleh negara Eropa (UNECE) untuk menggantikan *driving cycle* sebelumnya yakni NEDC (*new european driving cycle*) pada tahun 2015. *Driving cycle* ini merupakan standar untuk menentukan level polutan, emisi CO₂ dan konsumsi bahan bakar baik kendaraan tradisional dan hybrid, serta kendaraan listrik. Sehingga WLTP dapat digunakan untuk memprediksi konsumsi energi.

Prosedur pengujian dibagi menjadi 3 siklus, tergantung pada rasio daya terhadap massa kendaraan yang diuji. Rasio daya terhadap masa (PMR) ini didefinisikan sebagai daya terukur dalam W dibagi dengan massa kendaraan dalam kg. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan PMR:

$$PMR = \frac{Power}{Massa} \quad (2.21)$$

WLTP dibagi menjadi 3 kelas yang didefinisikan pada tabel berikut:

Tabel 2. 2 Kelas WLTP

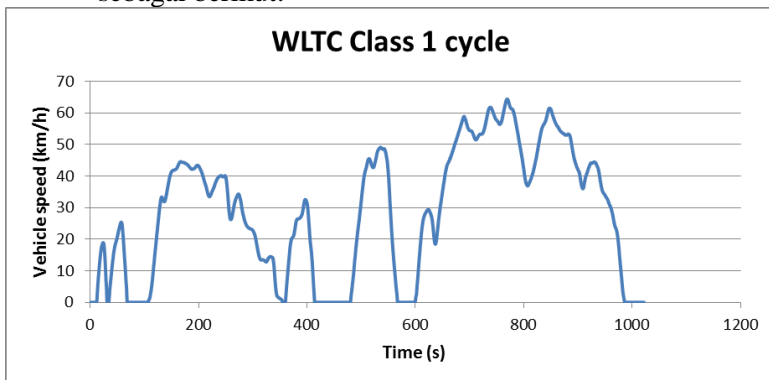
<i>Class</i>	<i>Power to Mass Ratio</i>	<i>Speed Phases</i>
<i>Class 1</i>	$PMR \leq 22$	<i>Low, Middle</i>
<i>Class 2</i>	$22 < PMR \leq 34$	<i>Low, Middle, High</i>
<i>Class 3</i>	$PMR > 34$	<i>Low, Middle, High, Extra-High</i>

Sumber : (transportpolicy.net, 2018)

Dari tabel 2.3 tersebut terlihat tiga kelas *driving cycle* WLTP yang dibagi menjadi tiga kelas berdasarkan kecepatannya. Pada kelas pertama, nilai PMR kurang lebih sama dengan 22, sedangkan kelas 2 bernilai PMR antara 22 hingga sama dengan 34, sedangkan pada kelas 3 bila nilai PMR lebih dari 34.

2.9.1 WLTP Class 1

Siklus WLTP *Class 1* ini merupakan zona kecepatan rendah dan sedang dengan skema siklus sebagai berikut:



Gambar 2. 17 Grafik Siklus WLTP Class 1

Sumber : (Nicolas, 2013)

Setelah diketahui skema siklus maka disajikan tabel karakteristik yang memuat jarak tempuh, durasi tempuh, dan kecepatan rerata test tersebut. Berikut merupakan tabel karakteristik utama dari siklus kelas 1:

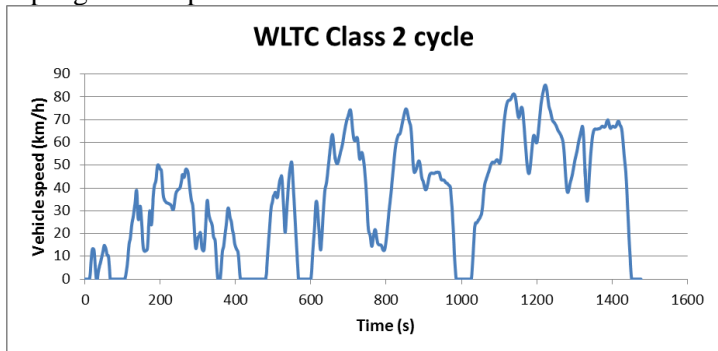
Tabel 2. 3 Karakteristik Siklus WLTP Class 1

<i>Distance</i>	8.091 km
<i>Duration</i>	1022 s
<i>Average speed</i>	28,5 km/h

Sumber : (transportpolicy.net, 2018)

2.9.2 WLTP Class 2

Siklus kelas 2 ini meliputi kendaraan dengan kecepatan rendah, sedang, dan relatif tinggi. Kelas ini merupakan representasi kendaraan yang dikendarai di India dan kendaraan rendah daya yang dikendarai di Jepang dan Eropa.



Gambar 2. 18 Grafik Siklus WLTC Class 2

Sumber : (Nicolas, 2013)

Berikut merupakan tabel karakteristik utama dari siklus WLTP kelas 2 yang memuat data-data representasi siklus sebagai berikut:

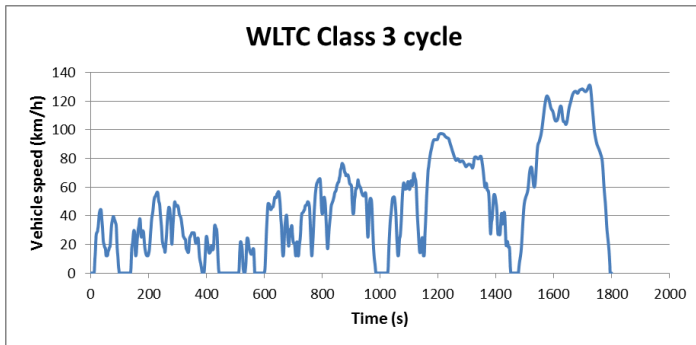
Tabel 2. 4 Karakteristik Siklus WLTC Class 2

<i>Distance</i>	14.664 km
<i>Duration</i>	1477 s
<i>Average speed</i>	35,7 km/h

Sumber : (transportpolicy.net, 2018)

2.9.3 WLTP Class 3

Siklus kelas 3 terdiri dari empat zona kecepatan yakni satu perwakilan penggerak perkotaan, satu penggerak pinggiran kota, satu penggerak ekstra-urban, dan zona jalan raya. Berikut siklus yang terbentuk dari kelas ini.

**Gambar 2. 19 Grafik Siklus WLTP Class 3**

Sumber : (Nicolas, 2013)

Berikut merupakan tabel karakteristik utama siklus WLTP kelas 3 yang memuat data-data berupa:

Tabel 2. 5 Karakteristik Siklus WLTP Class 3

<i>Distance</i>	23.262 km
<i>Duration</i>	1800 s
<i>Average speed</i>	46,5 km/h

Sumber : (transportpolicy.net, 2018)

2.10 Konsumsi Energi Kendaraan Listrik

Konsumsi energi listrik pada kendaraan listrik merupakan besaran energi listrik yang terpakai dalam kWh per satuan km yang digunakan untuk mengukur performa kendaraan listrik. Selain itu konsumsi energi listrik merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung tingkat efisiensi kendaraan dengan satuan kWh/km, sedangkan untuk kendaraan ICE digunakan satuan galoon/km. Hal tersebut dikarenakan kendaraan listrik hanya mempunyai komponen elektrik sebagai sumber pengoperasiannya. Tingkat efisiensi kendaraan dievaluasi dengan membandingkan jumlah energi yang diperlukan agar kendaraan dapat mencapai jarak tertentu. Untuk kendaraan listrik, konsumsi energi untuk jarak tertentu dapat dikonversikan dan dirumuskan sebagai berikut (Hasoloan, 2019) :

$$FE = \frac{E_C}{s} \left(\frac{kWh}{km} \right) = \frac{33.700 \times E_C}{s} \left(\frac{gallons}{mile} \right) \quad (2.22)$$

39

dimana FE merupakan konsumsi tenaga listrik ($Wh/mile$), E_C merupakan jumlah konsumsi tenaga listrik 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:

$$F_{tot} = F_r + F_i = (R_a + R_r + R_g) + (m \times a) \quad (2.23)$$

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

$$RHP_p = F_{tot} \times v_k \quad (2.24)$$

dimana RHP_p merupakan *power* yang dibutuhkan poros (kW) dan v_k adalah kecepatan kendaraan (m/s). Energi yang dibutuhkan poros akibat pembebanan jalan merupakan fungsi integral dari energi poros (E_p). Menggunakan metoda integral tripozodial dapat ditulis sebagai:

$$\begin{aligned} E_p &= \int RHP_p \times dt \\ &= \frac{\Delta x}{2} [RHP_0 + 2RHP_1 + \dots \\ &\quad + 2RHP_{n-1} + RHP_n] \end{aligned} \quad (2.25)$$

dimana nilai Δx merupakan nilai $\frac{b-a}{n}$. Pada saat kendaraan melaju, aliran energi kendaraan listrik berasal dari baterai, mengalir melalui *power control*, motor listrik, transmisi, gardan, kemudian poros penggerak. Adapun kebutuhan energi oleh kendaraan dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_c = \frac{E_m}{\eta_{pfc} \times \eta_{fb}} = \frac{E_p}{\eta_{ft} \times \eta_{fm}} \times \frac{1}{\eta_{pfc} \times \eta_{fb}} \quad (2.26)$$

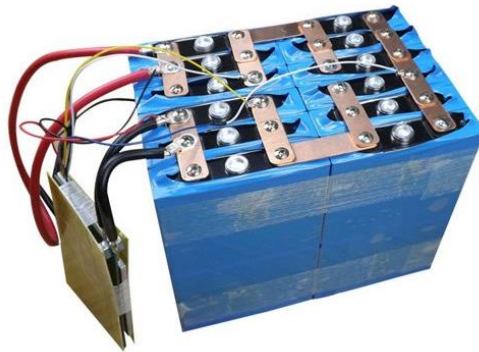
dimana E_c merupakan jumlah energi baterai yang digunakan (kWh), E_m merupakan energi motor yang dibutuhkan (kW), η_{pfc} merupakan efisiensi *power control*, η_{fb} merupakan efisiensi baterai, η_{ft} merupakan efisiensi transmisi, dan η_{fm} merupakan efisiensi motor listrik. Sedangkan untuk jarak tempuh yang dilalui kendaraan dengan percepatan konstan, digunakan rumus:

$$s = (v \times t) + \frac{(a \times t^2)}{2} \quad (2.27)$$

dimana s merupakan jarak tempuh (m) dan t merupakan waktu tempuh kendaraan (s). Adapun perhitungan jarak tempuh kendaraan dengan diketahui konsumsi energi ataupun konsumsi bensin yang digunakan dapat dituliskan menjadi:

2.11 Baterai

Baterai merupakan komponen listrik yang berfungsi sebagai penyimpan energi yang nantinya akan menjadi sumber energi penggerak bagi kendaraan listrik. Ada dua jenis baterai yang biasa digunakan dalam kendaraan yakni baterai Nickel Metal Hydride (NiMH) dan Lithium-Ion (Sutantra I. N., Teknologi Otomotif Hybrid, 2015). Pada kendaraan listrik biasa digunakan baterai dengan jenis Lithium-Ion. Hal ini dikarenakan baterai Lithium-Ion memiliki nilai energi spesifik [W/kg] yang lebih tinggi daripada baterai jenis lain. Energi spesifik merupakan satuan energi per massa.



Gambar 2. 20 Baterai *pack* Li-ion

Sumber: (Indiamart, 2017)

Setelah menentukan kebutuhan energi baterai, dapat dilakukan perhitungan daya jelajah kendaraan yang akan dirancang dengan pendekatan konsumsi energi dari kendaraan tersebut. Dimana FE adalah konsumsi energi kendaraan dalam kWh/km dan s adalah jarak tempuh kendaraan yang dapat

ditempuh dengan energi baterai yang ditentukan. Setelah diketahui nilai konsumsi energi kendaraan, maka kebutuhan energi baterai yang dapat dilalui kendaraan dihitung dengan persamaan:

$$E_{bp} = d_v \times FE \quad (2.28)$$

dimana d_v adalah jarak tempuh kendaraan (km) dan E_{bp} adalah energi baterai *pack* yang digunakan.

Untuk pemilihan jenis baterai yang digunakan oleh mobil Calya bertenaga listrik ialah setelah mendapatkan nilai energi baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan kendaraan, dilakukan perhitungan untuk menentukan besar voltase pada baterai. Dalam menentukan voltase baterai, terlebih dahulu mengetahui voltase motor listrik sehingga besar voltase motor dan baterai bernilai sama. Sehingga untuk menentukan besar ampere-hour (A_h) baterai yang tepat untuk digunakan dapat menggunakan rumus:

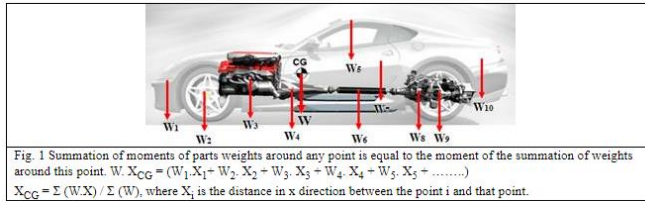
$$A_h = \frac{E_{bp}}{V} \quad (2.29)$$

dimana E_{bp} adalah energi baterai *pack* (Wh) dan V adalah voltase baterai (volt). Setelah mendapatkan voltase baterai, dilakukan perhitungan pada jumlah baterai yang diperlukan berdasarkan ketersediaan baterai di pasaran. Sehingga didapatkan spesifikasi dari baterai yang diperlukan kendaraan.

2.12 Titik Berat Kendaraan

Titik berat atau *center of gravity* (CG) adalah titik dimana seluruh bobot suatu benda berpusat dalam satu titik temu. Adapun titik berat kendaraan ialah titik pusat bobot suatu kendaraan. Titik berat pada kendaraan dipengaruhi oleh komponen-komponen berat penyusun kendaraan seperti mesin, transmisi, gardan, dan sebagainya. Dalam menentukan titik berat pada kendaraan, perlu diketahui gaya beban juga gaya reaksi yang terjadi pada kendaraan. Gaya berat adalah gaya yang terjadi akibat

pembebanan dan searah dengan pusat gravitasi. Sedangkan gaya reaksi adalah gaya yang berasal dari permukaan jalan untuk menahan pembebanan dan arahnya tegak lurus dengan permukaan jalan. Titik berat kendaraan dapat diilustrasikan seperti gambar berikut.



Gambar 2. 21 Skema Perhitungan CG berdasarkan posisi komponen kendaraan
 (Tech, 2016)

Gambar di atas merupakan gambaran dari posisi persebaran komponen kendaraan beserta gaya berat yang diakibatkannya. Adanya gaya beban dari masing-masing komponen ialah dapat menentukan letak titik berat suatu kendaraan. Adapun persamaan untuk menentukan jarak CG secara longitudinal ialah:

$$X_{cg} = \frac{\sum_1^i (X_i \cdot W_i)}{\sum_1^i W_i} \quad (2.30)$$

dimana X_{cg} merupakan posisi CG kendaraan pada sumbu x dari titik referensi terhadap titik CG, W_i merupakan massa tiap komponen, dan X_i merupakan posisi tiap komponen terhadap titik referensi. Adapun cara mencari nilai CG secara longitudinal dengan beban total kendaraan tanpa melihat posisi masing-masing komponen ialah:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ W - ((R_f - R_r)) &= 0 \\ W &= (R_f - R_r) \end{aligned} \quad (2.31)$$

$$\begin{aligned} \sum M_E &= 0 \\ R_f \cdot L - W \cdot b &= 0 \\ b &= \frac{R_f \cdot L}{W} \end{aligned} \quad (2.32)$$

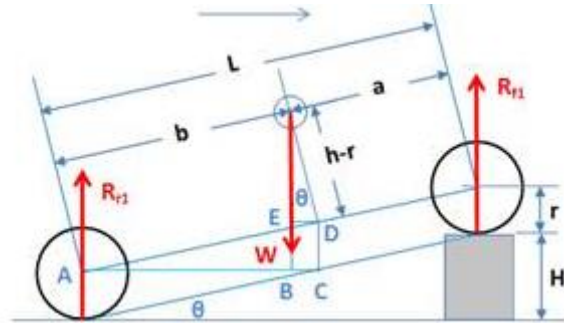
Sedangkan untuk menentukan jarak CG ke poros roda depan (a) dengan diketahui nilai b ialah:

$$\begin{aligned} L &= a + b \\ a &= L - b \end{aligned} \quad (2.33)$$

Nilai *Center of gravity* secara vertikal merupakan nilai ketinggian dari *center of gravity* yang diukur dari permukaan jalan. Untuk mencari nilai CG secara vertikal dengan diketahui penempatan masing-masing komponen dapat dirumuskan sebagai:

$$Z_{cg} = \frac{\sum_1^i (Z_i \cdot W_i)}{\sum_1^i W_i} \quad (2.33)$$

dimana Z_{cg} adalah ketinggian CG dari permukaan jalan dan Z_i merupakan ketinggian komponen dari permukaan jalan. Adapun untuk menghitung nilai ketinggiannya, dilakukan pengukuran beban kendaraan dengan posisi menanjak dapat dilihat pada gambar berikut.



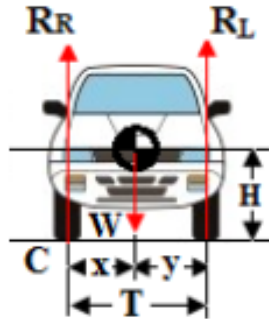
Gambar 2. 22 FBD CG vertikal
(Tech, 2016)

Sedangkan untuk menentukan nilai CG berdasarkan hasil penimbangan keseluruhan kendaraan, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ W &= (R_f - R_r) \\ R'_f &= W - R'_r \end{aligned} \quad (2.34)$$

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ R'_f(L \cdot \cos\theta) - W \cdot AB &= 0 \\ h &= \left[b - L \frac{R'_f}{W} \right] \cot\theta + r \end{aligned} \quad (2.35)$$

dimana h merupakan ketinggian CG dari permukaan jalan, θ merupakan $\sin^{-1} \frac{H}{L}$, R'_f merupakan gaya reaksi roda depan ketika posisi kendaraan menanjak pada sudut tertentu, θ sudut tanjak kendaraan ketika ditimbang, r jari-jari roda.



Gambar 2. 23 Skema CG lateral
(Tech, 2016)

Posisi CG pada sisi kiri-kanan atau lateral biasanya simetris. Hal ini dikarenakan bentuk kendaraan yang simetris. Adapun cara untuk menghitung posisi CG secara lateral ialah sebagai berikut.

$$W = W_R + W_L \quad (2.36)$$

Dengan menggunakan titik tumpu C, didapatkan jarak x dengan perhitungan momen:

$$\begin{aligned} \sum M_C &= 0 \\ W \cdot x - R_L \cdot T &= 0 \\ x &= \frac{R_L}{W} \cdot T \end{aligned} \quad (2.37)$$

Sedangkan untuk nilai y ialah:

$$y = T - x \quad (2.38)$$

dimana T merupakan jarak titik tengah roda kiri dan roda kanan, W merupakan massa total kendaraan, R_L merupakan gaya reaksi pada ban kiri.

Untuk kendaraan dalam keadaan menanjak, nilai CG dapat mempengaruhi gaya normal ban depan kendaraan untuk

FWD. Adapun nilai gaya normal ban depan dapat dihitung dengan persamaan:

$$W_{rf} = \frac{W(a \cdot \cos\theta + h \cdot \sin\theta)}{L} \quad (2.39)$$

dimana W_{rf} merupakan gaya normal pada dopa depan, W merupakan massa kendaraan, θ merupakan sudut tanjak kendaraan, a merupakan jarak CG terhadap poros roda depan, h merupakan ketinggian CG dari permukaan jalan, dan L merupakan jarak antara poros depan dan poros belakang.

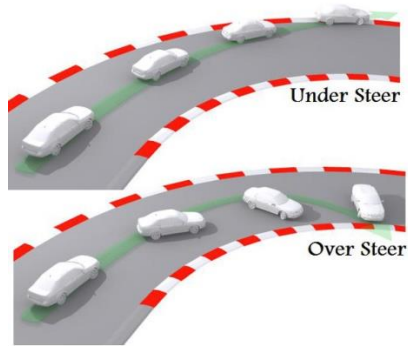
Sedangkan untuk gaya dorong maksimum yang bisa didukung oleh roda depan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_{tf} = W_{rf} \cdot f \quad (2.40)$$

dimana F_{tf} merupakan gaya dorong maksimum roda depan (N) dan f merupakan koefisien gesek roda dengan jalan. Nilai f dapat dilihat pada tabel 2.1.

2.13 Perilaku Belok Kendaraan

Perilaku berbelok menentukan kualitas *handling* kendaraan karena merupakan umumnya kondisi paling kritis pada kendaraan. Analisis perilaku kendaraan dilakukan dengan perhitungan batas kecepatan *skid*. Adapun kondisi yang dihindari ketika berbelok ialah *understeer* dan *oversteer*.



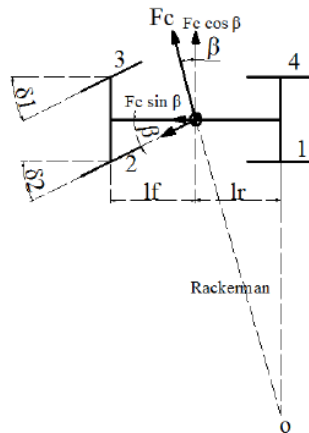
Gambar 2. 24 perilaku belok kendaraan *understeer* dan *oversteer*

Sumber: (Harsyawina, 2017)

Pada gambar 2.24 terlihat perilaku belok kendaraan. *Understeer* merupakan kondisi kendaraan sulit berbelok atau kurang belok sehingga memerlukan sudut belok yang lebih besar untuk radius tertentu. Sedangkan *oversteer* merupakan kondisi mobil berbelok melampaui sudut *steer* yang diberikan pengemudi dan sering mengakibatkan sulit dikendalikan. Sehingga kondisi *oversteer* merupakan kondisi yang paling dihindari dalam berkendara karena dapat menyebabkan kecelakaan.

2.13.1 *Skid*

Untuk melakukan analisa *skid* pada kendaraan diperlukan radius belok kendaraan pada sudut belok tertentu. Adapun kondisi belok ideal kendaraan (kondisi aneckrman) seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. 25 Free-Body Diagram kendaraan saat berbelok full model

Sumber : (Harsyawina, 2017)

49

Besarnya radius belok ideal (anckerman) secara sederhana dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_{anckerman} = \frac{l_f + l_r}{\delta_f} 57,29 \quad (2.41)$$

dimana l_f merupakan jarak titik pusat ke poros roda depan, l_r merupakan jarak titik pusat massa ke poros roda belakang, dan δ_f merupakan sudut belok kendaraan. Sedangkan sudut *side slip* berdasarkan radius ideal *anckerman* ialah.

$$\beta = \text{arc. sin}(l_r/R_{anckerman}) \quad (2.42)$$

Skid merupakan fenomena yang terjadi karena besarnya gaya lateral yang terjadi pada ban melebihi gaya

gesek antara ban dengan permukaan jalan. Roda depan akan mengalami *skid* bila $F_{cfy} = F_{zfy} \cdot \mu$ sedangkan roda belakang akan mengalami *skid* $F_{cry} = F_{zry} \cdot \mu$. Kecepatan maksimum kendaraan tidak mengalami *skid* untuk roda depan dan belakang pada jalan datar dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \left[\frac{\mu \cdot l_r W}{l_r \cdot (\cos\beta) - h \cdot \mu \cdot \sin\beta} \right]} \quad (2.43)$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \left[\frac{\mu \cdot l_f W}{l_f \cdot (\cos\beta) - h \cdot \mu \cdot \sin\beta} \right]} \quad (2.44)$$

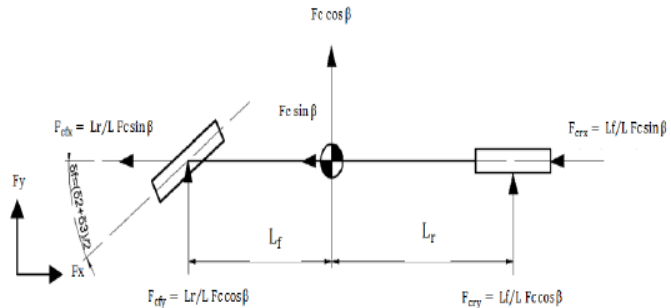
Berdasarkan nilai dari batas kecepatan *skid* roda depan dan belakang, dapat diketahui perilaku arah belok dari kendaraan dengan kondisi berikut:

- a. $V_{sf} > V_{sr}$, *skid* roda belakang terjadi sebelum *skid* roda depan dan kendaraan cenderung *oversteer*.
- b. $V_{sf} < V_{sr}$, *skid* roda depan terjadi sebelum *skid* roda belakang dan kendaraan cenderung *understeer*.

2.13.2 Slip

Slip dipengaruhi oleh tekanan ban, keausan ban, struktur ban, dan posisi beban. Slip yang menyebabkan *oversteer* disebabkan oleh sudut slip belakang lebih besar dari sudut slip depan. Sedangkan kendaraan mengalami *understeer* ketika sudut slip depan lebih besar daripada sudut slip belakang. Untuk melakukan analisa slip pada kendaraan diperlukan gaya

reaksi masing-masing roda agar dapat mencari sudut slip pada roda sehingga dapat diketahui perilaku arah kendaraan saat berbelok.



Gambar 2. 26 Free-Body Diagram kendaraan saat berbelok pada bidang datar bicycle model.

Sumber : (Harsyawina, 2017)

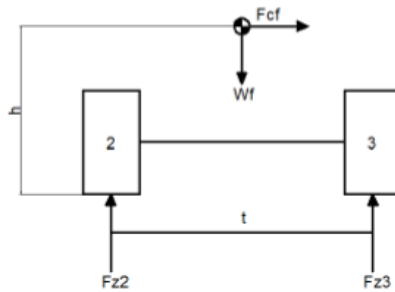
51

Pada gambar tersebut terlihat *free-body diagram* saat kendaraan berbelok untuk mengetahui gaya sentrifugal pada kendaraan. Penyebab dari adanya slip ialah gaya samping yang menyebabkan deformasi lateral pada bidang kontak ban. Akibat dari gaya samping tersebut maka arah putar ban akan bergeser sebesar α atau sudut slip. Nilai sudut slip yang terjadi pada ban dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\alpha_i = 0,3 \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 \cdot (F_{yi} \cdot \alpha)^{0,79008} - 0,005277(F_{zi})] \quad (2.45)$$

dimana α_i merupakan sudut slip yang terjadi pada setiap ban, F_{yi} merupakan gaya lateral yang terjadi pada setiap ban, F_{zi} merupakan gaya normal yang terjadi pada ban, koefisien 0,3

merupakan angka modifikasi yang ditambah untuk ban saat ini, $C_{rp} = 3,35 + 5,30(P) - 0,0916(P)^2$, $C_{rs} = 3,35 + 5,30(P_s) - 0,0916(P_s)^2$, P merupakan tekanan aktual ban kendaraan, P_s merupakan tekanan standar ban kendaraan (25 Psi), $C_{rx} = \left[\frac{F_{yai} + 0,107927 \cdot F_x}{161,1398} \right]^{0,47988}$, dan $C_{ro} = \left[\frac{F_{yai}}{161,1398} \right]^{0,47988}$.



Gambar 2. 27 Free-Body Diagram kendaraan roda depan untuk mencari Fz pada jalan datar

Sumber : (Harsyawina, 2017)

Untuk mendapatkan gaya yang terjadi pada ban sepanjang sumbu x, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_{x2} = \frac{1}{2} [F_{cfx} \cdot \cos \delta_f - F_{cfy} \cdot \sin \delta_f]$$

$$F_{x3} = \frac{1}{2} [F_{cfx} \cdot \cos \delta_f - F_{cfy} \cdot \sin \delta_f] \quad (2.46)$$

$$F_{x1} = \frac{F_{cfx}}{2} = \frac{l_f(F_c \cdot \sin\beta)}{L} \quad (2.47)$$

$$F_{x4} = \frac{F_{cfx}}{2} = \frac{l_f(F_c \cdot \sin\beta)}{L}$$

Untuk mendapatkan gaya yang terjadi pada ban depan (2 dan 3) dan belakang (1 dan 4) pada jalan datar seperti pada gambar 2.23, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_{y1} = \frac{F_{cry.}}{2} = \frac{l_f}{2 \cdot L} (F_c \cdot \cos\beta) \quad (2.48)$$

$$F_{y4} = \frac{F_{cry.}}{2} = \frac{l_f}{2 \cdot L} (F_c \cdot \cos\beta)$$

$$F_{y2} = \frac{1}{2} \cdot [F_{cfy} \cdot \cos\delta_f + F_{cfx} \cdot \sin\delta_f] \quad (2.49)$$

$$F_{y3} = \frac{1}{2} \cdot [F_{cfy} \cdot \cos\delta_f + F_{cfx} \cdot \sin\delta_f]$$

dimana:

- F_{y1} dan F_{y4} : gaya ban sumbu y pada ban belakang (N).
- F_{y2} dan F_{y3} : gaya sumbu y pada ban depan (N).
- F_c : gaya sentrifugal,
 $F_c = w \cdot v^2 / g \cdot R$ (N).
- F_{cfy} : gaya sentrifugal roda depan sb. y. $F_{cfy} = \frac{l_r(F_c \cdot \cos\beta)}{L}$ (N).
- F_{cfx} : gaya sentrifugal sumbu x, $F_{cfx} = \frac{l_r(F_c \cdot \sin\beta)}{L}$ (N).
- θ : sudut tanjak kendaraan
- δ_f : sudut belok kendaraan

β : *side slip angle*($^{\circ}$)
 $R_{anckerman}$: radius belok anckerman

Sedangkan untuk gaya normal pada ban depan belakang dilakukan perhitungan roda depan pada jalan datar menggunakan persamaan berikut:

$$F_{z2} = \frac{W_f}{2} + \frac{W_{cf} \cdot h}{t} \quad (2.50)$$

$$= \frac{l_r}{2L} (W) - \frac{l_r}{2L} \left(\frac{F_c \cdot h \cdot \cos\beta}{0,5 \cdot t_f} \right) + \frac{F_c \cdot h \cdot \sin\beta}{2L}$$

$$F_{z3} = \frac{W_f}{2} + \frac{W_{cf} \cdot h}{t} \quad (2.51)$$

$$= \frac{l_r}{2L} (W) + \frac{l_r}{2L} \left(\frac{F_c \cdot h \cdot \cos\beta}{0,5 \cdot t_f} \right) + \frac{F_c \cdot h \cdot \sin\beta}{2L}$$

Sedangkan untuk ban belakang (1 dan 4) digunakan rumus:

$$F_{z1} = \frac{W_f}{2} - \frac{W_{cf} \cdot h}{t} \quad (2.52)$$

$$= \frac{l_f}{2L} (W) - \frac{l_f}{2L} \left(\frac{F_c \cdot h \cdot \cos\beta}{0,5 \cdot t_f} \right) - \frac{F_c \cdot h \cdot \sin\beta}{2L}$$

$$F_{z4} = \frac{W_f}{2} - \frac{W_{cf} \cdot h}{t} \quad (2.53)$$

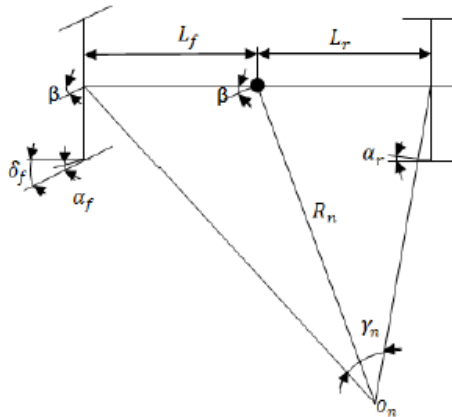
$$= \frac{l_f}{2L} (W) + \frac{l_f}{2L} \left(\frac{F_c \cdot h \cdot \cos\beta}{0,5 \cdot t_f} \right) - \frac{F_c \cdot h \cdot \sin\beta}{2L}$$

dimana nilai t_f merupakan lebar track.

Besarnya nilai dari sudut slip pada ban dapat digunakan untuk mengetahui perilaku arah belok dari kendaraan. Perilaku arah belok diketahui dengan kondisi berikut ini:

- a. $\alpha_f > \alpha_r$, maka kendaraan akan mengalami *understeer*.
- b. $\alpha_f < \alpha_r$, maka kendaraan akan mengalami *oversteer*.

Pada kenyataannya, kondisi kendaraan saat berblok sangat dipengaruhi oleh gaya sentrifugal yang menyebabkan sudut slip pada setiap ban. Kondisi belok netral dapat terjadi ketika sudut slip roda depan sama dengan sudut slip roda belakang.



Gambar 2. 28 Kondisi nyata keadaan belok

Sumber : (Harsyawina, 2017)

Untuk mengetahui radius belok nyata kendaraan berdasarkan gambar 2.28, digunakan perhitungan berikut:

$$R_n = \frac{l_f + l_r}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \quad (2.54)$$

dimana R_n merupakan radius belok nyata kendaraan (m), α_r merupakan besar sudut slip ban belakang, α_f merupakan sudut slip ban depan. Setelah diketahui radius belok nyata dari kendaraan, dapat dilakukan metoda analisa *understeer* (K_{us}). Indeks ini dapat mengidentifikasi perilaku arak belok kendaraan. Adapun persamaan Kus ialah:

$$K_{us} = (\alpha_f^o - \alpha_r^o) \frac{R \cdot g}{V^2} \quad (2.55)$$

dimana V merupakan kecepatan kendaraan berbelok. Setelah melakukan perhitungan K_{us} , dapat diketahui perilaku berbelok kendaraan dengan kondisi:

- a. $K_{us} = 0$, kendaraan netral.
- b. $K_{us} = +$, kendaraan *understeer*.
- c. $K_{us} = -$, kendaraan *oversteer*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini penulis akan menjabarkan tentang alur penelitian tugas akhir. Dimulai dari studi literatur, mendapatkan data-data yang dikehendaki, pengujian *dynotest*, melakukan perhitungan sehingga mendapatkan rancangan kecepatan dan sudut tanjak maksimum yang diinginkan, menghitung spesifikasi motor dan baterai yang dibutuhkan, melakukan desain transmisi, hingga melakukan analisa terhadap hasil desain sehingga didapatkan grafik karakteristik traksi, grafik power, nilai kecepatan maksimum, dan daya tanjak kendaraan sesuai desain.

3.1 Data dan Acuan Kendaraan

Perancangan desain transmisi mobil Calya bertenaga listrik menggunakan acuan mobil Calya tipe E M/T 2019 dimana pada mobil tersebut memiliki lima tingkat kecepatan. Berikut merupakan spesifikasi mobil yang digunakan.



Gambar 3. 1 Mobil Toyota Calya E M/T
Sumber : (Toyota, 2018)

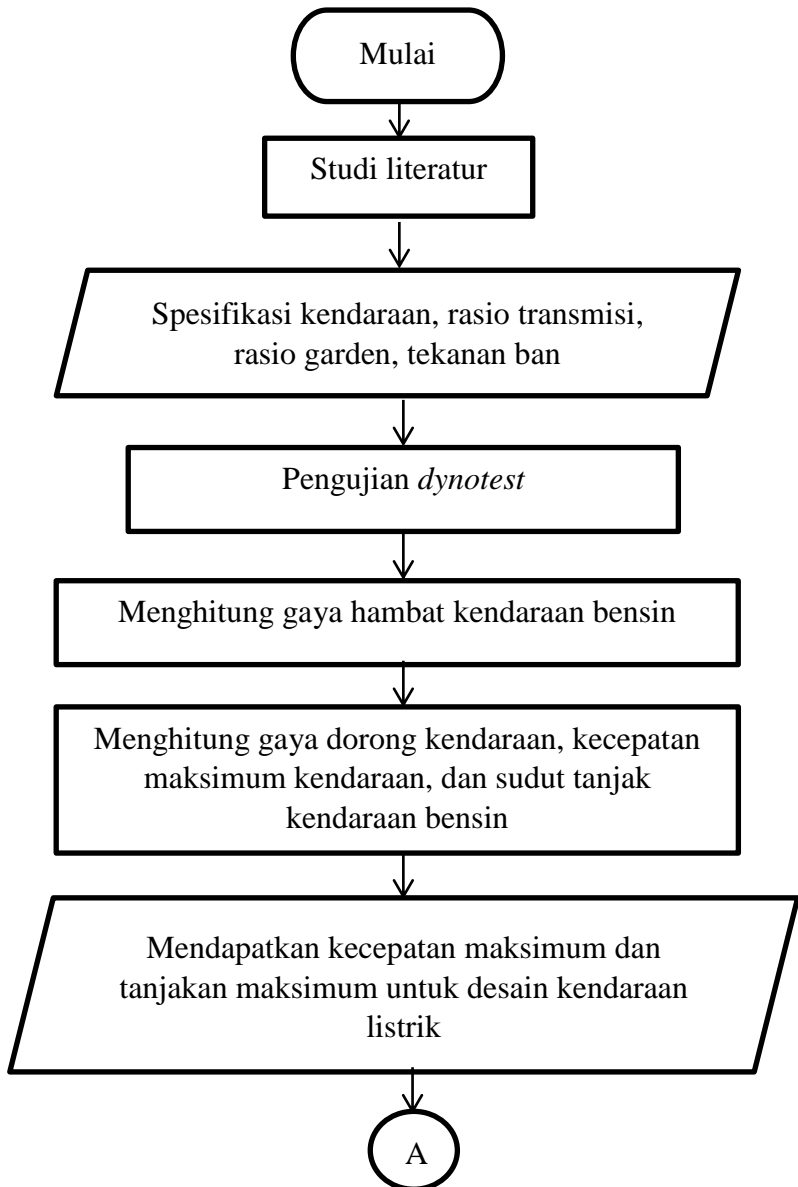
Tabel 3. 1 Spesifikasi mobil Toyota Calya E M/T 2019

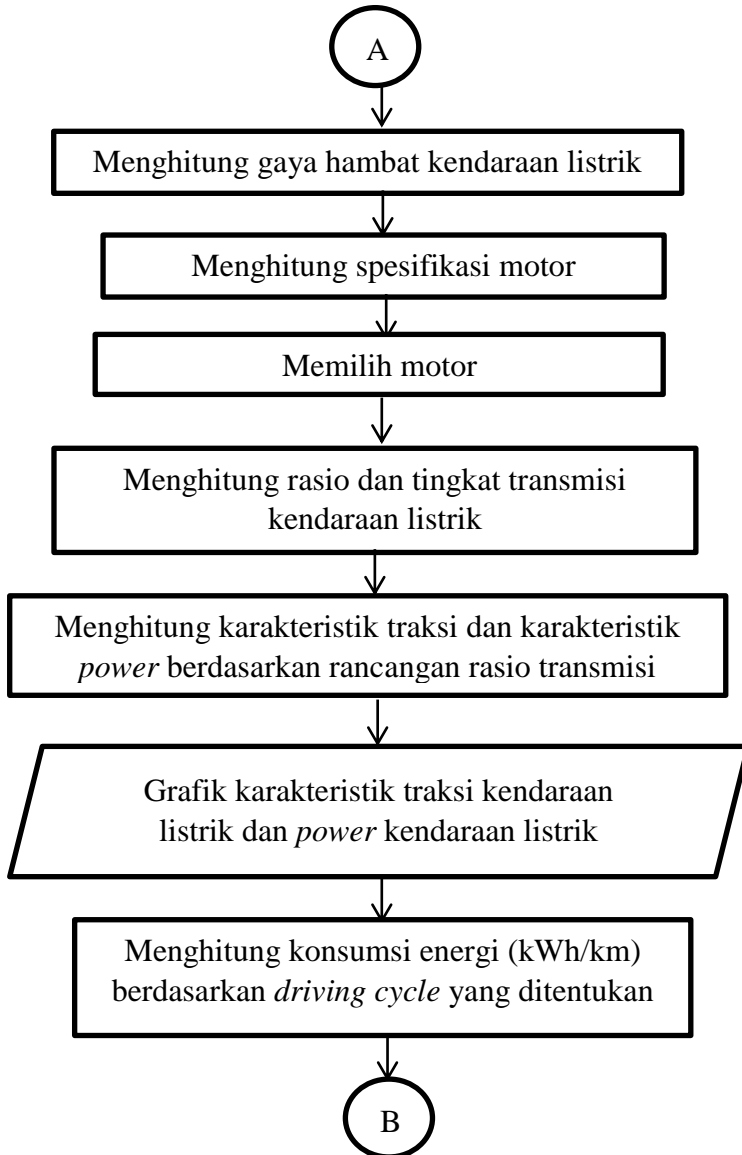
Dimensi	
Jarak sumbu roda	2525 mm
Panjang total	4070 mm

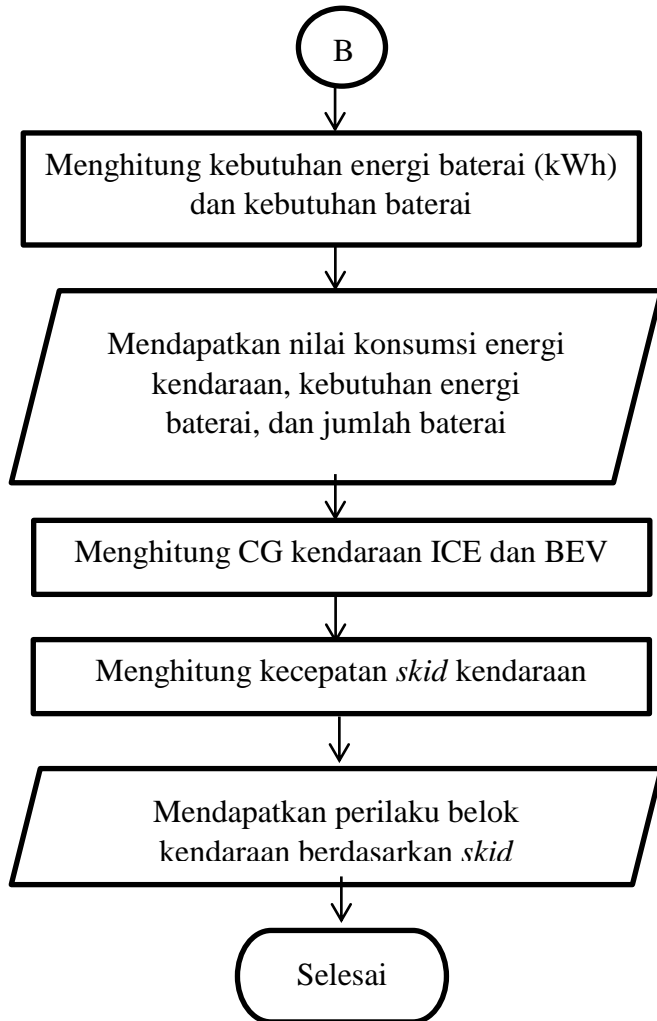
Lebar total	1655 mm
Tinggi total	1600 mm
Ground clearance	230 mm
Transmisi	
ke-1	3,417
ke-2	1,96
ke-3	1,25
ke-4	0,917
ke-5	0,707
Gardan	5,077
Mundur	3,143
Berat	
Berat kosong	981 kg
Berat transmisi	28,5 kg
Berat mesin	91 kg
Berat Rf1	981,5 kg (H-23,6cm)
Berat Rr1	981,5 kg
Kapasitas bensin	36 Liter
Ban	
Tipe ban	Radial
Jari-jari ban	280 mm
Ukuran rim	P 175/65 R14
Jumlah ban	4 roda tunggal

3.2 *Flowchart* Penelitian

Berikut merupakan langkah-langkah penelitian tugas akhir berdasarkan metode analitik yang disajikan dalam bentuk *flowchart*.





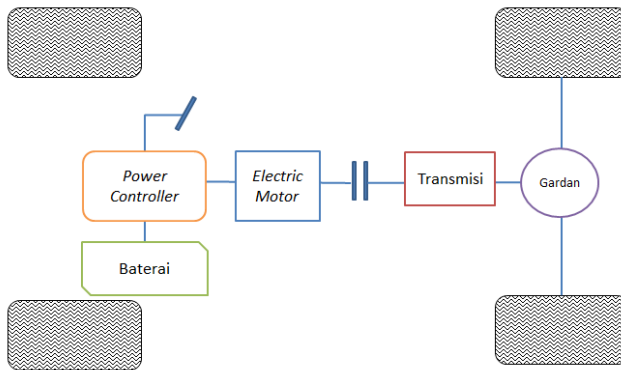


61

Gambar 3. 2 *Flowchart* penelitian tugas akhir

Pada proses penyusunan tugas akhir ini, prosedur yang dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Tahap awal, dilakukan studi literatur dari berbagai buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang terkait dengan perancangan rasio transmisi mobil listrik konvensional, karakteristik traksi dan *power*, dan kebutuhan dan konsumsi energi.
2. Tahap kedua ialah dilakukan pengujian terhadap performa kendaraan Mobil Toyota Calya tipe E/MT. Dilakukan uji *dynotest* pada mesin kendaraan sehingga diketahui data nilai torsi dan *power* kendaraan terhadap kecepatan putar mesin. Adapun jumlah pengujian yang dilakukan ialah lebih dari tiga kali.
3. Tahap ketiga ialah menghitung gaya dorong kendaraan, kecepatan maksimum, dan sudut tanjak maksimum pada kendaraan ICE sehingga didapat performa kendaraan yang menjadi acuan konsep kendaraan yang selanjutnya akan dikonversikan ke dalam kendaraan listrik dengan rasio transmisi yang diubah. Dalam perhitungan kendaraan ICE, digunakan hasil *dynotest* mesin dari Toyota Calya tipe G M/T 2019. Kemudian dilakukan perhitungan untuk kebutuhan sistem transmisi dan energi kendaraan. Dimulai dari perhitungan terhadap gaya hambat kendaraan listrik, menghitung spesifikasi motor listrik, rasio tingkat transmisi yang digunakan, gaya traksi, *power* transmisi kendaraan, kebutuhan daya dan baterai kendaraan, dan konsumsi energi kendaraan.

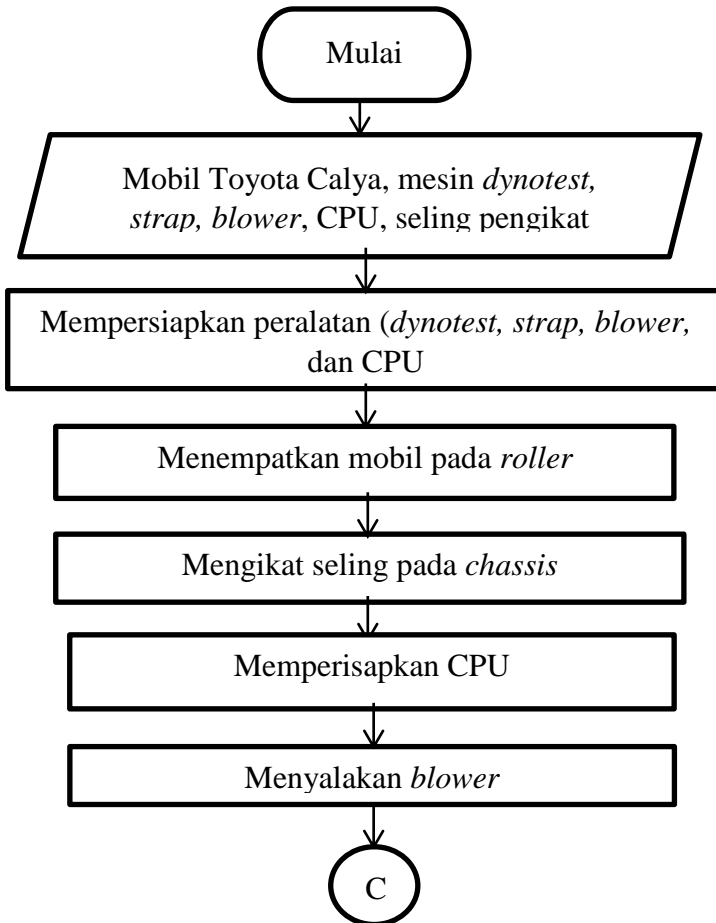


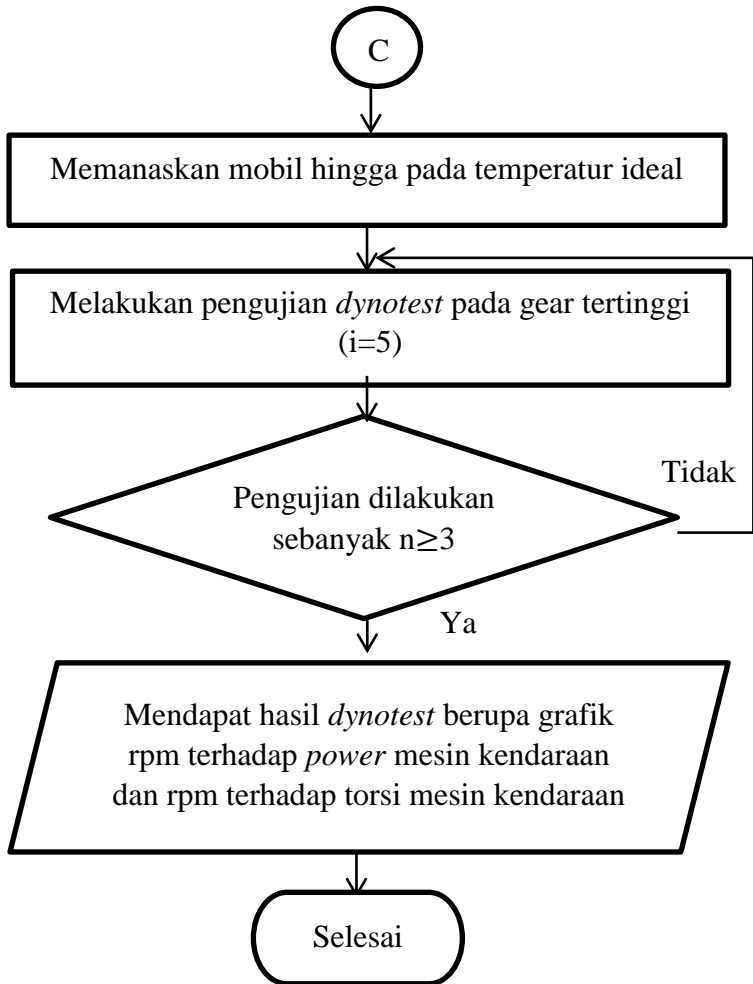
Gambar 3. 3 Konsep Rancangan Kendaraan

4. Tahap berikutnya, dilakukan analisa terhadap hasil perhitungan yang didapat. Analisa yang dilakukan berupa analisa rancangan rasio dan energi kendaraan. Sehingga didapat karakteristik traksi dan *power* yang sesuai untuk mobil Toyota Calya bertenaga listrik, juga konsumsi energi kendaraan berdasarkan pola *WLTP driving cycle* sehingga diketahui jarak yang dapat ditempuh kendaraan dengan energi baterai yang telah ditentukan.
5. Setelah melakukan analisa terhadap nilai *center of gravity* (CG) kendaraan ICE dan kendaraan BEV yang telah diganti menjadi komponen elektrik berupa motor listrik, baterai, dan transmisi. Perhitungan nilai (CG) dilakukan berdasarkan sudut tanjak yang ditempuh kendaraan.
6. Terakhir ialah melakukan analisa terhadap nilai *skid* pada kendaraan BEV yang sudah diketahui nilai CG-nya. Sehingga didapatkan batas kecepatan kendaraan ketika berbelok agar tidak mengalami *understeer* dan *oversteer*.

3.3 Flowchart Pengujian

Pengambilan data Toyota Calya E M/T 2019 dilakukan untuk mendapatkan nilai *power* dan torsi pada putaran tertentu pada *engine* Toyota 3NR-VE. Pengujian *dynotest* dilakukan di Bengkel GUT Motorsport Klampis Surabaya menggunakan DASTEK dynamometer.





65

Gambar 3. 4 *Flowchart* pengujian *dynotest*



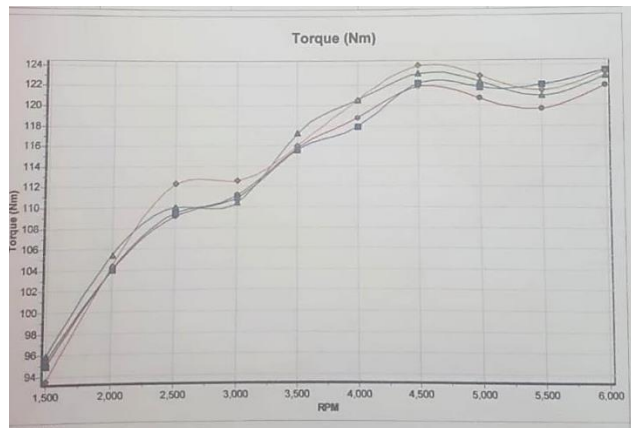
Gambar 3. 5 Pengambilan data dengan pengujian *dynotest*

Pada pengujian *dynotest* dilakukan dalam tahapan berikut:

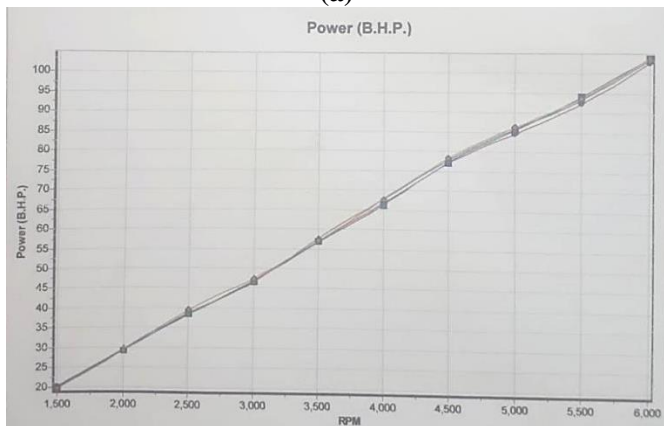
1. Persiapan kelengkapan *dynotest* meliputi kendaraan, alat *dynotest*, *strap*, *blower*, CPU, dan seling pengikat. Kendaraan diletakan di atas *roller* dan diikat dengan seling di bagian *chassis* kendaraan. Kemudian membuka kap mobil dan dipasang *blower* untuk mendinginkan temperatur mesin agar tidak *overheat*.
2. Kedua ialah tahap *running dynotest*. Test dimulai dengan memanaskan mobil hingga pada suhu ideal untuk menguji dan menyalakan *blower*. Pengujian dilakukan pada gigi terendah sampai dengan gigi tertinggi ($i=5$) untuk mengerahui *power* dan kecepatan maksimum *engine*. Pedal gas diinjak sehingga dalam keadaan *gas full throttle* selama

beberapa detik hingga hasil pengujian terlihat di CPU.

3. Kemudian ialah pengambilan data *dynotest*. Pengambilan data dilakukan sebanyak enam kali dan diambil nilai rata-rata pada pengujian *power* dan torsi kendaraan sehingga didapatkan grafik rpm terhadap *power* dan rpm terhadap torsi *engine*.



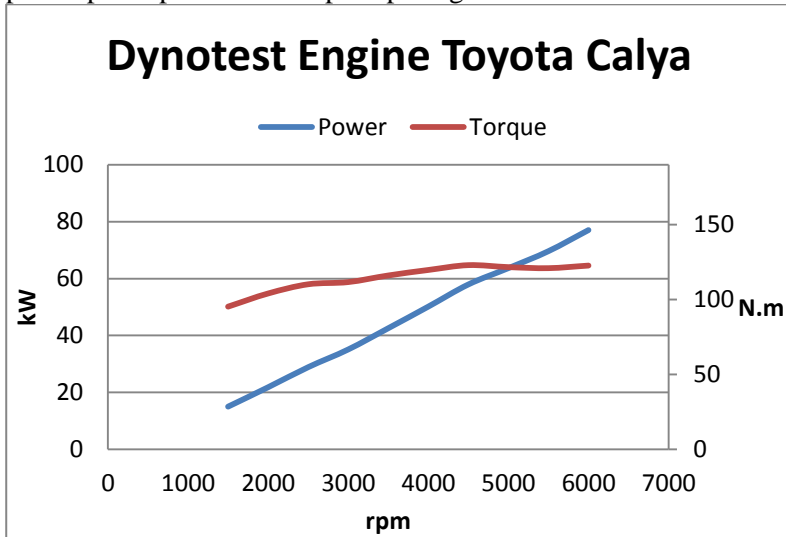
(a)



(b)

Gambar 3. 6 Hasil dynotest Toyota Calya (a) torsi ;(b) power

Gambar 3.6 merupakan hasil *dyno test* Toyota Calya pada torsi dan *power* terhadap kecepatan putar engine. Dengan dilakukannya enam kali pengujian, dilakukan perhitungan pada nilai rata-rata torsi dan power. Sehingga, didapat kurva torsi-power pada rpm tertentu seperti pada grafik berikut:



Gambar 3. 7 Grafik torsi dan *power* dynotest Toyota Calya E M/T

Tabel 3. 2 Dynotest Torsi-Power Toyota Calya

speed (rpm)	Torque (Nm)	Power (kW)
1500	95,26666667	14,96371333
2000	104,0666667	21,78686833
2500	110,2166667	28,84616167
3000	111,6666667	35,07275667
3500	116,1	42,542185

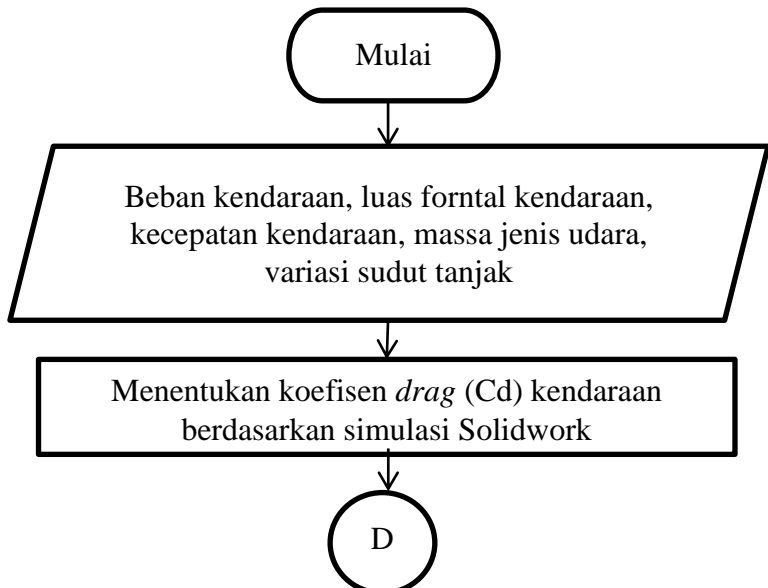
4000	119,7666667	50,148325
4500	122,9833333	57,94089
5000	121,6666667	63,68278
5500	120,9833333	69,64838
6000	122,7	77,068095

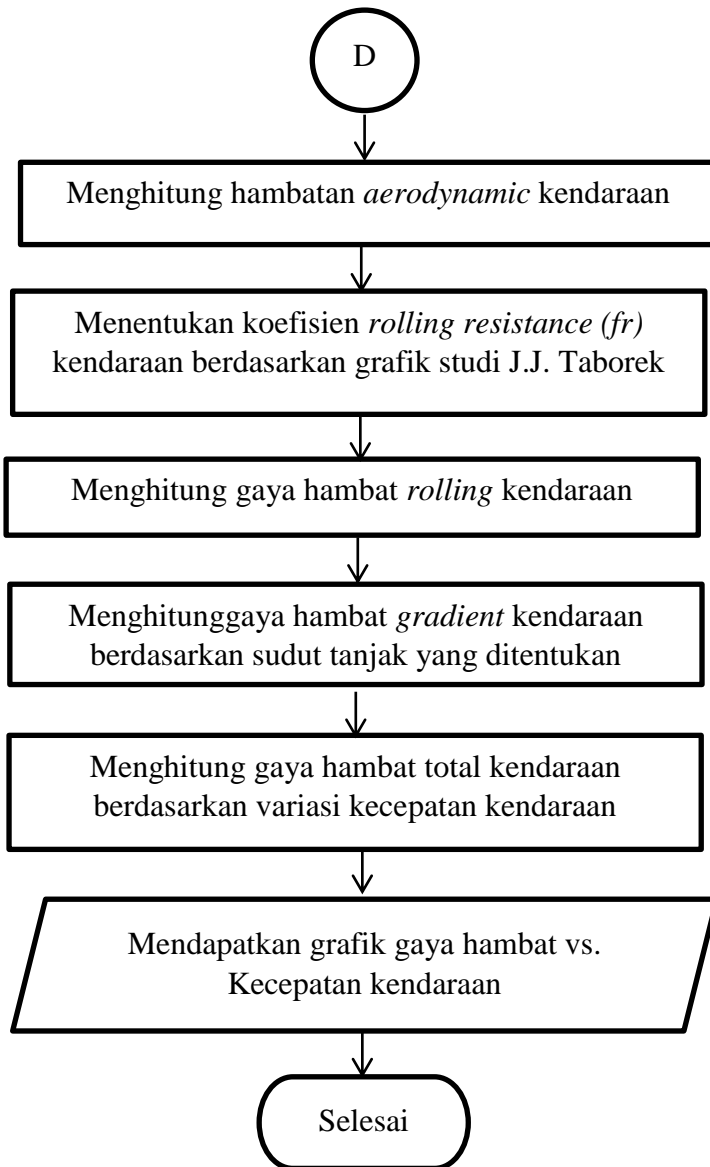
3.4 Flowchart Perhitungan

Dilakukan perhitungan seputar gaya hambat kendaraan bensin, performa kendaraan bensin, gaya hambat kendaraan listrik, kebutuhan motor listrik, desain rasio transmisi kendaraan listrik, karakteristik traksi dan power kendaraan listrik, konsumsi energi, dan kebutuhan energi dan baterai pada kendaraan listrik Toyota Calya.

3.4.1 Perhitungan Gaya Hambat Kendaraan Bensin

Berikut merupakan tahapan perhitungan gaya hambat kendaraan yang dilakukan.





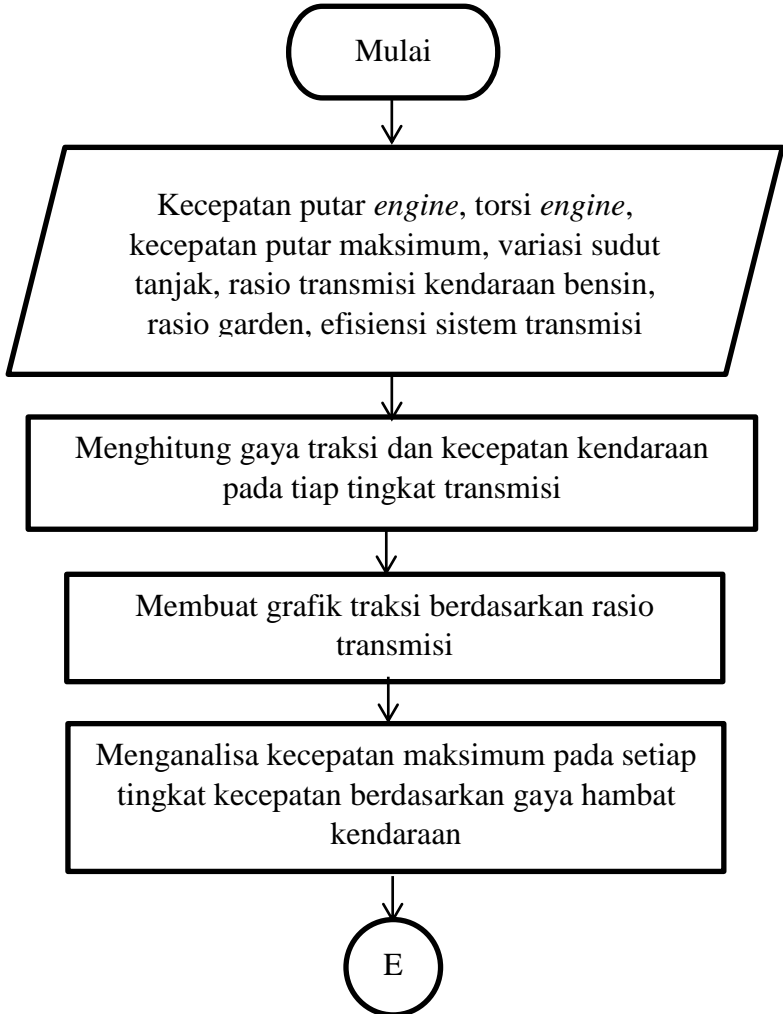
Gambar 3. 8 *Flowchart* perhitungan gaya hambat kendaraan

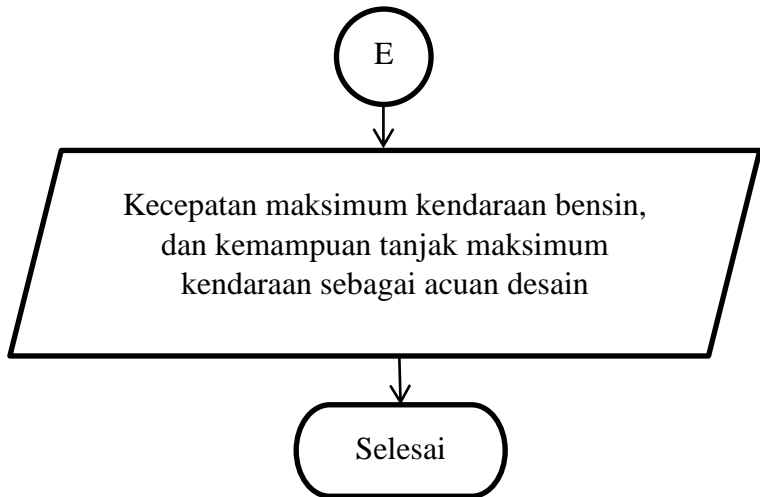
Pada proses perhitungan gaya hambat kendaraan, prosedur yang dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Menetapkan variasi kecepatan kendaraan, luas frontal kendaraan, f_o , f_s , serta variasi sudut tanjak kendaraan. Dilakukan perhitungan dengan data kendaraan ICE yang sudah didapatkan seperti pada tabel 3.1. Variasi kecepatan kendaraan yang digunakan ialah kecepatan dari 0 km/jam dengan kenaikan kecepatan tiap 1 km/jam.
2. Mencari nilai koefisien *drag* kendaraan dengan simulasi *solidwork* dengan asumsi kecepatan angin tidak mempengaruhi kecepatan kendaraan. Sehingga didapatkan nilai koefisien *drag* kendaraan.
3. Mencari hambatan *aerodynamic* kendaraan berdasarkan persamaan 2.4. Fluida yang digunakan adalah udara dengan nilai massa jenis fluida yang digunakan ialah $1,2 \text{ kg/m}^3$.
4. Menghitung hambatan *rolling* kendaraan berdasarkan persamaan 2.5. Untuk menentukan nilai koefisien *rolling* ban berdasarkan tekanan ban kendaraan menggunakan teori J.J Taborek pada persamaan 2.6 berdasarkan variasi kecepatan yang telah ditentukan. Diasumsikan bahwa tekanan beban ialah 25 psi sehingga didapatkannilai f_o dan f_s .
5. Menghitung hambatan *gradient* kendaraan berdasarkan variasi sudut yang ditentukan berdasarkan persamaan 2.7. Variasi sudut yang digunakan ialah 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , dan 30° .
6. Menghitung gaya hambat total yang terjadi pada kendaraan menggunakan persamaan 2.11 dengan variasi kecepatan kendaraan yang telah ditentukan. Sehingga didapatkan grafik gaya hambat terhadap kecepatan kendaraan ICE.

3.4.2 *Flowchart Perhitungan Performa Kendaraan Bensin*

Berikut merupakan perhitungan karakteristik pada kendaraan bensin Toyota Calya E M/T yang disajikan dalam bentuk *flowchart*.





Gambar 3. 9 Flowchart perhitungan performa kendaraan Toyota Calya berbahan bakar bensin

73

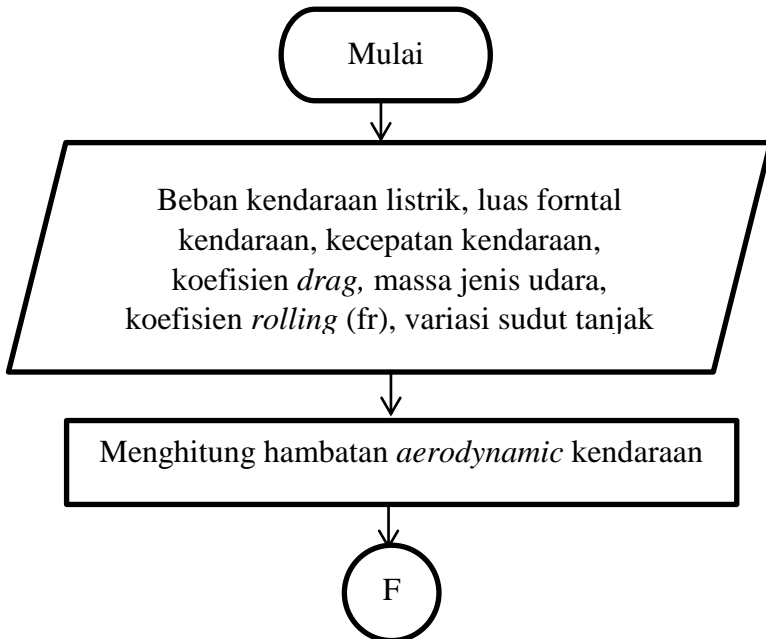
Pada gambar 3.9 dijelaskan tentang *flowchart* untuk mendapatkan acuan desain kendaraan yang akan dikonversikan ke dalam mobil listrik sebagai berikut:

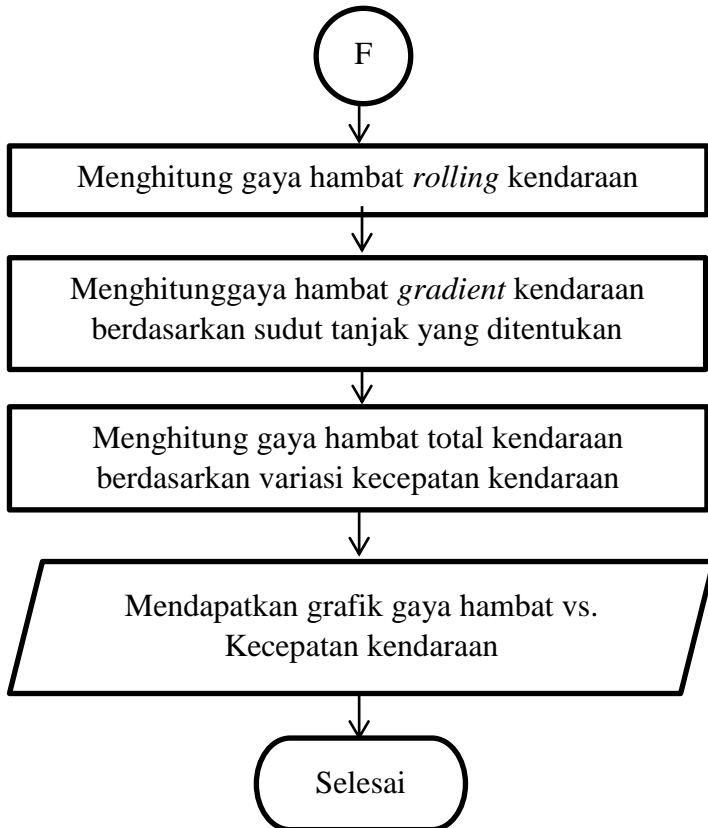
1. Pada tahap pertama ialah melakukan perhitungan traksi setelah diketahui data-data spesifikasi kendaraan dan hasil uji *dynotest* untuk mengetahui *power* dan torsi yang dihasilkan oleh *engine*. Gaya traksi dihitung pada setiap tingkat transmisi menggunakan persamaan 2.3. Kemudian dilakukan perhitungan kecepatan kendaraan dengan menggunakan persamaan 2.2 dan memplot hasil perhitungan ke dalam grafik sehingga didapatkan grafik traksi terhadap kecepatan kendaraan berdasarkan tingkat transmisi. Rasio transmisi yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1.

2. Tahap berikutnya dilakukan analisa terhadap gaya traksi dan gaya hambat yang terjadi pada kendaraan. perpotongan dari grafik traksi-kecepatan dan grafik gaya hambat kendaraan bensin. Hasil dari analisa ialah kecepatan maksimum kendaraan bensin yang dapat ditempuh kendaraan dan juga kemampuan tanjak maksimum kendaraan yang kemudian akan dijadikan acuan desain mobil listrik Toyota Calya tipe E M/T 2019 agar performanya bisa sama atau melebihi kendaraan bensinnya.

3.4.3 Menghitung Gaya Hambat Kendaraan Listrik

Setelah dilakukan pemilihan motor listrik, dilakukan perhitungan gaya hambaBerikut merupakan tahapan perhitungan gaya hambat kendaraan yang dilakukan.





75

Gambar 3. 10 *Flowchart* perhitungan gaya hambat kendaraan listrik

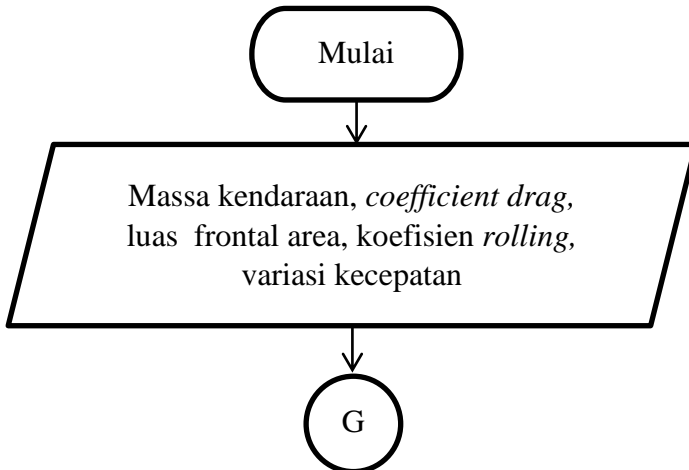
Pada proses perhitungan gaya hambat kendaraan, prosedur yang dilakukan ialah sebagai berikut:

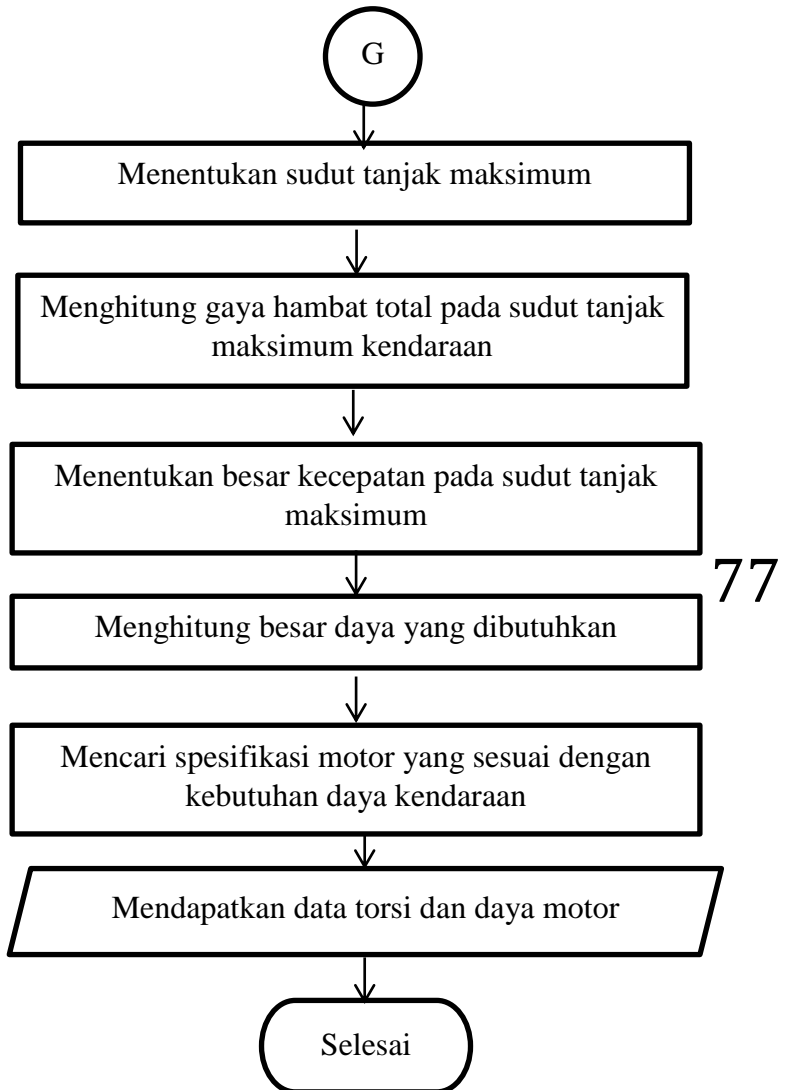
1. Menetapkan variasi kecepatan kendaraan, variasi sudut tanjak, luas frontal kendaraan, f_o , f_s , serta variasi sudut tanjak kendaraan. Pada perhitungan ini digunakan massa kendaraan yang telah ditambah dengan komponen motor listrik dan baterai, serta

- asumsi massa transmisi yang digunakan sama dengan transmisi ICE.
2. Mencari hambatan *aerodynamic* kendaraan berdasarkan persamaan 2.4 dan nilai koefisien *drag* yang didapatkan pada *flowchart* perhitungan 3.4.1.
 3. Menghitung hambatan *rolling* kendaraan berdasarkan persamaan 2.5 dengan menggunakan koefisien *rolling* pada setiap variasi kecepatan seperti pada *flowchart* perhitungan 3.4.1.
 4. Menghitung hambatan *gradient* kendaraan berdasarkan variasi sudut yang ditentukan berdasarkan persamaan 2.7. Variasi sudut yang ditentukan dimulai dari 0° hingga dengan sudut tanjak maksimum yang ditentukan dengan kenaikan tiap sudut ialah 5° .
 5. Menghitung gaya hambat total yang terjadi pada kendaraan menggunakan persamaan 2.9 dengan variasi kecepatan kendaraan yang telah ditentukan.

3.4.4 *Flowchart* Perhitungan Motor yang Digunakan

Berikut merupakan alur perhitungan kebutuhan daya motor dan baterai yang digunakan dalam penelitian.





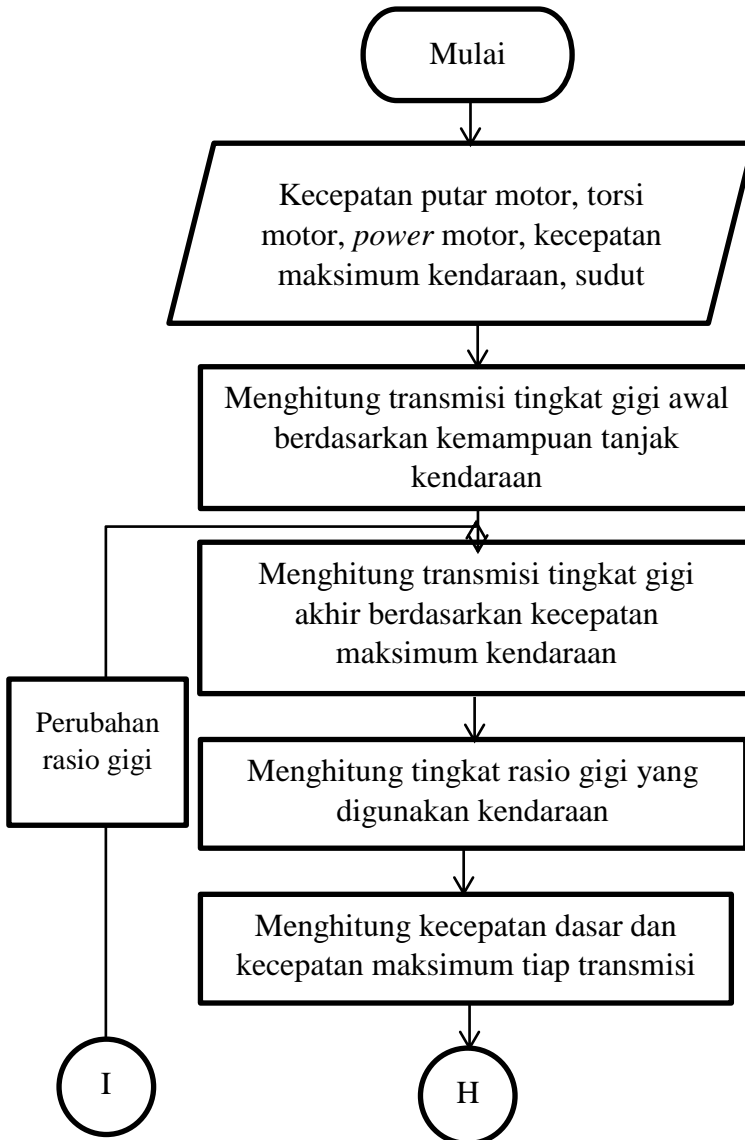
Gambar 3. 11 *Flowchart* perhitungan kebutuhan daya motor

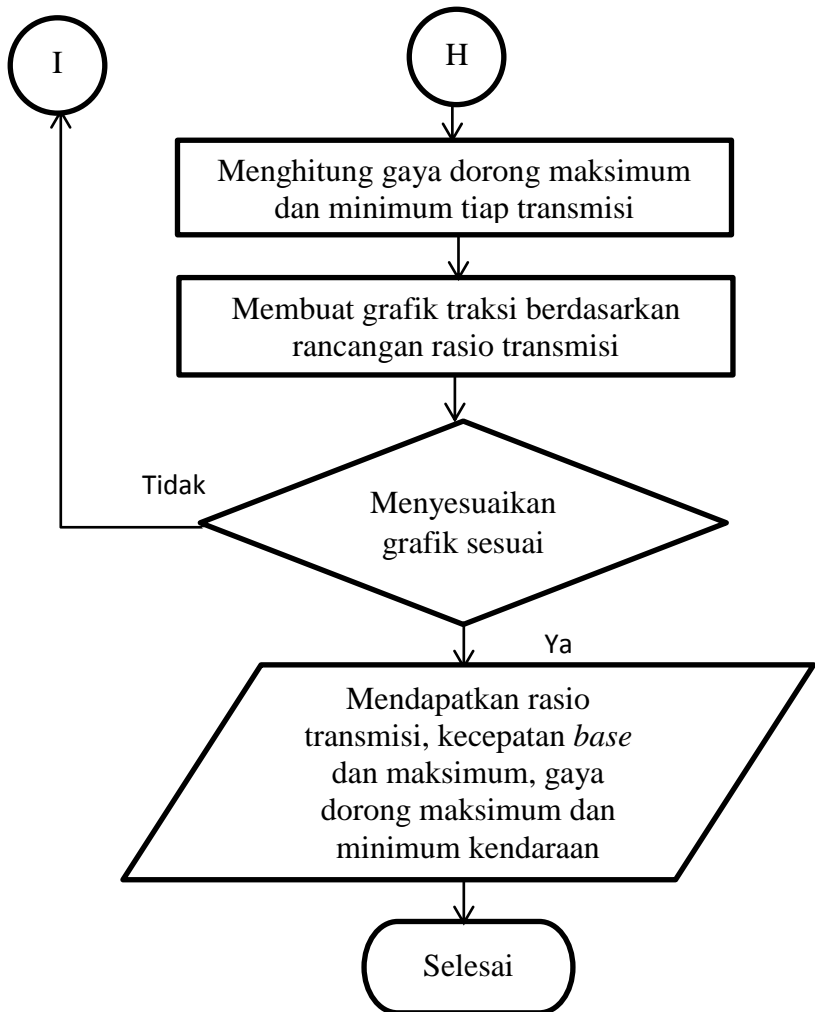
Berikut merupakan langkah-langkah menentukan motor yang dibutuhkan oleh kendaraan:

1. Menentukan besar sudut tanjakan maksimum yang mampu dilalui kendaraan sesuai dengan desain yang diinginkan. Sudut tanjak ini ditentukan dengan nilai yang sama atau melebihi sudut tanjak ICE seperti yang didapatkan pada *flowchart* 3.4.2.
2. Menghitung gaya hambat yang terjadi pada sudut tanjakan maksimum kendaraan dan variasi kecepatan berdasarkan persamaan 2.10. Dengan asumsi berat kendaraan sementara 1270 kg dan asumsi lainnya berdasarkan *flowchart* perhitungan 3.4.2.
3. Menentukan besar kecepatan kendaraan yang diharapkan pada sudut maksimum kendaraan.
4. Menghitung besar daya yang dibutuhkan untuk melawan gaya hambat berdasarkan persamaan 2.20.
5. Setelah mendapatkan nilai daya yang dibutuhkan pada kecepatan kendaraan yang diinginkan, dilakukan penentuan jenis motor yang digunakan berdasarkan data yang didapat sehingga didapat data daya dan torsi terhadap kecepatan putar motor listrik yang digunakan dan dimensi serta massa motor listrik.

3.4.5 *Flowchart* Perhitungan Rasio dan Tingkat Transmisi Kendaraan Listrik

Pada *flowchart* ini akan dijabarkan tentang perhitungan rasio dan jumlah tingkat transmisi pada kendaraan sebagai berikut:





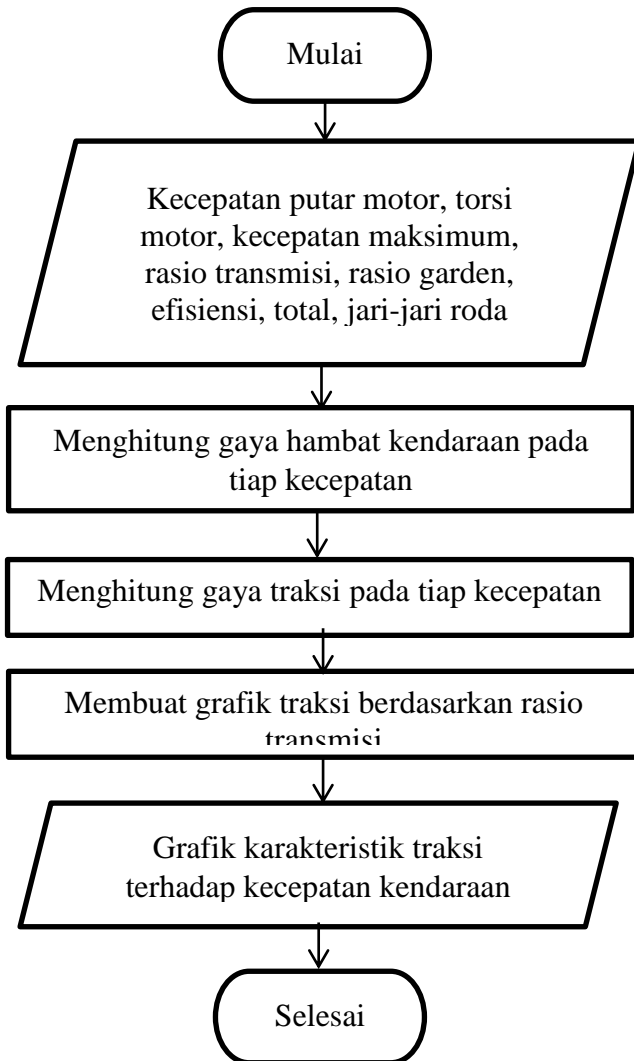
Gambar 3. 12 Flowchart perhitungan rasio transmisi

Diagram alir diatas menerangkan tentang perhitungan rasio dan tingkat transmisi yang dilakukan dalam penelitian. Adapun langkah-langkahnya ialah:

1. Pertama ialah mendapatkan data kecepatan putar motor, daya dan torsi motor, kecepatan maksimum kendaraan, dan sudut tanjak maksimum kendaraan yang dikehendaki.
2. Langkah kedua ialah menghitung rasio transmisi awal, dimana perhitungan kendaraan harus dapat melalui sudut tanjakan maksimum kendaraan menggunakan persamaan 2.13. Pada perhitungan ini digunakan rasio gardan yang sama dengan mobil bensin yakni 5.077.
3. Ketiga ialah menghitung rasio transmisi selanjutnya, dimana perhitungan harus dapat melalui kecepatan maksimum yang ditentukan dengan persamaan 2.14.
4. Berikutnya ialah menghitung kecepatan *base* dan kecepatan maksimum yang dihasilkan pada tiap transmisi yang telah dihitung dengan persamaan 2.15 dan 2.16.
5. Kemudian menghitung gaya dorong maksimum dan minimum yang dihasilkan oleh transmisi. Setelahnya dibuat grafik traksi dari perhitungan gaya dorong yang telah dilakukan.
6. Terakhir ialah menganalisa kesesuaian grafik traksi dengan teori yang ada, sehingga didapatkan nilai rasio transmisi, kecepatan *base*, kecepatan maksimum tiap transmisi, dan gaya dorong maksimum dan minimum tiap transmisi.

3.4.6 Menghitung Karakteristik Traksi Kendaraan Listrik

Berikut merupakan perhitungan karakteristik pada kendaraan listrik Toyota Calya E M/T yang disajikan dalam bentuk *flowchart*.



Gambar 3. 13 *Flowchart* perhitungan traksi kendaraan Toyota Calya listrik

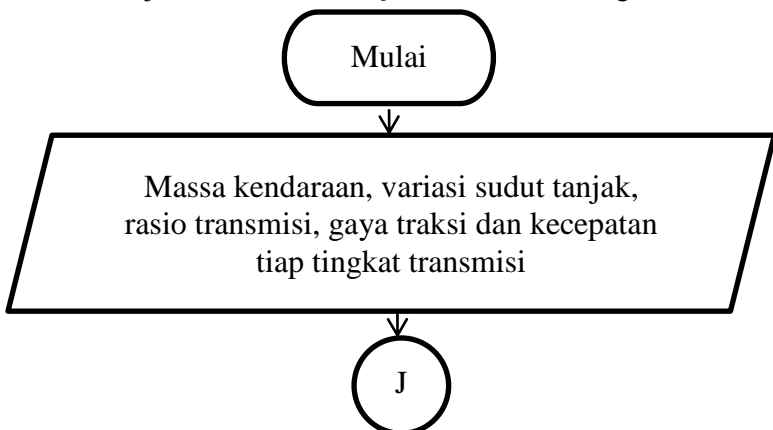
Pada gambar 3.11 dijelaskan tentang *flowchart* untuk mendapatkan acuan desain kendaraan yang akan dikonversikan ke dalam mobil listrik sebagai berikut:

1. Tahap pertama setelah diketahui data *power* dan torsi motor listrik, rasio transmisi yang dirancang, rasio gardan, efisiensi transmisi, jari-jari roda, dan sudut tanjak ialah menghitung gaya hambat kendaraan seperti pada *flowchart* 3.4.7 dan gaya traksi pada torsi *base* dengan persamaan 2.17 pada setiap tingkat transmisi.
2. Tahap kedua ialah melakukan perhitungan kecepatan kendaraan setiap tingkat transmisi dengan persamaan 2.15.
3. Setelah dilakukan perhitungan, dibuat grafik traksi terhadap kecepatan dan gaya hambat yang sudah didapat pada *flowchart* 3.4.7 sehingga dapat dianalisa kecepatan maksimum dan nilai traksi yang dihasilkan motor listrik maksimum dan minimum setiap tingkat kecepatan kendaraan.

83

3.4.7 Menghitung Karakteristik *Power* Kendaraan Listrik

Berikut merupakan perhitungan karakteristik *power* yang ditunjukkan dalam bentuk *flowchart* 3.14 sebagai berikut.





Gambar 3. 14 *Flowchart* perhitungan karakteristik power kendaraan Toyota Calya listrik

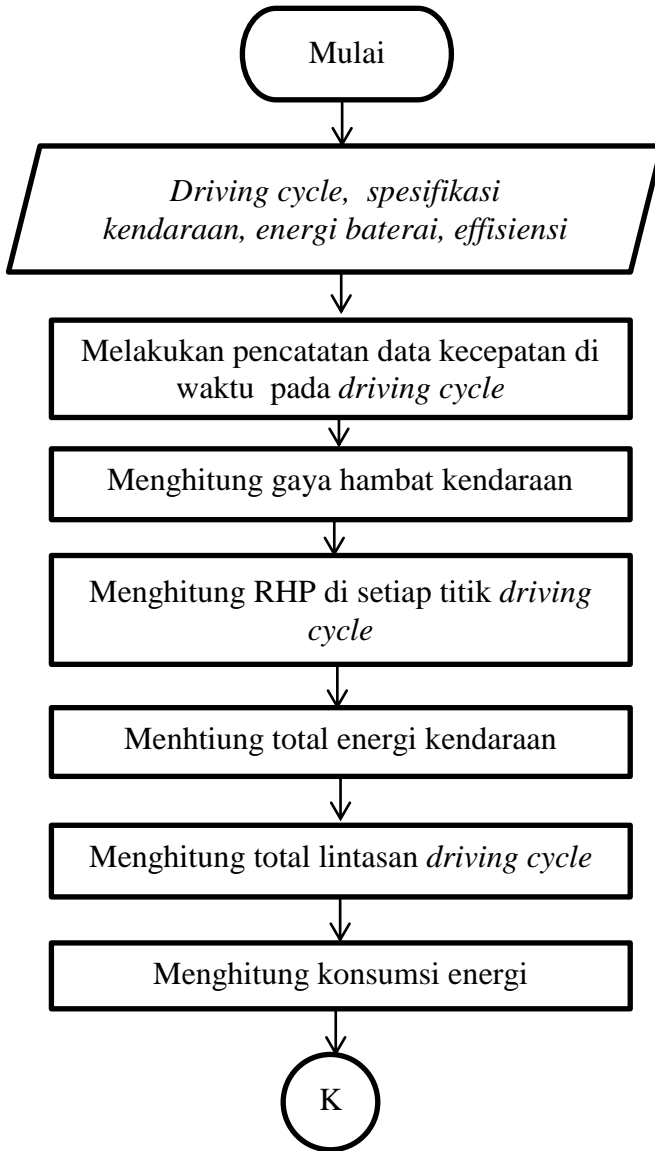
Adapun langkah-langkan untuk menganalisa *power* pada tiap kecepatan tingkat transmisi ialah:

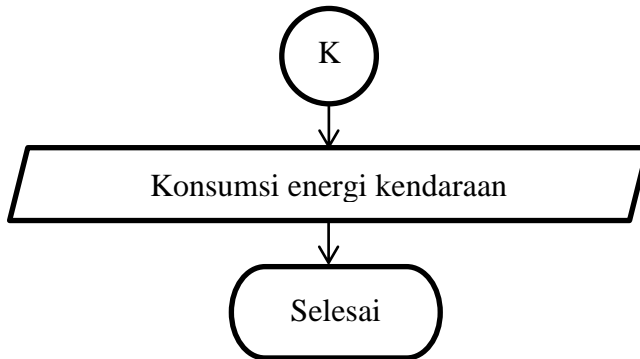
1. Tahap pertama dilakukan perhitungan gaya hambat kendaraan dengan data spesifikasi kendaraan, spersifikasi motor meliputi nilai torsi dan *power* tiap kecepatan putar, variasi sudut tanjak, dan kecepatan maksimum dari kendaraan. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2.10. Adapun variasi sudut tanjak yang digunakan ialah dari 0° hingga tanjakan maksimum dengan interval kenaikan 5° .
2. Kemudian ialah menghitung *power* yang dibutuhkan dari tiap sudut tanjak dengan persamaan 2.20.
3. Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap *power* pada setiap tingkat transmisi terhadap gaya traksi dan kecepatan yang telah didapat pada *flowchart* 3.4.7 dengan persamaan 2.21.
4. Kemudian membuat grafik karakteristik *power* kendaraan berdasarkan kebutuhan *power* akan gaya hambat, *power* yang dapat diberikan oleh transmisi, dan kecepatan tiap tingkat transmisi

85

3.4.8 Menghitung Konsumsi Energi dan Kemampuan Jelajah Kendaraan

Adapun cara menghitung konsumsi energi dan kemampuan jelajah kendaraan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3. 15 *Flowchart* perhitungan konsumsi energi dan kemampuan jelajah kendaraan

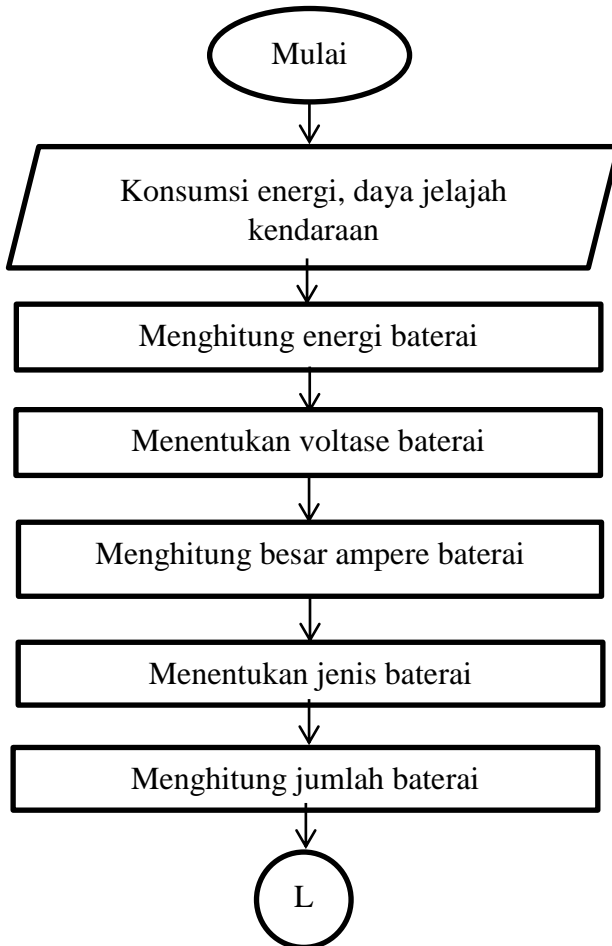
Adapun langkah menghitung konsumsi energi dan kemampuan jelajah kendaraan pada penelitian ini adalah:

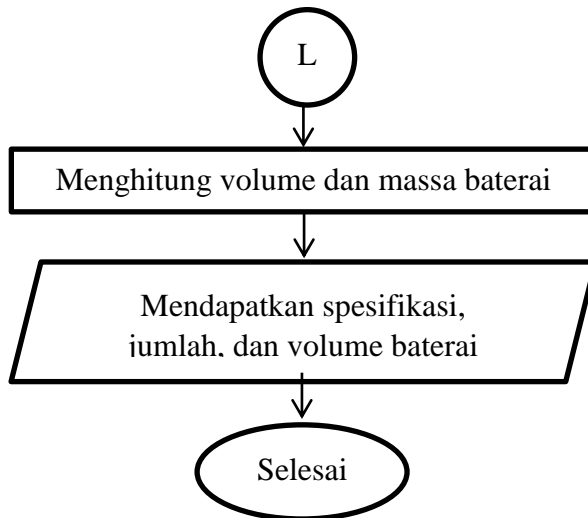
1. Setelah menentukan *driving cycle WLTP* yang digunakan, selanjutnya ialah melakukan pencatatan data kecepatan di setiap titik-titik percepatan dan pengereman pada *driving cycle* pilihan. Pemilihan kelas *driving cycle* ditentukan berdasarkan persamaan 2.23.
2. Kedua ialah menghitung gaya hambat total kendaraan. Pada perhitungan diasumsikan bahwa lintasan yang dilalui selama *driving cycle* ialah rata sehingga gaya hambat hanya dipengaruhi oleh gaya hambat aerodinamis, gaya hambat rolling, dan gaya inersia kendaraan menggunakan persamaan 2.25.
3. Langkah ketiga ialah menghitung nilai RHP di setiap titik *driving cycle* menggunakan persamaan 2.26. Perhitungan RHP dilakukan pada keadaan kendaraan melaju dengan akselerasi dan kendaraan mengalami deakselerasi.
4. Langkah berikutnya ialah menghitung total lintasan kendaraan berdasarkan data konsumsi energi yang terhitung dan penggunaan energi baterai yang telah ditentukan dengan persamaan 2.29.

5. Menghitung konsumsi energi kendaraan menggunakan persamaan 2.24. Sehingga didapatkan konsumsi energi untuk mobil Toyota Calya ICE dan Toyota Calya BEV.

3.4.9 Menentukan Spesifikasi Baterai

Berikut merupakan alur pemilihan spesifikasi baterai yang digunakan pada desain mobil listrik Toyota Calya.





Gambar 3. 16 *Flowchart* pemilihan baterai

89

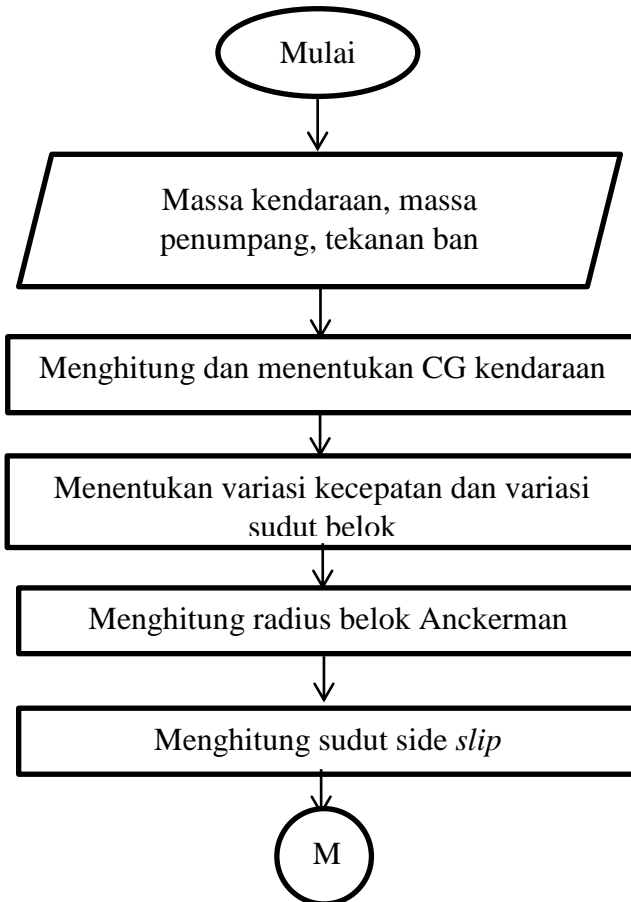
Adapun langkah-langkah dalam menentukan baterai adalah sebagai berikut:

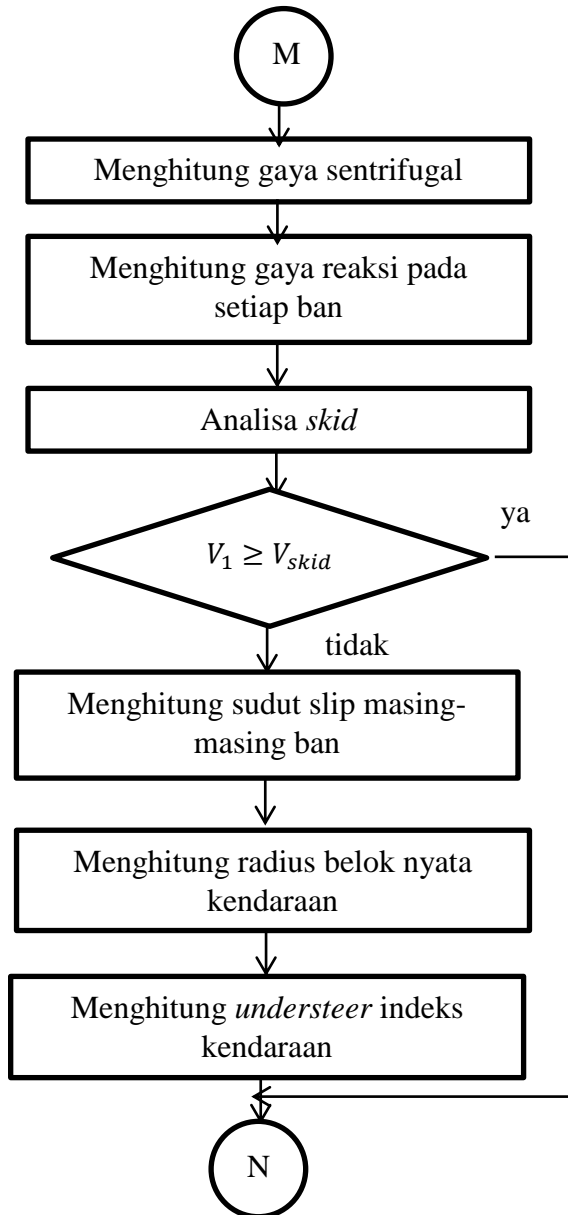
1. Pertama setelah dilakukan penentuan besar energi baterai *pack* yang digunakan, ialah menetapkan voltase baterai yang akan digunakan. Nilai voltase baterai ditetapkan berdasarkan spesifikasi motor sehingga nilai voltase baterai sama dengan voltase motor.
2. Langkah berikutnya ialah menghitung besar ampere baterai. Dengan voltase yang digunakan disesuaikan dengan motor listrik, maka dapat diperoleh perhitungan besar ampere baterai yang dibutuhkan berdasarkan rumus 2.12.
3. Terakhir ialah menentukan jumlah baterai yang diperlukan berdasarkan ketersediaan baterai di pasaran untuk spesifikasi baterai yang dibutuhkan

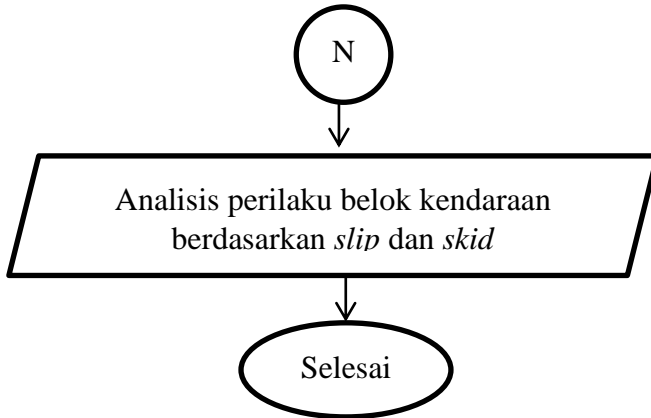
kendaraan. Sehingga didapatkan spesifikasi, dimensi, massa, dan jumlah baterai yang digunakan.

3.4.10 Perhitungan *Slip*, *Skid*

Perhitungan slip dan guling kendaraan digunakan untuk mengetahui analisis perilaku kendaraan ketika berbelok. Adapun alur perhitungan yang digunakan dapat dilihat pada gambar berikut







Gambar 3. 17 Alur perhitungan *slip* dan *skid* untuk analisis perilaku belok kendaraan

Adapun alur perhitungan untuk menganalisis stabilitas kendaraan ialah sebagai berikut:

1. Pertama ialah menentukan nilai *center of gravity* pada kendaraan yang akan dianalisis. Untuk kendaraan Toyota Calya ICE, perhitungan CG dengan menggunakan rumus 2.32 dan 2.33. Sedangkan untuk Toyota Calya BEV dilakukan perhitungan dengan 2.34 dan 2.35 dengan variasi tempat baterai. Kemudian dilakukan perhitungan CG dengan 5 penumpang.
2. Kedua menentukan kecepatan yang divariasikan untuk berbelok yaitu 20 sampai dengan 50 km/jam dengan interval 5 km/jam. Sedangkan sudut belok yang divariasikan ialah: 0° sampai dengan 30° dengan interval 5° .
3. Setelah didapatkan data-data berupa massa kendaraan, *center of gravity* kendaraan, jenis dan ukuran ban. Dilakukan perhitungan radius Anckerman berdasarkan persamaan 2.43.

4. Kemudian menentukan perhitungan pada sudut *side slip* dengan persamaan 2.44.
5. Lalu menghitung besarnya gaya sentrifugal pada roda depan dan belakang.
6. Selanjutnya menghitung gaya reaksi yang diterima setiap ban pada arah sumbu x, y, dan z dengan persamaan 2.45 dan 2.46 untuk sumbu x, 2.47 dan 2.48 untuk sumbu y, dan 2.49, 2.50, 2.51 dan 2.52 untuk sumbu z.
7. Langkah berikut menghitung sudut slip tiap ban depan dan belakang, kemudian dirata-ratakan dari kedua roda kiri dan kanan depan atau belakang.
8. Tahap berikutnya ialah menghitung kecepatan maksimum kendaraan berdasarkan kecepatan maksimum *skid* dengan persamaan 2.53 dan 2.54.
9. Berikutnya ketika kecepatan yang dihitung lebih kecil dari kecepatan *skid*, maka dilakukan peninjauan terhadap guling dengan menghitung kecepatan maksimum kendaraan berdasarkan guling dengan persamaan 2.55 dan 2.56.
10. Langkah selanjutnya ialah menghitung tadius belok nyata dengan persamaan 2.57.
11. Setelahnya dilakukan perhitungan nilai koefisien *understeer* (Kus) dengan persamaan 2.58. Sehingga setelah didapatkan perhitungan, dapat dilakukan analisis perilaku arah belok kendaraan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan contoh perhitungan, analisis, dan pembahas mengenai performa kendaraan ICE, pemilihan motor, perhitungan karakteristik traksi dan *power* kendaraan litrik, perhitungan konsumsi energi, pemilihan baterai, dan analisis perilaku belok kendaraan berdasarkan *skid* dengan variasi yang telah ditentukan.

4.1 Performa Kendaraan ICE

Dalam menentukan performa kendaraan listrik yang akan dirancang, diperlukan perhitungan terhadap performa kendaraan bensin dengan model yang sudah ditentukan. Dalam menentukan performa kendaraan ICE, dilakukan perhitungan terhadap gaya hambat kendaraan dan gaya traksi kendaraan untuk mendapatkan kecepatan maksimum kendaraan dan sudut tanjak kendaraan.

4.1.1 Gaya Hambat Kendaraan ICE

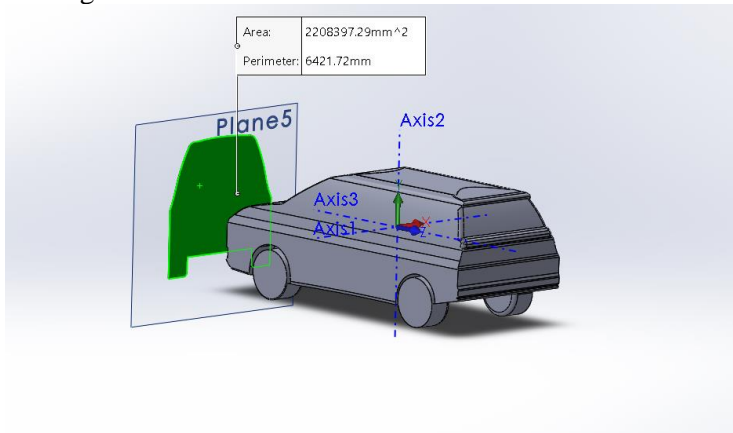
Dalam menentukan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan, diperlukan perhitungan gaya hambat yang mempengaruhi kendaraan. Pada perancangan ini terdapat tiga gaya hambat, yakni gaya hambat aerodinamis, gaya hambat *rolling*, dan gaya hambat tanjak. Setelah menghitung gaya hambat kendaraan, maka dilakukan perhitungan gaya traksi dari transmisi sehingga didapatkan performa kendaraan ICE sebagai acuan desain kendaraan.

4.1.1.1 Gaya Hambat Aerodinamis

Pada subbab ini akan dibahas mengenai penentuan faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan gaya hambat aerodinamis yang dipengaruhi variasi kecepatan kendaraan.

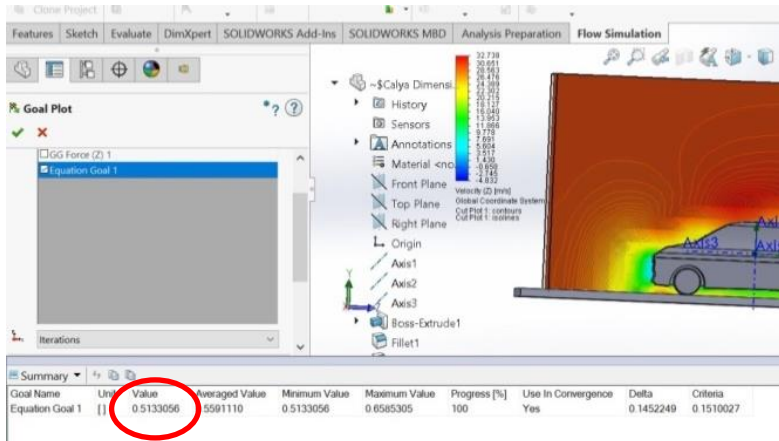
4.1.1.1.1 Penentuan Luas Frontal Kendaraan dan Koefisien Drag

Dalam menentukan luas frontal kendaraan Toyota Calya, dilakukan pemodelan kendaraan tersebut mengikuti ukuran pada spesifikasi kendaraan Toyota Calya seperti pada tabel 3.1 menggunakan *software* Solidwork 2016. Setelah melakukan pemodelan, didapatkan hasil luas frontal kendaraan seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 1 Luas frontal kendaraan berdasarkan modelling Solidwork

Pada gambar tersebut, didapatkan nilai frontal kendaraan Toyota Calya bernilai 2,208397 m² atau mendekati 2,21 m². Untuk mendapatkan nilai koefisien *drag* kendaraan dengan model yang ada, dilakukan simulasi Solidwork dengan menggunakan 5 variasi kecepatan yaitu 30 m/s, 35 m/s, 40 m/s, 45 m/s, dan 50 m/s. Adapun contoh simulasi yang dilakukan dengan kecepatan 30 m/s dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 2 Simulasi nilai Cd Kendaraan dengan kecepatan 30 m/s

Gambar di atas menunjukkan bahwa dengan simulasi kecepatan kendaraan 30 m/s didapatkan koefisien *drag* kendaraan bernilai 0,51. Setelah didapatkan nilai dari masing-masing kecepatan dan dari literatur yang ada, maka didapatkan nilai rata-rata dari setiap kecepatan sehingga menjadi nilai yang diambil untuk koefisien *drag* kendaraan Toyota Calya bernilai 0.5. Berdasarkan teori nilai koefisien *drag* pada tabel 2.8, koefisien *drag* kendaraan dengan model kendaraan van bernilai 0.5-0.7 sehingga nilai yang didapatkan Solidwork dapat digunakan.

4.1.1.1.2 Perhitungan Gaya Hambat Aerodinamis

Berdasarkan nilai luas frontal kendaraan dan koefisien *drag* yang sudah didapatkan, perhitungan gaya hambat aerodinamis dapat dilakukan dengan menggunakan data yang tersedia pada tabel 3.1. Adapun contoh perhitungan gaya hambat aerodinamis

menggunakan persamaan 2.4 pada kecepatan 70 km/jam ialah:

$$\text{Diketahui: } \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3 \quad A_f = 2,21 \text{ m}^2$$

$$C_d = 0,5 \quad V_a = 70 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 19,44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ditanya: $R_a = \dots ?$

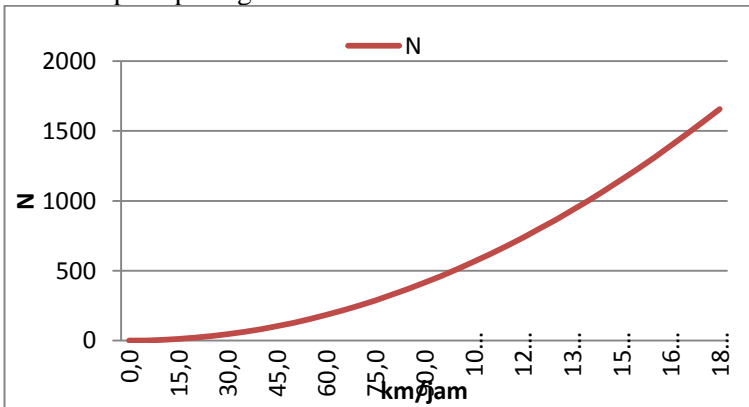
$$\text{Jawab} \quad : R_a = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho \times V_a^2 \times A_f$$

$$R_a = \frac{1}{2} \times 0,5 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times (19,4444 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

$$\times 2,208397 \text{ m}^2$$

$$R_a = 250.44 \text{ N}$$

Sehingga dari perhitungan gaya hambat tersebut terhadap variasi kecepatan, didapatkan grafik gaya hambat aerodinamis terhadap kecepatan kendaraan seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 4.3 Grafik gaya hambat aerodinamis Toyota Calya ICE

Pada gambar grafik 4.3 dapat terlihat bahwa nilai gaya hambat aerodinamis kendaraan Toyota Calya

semakin besar dengan bertambahnya kecepatan kendaraan. Gaya hambat aerodinamis bernilai paling kecil ketika kendaraan berada pada posisi diam (kecepatan 0 km/jam) dengan nilai 0 N, dan pada kecepatan 180 km/jam nilai gaya hambat aerodinamisnya ialah 1689 N. Nilai tersebut sesuai dengan teori yang ada dimana semakin besar kecepatan kendaraan, maka semakin besar pula nilai gaya hambat aerodinamis kendaraan.

4.1.1.1.2 Gaya Hambat Rolling

Pada subbab ini akan dilaukan pembahasan mengenai penentuan nilai koefisien *rolling* kendaraan, perhitungan dan analisis gaya hambat *rolling* dengan variasi kecepatan dan variasi sudut tanjak kendaraan 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , dan 30° .

4.1.1.2.1 Penentuan Nilai Koefisien Rolling Kendaraan

Penentuan nilai koefisien *rolling resistance* kendaraan pada penelitian ini dapat ditentukan menggunakan teori J.J. Taborek dimana dengan tekanan ban yang sudah diketahui, didapatkan nilai koefisien f_o dan f_s . Pada penelitian ini, tekanan ban kendaraan Toyota Calya bernilai 36 psi sehingga dari gambar grafik 2.10 didapatkan nilai f_o ialah 0,01 dan f_s adalah 0,004.

4.1.1.2.2 Perhitungan Gaya Hambat Rolling

Pada perhitungan gaya hambat *rolling* digunakan variasi kecepatan untuk menghitung besar koefisien *rolling resistance* dan variasi tanjakan untuk menghitung gaya hambat *rolling* yang terjadi pada kondisi kendaraan melaju. Berdasarkan nilai f_o dan f_s yang didapatkan pada 4.1.1.2.1 dengan menggunakan kecepatan kendaraan sebesar 50 km/jam, didapatkan nilai koefisien *rolling* kendaraan seperti berikut.

Diketahui : $f_o = 0,01$ $f_s = 0,004$

$$V = 50 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 13,889 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ditanya: $f_r = \dots?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad : f_r &= f_o + f_s \left(\frac{v}{100} \right)^{2,5} \\ f_r &= 0,01 + 0,004 \left(\frac{13,889 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{100} \right)^{2,5} \\ f_r &= 0,0108 \end{aligned}$$

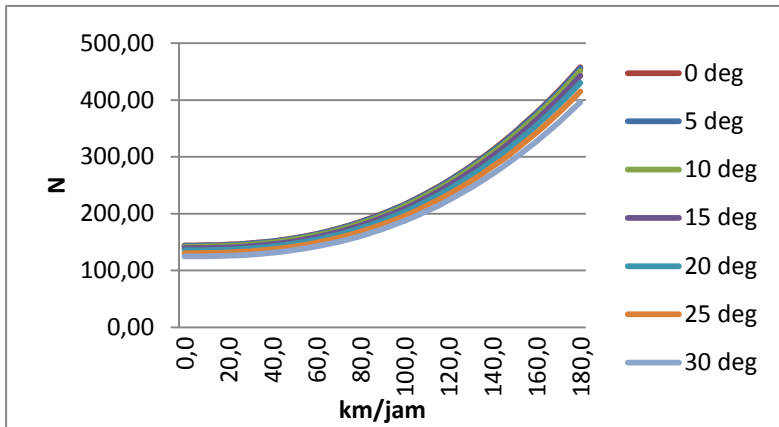
Setelah diketahui nilai koefisien *rolling resistance* kendaraan pada kecepatan tertentu, maka nilai gaya hambat *rolling* kendaraan dapat dihitung. Menggunakan gaya berat kendaraan sebesar 981 kg, berat penumpang penuh bernilai 490 kg dan sudut tanjak 15° didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad : m_k &= 981 \text{ kg} & m_{pass} &= 490 \text{ kg} \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 & f_r &= 0,0108 \\ \theta &= 15^\circ \end{aligned}$$

Ditanya: $R_r = \dots?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad : R_r &= f_r \times W \times \cos\theta \\ R_r &= 0,0108 \times (981 \text{ kg} + 490 \text{ kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &\quad \times \cos(15^\circ) \\ R_r &= 151,090 \text{ N} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan gaya hambat *rolling* kendaraan, dilakukan *plotting* hasil perhitungan seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 4 Grafik Gaya hambat *rolling* Toyota Calya ICE

Gambar 4.4 di atas merupakan grafik gaya hambat *rolling* terhadap kecepatan kendaraan. Pada sudut 0° nilai minimum gaya hambat *rolling* sebesar 144.31 N dan bertambah seiring bertambahnya kecepatan hingga nilai maksimumnya pada 180 km/jam sebesar 457.95 N. Sedangkan pada sudut tanjak 30° memiliki gaya minimum dan maksimum sebesar 124.97 N dan 396.6 N.

Semakin besar kecepatan kendaraan, maka gaya hambat *rolling* kendaraan semakin besar, hal tersebut dikarenakan nilai koefisien *rolling resistance* yang berbanding lurus dengan kecepatan kendaraan. 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 30° .

4.1.1.3 Gaya Hambat Gradien

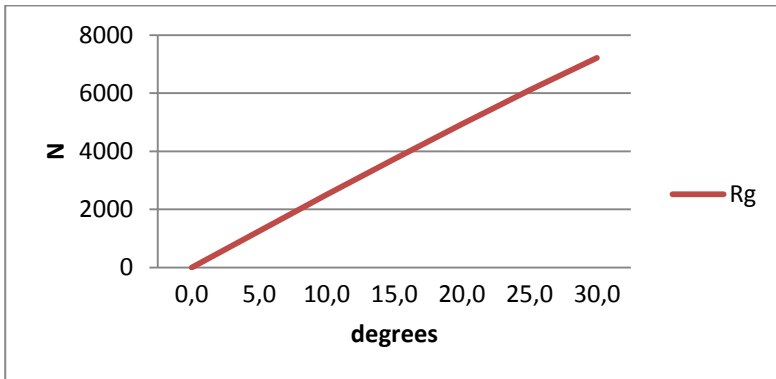
Pada subbab ini dilakukan perhitungan gaya hambat yang terjadi akibat tanjakan dengan variasi sudut tanjak 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , dan 30° . Berdasarkan variasi sudut yang telah ditentukan dan berat total kendaraan Toyota Calya bermuatan penumpang penuh, maka dilakukan perhitungan terhadap gaya hambat gradien menggunakan persamaan 2.7. Adapun contoh perhitungan gaya hambat gradien dengan sudut tanjak 10° ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : m_{tot} = 981 \text{ kg} & m_{pass} = 490 \text{ kg} \\ & g = 9,81 \text{ m/s}^2 & \theta = 10^\circ \end{aligned}$$

Ditanya: $R_r = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : R_g = W \times \sin\theta \\ R_g &= (981 \text{ kg} + 490 \text{ kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times \sin(10^\circ) \\ R_g &= 2505.83 \text{ N} \end{aligned}$$

, maka dilakukan plotting hasil perhitungan tersebut menjadi grafik seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 5 Grafik gaya hambat gradien Toyota Calya ICE dengan 7 penumpang

Pada gambar di atas merupakan grafik gaya hambat tanjakan terhadap sudut tanjakan. Terlihat bahwa seiring

meningkatnya sudut tanjak kendaraan, gaya hambat gradien yang terjadi semakin besar. Nilai gaya hambat gradien terbesar terjadi pada sudut 30° dengan besar 7215.26 N. Sedangkan gaya hambat gradien terkecil terjadi pada sudut 0° dengan besar 0 N.

Gaya hambat gradien merupakan gaya hambat yang terjadi karena kendaraan melewati medan jalan yang memiliki sudut tanjakan tertentu sehingga berat dari kendaraan akan bertambah karena adanya pengaruh dari gravitasi bumi. Grafik 4.5 sesuai dengan teori dimana nilai gaya hambat gradien semakin meningkat seiring dengan bertambahnya sudut tanjak yang dilalui kendaraan.

4.1.1.4 Gaya Hambat Total

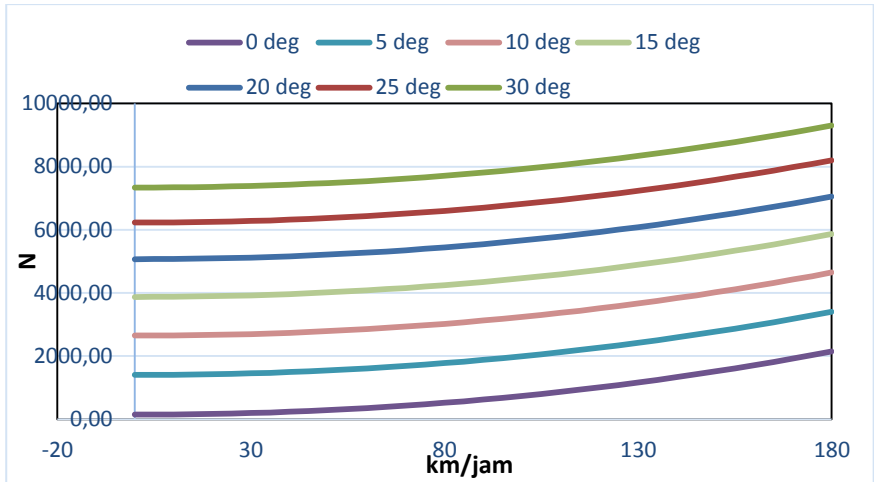
Gaya hambat total kendaraan merupakan penjumlahan dari seluruh gaya hambat yang terjadi pada kendaraan. Berdasarkan nilai gaya hambat aerodinamis, gaya hambat *rolling*, dan gaya hambat gradien yang terjadi pada kendaraan dengan variasi kecepatan dan sudut tanjak kendaraan, dapat dilakukan perhitungan terhadap gaya hambat total kendaraan. Adapun contoh perhitungan gaya hambat yang terjadi pada kecepatan 50 km/jam dengan sudut tanjak 25° menggunakan persamaan 2.9 ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} & : R_{r25} = 142.34 \text{ N} & R_{a25} = 127.78 \text{ N} \\ & R_{g25} = 6098.6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Ditanya: } F_r = \dots ?$$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} & : F_r = R_r + R_a + R_g \\ & F_r = 142.34 \text{ N} + 127.78 \text{ N} + 6098.6 \text{ N} \\ & F_r = 6368.72 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan seperti di atas, hasil perhitungan tersebut dapat diplotting menjadi grafik sehingga didapatkan grafik gaya hambat total kendaraan terhadap kecepatan seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 6 Grafik gaya hambat total Toyota Calya ICE 7 penumpang

Gaya hambat total kendaraan Toyota Calya seperti pada gambar di atas, terlihat bahwa semakin bertambahnya kecepatan kendaraan maka nilai gaya hambat total kendaraan semaksimal meningkat. Nilai gaya hambat maksimum terdapat pada sudut tanjak 30° dengan nilai antara 7340.1 N - 9301 N. Pada sudut tanjak 20° dengan nilai antara 5071 N - 7021 N. Pada sudut tanjak 10° dengan nilai antara 2647 N - 4612.83 N. Sedangkan nilai gaya hambat minimum terdapat pada sudut tanjak 0° dan kecepatan 0 m/s dengan nilai antara 144.31 N - 2113.95 N.

4.1.2 Karakteristik Traksi Kendaraan ICE

Gaya traksi kendaraan ICE merupakan gaya yang dapat disalurkan oleh *engine* melalui transmisi agar kendaraan dapat melawan gaya hambat untuk melaju.

4.1.2.1 Penentuan *Effisiensi Transmisi*

Berdasarkan penelitian Rachma Dwi Mahmuddah yang meneliti tentang perbandingan efisiensi transmisi manual pada mobil dengan 5 tingkat transmisi, didapatkan efisiensi transmisi manual sebesar 83%. Hal inilah yang menjadi dasar digunakannya efisiensi transmisi dengan nilai 0.83 pada penelitian ini.

4.1.2.2 *Perhitungan Gaya Traksi Kendaraan ICE*

Adapun data yang dibutuhkan untuk menghitung gaya traksi yang dapat disalurkan ialah dengan data spesifikasi pada tabel 3.1, nilai torsi-*power* kendaraan Toyota Calya setiap kecepatan pada tabel 3.2 dan juga asumsi efisiensi transmisi untuk roda penggerak depan dengan literatur yang ada ialah 0,83 untuk transmisi dengan 5 tingkat kecepatan. Untuk menghitung gaya traksi kendaraan ICE, digunakan persamaan 2.1 dengan contoh perhitungan gaya traksi pada kecepatan 3000 rpm dan transmisi ke-3 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : T_{3000} = 111,7 \text{ Nm} & i_3 = 1,25 \\ & i_g = 5,077 & r = 0,28 \text{ m} \\ & \eta_t = 0,83 \end{aligned}$$

Ditanya: $F_t = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : F_t = \frac{i_t \cdot i_g \cdot T_e}{R} \times \eta_t \\ F_t & = \frac{1,25 \times 5,077 \times 111,7 \text{ Nm}}{0,28 \text{ m}} \times 0,83 \\ F_t & = 2100.68 \text{ N} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mengetahui kecepatan kendaraan saat melaju pada torsi tertentu, dilakukan perhitungan kecepatan kendaraan pada kecepatan 3000 rpm dan transmisi ke-3 dengan persamaan 2.2 didapatkan dengan perhitungan berikut.

$$\text{Diketahui} \quad : \omega_{3000} = 3000 \text{ rpm} \quad i_3 = 1,25$$

$$i_g = 5,077 \qquad r = 0,28 \text{ m}$$

Ditanya: $v_{k3} = \dots?$

Jawab

$$v_{kt} = \frac{2\pi \cdot \omega \cdot r}{60 \cdot i_g \cdot i_t}$$

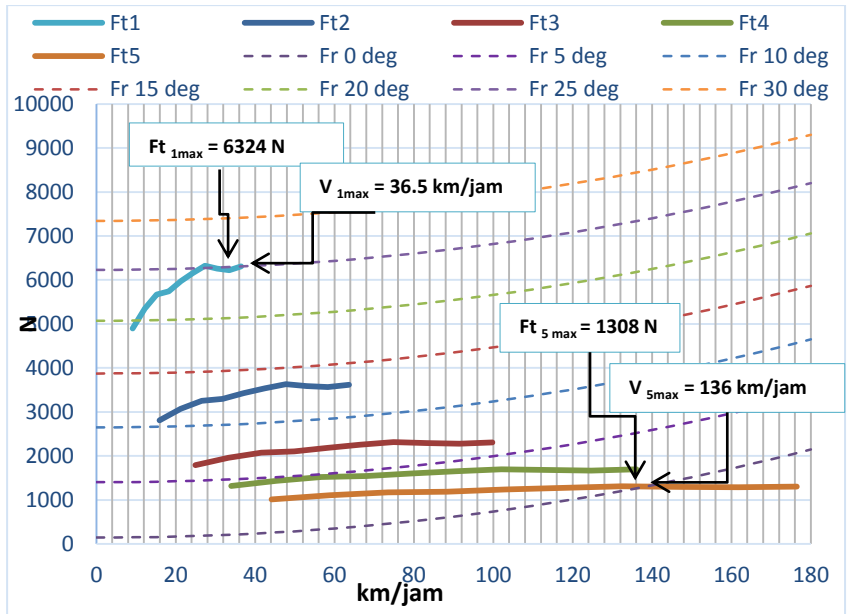
$$v_{kt} = \frac{2\pi \times 3000 \text{ rpm} \times 0,28 \text{ m}}{60 \times 5,077 \times 1,25}$$

$$v_{kt} = 49,899 \text{ km/jam}$$

Setelah dilakukan perhitungan terhadap gaya traksi yang dapat diberikan mesin dan kecepatan kendaraan Toyota Calya, maka hasil perhitungan diploting pada grafik gaya terhadap kecepatan kendaraan.

4.1.3 Analisa Performa Kendaraan ICE

Setelah dilakukan perhitungan terhadap gaya hambat ICE dan gaya traksi kendaraan Toyota Calya, maka dapat dilakukan analisis performa kendaraan ICE berupa kemampuan tanjak kendaraan dan kecepatan maksimum kendaraan sehingga dapat dijadikan acuan desain untuk kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik. Adapun analisis yang dilakukan ialah dengan mengamati grafik gaya hambat dan gaya traksi kendaraan tersebut di dalam satu kurva seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 7 Grafik gaya traksi dan gaya hambat vs. Kecepatan Toyota Calya ICE

Pada gambar di atas, terlihat gaya hambat dan gaya traksi kendaraan ICE Toyota Calya pada satu grafik. Gaya traksi maksimum yang dapat diberikan pada gigi 1 ialah 6324.4 N, sedangkan pada gigi 2 ialah 3627.7 N, gigi 3 sebesar 2313.6 N, gigi 4 sebesar 1697.24 N, dan pada gigi terakhir sebesar 1308.7 N. Sedangkan untuk kecepatan maksimum yang dapat dicapai setiap transmisinya ialah 36.508 km/jam pada gigi pertama, 63.647 km/jam pada gigi kedua, 99.798 pada gigi ketiga, 136 pada gigi keempat, dan 176.45 pada gigi terakhir. Pada grafik pula terlihat bahwa gigi pertama mampu menanjak maksimum sekitar 25° pada kecepatan 28 km/jam, sedangkan untuk gigi ke-2 mampu menanjak sekitar 18° pada 45 km/jam, gigi ke-3 mampu menanjak sekitar 7° pada 75 km/jam, gigi ke-4 mampu menanjak

sekitar 5° pada 60 km/jam, dan gigi 5 sebesar 0° pada kecepatan 136 km/jam.

Grafik karakteristik traksi *engine* terhadap kecepatan kendaraan memperlihatkan bahwa kurva traksi meningkat, kemudian menurun setelah mencapai pada nilai maksimum pada kecepatan tertentu. Hal tersebut dikarenakan karakteristik nilai torsi mesin yang mengalami kenaikan hingga mencapai nilai maksimum sebesar 123 Nm pada kecepatan 4500 rpm, kemudian mengalami penurunan hingga kecepatan maksimum. Untuk melihat perfora kendaraan, digunakan grafik gaya hambat total dari kendaraan sehingga diketahui nilai sudut tanjak maksimum dan kecepatan maksimum dimana kurva gaya traksi akan memotong kurva gaya hambat total kendaraan.

Sehingga dari karakteristik traksi kendaraan Toyota Calya ICE, diketahui nilai gaya dan kecepatan yang dapat dicapai memotong garis gaya hambat total kendaraan ICE. Untuk kemampuan tanjak kendaraan gaya traksi maksimum pada transmisi tingkat pertama hanya dapat memotong gaya hambat total kendaraan dengan sudut tanjak maksimum sebesar 25° . Sedangkan untuk kecepatan maksimum yang dapat dicapai kendaraan pada transmisi tingkat akhir Toyota Calya bertenaga bensin yang dapat ditempuh ialah sebesar 136 km/jam.

4.2 Gaya Hambat Kendaraan Listrik

Pada konversi mobil Toyota Calya bertenaga bensin menjadi mobil Toyota Calya bertenaga listrik, diperlukan komponen motor listrik sebagai pengganti *engine* pada kendaraan. Pada bab ini akan dibahas perhitungan dan analisa gaya hambat kendaraan, pemilihan motor listrik, desain rasio transmisi, karakteristik traksi serta karakteristik *power* kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik. Pada subbab 4.1 telah dibahas bahwa kendaraan Toyota Calya ICE mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 136 km/jam dan menanjak dengan tanjakan maksimum 25° yang menjadi dasar performa kendaraan listrik yang diinginkan.

4.2.1 Gaya Hambat Aerodinamis

Adapun nilai yang digunakan ialah nilai luas frontal kendaraan sebesar 2.208 m^2 , nilai koefisien *drag* kendaraan sebesar 0.51. Adapun contoh perhitungan gaya hambat aerodinamis kendaraan listrik pada kecepatan 50 km/jam dengan persamaan 2.4 ialah sebagai berikut.

$$\text{Diketahui} \quad : \rho = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad A_f = 2,208397 \text{ m}^2$$

$$C_d = 0,5 \quad V_a = 50 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 13,889 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

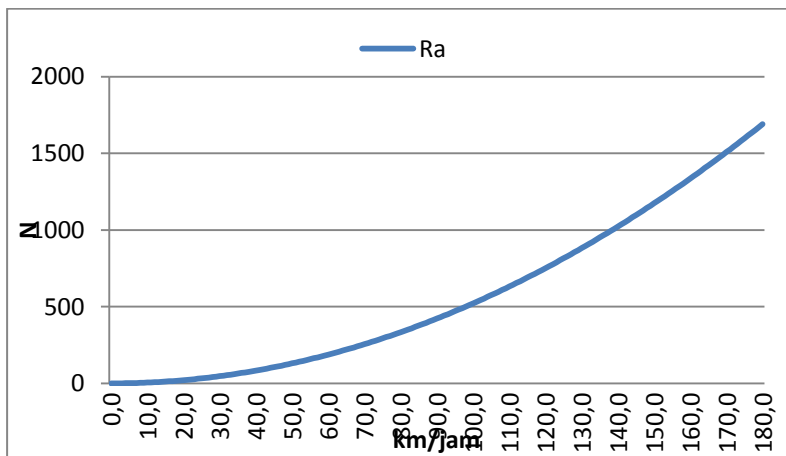
Ditanya: $R_a = \dots ?$

$$\text{Jawab} \quad : R_a = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho \times V_a^2 \times A_f$$

$$R_a = \frac{1}{2} \times 0,51 \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(13,889 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \times 2,208397 \text{ m}^2$$

$$R_a = 127.89 \text{ N}$$

Adapun gaya hambat aerodinamis kendaraan listrik yang sudah dihitung kemudian diplotting dalam bentuk grafik gaya hambat terhadap kecepatan kendaraan ialah sebagai berikut.



Gambar 4. 8 Gaya Hambat aerodinamis kendaraan Toyota Caya BEV

Dari gambar 4.8 terlihat grafik gaya hambat yang meningkat seiring dengan kecepatan kendaraan yang meningkat. Hal ini dikarenakan gaya hambat aerodinamis merupakan fungsi kecepatan yang sebanding.

4.2.2 Gaya Hambat Rolling

Untuk menghitung gaya hambat *rolling* kendaraan, diperlukan perhitungan nilai koefisien *rolling resistance* menggunakan nilai koefisien yang sudah ditentukan. Digunakan nilai f_o sebesar 0.01, nilai f_s bernilai 0.004, dan variasi gaya tanjak maksimum yang digunakan ialah 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , dan 30° Adapun perhitungan nilai koefisien *rolling resistance* pada kecepatan 50 km/jam adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : f_o = 0,01 & f_s = 0,004 \\ & V = 50 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 13,889 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Ditanya: $f_r = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : f_r = f_o + f_s \left(\frac{V}{100} \right)^{2,5} \\ & f_r = 0,01 + 0,004 \left(\frac{13,889 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{100} \right)^{2,5} \\ & f_r = 0,0108 \end{aligned}$$

Setelah diketahui nilai koefisien *rolling resistance* kendaraan pada kecepatan tertentu, maka nilai gaya hambat *rolling* kendaraan dapat dihitung. Adapun gaya hambat *rolling* dengan koefisien yang sudah diketahui seperti pada perhitungan 4.1.1.2 dan berat kendaraan listrik sebesar 1270 kg, berat penumpang penuh dan sudut tanjak 20° didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : m_k = 1270 \text{ kg} & m_{\text{pass}} = 490 \text{ kg} \\ & g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} & f_r = 0,0108 \end{aligned}$$

$$\theta = 20^\circ$$

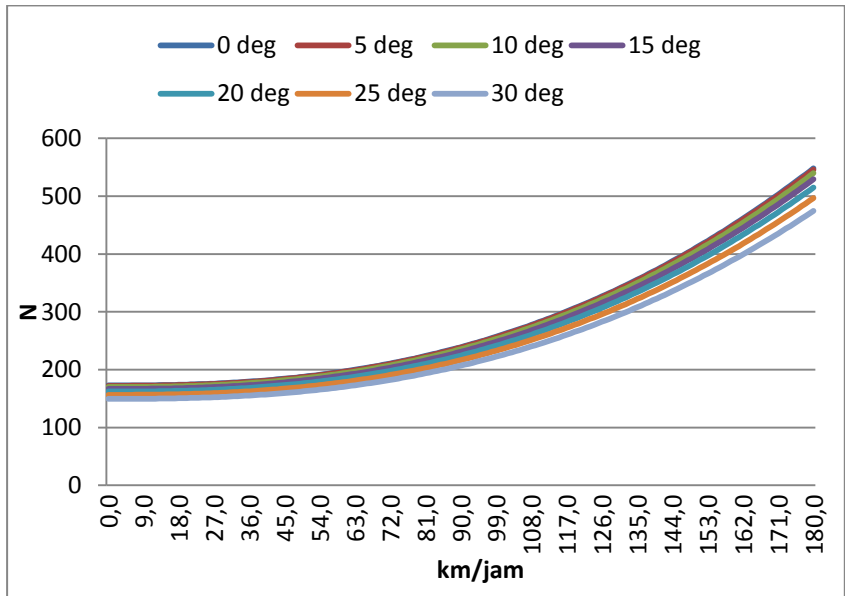
Ditanya: $R_r = \dots?$

Jawab : $R_r = f_r \times W \times \cos\theta$

$$R_r = 0,0108 \times (1270 \text{ kg} + 490 \text{ kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times \cos(20^\circ)$$

$$R_r = 176.6 \text{ N}$$

Setelah dilakukan perhitungan, maka hasil perhitungan yang diubah dalam bentuk grafik gaya hambat *rolling* terhadap kecepatan kendaraan dengan variasi sudut tanjak ialah sebagai berikut.



Gambar 4. 9 Grafik gaya hambat *rolling* Toyota Calya BEV

Dari gambar 4.9 terlihat bahwa nilai gaya hambat *rolling* seiring bertambahnya kecepatan semakin meningkat. Pada sudut tanjak 0° dan kecepatan 0 km/jam didapatkan nilai gaya hambat *rolling* 172.7 N, sedangkan pada kecepatan 180 km/jam bernilai 547.92 N. Pada sudut tanjak 30° nilai gaya hambat *rolling* pada 0

km/jam sebesar 149.52 N dan pada kecepatan 180 km/jam sebesar 474.5 N. Adanya kenaikan nilai gaya hambat *rolling* terhadap kecepatan dikarenakan koefisien *rolling resistance* yang ikut meningkat. Juga semakin besar sudut tanjak yang dialami kendaraan, maka semakin kecil gaya hambat *rolling* nya. Hal tersebut dikarenakan gaya normal yang terjadi pada ban pada jalan yang semakin menanjak akan bernilai semakin kecil.

4.2.3 Gaya Hambat Gradien

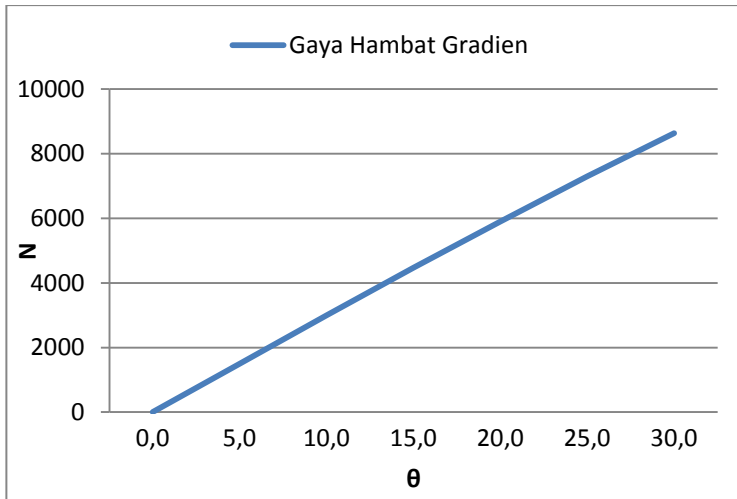
Pada subbab ini dilakukan perhitungan gaya hambat yang terjadi akibat tanjakan dengan variasi sudut tanjak 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , dan 30° . Berdasarkan variasi sudut yang telah ditentukan dan berat total kendaraan Toyota Calya penumpang penuh, maka dilakukan perhitungan terhadap gaya hambat gradien menggunakan persamaan 2.7. Adapun contoh perhitungan gaya hambat gradien dengan sudut tanjak 15° ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : m_{tot} = 1270 \text{ kg} & m_{pass} = 490 \text{ kg} \\ & g = 9,81 \text{ m/s}^2 & \theta = 15^\circ \end{aligned}$$

Ditanya: $R_r = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & R_g = W \times \sin\theta \\ R_g &= (1270 \text{ kg} + 490 \text{ kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times \sin(15^\circ) \\ R_g &= 4468.67 \text{ N} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan, maka dilakukan plotting hasil perhitungan tersebut menjadi grafik seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 10 Gaya hambat tanjakan Toyota Calya BEV

Pada grafik 4.10 terlihat bahwa semakin besar sudut tanjak yang dialami kendaraan maka nilai gaya hambat tanjakan semakin besar. Hal tersebut dikarenakan gaya beban yang dilewati kendaraan semakin besar seiring bertambahnya sudut tanjak. Pada tabel berikut gaya tanjak maksimum didapati pada sudut tanjak 30° dengan nilai 8632.8 N dan gaya hambat tanjak terkecil pada sudut 0° dengan besar 0 N.

113

4.2.4 Gaya Hambat Total Kendaraan Listrik

Setelah melakukan perhitungan pada gaya hambat total kendaraan, maka dilakukan perhitungan terhadap gaya hambat total kendaraan listrik pada kecepatan 20 km/jam dan sudut tanjak 0° seperti pada contoh perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : R_{r0} = 174.2 \text{ N} & R_{a0} = 20.46 \text{ N} \\ & R_{g0} = 0 \text{ N} \end{aligned}$$

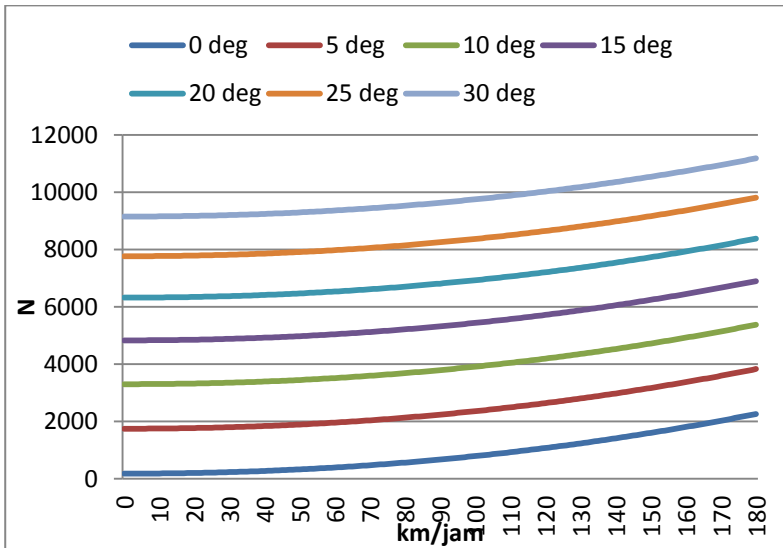
Ditanya: $F_r = \dots ?$

$$\text{Jawab} \quad : \quad F_r = R_r + R_a + R_g$$

$$F_r = 174.2 + 20.46 N + 0 N$$

$$F_r = 194.66 N$$

Dari hasil perhitungan seperti di atas, hasil perhitungan tersebut dapat diplotting menjadi grafik sehingga didapatkan grafik gaya hambat total kendaraan terhadap kecepatan seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 11 Grafik gaya hambat total kendaraan Toyota Calya BEV

Dari grafik di atas dapat dilihat nilai gaya hambat total terkecil dimiliki kecepatan terendah pada sudut tanjak 0° sebesar 172.66 N dan gaya hambat total terbesar dimiliki pada kecepatan 180 km/jam sudut tanjak 30° sebesar 10764 N. Pada kecepatan yang sama, gaya hambat terbesar terdapat pada gaya hambat total sudut tanjak 30° dan gaya hambat terkecil terdapat pada sudut 0° . Hal tersebut dikarenakan gaya hambat total merupakan penjumlahan gaya hambat *rolling*, gaya hambat aerodinamis, dan

gaya hambat gradien dimana gaya hambat gradien meningkat seiring bertambahnya sudut tanjak. Sedangkan seiring bertambahnya kecepatan, nilai gaya hambat total akan meningkat dikarenakan gaya hambat *rolling* dan gaya hambat aerodinamis meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan.

4.3 Motor Listrik

Dalam memilih motor listrik yang sesuai dengan kendaraan listrik, dibutuhkan perhitungan gaya hambat yang dilalui kendaraan dan perhitungan kebutuhan daya motor listrik sehingga dengan kecepatan yang diinginkan, didapatkan *power* motor yang sesuai dengan kebutuhan kendaraan listrik.

4.3.1 Perhitungan Kebutuhan Daya Jalan Kendaraan Listrik

Kendaraan listrik Toyota Calya didesain untuk mampu menanjak sebesar tanjakan yang ditentukan. Untuk mendapatkan nilai kebutuhan daya motor listrik, dibutuhkan nilai gaya hambat kendaraan yang terjadi ketika menanjak pada tanjakan maksimum. Berdasarkan data gaya hambat total pada 4.2.4, dilakukan perhitungan pada kebutuhan daya motor listrik. Pada contoh perhitungan daya kebutuhan motor listrik, dilakukan perhitungan pada kecepatan 30 km/jam dan sudut tanjak 30° dengan persamaan 2.18 ialah sebagai berikut.

Diketahui $: v_k = 30 \frac{km}{jam} = 8,333 \frac{m}{s}$

$$F_{r30} = 9202,4 N$$

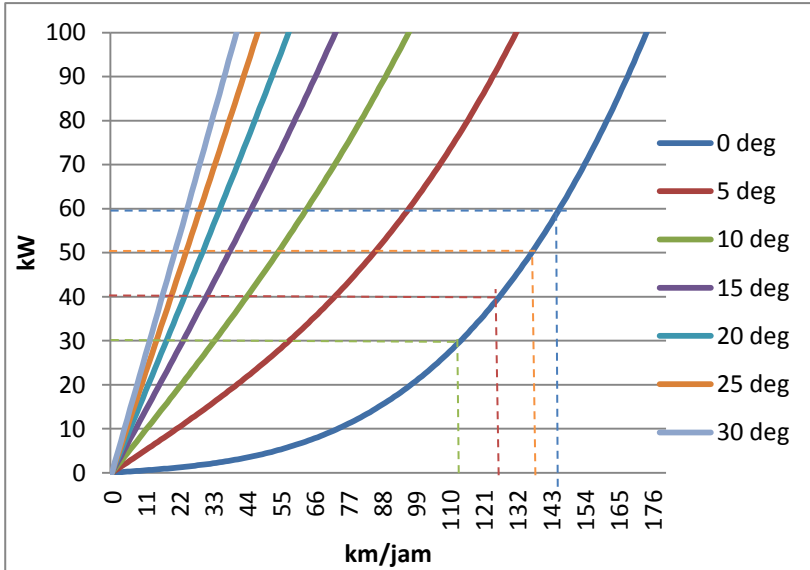
Ditanya: $P_r = \dots ?$

Jawab $: P_r = v_k \times F_r$

$$P_r = 8,333 \frac{m}{s} \times 9202,4 N$$

$$P_r = 76687 W = 76,687 kW$$

Setelah dilakukan perhitungan, maka dilakukan plotting hasil perhitungan tersebut menjadi grafik seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 12 Kebutuhan Daya Jalan Toyota Calya BEV

Pada grafik di atas terlihat bahwa untuk mendapatkan kecepatan mendekati maksimum pada jalan datar sebesar 111 km/jam dibutuhkan *power* sebesar 30 kW, untuk menempuh kecepatan mendekati maksimum 125 km/jam untuk menempuh kecepatan mendekati maksimum sebesar 137 km/jam dibutuhkan *power* sebesar 50 kW, dan untuk menenmpuk kecepatan mendekati maksimum 148 km/jam dibutuhkan *power* sebesar 60 kW.

Dari hasil perhitungan kebutuhan daya jalan terhadap kecepatan menyatakan bahwa semakin besar daya yang diberikan kepada kendaraan maka akan

semakin besar nilai kecepatan maksimum yang dapat ditempuh pada setiap sudut tanjak. Sehingga untuk mendapatkan kecepatan maksimum yang diinginkan pada sudut tanjak tertentu dipengaruhi oleh daya yang diberikan kepada kendaraan.

4.3.2 Perhitungan Kebutuhan Daya Motor Listrik

Dari perhitungan kebutuhan daya jalan kendaraan listrik, dapat ditentukan kebutuhan daya motor listrik untuk kendaraan listrik. Pada perancangan kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik, kecepatan maksimum yang dikehendaki ialah 136 km/jam pada saat jalan mendatar dan efisiensi *drivetrain* penggerak roda depan ialah 0.83 maka kebutuhan daya motor listrik yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan 2.20 sebagai berikut.

Diketahui : $P_{r136} = 48.99 \text{ kW}$ $Edt = 0,83$

Ditanya: $P_m = \dots ?$

Jawab :

$$P_m = \frac{P_r}{Edt}$$

$$P_m = \frac{48.99 \text{ kW}}{0,83}$$

$$P_m = 59.02 \text{ kW}$$

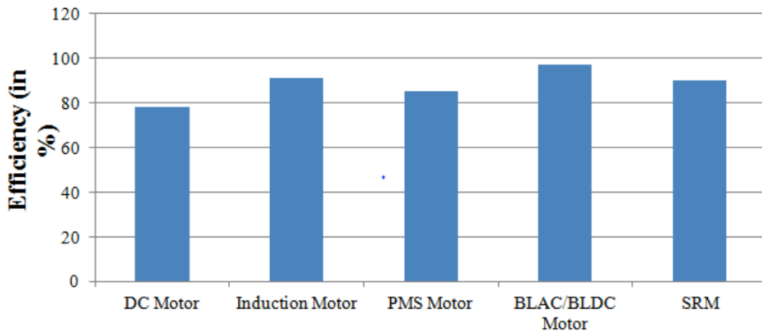
117

Sehingga digunakan motor listrik dengan daya motor minimal yang dibutuhkan kendaraan ialah 59.02 kW untuk memenuhi kebutuhan daya kendaraan.

4.3.3 Pemilihan Motor Listrik

Pada pemilihan motor listrik sesuai dengan perhitungan 4.2.2.2, didapatkan nilai daya motor minimum yang dibutuhkan ialah 59.02 kW. Terdapat berbagai macam jenis motor listrik yang sampai saat ini digunakan. Motor listrik yang telah digunakan hingga saat ini sebagai sumber penggerak mobil listrik ialah motor *Direct Current* (DC), motor induksi (IM), motor

Permanent Motor Synchronus (PMS), motor *Brushless DC* (BLDC), dan *Switched Reluctant Motor* (SRM) yang berpengaruh pada aspek seperti nilai efisiensi energi (Bhatt, Mehar, & Sahajwani, 2019). Berdasarkan hasil studi komparasi penggunaan variasi motor listrik yang paling sering digunakan pada kendaraan listrik, didapatkan komparasi seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 13 Komparasi nilai efisiensi terhadap jenis motor untuk kendaraan listrik

Sumber: (Bhatt, Mehar, & Sahajwani, 2019)

Berdasarkan gambar tersebut, didapatkan komparasi nilai efisiensi penggunaan berbagai jenis motor listrik pada kendaraan. Didapatkan nilai efisiensi tertinggi ialah 97% pada motor BLDC. Kemudian nilai efisiensi tertinggi selanjutnya ialah IM dan SRM dengan nilai 90%, PMS motor dengan 85%, dan terkecil ialah motor DC dengan nilai 79%. Dari hasil komparasi tersebut, didapatkan nilai efisiensi tertinggi ialah pada motor BLDC untuk pengaplikasian pada kendaraan listrik. Selain itu, motor BLDC memiliki nilai densitas daya yang tinggi sebesar 1.38 kW/kg sehingga dengan kebutuhan daya motor minimum sebesar 59.02 kW, motor BLDC memiliki massa yang ringan. Dari segi

reabilitas, motor BLDC dan IM merupakan motor yang paling sering digunakan. Namun dikarenakan dari segi efisiensi dan nilai densitas daya yang besar, maka digunakan jenis BLDC pada aplikasi mobil Toyota Calya bertenaga listrik.

Berdasarkan nilai minimum kebutuhan dan pertimbangan penggunaan jenis motor listrik yang digunakan, dipilih motor listrik dengan *power* motor sebesar 60 kW dengan jenis motor BLDC. Berdasarkan hasil survey motor listrik yang ada di pasaran, motor listrik HVH250-90 Series sesuai dengan kebutuhan motor listrik untuk kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik. Berikut merupakan spesifikasi motor listrik HVH250-90 Series.

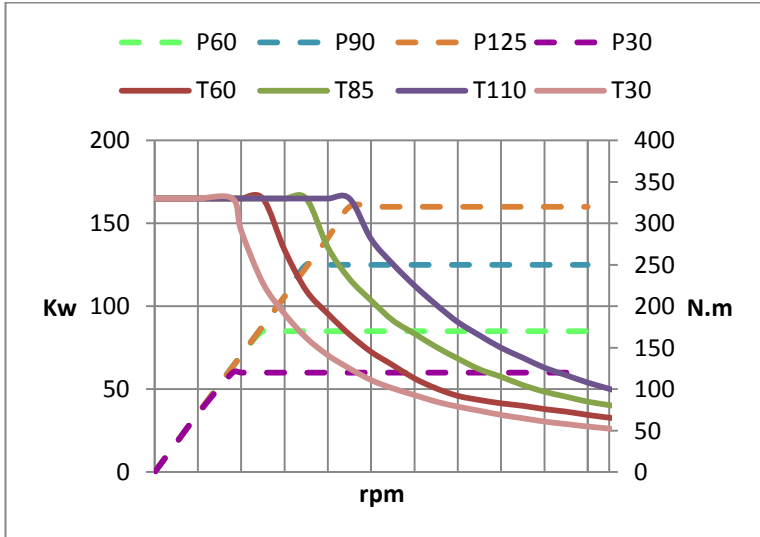


119

Performance	
Continuous Power Output (kW)	100
Peak Power Output (kW)	150
Continuous Torque Output (N-m)	300
Peak Torque Output (N-m)	320
Max. Input Current Peak/ Continuous (Amps)	300 continuous
Peak Efficiency (%)	93+ @ 3,000-7,000 rpm
Max. Operating Speed (rpm)	10,600
Base Speed (rpm)	4,000
Operating Voltage (VDC nom.)	650
Temperature Limits	° C

Gambar 4. 14 Spesifikasi motor listrik

Gambar 4.14 merupakan spesifikasi motor listrik HVH250-90 Series dimana motor tersebut dikatakan dapat memenuhi kebutuhan daya kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik. Motor HVH250-90 Series memiliki *continuous power* hingga 100 kW. Motor ini juga menyediakan rentang kecepatan putar motor yang tinggi mencapai 10,600 rpm. Sedangkan torsi maksimum yang dapat dicapai motor HVH250-90 Series hingga 330 Nm. Nilai torsi yang dapat dicapai motor ini sangat sesuai dengan kebutuhan kendaraan listrik agar performa kendaraan listrik untuk melawan gaya hambat pada tanjakan yang lebih besar dari performa kendaraan ICE. Motor HVH250-90 Series dipilih karena memiliki dimensi yang cukup kecil dan ringan, ukuran motor ini memiliki diameter 390 mm dengan lebar 277 mm. Berikut merupakan grafik nilai torsi dan *power* dari HVH250-90 60 kW series.



Gambar 4. 15 Karakteristik torsi dan daya motor HVH250-90

Dari grafik di atas dapat dilihat untuk torsi dan *power* motor HVH250-90 Series 60 kW memiliki putaran *base* pada 1800 rpm dan voltase sebesar 300 V. Sedangkan nilai torsi maksimum yang dapat dihasilkan ialah 330 Nm dan torsi minimum sebesar 52 Nm. Nilai torsi dan putaran yang dapat dihasilkan motor listrik cukup baik untuk memenuhi kebutuhan traksi kendaraan dikarenakan memiliki torsi yang cukup tinggi bernilai 330 Nm dan *range* putaran yang besar mencapai 10,600 rpm. Hal inilah yang menjadikan motor HVH250-90 Series 60 kW dengan voltase 300 V menjadi motor yang dipilih pada perancangan kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik ini.

4.4 Rasio dan Tingkat Transmisi Kendaraan Listrik

Transmisi merupakan salah satu komponen penyalur *daya* pada kendaraan yang berfungsi untuk mengatur *power* dan torsi yang mengalir kepada roda penggerak agar kendaraan dapat melaju sesuai dengan keinginan pengendara. Pada subbab ini berisikan tentang perhitungan rasio transmisi dan analisis rasio dan tingkat transmisi yang telah dihitung dan dipilih untuk mobil Toyota Calya bertenaga listrik.

121

4.4.1 Perhitungan Rasio dan Tingkat Transmisi

Pada perhitungan rasio dan tingkat transmisi, perhitungan diawali dengan menghitung rasio transmisi awal kendaraan. Pada perhitungan rasio awal digunakan nilai torsi maksimum, gaya traksi yang dibutuhkan kendaraan untuk melawan gaya hambat, rasio gardan, dan efisiensi transmisi. Nilai dari rasio gardan diasumsikan menyamai rasio gardan Toyota Calya ICE dengan ilai 5,077, efisiensi untuk penggerak roda depan ialah 0,83, sedangkan gaya traksi yang ingin dihasilkan ialah pada saat gaya hambat kendaraan menanjak pada 30° dan

kecepatan 100 km/jam. Adapun perhitungan rasio tingkat pertama transmisi dengan persamaan 2.11 ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : i_g = 5,077 & F_{r30} = 9068.66 \text{ N} \\ & T_{m \max} = 330 \text{ Nm} & \eta_t = 0,83 \\ & r = 0,28 \text{ m} \end{aligned}$$

Ditanya: $i_i = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : i_1 = \frac{F_t \times r}{T_{m \max} \times i_g \times \eta_t} \\ i_1 & = \frac{9068.66 \text{ N} \times 0,28 \text{ m}}{330 \text{ Nm} \times 5,077 \times 0,83} \\ i_1 & = 1.83 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan rasio tingkat kedua dari kendaraan listrik dengan gaya traksi yang dihasilkan bernilai sama dengan gaya hambat total kendaraan listrik pada sudut 10° dan kecepatan 170 km/jam. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : i_g = 5,077 & F_{r10} = 3508.87 \text{ N} \\ & T_{m \max} = 330 \text{ Nm} & \eta_t = 0,83 \\ & r = 0,28 \text{ m} \end{aligned}$$

Ditanya: $i_2 = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : i_m = \frac{F_t \times r}{T_{m \max} \times i_g \times \eta_t} \\ i_2 & = \frac{3508.87 \text{ N} \times 0,28 \text{ m}}{330 \text{ Nm} \times 5,077 \times 0,83} \\ i_2 & = 0.707 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai rasio transmisi pertama sebesar 1.83 dan untuk rasio selanjutnya ialah 0.707. Setelah didapatkan nilai rasio dan tingkat transmisi, dapat dihitung karakteristik traksi dan daya yang dapat disalurkan sistem transmisi.

4.4.2 Analisis Rasio dan Tingkat Transmisi

Berdasarkan performa mobil Toyota Calya ICE, kecepatan maksimum yang dapat ditempuh ialah 136 km/jam dan daya tanjak yang mampu dicapai ialah 25° dengan beban penumpang penuh. Perhitungan rasio dan tingkat transmisi bertujuan untuk mencapai performa yang 136 km/jam dan sudut tanjak maksimum 30° . Dari perolehan perhitungan rasio, didapatkan nilai rasio pada transmisi pertama ialah 1.83 untuk dapat menanjak sebesar 30° dan kecepatan maksimum pada jalan mendatar yang dapat diberikan sebesar 120 km/jam. Dibutuhkan tingkat transmisi selanjutnya sehingga pada perhitungan rasio transmisi kedua dimana untuk mencapai kecepatan maksimum yang diharapkan sebesar 136 km/jam pada jalan mendatar sebesar 0.707. Dikarenakan dengan rasio transmisi kedua mampu mencapai kecepatan maksimum kendaraan pada jalan mendatar seperti spesifikasi kendaraan sebelumnya. Sehingga jumlah tingkat transmisi yang digunakan pada kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik bernilai 2 tingkat dengan nilai rasio 1.83 pada tingkat pertama dan rasio 0.707 untuk tingkat ke-2 dapat memenuhi kriteria.

123

4.5 Karakteristik Traksi Kendaraan Listrik

Pada subab ini berisikan mengenai perhitungan dan analisis gaya traksi yang dapat disalurkan sistem *powertrain* terhadap kecepatan kendaraan yang ditempuh.

4.5.1 Perhitungan Kecepatan Kendaraan Listrik tiap Tingkat Transmisi

Dalam menentukan karakteristik traksi kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik, pertama dilakukan perhitungan terhadap kecepatan kendaraan listrik pada setiap tingkat transmisi yakni transmisi 5 tingkat dan transmisi 2 tingkat. Perhitungan kecepatan kendaraan

listrik ini dimaksudkan untuk mengetahui kecepatan *base* dan kecepatan maksimum yang dapat dicapai kendaraan tiap tingkat transmisi. Adapun contoh perhitungan kecepatan kendaraan dengan persamaan 2.2 pada transmisi 2 tingkat di gigi 1 dan kecepatan putar motor 2000 rpm.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : i_g = 5,077 & i_1 = 1.83 \\ & n_m = 2000 \text{ rpm} & r = 0,28 \text{ m} \end{aligned}$$

Ditanya: $v_{k1} = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : v_{kt} = \frac{2\pi \cdot \omega \cdot R}{60 \cdot i_g \cdot i_t} \\ v_{k1} &= \frac{2\pi \times 2000 \text{ rpm} \times 0,28 \text{ m}}{60 \times 5,077 \times 1.83} \\ v_{kt} &= 6.327 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 22.77 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

4.5.2 Perhitungan Gaya Traksi Kendaraan Listrik

Setelah perhitungan kecepatan kendaraan yang ditransmisikan dari motor listrik, dilakukan perhitungan terhadap gaya torsi yang dapat disalurkan sistem *powertrain* kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik. Pada subbab ini dilakukan dua jenis transmisi yang digunakan, yakni transmisi yang sudah ada pada Toyota Calya ICE dan juga transmisi yang telah di-*redesign*. Adapun contoh perhitungan gaya traksi kendaraan listrik dengan 5 tingkat transmisi dengan asumsi efisiensi yang sama dengan transmisi ICE senilai 0.83 dan persamaan 2.3 .

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : i_g = 5,077 & i_3 = 1,25 \\ & T_{7000} = 76 \text{ Nm} & \eta_t = 0,83 \\ & r = 0,28 \text{ m} \end{aligned}$$

Ditanya: $i_i = \dots ?$

$$\text{Jawab} \quad : F_t = \frac{T_m \times i_g \times i_1 \times \eta_t}{r}$$

$$F_1 = \frac{76 \text{ Nm} \times 5,077 \times 1,25 \times 0,83}{0,28 \text{ m}}$$

$$F_1 = 1354.47 \text{ N}$$

Setelah dilakukan perhitungan pada transmisi yang ada pada ICE, dilakukan perhitungan gaya traksi pada transmisi yang telah dihitung. Adapun contoh perhitungan gaya traksi kendaraan listrik pada tingkat transmisi ke-2 pada torsi saat 7000 rpm pada transmisi 2 tingkat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : i_g = 5,077 & i_2 = 0.707 \\ & T_{7000} = 76 \text{ Nm} & \eta_t = 0,83 \\ & r = 0,28 \text{ m} \end{aligned}$$

Ditanya: $i_i = \dots?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : F_t = \frac{T_m \times i_g \times i_1 \times \eta_t}{r} \\ F_1 & = \frac{76 \text{ Nm} \times 5,077 \times 0,707 \times 0,83}{0,28 \text{ m}} \\ F_1 & = 839.46 \text{ N} \end{aligned}$$

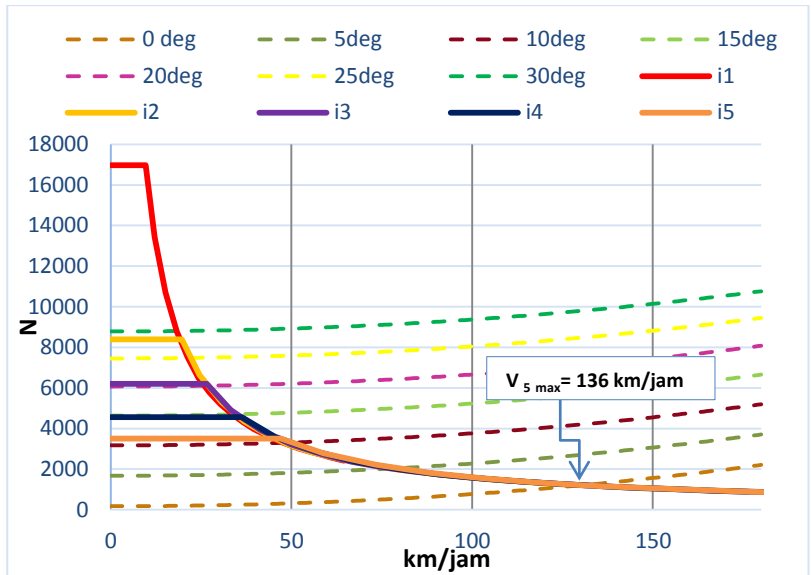
125

4.5.3 Analisis Grafik Karakteristik Traksi Kendaraan Listrik

Setelah dilakukan perhitungan pada kedua jenis transmisi, dilakukan analisa terhadap karakteristik traksi transmisi tersebut.

4.5.3.1 Karakteristik Traksi Transmisi 5 Tingkat Kecepatan

Setelah dilakukan perhitungan gaya traksi dan kecepatan kendaraan dengan variasi tingkat transmisi yang digunakan pada kendaraan Toyota Carya ICE seperti pada tabel 3.1, didapatkan grafik sebagai berikut.



Gambar 4. 16 Grafik karakteristik traksi Toyota Calya BEV dengan 5 tingkat transmisi

Pada grafik di atas dimana dilakukan perhitungan gaya traksi menggunakan transmisi yang sudah ada pada Toyota Calya ICE, didapatkan bahwa dengan nilai rasio transmisi tingkat pertama yaitu 3.417 gaya traksi maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 16970.2 N dan mampu menanjak jauh melebihi sudut tanjak yang ditentukan. Kemudian pada transmisi kedua, didapatkan gaya traksi sebesar 8.393 N dan dapat menanjak 25°. Pada tingkat ke-3 didapatkan nilai gaya traksi maksimum sebesar 6207 N dan mampu menanjak sebesar 20°. Pada tingkat ke-4 gaya traksi maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 4554 N dan mampu menanjak sebesar 15°. Untuk tingkat

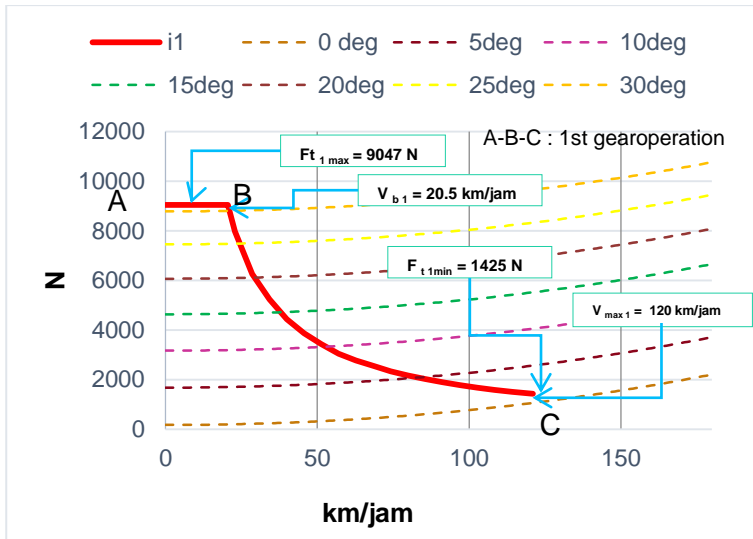
terakhir, gaya traksi maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 3511 N dan sudut tanjak maksimum yang dapat ditempuh ialah 10° . Sedangkan kecepatan maksimum yang dapat ditempuh pada jalan mendatar untuk transmisi 1 ialah 64 km/jam, pada transmisi ke-2 130 km/jam, pada transmisi ke-3, ke-4, dan ke-5 sebesar 137 km/jam.

Dari hasil perhitungan gaya traksi yang dapat dihasilkan menggunakan transmisi yang sudah ada pada kendaraan Toyota Calya ICE, maka terjadi *overdesign* pada transmisi tingkat pertama, pada transmisi ke-2 kendaraan tidak dapat menanjak pada sudut tanjak maksimum 30° , dan juga jumlah tingkat transmisi yang terlalu banyak untuk mencapai kecepatan maksimum pada jalan mendatar sehingga dibutuhkan *re-design* pada rasio dan tingkat transmisi yang akan digunakan pada Toyota Calya bertenaga listrik.

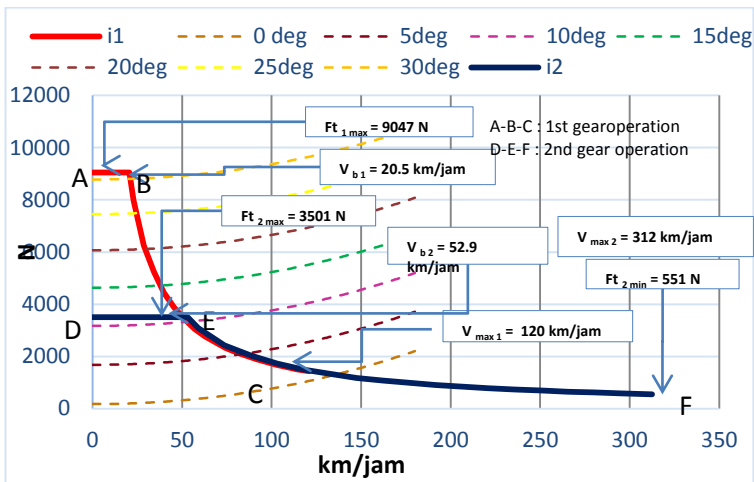
127

4.5.3.2 Karakteristik Traksi Transmisi 2 Tingkat Kecepatan

Dengan menggunakan nilai dari hasil perhitungan rasio dan tingkat transmisi yang akan digunakan, dapat dilakukan perhitungan gaya traksi yang dihasilkan pada tiap tingkat transmisi. Sehingga didapatkan *plotting* hasil perhitungan kedalam grafik berikut.



Gambar 4. 17 Karakteristik traksi Toyota Calya BEV 1 tingkat



Gambar 4. 18 Karakteristik traksi Toyota Calya BEV 2 tingkat

Pada gambar grafik karakteristik traksi 1 tingkat dan 2 tingkat untuk rancangan transmisi mobil Toyota Calya bertenaga listrik menggunakan rasio yang sudah dihitung. Dari karakteristik 1 tingkat Toyota Calya bertenaga listrik didapatkan nilai gaya traksi maksimum yang dapat diberikan ialah 9063.7 N dan dapat menempuh sudut tanjak sebesar 30° dengan kecepatan maksimum 20.5 km/jam. Untuk transmisi pertama dengan jalan mendatar dapat menempuh kecepatan maksimum sebesar 120 km/jam. Sedangkan pada transmisi kedua, gaya traksi maksimum yang dapat diberikan sebesar 3479.3 N dengan kecepatan maksimum yang dapat ditempuh pada jalan menanjak sebesar 10° mendatar sebesar 55 km/jam dan pada jalan mendatar 137 km/jam.

Dari hasil *re-design* yang telah dilakukan terhadap rasio dan tingkat transmisi yang dihitung, didapatkan nilai rasio dan tingkat transmisi yang sesuai untuk kendaraan. Karena pada transmisi pertama dapat mencapai sudut tanjak maksimum sebesar 30° , sedangkan pada transmisi kedua dapat menanjak sudut 10° dan mampu menacapai kecepatan maksimum 137 km/jam yang melebihi dengan kecepatan maksimum kendaraan Toyota Calya ICE pada jalan mendatar. Sehingga dari analisa tersebut, digunakan transmisi hasil perhitungan yang lebih sesuai dengan kebutuhan kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik.

4.6 Karakteristik Power Kendaraan Listrik

Setelah didapatkan nilai rasio yang paling sesuai dengan kebutuhan Toyota Calya bertenaga listrik, dilakukan perhitungan pada *power* yang tersalurkan pada penggerak. Pada subab ini akan membahas mengenai karakteristik *power* kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik dengan motor 60 kW dan transmisi yang telah didesain.

4.6.1 Perhitungan Power Kendaraan Listrik

Perhitungan karakteristik *power* mobil Toyota Calya bertenaga listrik diperoleh berdasarkan data torsi dan putaran motor listrik. Berikut merupakan contoh perhitungan *power* kendaraan menggunakan persamaan 2.21 pada tingkat transmisi pertama dan putaran motor listrik 7000 rpm.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : F_{t1} = 2169.8 \text{ N} \\ & V = 79.704 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 22.14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

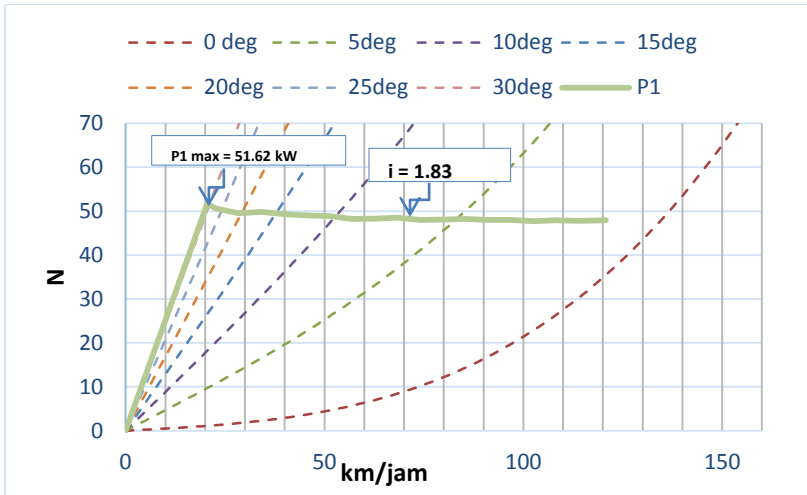
Ditanya: $P_t = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : \quad P_t = F_t \times V_k \\ P_1 & = 2169.8 \text{ N} \times 22.14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ P_1 & = 48065.3 \text{ W} = 48.065 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut dilakukan pada putaran 0 rpm hingga putaran 10,600 rpm dan pada torsi yang dihasilkan setiap rpm-nya pada kedua tingkat transmisi.

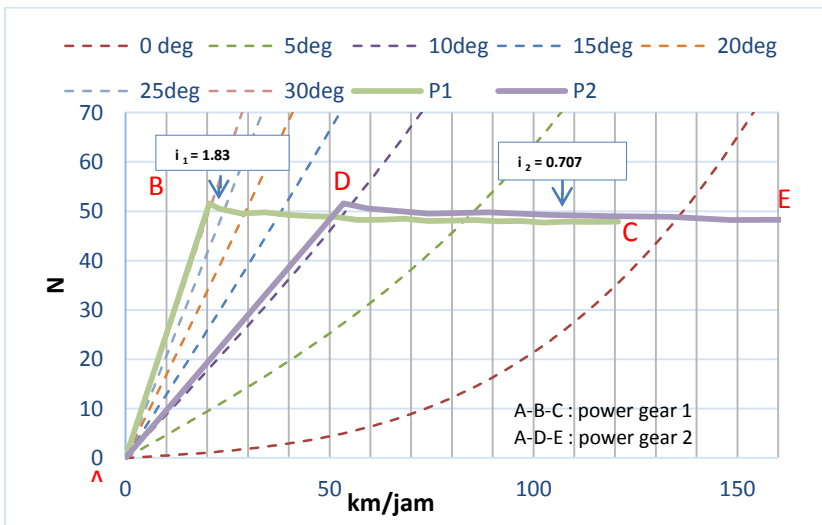
4.6.2 Analisis Karakteristik Power Kendaraan Listrik

Setelah dilakukan perhitungan seperti pada subbab 2.4.6.1, maka dilakukan pemlotingan terhadap hasil perhitungan terhadap kecepatan tempuh kendaraan pada tingkat transmisi pertama dan juga pada kedua tingkat transmisi. Adapun grafik karakteristik *power* Toyota Calya bertenaga listrik ialah sebagai berikut.



Gambar 4. 19 Karakteristik *power* 1 tingkat transmisi Toyota Calya BEV

131



Gambar 4. 20 Karakteristik *power* Toyota Calya BEV 2 tingkat transmisi

Gambar 4.19 merupakan grafik karakteristik *power* 1 tingkat transmisi dengan *power* puncak pada kecepatan maksimum 17.94 km/jam dan tanjakan maksimum 30° senilai *power* 51.62 kW. Sedangkan pada untuk transmisi 1 pada jalan menanjak 30° kecepatan yang ditempuh ialah 20.5 km/jam sedangkan pada jalan mendatar dapat mencapai kecepatan maksimum 120 km/jam dan *power* sebesar 47.9 kW. Selanjutnya pada gambar 4.20 terlihat kendaraan dapat menempuh kecepatan maksimum kendaraan yang melalui jalan mendatar sebesar 137 km/jam dengan nilai 48.5 kW sedangkan pada sudut tanjak 10° dapat mencapai kecepatan maksimum 55 km/jam dan *power* 50.8 kW. Adapun *power* maksimum yang ditransmisikan pada tingkat kedua ialah sebesar 51.62 kW.

Grafik 4.18 dan 4.19 memperlihatkan bahwa bentuk karakteristik *power* kendaraan tidak berbeda dengan karakteristik *power* motor listrik, sedangkan untuk nilai dari karakteristik *power* kendaraan Toyota Calya lebih rendah daripada *power* motor yang digunakan sebesar 60 kW. Hal ini dikarenakan adanya efisiensi dari transmisi kendaraan sebesar 0.83 sehingga *power* maksimum yang disalurkan pada roda penggerak lebih rendah daripada *power* motor yang dihasilkan. Adapun nilai kecepatan Toyota Calya bertenaga listrik sebesar 137 km/jam pada kendaraan mendatar. Hal ini sesuai dengan desain dari performa yang diinginkan kendaraan yang ingin menempuh kecepatan maksimum yang mendekati dengan ICE yaitu 137 km/jam.

4.7 Konsumsi Energi

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perhitungan dan analisis konsumsi energi berdasarkan *driving cycle* WLTP dengan

kelas yang ditentukan berdasarkan nilai PMR untuk kendaraan Toyota Calya ICE dan Toyota Calya BEV.

4.7.1 Pemilihan Driving Cycle Kendaraan

Untuk menghitung performa kendaraan Toyota Calya ICE dan BEV, diperlukan pemilihan kelas *driving cycle* yang sesuai untuk standar WLTP. Pemilihan ini dilakukan dengan menghitung *power* maksimum per massa kendaraan sehingga didapatkan nilai yang dapat mengindikasikan kelas *driving cycle* WLTP yang akan digunakan.

Pada pemilihan *driving cycle* WLTP kendaraan Toyota Calya ICE dengan massa kosong kendaraan 981 kg dan *power* maksimum kendaraan yaitu 77068 W, dilakukan perhitungan PMR dengan persamaan 2.23 Sebagai berikut.

Diketahui : $Power = 77068\ W$ $Massa = 981\ kg$
Ditanya: $PMR = \dots?$

Jawab : $PMR = \frac{Power}{Massa}$
 $PMR = \frac{77068}{981}$
 $PMR = 78.5607$

133

Setelah dihitung nilai PMR kendaraan ICE, didapatkan nilai 78.5607 dimana lebih besar dari 34 sehingga *driving cycle* WLTP yang digunakan ialah WLTP kelas 3. WLTP kelas 3 digunakan untuk menghitung performa kendaraan dengan variasi kecepatan *low*, *middle*, *high*, dan *extra-high*.

Sedangkan untuk pemilihan kelas *driving cycle* WLTP kendaraan Toyota Calya BEV dengan massa kendaraan 1464 kg dan *power* maksimum 60 kW ialah sebagai berikut.

Diketahui : $Power = 60,000\ W$
 $Massa = 1,270\ kg$

Ditanya: $PMR = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad : \quad PMR &= \frac{\text{Power}}{\text{Massa}} \\ PMR &= \frac{60,000}{1,270} \\ PMR &= 47.244 \end{aligned}$$

Didapat nilai PMR kendaraan Toyota Calya BEV bernilai 47.244 yang lebih besar daripada nilai 34. Sehingga untuk kendaraan Toyota Calya BEV digunakan *driving cycle* WLTP kelas 3 untuk melakukan perhitungan konsumsi energi kendaraan.

4.7.2 Konsumsi Energi ICE

Pada subbab ini dilakukan perhitungan konsumsi energi pada kendaraan Toyota Calya IC. Dimulai dengan perhitungan *power* jalan kendaraan berdasarkan *driving cycle* yang telah ditentukan sehingga didapatkan energi dan jarak tempuhnya.

4.7.2.2 Perhitungan Power Kendaraan ICE

Setelah diketahui kelas *driving cycle* WLTP yang digunakan, dilakukan perhitungan *power* kendaraan ICE selama kendaraan berjalan sesuai dengan *driving cycle* WLTP kelas 3 tanpa pengereman. Sebelum melakukan perhitungan *power*, perlu adanya perhitungan gaya total kendaraan yang terjadi yaitu gaya hambat angin, gaya hambat *rolling*, dan gaya inersia kendaraan. Adapun perhitungan gaya total pada detik ke-160 fasa kecepatan *low*, dengan massa kendaraan penumpang penuh ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad : \quad v_{160} &= 20,1 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 5,583 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ a_{160} &= 0,917 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad m_{\text{tot}} = 1,471 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3 \quad A_f = 2,21 \text{ m}^2$$

$$C_d = 0,5 \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$f_{r160} = 0,01009 \quad k_m = 1,08561$$

Ditanya: $F_{tot} = \dots?$

Jawab :

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

$$F_{tot} = \left(0,01009 \times 1,471 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \right) +$$

$$\left(\frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,5 \times 2,21 \text{ m}^2 \times \left(5,583 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) +$$

$$\left(1,471 \text{ kg} \times 1,08561 \times 0,917 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

$$F_{tot} = 1630,55 \text{ N}$$

135

Adapun contoh perhitungan *power* kendaraan selama *driving cycle* pada kategori *low* dan detik ke 160 setelah diketahui nilai gaya totalnya ialah sebagai berikut.

Diketahui : $F_{tot} = 1630,55 \text{ N}$

$$v_{160} = 20,1 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 5,583 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

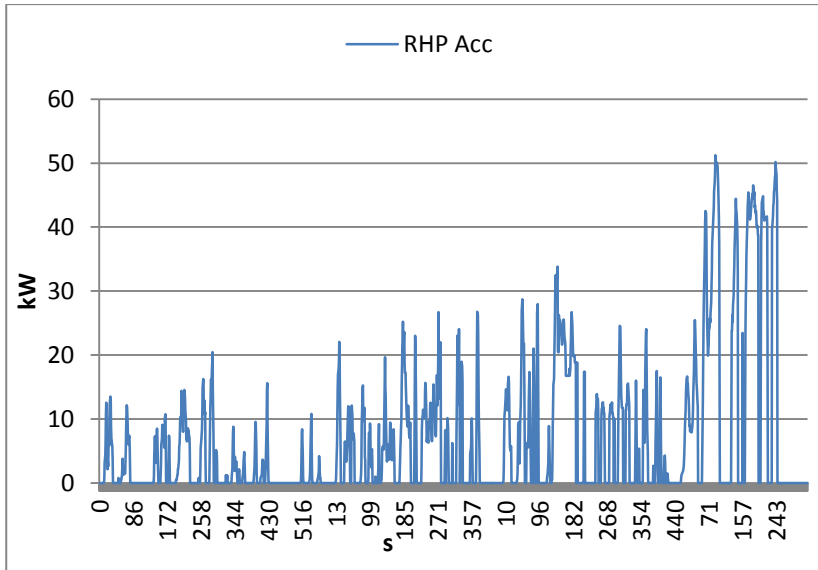
Ditanya: $RHP_p = \dots?$

Jawab : $RHP_p = F_{tot} \times v_k$

$$RHP_p = 1630,55 \text{ N} \times 5,583 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$RHP_p = 9103,65 \text{ W} = 9,104 \text{ kW}$$

Setelah dilakukan perhitungan *road horse power* sehingga didapatkan grafik *road horse power* terhadap waktu untuk setiap akselerasi seperti gambar berikut.



Gambar 4. 21 RHP Toyota Calya ICE dengan driving cycle WLTP kelas 3

Dari gambar grafik di atas, terlihat *road horse power* ketika kendaraan berakselerasi pada satu *driving cycle* WLTP kelas 3 pada keempat fasa. Pada grafik terlihat nilai *power* bernilai lebih tinggi, hal ini dikarenakan kecepatan kendaraan semakin tinggi begitu pula dengan gaya hambat total kendaraan sehingga grafik tersebut sesuai dengan teori.

4.7.2.3 Perhitungan Konsumsi Energi Kendaraan ICE

Setelah didapatkan nilai *road horse power* kendaraan Toyota Calya ICE, maka dapat dilakukan perhitungan konsumsi energi kendaraan ICE. Setelah didapatkannya nilai setiap RHP pada setiap detik yang diplotting pada kurva 4.20, dilakukan 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 12 ke 14 pada fasa *middle* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : RHP_{mid\ 12} = 0,1756\ kW \\ & RHP_{mid\ 13} = 0,7830\ kW \\ & RHP_{mid\ 14} = 2,7373\ kW \\ & \Delta x = \frac{b-a}{n} = \frac{12-14}{2} = 1 \end{aligned}$$

Ditanya: $RHP_p = \dots?$

Jawab :

$$\begin{aligned} E_p &= \int_a^b RHP_p \cdot dt \\ &= \frac{\Delta x}{2} [RHP_0 + 2RHP_1 + \dots + 2RHP_{n-1} + RHP_n] \\ E_p &= \frac{1}{2} [0,1756\ kW + 2(0,7830\ kW) + 2,7373\ kW] \\ E_p &= 2,2395\ KWs \end{aligned}$$

137

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai total energi dari detik 0 ke 589 dan untuk fasa *low*, *middle*, *high*, dan *extra-high* yang digunakan untuk *driving cycle* WLTP kelas 3 sebesar 6750.7 kW_s atau 1,8752Wh.

Sedangkan untuk jarak tempuh yang dapat dilalui kendaraan pada satu *driving cycle* WLTP kelas 3 pada detik ke 12 hingga 13 pada fasa *medium* ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : v_o = 1 \frac{km}{jam} = 0,2778 \frac{m}{s} \\ & \Delta t = 13s - 12s = 1s \quad a = 0,306\ m/s^2 \end{aligned}$$

Ditanya: $s = \dots?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : \quad s = (v \times t) + \frac{(a \times t^2)}{2} \\ s &= (0,2778 \frac{m}{s} \times 1s) + \frac{(0,306\ m/s^2 \times 1s)}{2} \end{aligned}$$

$$s = 0,43055 \text{ m}$$

Setelah dilakukan perhitungan pada setiap detik dalam satu *driving cycle* WLTP kelas 3, diketahui total jarak tempuh ketika berakselerasi ialah sebesar 12606,3 m atau 12,6063 km.

Untuk mengetahui nilai konsumsi energi kendaraan ICE, diperlukan nilai efisiensi dari mesin dan transmisi yang digunakan. Digunakan asumsi nilai losses yang terjadi pada mesin sebesar 65% (Chattanooga, 2014). Setelah diketahui nilai total dari energi dan total jarak tempuh, konsumsi energi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : E_{p \text{ tot}} = 1,8752 \text{ kWh} \quad \eta_{engine} = 0.35 \\ & s_{tot} = 12,6063 \text{ km} \quad \eta_t = 0.83 \end{aligned}$$

Ditanya: $FE = \dots?$

$$\text{Jawab} \quad : FE = \frac{E_c}{s \times \eta_t \times \eta_{engine}} \left(\frac{kWh}{km} \right)$$

$$\begin{aligned} FE &= \frac{1,8752 \text{ kWh}}{12,6063 \text{ km} \times 0.83 \times 0.35} \\ FE &= 0,539 \frac{kWh}{km} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan konsumsi energi, didapatkan konsumsi energi kendaraan Toyota Calya ICE bernilai 0.539 kWh/km berdasarkan *driving cycle* WLTP.

4.7.3 Konsumsi Energi BEV

Pada subbab ini dilakukan perhitungan mengenai konsumsi energi terhadap toyota Calya bertenaga listrik.

4.7.3.1 Perhitungan Power Kendaraan Listrik

Setelah diketahui kelas *driving cycle* WLTP yang digunakan, dilakukan perhitungan *power* kendaraan BEV selama kendaraan berjalan sesuai dengan *driving cycle*

WLTP kelas 3 tanpa pengereman. Sebelum melakukan perhitungan *power*, perlu adanya perhitungan gaya total kendaraan yang terjadi yaitu gaya hambat angin, gaya hambat *rolling*, dan gaya inersia kendaraan. Adapun perhitungan gaya total pada detik ke-12 fasa kecepatan *low*, dengan massa kendaraan penumpang penuh ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad : v_{12} &= 0,2 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 0,0556 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ a_{12} &= 0,416 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} & m_{\text{tot}} &= 1760 \text{ kg} \\ \rho &= 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & A_f &= 2,21 \text{ m}^2 \\ C_d &= 0,5 & g &= 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ k_m &= 1,263 & f_{r12} &= 0,01 \end{aligned}$$

Ditanya: $F_{\text{tot}} = \dots ?$

Jawab :

$$\begin{aligned} F_{\text{tot}} &= \left(f_r \cdot W + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot V^2 \right) + (m \times k_m \times a) \\ F_{\text{tot}} &= \left(0,01 \times 1760 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) + \\ &\left(\frac{1}{2} \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,5 \times 2,21 \text{ m}^2 \times \left(0,0556 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) + \\ &\left(1760 \text{ kg} \times 1,263 \times 0,416 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) \\ F_{\text{tot}} &= 1092.72 \text{ N} \end{aligned}$$

Adapun contoh perhitungan *power* kendaraan selama *driving cycle* pada kategori *low* dan detik ke 12 setelah diketahui nilai gaya totalnya ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad : F_{\text{tot}} &= 1092.72 \text{ N} \\ v_{12} &= 0,2 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 0,0556 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

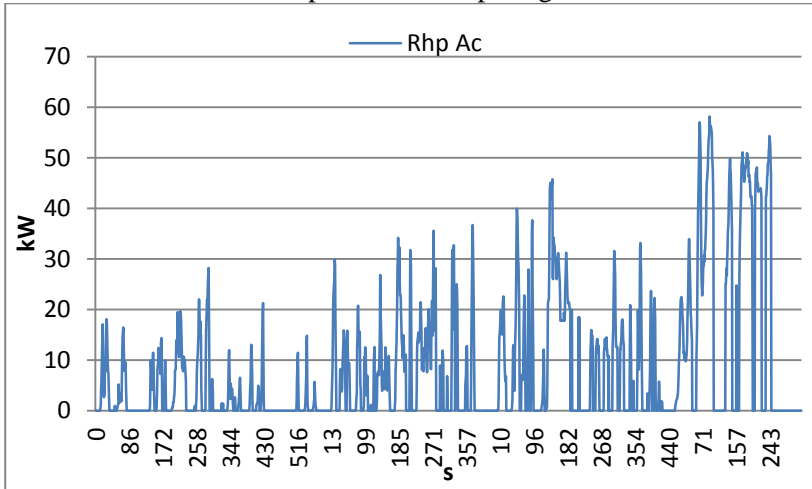
Ditanya: $RHP_p = \dots ?$

$$\text{Jawab} \quad : RHP_p = F_{\text{tot}} \times v_k$$

$$RHP_p = 1092.72 \text{ N} \times 0,0556 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$RHP_p = 60.7 \text{ W} = 0.0607 \text{ kW}$$

Setelah dilakukan perhitungan *road horse power* sehingga didapatkan grafik *road horse power* terhadap waktu untuk setiap akselerasi seperti gambar berikut.



Gambar 4. 22 Rhp Toyota Calya BEV dengan driving cycle WLTP kelas 3

Dari gambar grafik di atas, terlihat *road horse power* ketika kendaraan berakselerasi pada satu *driving cycle* WLTP kelas 3 pada keempat fasa. Pada grafik terlihat nilai *power* bernilai lebih tinggi, hal ini dikarenakan kecepatan kendaraan semakin tinggi begitu pula dengan gaya hambat total kendaraan sehingga grafik tersebut sesuai dengan teori.

4.7.3.2 Perhitungan Konsumsi Energi Kendaraan Listrik

Setelah didapatkan nilai *road horse power* kendaraan Toyota Calya BEV, maka dapat dilakukan perhitungan konsumsi energi kendaraan BEV. Setelah didapatkannya nilai setiap RHP pada setiap detik yang diplotting pada kurva 4.X, dilakukan 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 12 ke 14 pada fasa *high* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : RHP_{hi\ 12} = 12.205\ kW \\ & RHP_{hi\ 13} = 15.472\ kW \\ & RHP_{hi\ 14} = 18.87\ kW \\ & \Delta x = \frac{b-a}{n} = \frac{12-14}{2} = 1 \end{aligned}$$

$$\text{Ditanya: } RHP_p = \dots ?$$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : E_p = \int_a^b RHP_p \cdot dt \\ & = \frac{\Delta x}{2} [RHP_0 + 2RHP_1 + \dots + 2RHP_{n-1} + RHP_n] \\ E_p & = \frac{1}{2} [12.205\ kW + 2(15.472\ kW) + 18.87\ kW] \\ & E_p = 30.920\ kW_s \end{aligned}$$

141

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai total energi dari detik 0 ke 589 dan untuk fasa *low*, *middle*, *high*, dan *extra-high* yang digunakan untuk *driving cycle* WLTP kelas 3 sebesar 14658.05 kW_s atau 4.072 kWh.

Sedangkan untuk jarak tempuh yang dapat dilalui kendaraan pada satu *driving cycle* WLTP kelas 3 dengan persamaan 2.27 pada detik ke 12 hingga 13 pada fasa *low* ialah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : v_o = 0,2 \frac{km}{jam} = 0,0556 \frac{m}{s} \\ & \Delta t = 13s - 12s = 1s \end{aligned}$$

$$a = 0,417 \text{ m/s}^2$$

Ditanya: $s = \dots?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad : \quad s &= (v \times t) + \frac{(a \times t^2)}{2} \\ s &= (0,0556 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1\text{s}) + \frac{(0,417 \text{ m/s}^2 \times 1\text{s})}{2} \\ s &= 0,264 \text{ m} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan pada setiap detik dalam satu *driving cycle* WLTP kelas 3, diketahui total jarak tempuh ketika berakselerasi ialah sebesar 12606,3 m atau 12,6063 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 0.94 berdasarkan katalog motor HVH250-90 yang telah dipilih, efisiensi transmisi 0.83, efisiensi power control sebesar 0.95, dan efisiensi baterai sebesar 0.95 sesuai dengan literatur yang ada. Dengan nilai efisiensi demikian, didapatkan nilai Setelah diketahui nilai total dari energi dan total jarak tempuh, konsumsi energi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad : E_{p \text{ tot}} &= 4,072 \text{ kWh} & \eta_m &= 0.94 \\ s_{\text{tot}} &= 12,6063 \text{ km} & \eta_t &= 0.83 \\ \eta_{pfc} &= 0.95 & \eta_{fb} &= 0.95 \end{aligned}$$

Ditanya: $FE = \dots?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad : FE &= \frac{E_c}{s \times \eta_t \times \eta_m \times \eta_{pfc} \times \eta_{fb}} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{km}} \right) \\ FE &= \frac{4,072 \text{ kWh}}{12,6063 \text{ km} \times 0.83 \times 0.94 \times 0.95 \times 0.95} \\ FE &= 0.431 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan konsumsi energi, didapatkan konsumsi energi kendaraan Toyota Calya BEV bernilai 0.431 kWh/km.

4.7.4 Analisa Konsumsi Energi Kendaraan

Pada hasil perhitungan konsumsi energi kendaraan, didapatkan nilai konsumsi kendaraan Toyota Calya ICE sebesar 0.539 kWh/km dengan nilai efisiensi mesin 0.35 dan efisiensi transmisi sebesar 0.83. Sedangkan pada nilai konsumsi energi kendaraan Toyota Calya BEV didapatkan nilai 0.431 kWh/km dengan nilai efisiensi motor sebesar 0.94, efisiensi transmisi 0.83, efisiensi *power control* sebesar 0.95, dan efisiensi baterai 0.95.

Diketahui konsumsi energi dari kendaraan listrik lebih kecil dengan selisih 0.108 kWh/km. Hal tersebut sesuai dengan teori dikarenakan *losses* yang terjadi pada mesin sangatlah besar sedangkan *losses* yang terjadi pada motor listrik sangat kecil. Besarnya *losses* yang terjadi pada kendaraan ICE menyebabkan konsumsi energi yang dibutuhkan lebih besar daripada kendaraan BEV.

4.8 Pemilihan Baterai

Setelah mengetahui konsumsi energi dari kendaraan listrik, diperlukan pemilihan baterai beserta spesifikasinya agar kendaraan dapat menempuh jarak sesuai keinginan.

4.8.1 Perhitungan Kebutuhann Baterai

Pada perhitungan kebutuhan baterai, dibutuhkan nilai kebutuhan energi yang disalurkan ke poros untuk dapat menempuh jarak jelajah tertentu. Pada penelitian ini, peforma daya jelajah kendaraan yang hendak ditempuh ialah 85 km. Sehingga kebutuhan energi poros ialah sebagai berikut.

$$\text{Diketahui} \quad :FE = 0.431 \frac{kWh}{km} \quad d_v = 85 \text{ km}$$

Ditanya: $E_p = \dots ?$

Jawab : $E_p = FE \times d_v$

$$E_p = 0,478 \frac{kWh}{km} \times 85 km$$

$$E_p = 36.639 kWh$$

Sehingga didapatkan nilai energi minimum baterai yang digunakan untuk dapat menempuh jarak sejauh 85 km ialah 36.639 kWh.

4.8.2 Pemilihan Spesifikasi Baterai

Dalam pemilihan baterai, dibutuhkan spesifikasi baterai yang memiliki energi spesifik tinggi. Energi spesifik adalah jumlah energi yang dapat disimpan dalam baterai per satuan massa. Adapun nilai spesifikasi dengan berbagai jenis tipe baterai yang umum digunakan pada kendaraan ialah sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Spesifikasi jenis baterai kendaraan

Specifications	Lead acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy density (Wh/kg)	30–50	45–80	60–120	150–190	100–135	90–120
Internal resistance (mΩ)	<100	100–300	200–300	150–300	25–75	25–50
	12 V pack	6 V pack	6 V pack	7.2 V	per cell	per cell
Cycle life (80% discharge)	200–300	1000	300–500	500–1000	500–1000	1000–2000
Fast charge time	8–16 h	1 h typical	2–4 h	2–4 h	1 h or less	1 h or less
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low. Cannot tolerate trickle charge		
Self-discharge/month (room temp.)	5%	20%	30%	<10%		
Cell voltage (nominal)	2 V	1.2 V	1.2 V	3.6 V	3.8 V	3.3 V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40	Full charge detection by voltage signature		4.20		3.60
	Float 2.25					
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75	1.00		2.50–3.00		2.80
Peak load current	5C	20C	5C	>3C	>30C	>30C
Best result	0.2C	1C	0.5C	>1C	<10C	<10C
Charge temperature	–20 to 50 °C (–4 to 122 °F)	0 to 45 °C (32 to 113 °F)		0 to 45 °C (32 to 113 °F)		
Discharge temperature	–20 to 50 °C (–4 to 122 °F)	–20 to 65 °C (–4 to 49 °F)		–20 to 60 °C (–4 to 140 °F)		
Maintenance requirement	3–6 months (topping charge)	30–60 days (discharge)	60–90 days (discharge)	Not required		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection common		Protection circuit mandatory		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	Very high	Very high	Low	Low		

Sumber: (Diouf & Pode, 2014)

Berdasarkan tabel tersebut, didapatkan nilai spesifik energi dengan rentang yang besar dimiliki oleh baterai jenis lithium-ion sebesar 90 – 190 Wh/kg. Besarnya nilai spesifik energi membuat massa yang dimiliki baterai dengan nilai energi tertentu menjadi lebih ringan. Penggunaan baterai jenis lithium-ion merupakan jenis baterai yang saat ini mendominasi sektor kendaraan *pure electric vehicle* seperti yang digunakan Nissan Leaf dan Chevy Volt (Diouf & Pode, 2014). Lithium-ion pula memiliki nilai densitas daya yang besar sehingga baterai dapat memberikan daya yang besar pada dimensi baterai yang kecil. Sehingga dipilih baterai dengan jenis lithium-ion sebagai jenis baterai yang digunakan.

Dengan adanya nilai minimum energi dari baterai, maka ditetapkan bahwa energi baterai yang akan digunakan ialah sebesar 36.639 kWh. Selain itu dibutuhkan perhitungan kapasitas baterai yang dibutuhkan kendaraan dengan nilai voltase yang sama seperti motor listrik dan energi baterai yang akan digunakan dengan persamaan 2.29 seperti pada perhitungan berikut.

Diketahui : $E_{bp} = 36639 \text{ Wh}$ $V_m = 300 \text{ V}$

Ditanya: $A_h = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad : \quad A_h &= \frac{E_{bp}}{V} \\ A_h &= \frac{36639 \text{ Wh}}{300 \text{ V}} \\ A_h &= 122.13 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, dibutuhkan baterai dengan kapasitas 122.13 Ah dan energi baterai minimal 36.639 kWh yang sesuai dengan kendaraan. Dari hasil pemilihan spesifikasi baterai yang akan digunakan kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik, didapatkan baterai LG Chem Li-ion 2.6 kWh dengan spesifikasi berikut.



Gambar 4. 23 Baterai Li-ion Polymer LG Chem

Dengan baterai *pack* yang digunakan tersebut, maka jumlah kebutuhan baterai *pack* kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

- Perhitungan jumlah baterai disusun paralel

Diketahui : $Ah_{bp} = 43 \text{ Ah}$ $Ah_m = 122.13 \text{ Ah}$

Ditanya : $n_p = \dots ?$

Jawab :

$$n_p = \frac{Ah_m}{Ah_{bp}}$$

$$n_p = \frac{122.13 \text{ Ah}}{43 \text{ Ah}}$$

$$n_p = 2.84 \approx 3 \text{ pack}$$

- Perhitungan jumlah baterai disusun seri

Diketahui : $V_{bp} = 60.1 \text{ V}$ $V_m = 300 \text{ V}$

Ditanya : $n_s = \dots ?$

Jawab :

$$n_s = \frac{V_m}{V_{bp}}$$

$$n_s = \frac{300 \text{ V}}{60.1 \text{ V}}$$

- $n_s = 4.92 \approx 5 \text{ pack}$
- Perhitungan jumlah baterai yang digunakan
- Diketahui : $n_p = 3 \text{ pack}$ $n_s = 5 \text{ pack}$
- Ditanya: $n_{bp} = \dots ?$
- Jawab : $n_{bp} = n_p \times n_s$
 $n_{bp} = 3 \times 5$
 $n_{bp} = 15 \text{ pack}$

Sehingga didapatkan jumlah *battery pack* LG Chem LiFePO4 2.6 kW ialah 15 *pack*. Adapun spesifikasi lengkap dari baterai *pack* yang digunakan pada kendaraan Toyota Calya bertenaga listrik dirangkum dalam tabel berikut ini.

Tabel 4. 2 Spesifikasi Baterai

Jenis Baterai	Li-ion Polymer
Voltase	60.1 V
Kapasitas	43 Ah
Dimensi	159x203x361 mm
Massa pack	18 kg
Jumlah <i>pack</i>	15
Massa total	270 Kg

4.9 Perilaku Belok Kendaraan

Setelah didapatkan komponen kendaraan listrik berupa motor listrik, transmisi, dan baterai maka dilakukan perhitungan pada nilai *center of gravity* sehingga didapatkan nilai *center of gravity* yang dapat digunakan pada kendaraan. Nilai *center of gravity* kendaraan berpengaruh pada perilaku belok kendaraan kendaraan.. Perilaku belok kendaraan digunakan untuk mengetahui fenomena kendaraan ketika kendaraan berbelok pada sudut belok tertentu. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan nilai *center of gravity* dan perhitungan kecepatan maksimum *skid*.

4.9.1 Posisi CG Kendaraan

Posisi *center of gravity* (CG) kendaraan dibutuhkan untuk melakukan perhitungan perilaku belok kendaraan. Adapun penentuan CG untuk dianalisis perilaku belok kendaraan dibahas dalam subbab berikut. Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan CG dengan 5 penumpang.

4.9.1.1 Posisi CG Kendaraan ICE

Pada perhitungan CG kendaraan ICE, diketahui massa masing-masing pembebanan pada roda depan dan roda belakang setelah melakukan penimbangan dan juga dimensi kendaraan Toyota Calya. Adapun perhitungan CG Toyota Calya ICE ngan massa kosong kendaraan ialah sebagai berikut.

- Perhitungan jarak b CG kendaraan

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & : m = 981 \text{ kg} \quad R_f = 545 \text{ kg} \\ & L = 2,525 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Ditanya: } b = \dots ?$$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad & : b = \frac{R_f \cdot L}{w} \\ & b = \frac{545 \text{ kg} \times 2,525 \text{ m}}{981 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$b = 1,431 \text{ m}$$

- Perhitungan jarak a CG kendaraan

$$\text{Diketahui} \quad : b = 1,431 \text{ m} \quad L = 2,525 \text{ m}$$

$$\text{Ditanya: } a = \dots ?$$

$$\text{Jawab} \quad : a = L - b$$

$$a = 2,525 \text{ m} - 1,431 \text{ m}$$

$$a = 1,0939 \text{ m}$$

- Perhitungan ketinggian CG kendaraan

$$\text{Diketahui} \quad : b = 1,431 \text{ m} \quad R_{f'} = 545 \text{ kg}$$

$$w = 981 \text{ kg} \quad L = 2,525 \text{ m}$$

$$\theta = 5,363^\circ \quad r = 0,28 \text{ m}$$

Ditanya: $h = \dots ?$

Jawab $: h = \left[b - L \frac{R'f}{W} \right] \cot\theta + r$

$$h = \left[1,431m - 2,525m \frac{545kg}{981kg} \right] \cot(5,363^\circ)$$

$$+ 0,28m$$

$$h = 0,5912 m$$

Setelah diketahui nilai a , b , dan h *center of gravity* kendaraan Toyota Calya ICE berdasarkan hasil penimbangan saat kendaraan kosong, nilai *center of gravity* kembali dapat dihitung ketika dalam keadaan 5 penumpang. Dengan posisi penumpang 1 dan 2 berada di seat 1 dengan jarak $a=1.2m$ dan $b=1.325m$, dan posisi penumpang 3, 4, dan 5 berada di *seat* ke-2 dengan jarak $a=2.1$ dan $b=0.425$ m. Masing-masing massa penumpang ialah 70 kg didapatkan perhitungan CG berpenumpang sebagai berikut.

Diketahui $: b = 1,431 m \quad w = 981 kg$

$$b_{1,2} = 1.325 m \quad w_{1,2} = 140 kg$$

$$b_{3,4,5} = 0,425m$$

$$w_{3,4,5} = 210 kg$$

Ditanya: $b' = \dots ?$

Jawab $: b' = X_{cg} = \frac{\sum_1^i (X_i \cdot W_i)}{\sum_1^i W_i}$

$$(1,431 m \times 981 kg) +$$

$$(1,431m \times 140kg) +$$

$$(0,425m \times 210kg)$$

$$b' = \frac{(981 kg + 140kg + 210kg)}$$

$$b' = 1,264 m$$

Diketahui $: b' = 1,264 m \quad L = 2,525 m$

Ditanya: $a' = \dots ?$

Jawab $: a' = L - b'$

$$a' = 2,525 m - 1,264m$$

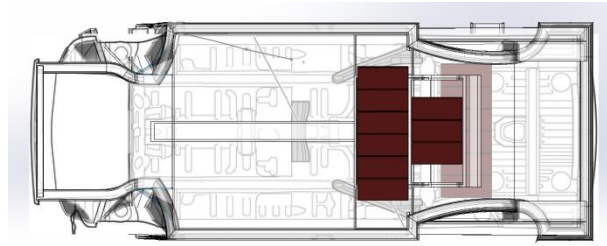
$$a' = 1,261 \text{ m}$$

Sehingga digunakan nilai jarak pusat poros depan ke CG sebesar 1.261 m dan jarak pusat poros belakang ke CG sebesar 1,264 m untuk dianalisa perilaku belok berdasarkan *skid*. Pada penelitian ini CG Toyota Calya ICE disimbolkan sebagai CG1.

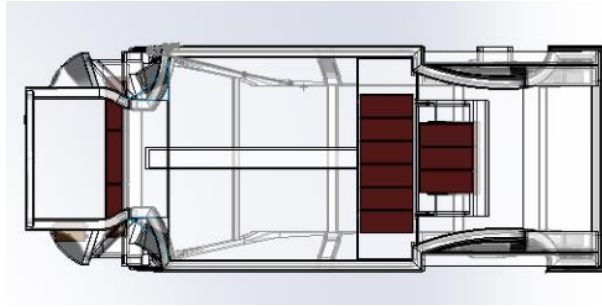
4.9.1.2 Posisi CG Kendaraan BEV

Dalam menentukan nilai CG kendaraan BEV, diperlukan rancangan peletakan komponen penyusunnya. Pada penelitian ini dilakukan variasi peletakan baterai sehingga didapatkan nilai CG tiap variasi. Akan dilakukan dua konfigurasi, yaitu ketika 9 baterai diletakan pada ruang tanki bensin dan 6 baterai diletakan pada bangku ke-3, kemudian konfigurasi kedua ketika 9 baterai diletakkan pada ruang tanki bensin, 3 baterai pada bangku ke-3, dan 3 baterai diletakan pada bagian depan seperti pada gambar berikut.

151



Gambar 4. 24 Konfigurasi BEV 2



Gambar 4. 25 Konefigurasi BEV 2

Dari kedua konfigurasi di atas, didapatkan nilai CG kendaraan BEV sebagai berikut.

Tabel 4. 3 Posisi baterai dan nilai CG Toyota Calya BEV dengan 5 penumpang

Konf.	a battery (m)			CG (m)		
	front	tank	trunk	a	B	h
CG 2	-	1,94	2,525	1,439	1,086	0,59
CG 3	0,24	1,94	2,525	1,345	1,180	0,59

Setelah didapatkan nilai CG, maka dilakukan perhitungan terhadap kecepatan *skid*, sudut *slip*, dan nilai Kus.

4.9.2 Perhitungan Kecepatan *Skid*

Dalam menghitung kecepatan *skid* kendaraan, diperlukan perhitungan radius *anckerman* juga sudut *side slip* ketika kendaraan berbelok pada sudut belok tertentu. Adapun perhitungan radius *anckerman* pada CG ICE dan sudut *side slip* pada sudut belok 5° ialah sebagai berikut.

- Perhitungan radius belok anckerman
 Diketahui : $\delta_f = 5^\circ$ $l_f = 1,261 \text{ m}$
 $l_r = 1,264 \text{ m}$
 Ditanya: $R_{anckerman} = \dots ?$
 Jawab : $R_{anckerman} = \frac{l_f + l_r}{\delta_f} 57,29$
 $R_{anckerman} = \frac{1,261 \text{ m} + 1,264 \text{ m}}{5^\circ} 57,29$
 $R_{anckerman} = 29,239 \text{ m}$

- Perhitungan sudut *side slip*
 Diketahui : $R_{anckerman} = 29,239 \text{ m}$
 $l_r = 1,264 \text{ m}$
 Ditanya: $R_{anckerman} = \dots ?$
 Jawab : $\beta = \text{arc. sin}(l_r / R_{anckerman})$
 $\beta = \text{arc. sin}(1,264 \text{ m} / 29,239 \text{ m})$
 $\beta = 2,48^\circ$

153

Setelah diketahui nilai dari sudut *side slip* dan radius *anckerman*, maka diperlukan nilai koefisien gesek roda terhadap jalan, sudut kemiringan lateral, dan nilai berat total kendaraan. Adapun perhitungan kecepatan *skid* pada roda depan pada jalan aspal kering dengan nilai koefisien *rolling* sebesar 0.8 pada aspal, sudut lateral dianggap datar, dan 5 penumpang depan ialah sebagai berikut.

- Perhitungan kecepatan maksimum *skid* roda depan
 Diketahui $R_{anckerman} = 29,239 \text{ m}$
 $\beta = 2,48^\circ$ $W = 1331 \text{ kg}$
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ $\mu = 0.8$
 $l_r = 1,264 \text{ m}$ $h = 0,59 \text{ m}$
 Ditanya: $V_{sf} = \dots ?$

Jawab

:

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \left[\frac{(\mu \cdot l_r \cdot W)}{l_r \cdot (\cos\beta) - h \cdot \mu \cdot \sin\beta} \right]}$$

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{29,239 \text{ m} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{1331 \text{ kg}} \left[\frac{0,8 \times 1,264 \text{ m} \times 1331 \text{ kg}}{1,264 \text{ m} \times \cos 2,48^\circ - 0,59 \text{ m} \times 0,8 \times \sin 2,48^\circ} \right]}$$

$$V_{sf} = 15,2802 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sedangkan untuk perhitungan kecepatan skid pada roda belakang dapat dihitung dengan rumus seperti berikut.

- Perhitungan kecepatan maksimum *skid* roda belakang

Diketahui

$$R_{anckerman} = 29,239 \text{ m}$$

$$\beta = 2,48^\circ \quad W = 1331 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad \mu = 0,8$$

$$l_f = 1,261 \text{ m} \quad h = 0,59 \text{ m}$$

Ditanya: $V_{sr} = \dots ?$

Jawab

:

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \left[\frac{(\mu \cdot l_f \cdot W)}{l_f \cdot (\cos\beta) - h \cdot \mu \cdot \sin\beta} \right]}$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{29,239 \text{ m} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{1331 \text{ kg}} \left[\frac{0,8 \times 1,261 \text{ m} \times 1331 \text{ kg}}{1,261 \text{ m} (\cos 2,48^\circ) - 0,59 \text{ m} \times 0,8 \times \sin 2,48^\circ} \right]}$$

$$V_{sr} = 15,03 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sehingga setelah dilakukan perhitungan pada variasi sudut belok pada kendaraan dan variasi CG.

4.9.3 Perhitungan Sudut Slip

Perhitungan sudut slip digunakan untuk mengetahui nilai koefisien *understeer* untuk mengetahui perilaku belok jalan sebelum mengalami *skid*. Untuk mengetahui perilaku belok kendaraan terhadap sudut *slip*, dilakukan perhitungan sudut *slip* pada sudut belok 30° CG BEV 1 roda depan (2) sebagai berikut.

- Perhitungan gaya sentrifugal roda depan

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad R &= 4.87 \text{ m} & l_r &= 1.085 \text{ m} \\ m &= 1620 \text{ kg} & \beta &= 12.869^\circ \\ L &= 2.525 \text{ m} \\ v &= 20 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 5.56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Ditanya: $F_{cfx} = \dots ?$

$$\text{Jawab} \quad : F_{cfx} = \frac{l_r((m.v^2/R) \times \sin\beta)}{L}$$

F_{cfx}

$$1.085 \text{ m} \left(\frac{1620 \text{ kg} \cdot \left(5.56 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{4.87 \text{ m}} \right) \times$$

$$= \frac{\sin 12.869^\circ}{2.525 \text{ m}}$$

$$F_{cfx} = 982.258 \text{ N}$$

- Perhitungan gaya sentrifugal roda belakang

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad R &= 4.87 \text{ m} & l_r &= 1.085 \text{ m} \\ m &= 1620 \text{ kg} & \beta &= 12.869^\circ \\ L &= 2.525 \text{ m} \\ v &= 20 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 5.56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Ditanya: $F_{cfy} = \dots ?$

$$\text{Jawab} \quad : F_{cfy} = \frac{l_r((m.v^2/R) \cos\beta)}{L}$$

$$F_{cfy}$$

$$1.085 m \left(\frac{1620 \text{ kg} \cdot \left(5.56 \frac{m}{s}\right)^2}{4.87 m} \right)$$

$$= \frac{\times \cos 12.869^\circ}{2.525 m}$$

$$F_{cfy} = 4299.52 N$$

➤ Perhitungan gaya ban 2 sumbu x

Diketahui $\delta_f = 30^\circ$ $F_{cfx} = 982.258 N$
 $F_{cfy} = 4299.52 N$

Ditanya: $F_{x2} = \dots?$

Jawab :

$$F_{x2} = \frac{1}{2} [F_{cfx} \cdot \cos \delta_f - F_{cfy} \cdot \sin \delta_f]$$

$$F_{x2} = \frac{1}{2} [982.258 N \times \cos 30^\circ - 4299.52 N \times \sin 30^\circ]$$

$$F_{x2} = -649.55 N$$

➤ Perhitungan gaya ban 2 sumbu y

Diketahui $\delta_f = 30^\circ$ $F_{cfx} = 982.258 N$
 $F_{cfy} = 4299.52 N$

Ditanya: $F_{y2} = \dots?$

Jawab :

$$F_{y2} = \frac{1}{2} [F_{cfy} \cdot \cos \delta_f + F_{cfx} \cdot \sin \delta_f]$$

$$F_{y2} = \frac{1}{2} [4299.52 N \times \cos 30^\circ + 982.258 N \times \sin 30^\circ]$$

$$F_{y2} = 2107.31 N$$

➤ Perhitungan gaya ban 2 sumbu x

Diketahui $R = 4.87 m$ $l_r = 1.085 m$
 $m = 1620 \text{ kg}$ $\beta = 12.869^\circ$
 $L = 2.525 m$ $t_f = 1.655 m$
 $h = 0.59 m$
 $v = 20 \frac{km}{jam} = 5.56 \frac{m}{s}$

Ditanya: $F_{z2} = \dots ?$

Jawab :

$$\begin{aligned}
 F_{z2} &= \frac{l_r}{2L} W - \frac{l_r}{2L} \left(\frac{(m \cdot v^2 / R) h \cdot \cos \beta}{0,5 \cdot t_f} \right) + \\
 &\quad \frac{(m \cdot v^2 / R) h \cdot \sin \beta}{2L} \\
 &= \frac{1.085 \text{ m}}{2(2.525 \text{ m})} \left((1620 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) \right. \\
 &\quad \left. - \frac{\left(\left(1620 \text{ kg} \cdot \left(5.56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 / 4.87 \text{ m} \right) \right)}{0,5(1.655 \text{ m})} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\left(1620 \text{ kg} \cdot \left(5.56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 / 4.87 \text{ m} \right)}{0,5(1.655 \text{ m})} \right) \\
 &\quad \times 0.59 \text{ m} \times \sin 12.869^\circ \\
 F_{z2} &= 2132.89 \text{ N}
 \end{aligned}$$

157

Dengan menggunakan tekanan ban sebesar 36 psi dan tekanan ban ideal 25 psi, didapatkan nilai koefisien C_{rp} sebesar 76.64 dan C_{rs} sebesar 78.6. Sehingga didapatkan nilai sudut *slip* kendaraan sebagai berikut.

➤ Perhitungan sudut *slip*

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad F_{y\alpha i} &= 2107.31 \text{ N} & C_{rs} &= 78.6 \\ F_{z2} &= 2132.89 \text{ N} & C_{rp} &= 76.64 \end{aligned}$$

$$C_{rx} = \left[\frac{2107.31 \text{ N} + 0.107927 F_x}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.47988}} = 197.51$$

$$C_{ro} = \left[\frac{2107.31 \text{ N}}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.47988}} = 211.93$$

Ditanya: $\alpha_i = \dots ?$

Jawab :

$$\alpha_i = 0,3 \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 \cdot (F_{y\alpha i})^{0,79008} - 0,005277(F_{zi})]$$

$$\alpha_2 = 0,3 \frac{76.64}{78.6} \times$$

$$\frac{197.51}{211.93} [0,087935 \cdot (2107.31 \text{ N})^{0,79008} - 0,005277(2132.89 \text{ N})]$$

$$\alpha_2 = 0.1233^o$$

Sehingga setelah dilakukan perhitungan sudut *slip* untuk ban depan dan belakang pada setiap variasi pusat massa dengan variasi kecepatan kendaraan dan variasi sudut belok, didapatkan nilai sudut *slip*. Kemudian dilakukan perhitungan rata-rata sudut *slip* ban depan dan belakang sehingga didapatkan nilai seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 4 Nilai sudut *slip* kendaraan terhadap sudut belok dan kecepatan

v(km/jam)	delta	R anck (m)	beta (deg)	alfa depan	alfa belakang
20	5	29,240	2,48	0,000	0,000
	10	14,620	4,96	0,000	0,000
	15	9,747	7,45	0,023	0,019
	20	7,310	9,96	0,053	0,043
	25	5,848	12,48	0,082	0,065
	30	4,873	15,03	0,110	0,084
25	5	29,240	2,48	0,000	0,000
	10	14,620	4,96	0,027	0,023
	15	9,747	7,45	0,072	0,063
	20	7,310	9,96	0,115	0,097
	25	5,848	12,48	0,156	0,127
	30	4,873	15,03	0,197	0,154
30	5	29,240	2,48	0,000	0,000
	10	14,620	4,96	0,066	0,060
	15	9,747	7,45	0,126	0,112
	20	7,310	9,96	0,184	0,157
	25	5,848	12,48	0,240	0,197
	30	4,873	15,03	0,295	0,232
35	5	29,240	2,48	0,024	0,023
	10	14,620	4,96	0,109	0,100
	15	9,747	7,45	0,187	0,166
	20	7,310	9,96	0,261	0,223
	25	5,848	12,48	0,333	0,274
	30	4,873	15,03	0,403	0,318

Setelah didapatkan nilai sudut *slip* roda depan dan roda belakang dengan variasi kecepatan pada jalan mendatar, dilakukan perhitungan koefisien *understeer*. Indeks ini dapat mengidentifikasi perilaku arak belok kendaraan, sedangkan kecepatan karakteristik digunakan untuk mengetahui kecepatan maksimum kendaraan *understeer*. Untuk mendapatkan nilai koefisien *understeer*, dilakukan perhitungan pada radius belok nyata sebagai berikut.

➤ Perhitungan radius belok nyata

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad l_f + l_r = L = 2.525 \text{ m} \quad \alpha_r = 0.084^\circ \\ \delta_f = 30^\circ \quad \alpha_f = 0.133^\circ \end{aligned}$$

Ditanya: $R_n = \dots ?$

Jawab :

$$R_n = \frac{l_f + l_r}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{2.525 \text{ m}}{30^\circ + 0.084^\circ - 0.133^\circ} 57,29 \\ R_n &= 4.815 \text{ m} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan Kus

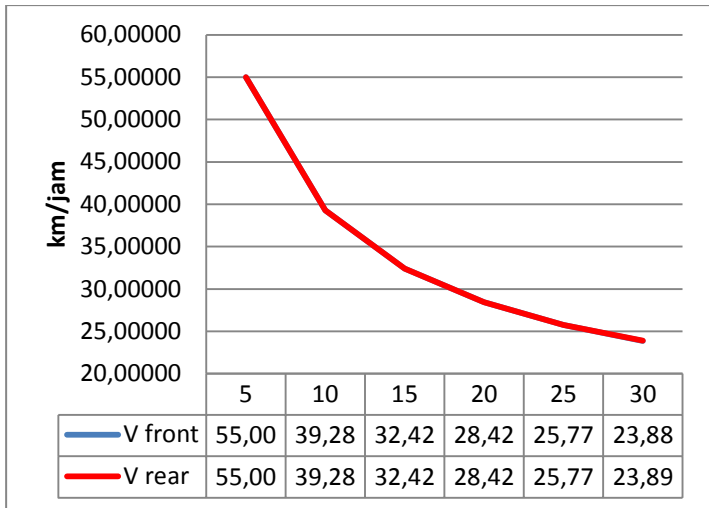
$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad R_n = 4.815 \text{ m} \quad \delta_f = 30^\circ \\ \alpha_f = 0.133^\circ \quad \alpha_r = 0.084^\circ \\ v = 20 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 5.56 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Ditanya: $K_{us} = \dots ?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab} \quad :K_{us} &= (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ) \frac{R_n g}{v^2} \\ K_{us} &= (0.133^\circ - 0.084^\circ) \frac{4.815 \text{ m} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{(5.56 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} \\ K_{us} &= 0.0742 \end{aligned}$$

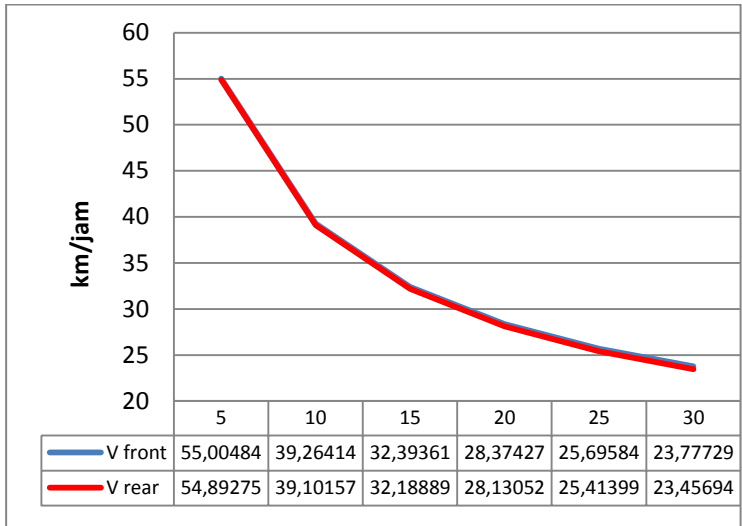
4.9.4 Analisa Skid

Setelah dilakukan perhitungan kecepatan skid, dapat dianalisa perilaku kendaraan dengan syarat $V_{sf} > V_{sr}$, skid roda belakang terjadi sebelum skid roda depan dan kendaraan cenderung *oversteer* dan jika $V_{sf} < V_{sr}$, skid roda depan terjadi sebelum skid roda belakang dan kendaraan cenderung *understeer*. Adapun grafik kecepatan skid terhadap sudut belok kendaraan ialah sebagai berikut.

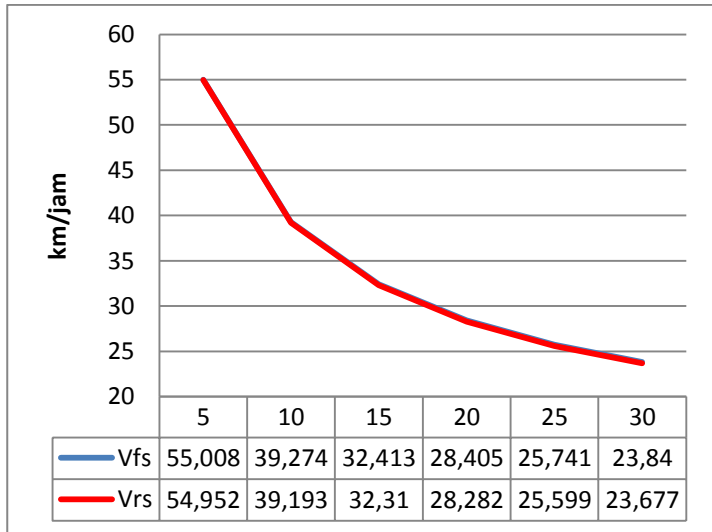


Gambar 4. 26 Kecepatan maksimum skid Toyota Calya CG1 (ICE)

161



Gambar 4. 27 Kecepatan maksimum skid CG2 (Toyota Calya BEV 1)



**Gambar 4. 28 Kecepatan maksimum *skid* CG3
(Toyota Calya BEV 2)**

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa Toyota Calya ICE dengan 5 penumpang memiliki batas kecepatan *skid* maksimum roda depan sebesar 55.006 km/jam pada sudut belok 5° dan menurun seiring bertambahnya sudut belok dengan besar 23.883 km/jam pada sudut belok 30° . Sedangkan untuk roda belakang, batas kecepatan *skid* Toyota Calya ICE sebesar 55.007 km/jam pada sudut 5° dan 23.886 km/jam pada sudut 30° . Untuk Toyota Calya BEV konfigurasi pertama roda depan memiliki batas kecepatan 55.005 km/jam pada 5° dan 23.777 km/jam pada 30° , sedangkan untuk roda belakang batas kecepatan *skid* ialah 54.89 km/jam pada 5° dan 23.457 km/jam pada 30° . Sedangkan pada BEV konfigurasi 2, batas kecepatan *skid* roda depan 55.008 km/jam pada 5° dan 23.840 km/jam pada 30° , untuk roda

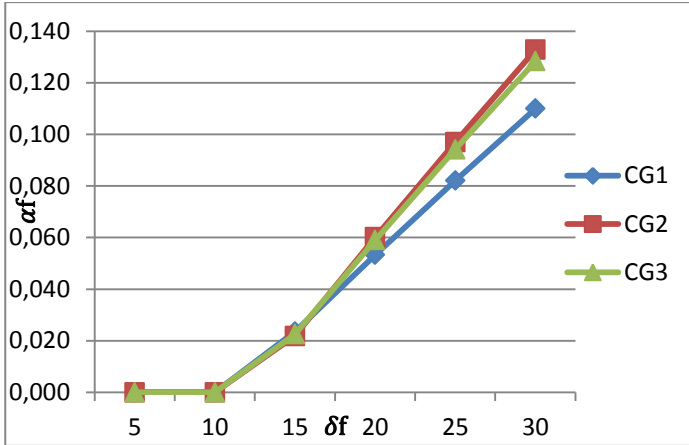
belakang 54.952 km/jam pada 5° dan 23.677 km/jam pada 30° .

Secara keseluruhan, kendaraan listrik Toyota Calya ICE (CG1) cenderung mengalami *skid undertsteer* dikarenakan nilai $V_{sf} < V_{sr}$, sedangkan untuk CG2 dan CG3 dengan 5 penumpang mengalami *oversteer* dikarenakan nilai $V_{sf} > V_{sr}$. Berdasarkan grafik tersebut, kecenderungan semakin besar sudut belok kendaraan, maka kecepatan *skid* semakin rendah. Namun semakin besar nilai sudut kemiringan lateral kendaraan, semakin besar nilai kecepatan *skid*, Semakin rendahnya nilai kecepatan *skid* menyebabkan kecenderungan kendaraan mengalami *skid* semakin tinggi.

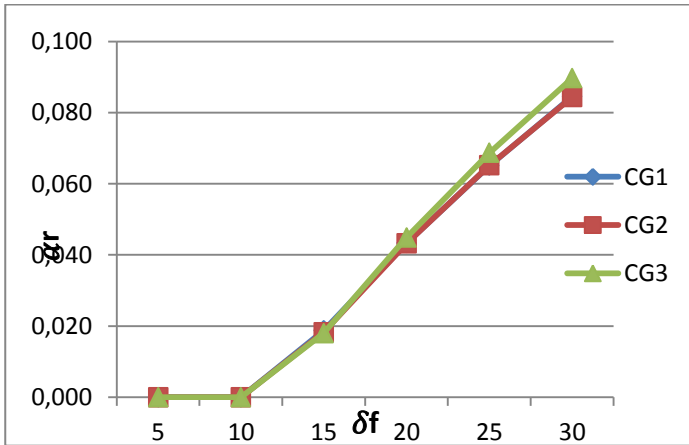
Dari ketiga nilai tersebut, didapatkan Toyota Calya BEV konfigurasi 1 memiliki kecenderungan *skid* lebih besar dikarenakan memiliki batas kecepatan *skid* yang lebih kecil untuk setiap sudut belok daripada kedua nilai yang lain juga dapat mengalami kecenderungan kecelakaan lebih besar dikarenakan cenderung mengalami *skid oversteer* lebih besar. Sedangkan kecenderungan *skid* lebih kecil didapatkan oleh Toyota Calya ICE dikarenakan nilai batas kecepatan *skid* lebih besar untuk setiap sudut beloknya, juga kecenderungan kendaraan mengalami *skid undertsteer* sehingga kendaraan paling aman dikendarai.

4.9.5 Analisa Slip

Setelah dilakukan perhitungan seperti pada subbab 4.9.5, didapatkan grafik sudut *slip* seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 29 Sudut slip terhadap sudut belok roda depan pada kecepatan 20 km/jam

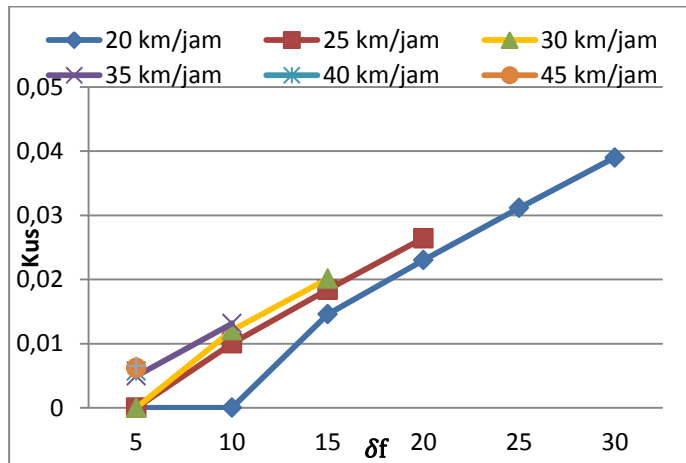


Gambar 4. 30 Sudut slip terhadap sudut belok roda belakang pada kecepatan 20 km/jam

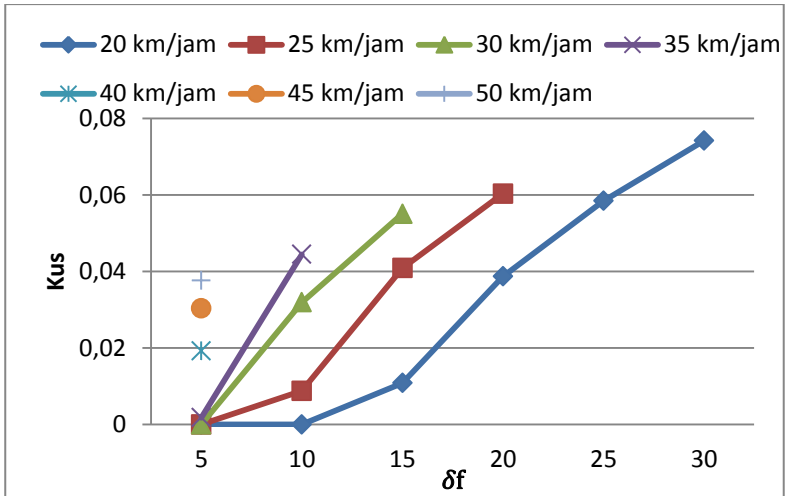
Pada gambar 4.29 nilai sudut *slip* pada CG 1, CG 2, dan CG 3 bernilai 0° dari sudut belok 0° hingga 10° . Kemudian nilai sudut *slip* meningkat seiring dengan

bertambahnya sudut belok yang diberikan kendaraan. Nilai sudut *slip* maksimum yang terjadi pada roda depan CG1 bernilai 0.11° sedangkan sudut *slip* maksimum yang terjadi pada CG 2 dan CG 3 berturut-turut sebesar 0.133° dan 0.128° . Sedangkan berdasarkan gambar 4.30 diketahui nilai sudut *slip* tertinggi yang terjadi pada roda belakang kendaraan dengan variasi CG1, CG2, dan CG3 berturut-turut sebesar 0.084° , 0.084° , dan 0.09° . Nilai Sehingga diketahui bahwa CG1 dan CG2 mendapatkan nilai sudut *slip* yang roda belakang lebih kecil dibanding sudut *slip* CG3. Secara keseluruhan, nilai sudut *slip* yang terjadi pada roda depan cenderung lebih besar daripada sudut *slip* roda belakang sehingga kendaraan cenderung mengalami *understeer*.

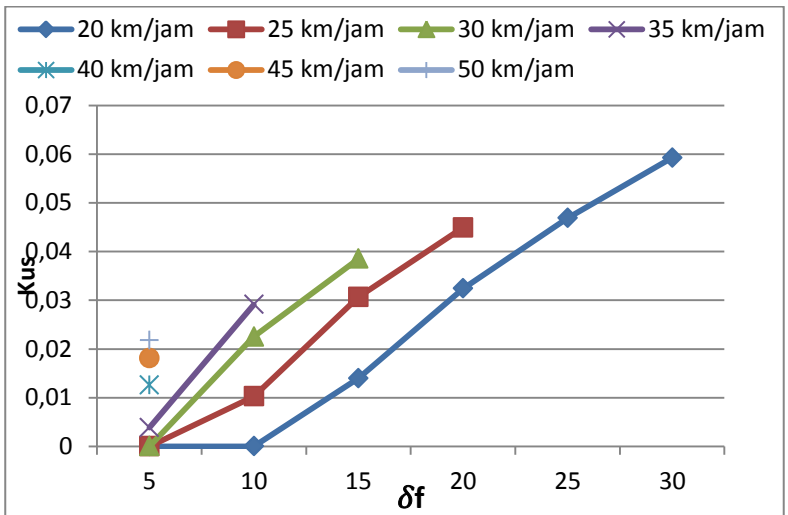
Setelah didapatkan nilai sudut *slip* masing2 roda depan dan belakang, didapatkan grafik Kus seperti pada berikut ini.



Gambar 4. 31 Nilai Kus terhadap sudut belok dengan variasi kecepatan pada CG 1



Gambar 4. 32 Nilai Kus terhadap sudut belok dengan variasi kecepatan pada CG2



Gambar 4. 33 Nilai Kus terhadap sudut belok dengan variasi kecepatan pada CG3

Dari ketiga grafik di atas membandingkan nilai Kus terhadap δf pada jalan rata dan aspal kering dengan variasi kecepatan 20 km/jam, 25 km/jam, 30 km/jam, 35 km/jam, 40 km/jam, 45 km/jam, dan 50 km/jam. Dari grafik, didapatkan ketiga CG Toyota Calya mengalami kondisi netral dan *understeer*. Pada kecepatan 20 km/jam, CG1 memiliki nilai Kus tertinggi ialah 0.039, pada CG2 nilai Kus tertinggi sebesar 0.074, dan pada CG 3 nilai Kus tertinggi sebesar 0.059. Sedangkan untuk kecepatan tertinggi 50 km/jam, CG1 memiliki nilai Kus tertinggi ialah 0.0065, pada CG2 nilai Kus tertinggi sebesar 0.038 dan pada CG 3 nilai Kus tertinggi sebesar 0.021.

Kondisi *understeer* terjadi ketika kendaraan sulit untuk dibelokkan sehingga membutuhkan sudut belok yang lebih besar untuk belok pada radius tertentu. Sehingga mobil cenderung bergerak lurus walaupun setir sudah dibelokkan. Hal tersebut dipengaruhi oleh titik pusat massa, dimana ketika pusat massa cenderung berada di belakang kendaraan, maka nilai Kus akan semakin besar. Hal ini dikarenakan nilai sudut *slip* yang terjadi pada roda dengan pusat masa di belakang lebih besar.

Dari nilai Kus tersebut, dapat diketahui bahwa CG1 memiliki kecenderungan lebih stabil dibandingkan CG2 dan CG3. Hal ini dikarenakan Kus yang dimiliki cenderung bernilai lebih kecil. Sedangkan CG2 memiliki kecenderungan kurang stabil dibandingkan yang lain dikarenakan memiliki nilai Kus yang lebih besar sehingga cenderung lebih *understeer*. Di antara Toyota Calya BEV, konfigurasi CG3 yang lebih aman untuk dikendarai.

4.10 Perbandingan Kendaraan Toyota Calya ICE dan Toyota Calya BEV

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan nilai performa dari masing-masing kendaraan. Adapun perbandingan dari kedua kendaraan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 5 Spesifikasi kendaraan Toyota Calya ICE dan Toyota Calya BEV

	ICE	BEV
Transmisi	5 tingkat	2 tingkat
	n1 = 3.417	n1 = 1.83
	n2 = 1.96	n2 = 0.707
	n3 = 1.25	
	n4 = 0.917	
	n5 = 0.707	
Engine/ motor	Engine 3NR 1.2 L	BLDC motor Brog Warner HVH250-90 300V
Torsi max	123 N.m	330 N.m
Power max	77.07 kW	60 kW
V max	136 km/jam	136 km/jam
Climb ability (full passenger)	25°	30°
Energy Consumption	0.539 kWh/km	0.431 kWh/km
Curb mass	981 kg	1270 kg
Fuel/Energy	Gasoline (36 L)	Li-ion Polymer Battery (39 kWh)

Dari hasil perbandingan Toyota Calya ICE dan Toyota Calya BEV, Toyota Calya memerlukan 5 tingkat transmisi untuk dapat menanjak pada sudut tanjak maksimumnya sedangkan Toyota Calya BEV hanya memerlukan 2 tingkat transmisi saja.

Dengan menggunakan masing-masing transmisi, didapatkan nilai performa yang sebanding pada kecepatan maksimum sebesar 136 km/jam dan peningkatan kemampuan tanjak dengan nilai 30° . Sedangkan konsumsi energi kendaraan Toyota Calya BEV lebih rendah 0.108 kWh/km dibandingkan konsumsi energi kendaraan Toyota ICE. Sehingga hasil desain dikatakan sudah sesuai dengan keinginan penulis.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dilakukan penarikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Performa Toyota Calya ICE memiliki kemampuan tanjak maksimum sebesar 25° dan kecepatan maksimum sebesar 136 km/jam. Sedangkan performa Toyota Calya BEV dengan motor 60 kW dengan rasio transmisi 2 tingkat hasil *re-design* dapat menanjak sebesar 30° dan kecepatan maksimum sebesar 136 km/jam.
2. Digunakan motor Brog Warner HVH250-90 dengan *power* 60kW dengan jenis motor BLDC yang memenuhi kebutuhan kendaraan dimana performa motor memiliki rentang kecepatan putar 0-10,600 rpm dan torsi maksimum 330 N.m yang sesuai dengan kebutuhan Toyota Calya BEV.
3. Karakteristik traksi Toyota Calya BEV dengan 5 tingkat transmisi mengalami *over-design* pada transmisi tingkat pertama untuk menanjak dan jumlah tingkat transmisi yang terlalu banyak sehingga dibutuhkan *re-design* transmisi kendaraan dengan nilai tingkat gigi pertama sebesar 1.83 dan tingkat kedua sebesar 0.707 agar dapat menanjak sebesar 30° dan mencapai kecepatan maksimum 136 km/jam.
4. Konsumsi energi yang dihasilkan Toyota Calya ICE dengan *driving cycle* WLTP kelas 3 sebesar 0.539 kWh/km sedangkan konsumsi energi yang dihasilkan Toyota Calya BEV sebesar 0.431 kWh/km.
5. Energi baterai yang digunakan untuk minimal menempuh jarak sejauh 85 km ialah sebesar 49.665 kWh sehingga

dipilih baterai LG Chem Li-Ion Polymer 2.6 kWh dengan jumlah 15 *pack* baterai.

6. Perilaku belok kendaraan dengan variasi sudut belok 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , dan 30° pada Toyota Calya ICE dengan nilai *center of gravity* sebesar a 1,241m dan b sebesar 1,283m dengan 5 penumpang cenderung mengalami *oversteer*. Sedangkan konfigurasi Toyota Calya BEV 2 lebih stabil dibanding konfigurasi 1 dengan nilai a 1.345 m dan b 1.180 m dikarenakan nilai Kus yang rendah dan kecepatan maksimum *skid* yang lebih besar sehingga lebih aman dikendarai.
7. Dari hasil perancangan kendaraan Toyota Calya listrik, perancangan sudah dikatakan sesuai dengan keinginan penulis dimana tingkat transmisi yang digunakan berjumlah 2 tingkat dengan kemampuan tanjak kendaraan Toyota Calya listrik meningkat dengan nilai 30° dan kecepatan maksimum yang sama pada jalan mendatar sebesar 136 km/jam dibandingkan Toyota Calya ICE. Serta nilai konsumsi energi yang lebih rendah sebesar 0.431 kWh/km sehingga kendaraan Toyota Calya BEV lebih hemat 0.108 kWh/km dibanding Toyota Calya ICE.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini ialah.

1. Memaksimalkan penempatan komponen pada bagian depan kendaraan dikarenakan jenis kendaraan merupakan roda penggerak depan sehingga nilai pusat massa tidak bergeser ke belakang.
2. Memanfaatkan penempatan baterai pada sisi lantai chassis secara merata agar ketinggian titik pusat massa semakin rendah dan lebih aman.
3. Menambahkan komponen elektrik yang digunakan pada bagian depan kendaraan agar nilai pusat massa bergeser ke depan.

4. Melakukan studi komparasi konversi mobil listrik menggunakan jenis motor lain sehingga didapatkan pemilihan jenis motor listrik yang paling sesuai dengan kendaraan.
5. Dilakukan studi mengenai pembuatan dan penempatan baterai sel dan module yang sesuai agar mencapai nilai CG agar kendaraan semakin stabil.
6. Dilakukan studi mengenai desain *re-design* transmisi agar ukuran dimensi setiap komponen kendaraan semakin akurat.
7. Dibutuhkan studi lebih mendalam mengenai stabilitas kendaraan listrik dengan variasi penempatan CG.
8. Melakukan studi mengenai analisis kekuatan struktur *chassis* Toyota Calya kendaraan listrik.
9. Melakukan studi lebih lanjut mengenai penempatan setiap komponen berbasis *software* guna mendapatkan perhitungan CG yang lebih akurat sehingga analisa stabilitas yang dihasilkan lebih akurat.
10. Melakukan studi mengenai sistem kontrol mobil Toyota Calya listrik.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Hasil Uji Dynotest

TABEL 1 : Hasil uji Torsi Dynotest sebanyak 6 kali pengambilan data

speed (rpm)	Torque (N.m)						
	1	2	3	4	5	6	avg
1500	95,4	95	95,9	93,5	95,4	96,4	95,3
2000	104	104	105,4	104,4	104	102,6	104,1
2500	109,1	109,4	110	112,3	110,5	110	110,2
3000	111,1	110,9	110,4	112,5	113,3	111,8	111,7
3500	115,8	115,6	117,2	116	115,4	116,6	116,1
4000	118,8	117,9	120,6	120,6	120,9	119,8	119,8
4500	121,9	122,2	123,1	123,9	123,5	123,3	123,0
5000	120,7	121,8	122,4	122,9	120,5	121,7	121,7
5500	119,7	122	121	121,5	121,1	120,6	121,0
6000	121,9	123,5	122,9	123,3	122,4	122,2	122,7

175

TABEL 2 : Hasil uji Power Dynotest sebanyak 6 kali pengambilan data

Speed (rpm)	Power (bhp)						
	1	2	3	4	5	6	avg
1500	20,1	20	20,2	19,7	20,1	20,3	20,07
2000	29,2	29,2	29,6	29,3	29,2	28,8	29,22
2500	38,3	38,4	38,6	39,4	38,8	38,6	38,68
3000	46,8	46,7	46,5	47,4	47,7	47,1	47,03
3500	56,9	56,8	57,6	57	56,7	57,3	57,05
4000	66,7	66,2	67,7	67,7	67,9	67,3	67,25
4500	77	77,2	77,8	78,3	78	77,9	77,70

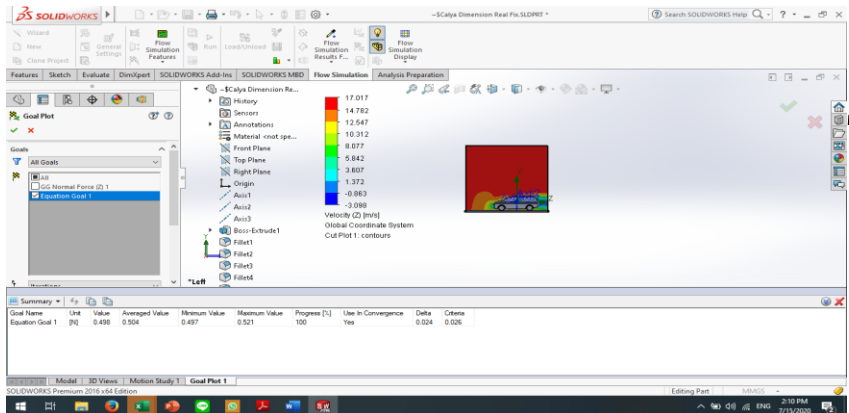
5000	84,7	85,5	85,9	86,3	84,6	85,4	85,40
5500	92,4	94,2	93,4	93,8	93,5	85,4	92,12
6000	102,7	104	103,5	103,9	103,1	102,9	103,35

LAMPIRAN B

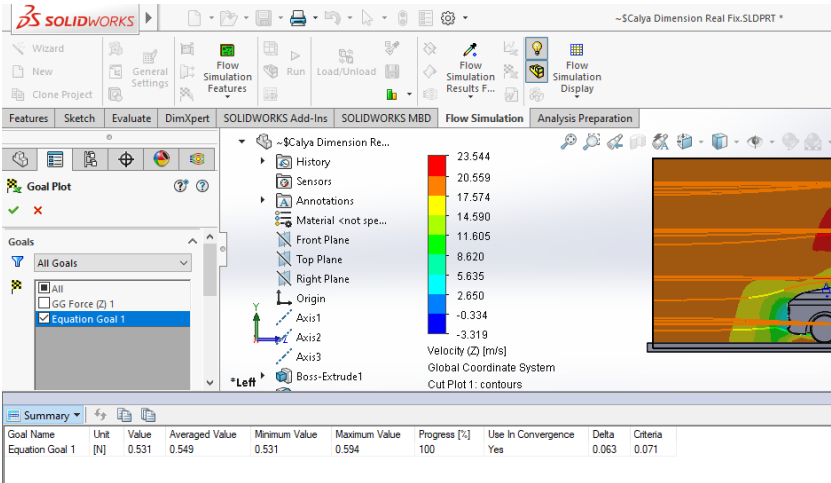
Simulasi Nilai Koefisien *Drag*

TABEL 3 : Hasil simulasi nilai koefisien *drag* pada *Solidwork*

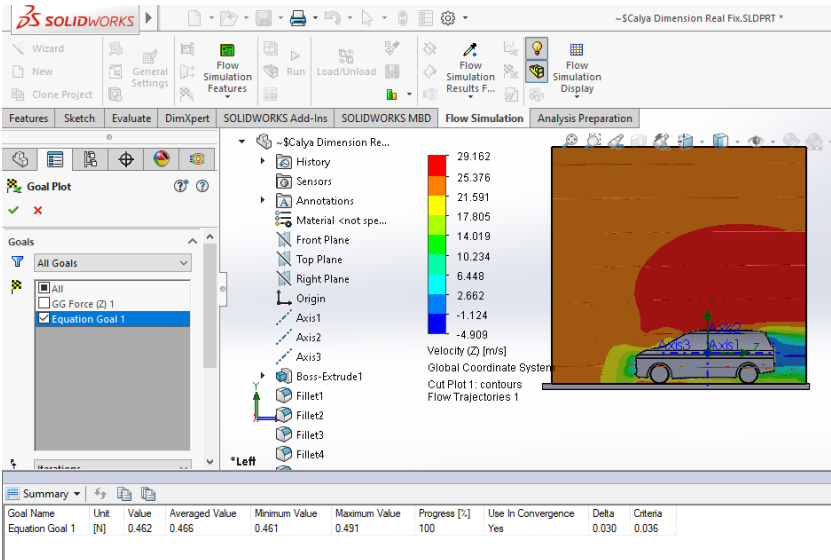
v (m/s)	Cd
30	0,512
35	0,546
40	0,515
45	0,481
50	0,446
Average	0,500



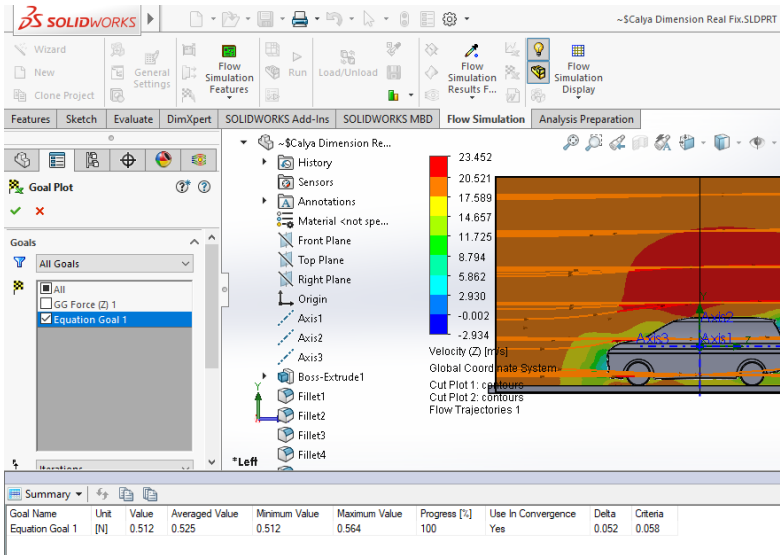
GAMBAR 1 Coefficient of Drag (kecepatan 15 m/s)



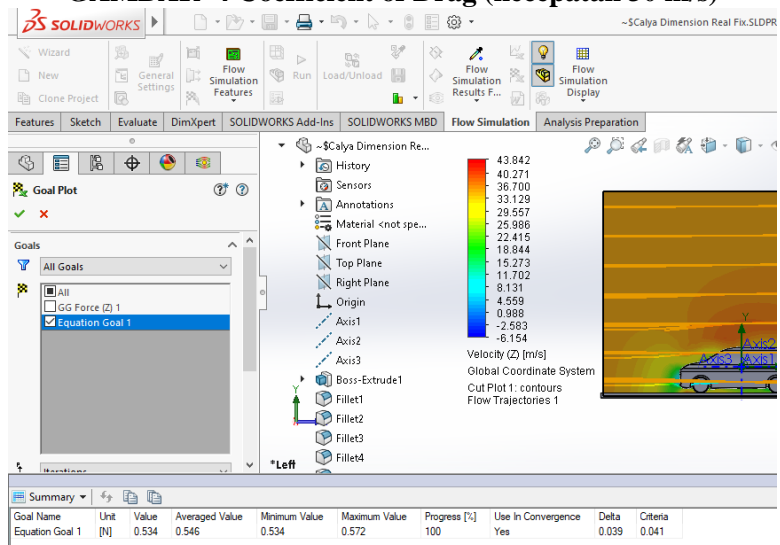
GAMBAR 2 Coefficient of Drag (kecepatan 20 m/s)



GAMBAR 3 Coefficient of Drag (kecepatan 25 m/s)



GAMBAR 4 Coefficient of Drag (kecepatan 30 m/s)



GAMBAR 5 Coefficient of Drag (kecepatan 35 m/s)

LAMPIRAN B

Asumsi Penelitian

TABEL 4 : Tabel asumsi massa kendaraan ICE dan BEV

ICE		BEV	
Component	Mass (kg)	Component	Mass (kg)
Engine	91	Electric Motor	50
Transmission	28,5	Transmission	28,5
Chassis body interior	855,5	Chassis body interior	855,5
-		Battery	306
-		Power Control	30
Total	975	Total	1270

TABEL 5 : Efisiensi Transmisi Manual

4.8 Kriteria Perbandingan Transmisi Manual dengan Transmisi Otomatis

Berdasarkan hasil penelitian, berikut merupakan tabel perbandingan antara transmisi manual dengan transmisi otomatis yaitu :

Tabel 4.3 Perbandingan Transmisi Manual dengan Transmisi Otomatis

Kriteria Penilaian	Perbandingan Transmisi Sistem Transmisi		Keterangan
	Manual	Otomatis (Konvensional)	
Efisiensi Total	82,97%	77,17%	Transmisi manual lebih efisien dibandingkan dengan transmisi otomatis karena pada transmisi otomatis terdapat torsi konverter.
<i>Torque Engine Loss</i> dan <i>Engine Power</i>	114,5 Nm/77,4 HP	106,5 Nm/71,7 HP	Transmisi manual mampu menyalurkan torsi dan daya lebih baik dibandingkan transmisi otomatis karena <i>losses</i> yang terjadi lebih sedikit tanpa adanya torsi konverter.
Gaya Dorong Maksimum	6,2882 kN	4,8087 kN	Transmisi manual menghasilkan gaya dorong yang lebih baik dibandingkan dengan transmisi otomatis.
Kemampuan Melewati Tanjakan (Sudut Tanjak Maksimum dan <i>Gradeability</i>)	31,509° (50%)	23,459° (40%)	Transmisi manual memiliki rasio gigi yang lebih besar pada tingkat gigi pertama sehingga kemampuan menaikinya lebih baik.
Kecepatan Maksimum	152,427 km/jam	127,962 km/jam	Transmisi manual memiliki rasio gigi <i>overdrive</i> yang lebih besar sehingga kecepatan maksimum yang dihasilkan lebih baik.
Percepatan Optimal	3,474 m/s ²	3,251 m/s ²	Transmisi manual memiliki rasio gigi yang lebih besar pada tingkat gigi pertama sehingga percepatan optimal yang dihasilkan lebih baik.

LAMPIRAN C
Perhitungan Gaya Hambat dan Power Kendaraan
TABEL 6 : Tabel perhitungan gaya hambat kendaraan ICE

v (km/j)	Ra (N)	Rr (N)								Rg (N)							
		0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30		
0	0,00	144,31	143,76	142,11	139,39	135,60	130,78	124,97	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
5	1,28	144,35	143,80	142,15	139,43	135,64	130,82	125,01	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
10	5,11	144,53	143,98	142,34	139,61	135,82	130,99	125,17	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
15	11,50	144,93	144,38	142,73	140,00	136,19	131,35	125,52	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
20	20,44	145,60	145,04	143,38	140,63	136,82	131,95	126,09	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
25	31,94	146,56	146,00	144,33	141,57	137,72	132,83	126,92	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
30	46,00	147,86	147,30	145,62	142,82	138,94	134,01	128,05	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
35	62,61	149,53	148,97	147,26	144,44	140,52	135,52	129,50	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
40	81,78	151,61	151,03	149,30	146,44	142,46	137,40	131,30	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
45	103,50	154,11	153,52	151,77	148,86	144,81	139,67	133,46	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
50	127,78	157,06	156,46	154,67	151,71	147,59	142,34	136,02	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
55	154,61	160,49	159,88	158,05	155,02	150,81	145,45	138,99	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
60	184,00	164,43	163,80	161,93	158,82	154,51	149,02	142,40	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
65	215,94	168,88	168,24	166,32	163,13	158,70	153,06	146,26	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
70	250,44	173,89	173,22	171,24	167,96	163,40	157,59	150,59	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
75	287,50	179,45	178,77	176,73	173,34	168,63	162,64	155,41	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
80	327,11	185,61	184,90	182,79	179,28	174,41	168,22	160,74	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
85	369,28	192,37	191,63	189,44	185,81	180,77	174,34	166,59	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
90	414,00	199,75	198,99	196,71	192,94	187,70	181,03	172,99	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
95	461,28	207,77	206,98	204,62	200,69	195,24	188,31	179,94	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
100	511,11	216,46	215,63	213,17	209,08	203,40	196,18	187,46	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
105	563,50	225,82	224,96	222,39	218,12	212,20	204,66	195,56	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
110	618,44	235,87	234,97	232,29	227,83	221,65	213,77	204,27	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
115	675,94	246,63	245,70	242,89	238,23	231,76	223,53	213,59	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
120	736,00	258,12	257,14	254,20	249,33	242,55	233,94	223,54	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
125	798,61	270,35	269,32	266,24	261,14	254,05	245,02	234,13	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
130	863,78	283,34	282,26	279,03	273,68	266,25	256,79	245,38	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
135	931,50	297,09	295,96	292,58	286,97	279,18	269,26	257,29	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
140	1001,78	311,63	310,45	306,90	301,02	292,84	282,44	269,88	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
145	1074,61	326,98	325,73	322,01	315,84	307,26	296,34	283,17	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
150	1150,00	343,13	341,83	337,92	331,44	322,44	310,99	297,16	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
155	1227,94	360,12	358,75	354,65	347,85	338,40	326,38	311,87	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
160	1308,44	377,95	376,51	372,21	365,07	355,15	342,54	327,31	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
165	1391,50	396,63	395,12	390,61	383,12	372,71	359,47	343,49	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
170	1477,11	416,18	414,60	409,86	402,00	391,08	377,19	360,43	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
175	1565,28	436,62	434,96	429,98	421,74	410,29	395,71	378,12	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		
180	1656,00	457,95	456,20	450,99	442,34	430,33	415,04	396,59	0,00	1257,70	2505,83	3734,89	4935,53	6098,60	7215,26		

TABEL 7 : Tabel Perhitungan RHP gaya hambat kendaraan ICE

(km/jam)	Fr						RHP (kW)								
	0 deg	5 deg	10 deg	15deg	20deg	25deg	30 deg	0 deg	5 deg	10 deg	15 deg	20deg	25deg	30 deg	
0	144,31	1401,46	2647,94	3874,28	5071,13	6229,38	7340,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5	145,62	1402,78	2649,26	3875,60	5072,44	6230,70	7341,54	0,20	1,95	3,68	5,38	7,05	8,65	10,20	
10	149,64	1406,80	2653,28	3879,61	5076,45	6234,70	7345,54	0,42	3,91	7,37	10,78	14,10	17,32	20,40	
15	156,43	1413,58	2660,06	3886,39	5083,22	6241,45	7352,27	0,65	5,89	11,08	16,19	21,18	26,01	30,63	
20	166,04	1423,19	2669,66	3895,97	5092,78	6251,00	7361,79	0,92	7,91	14,83	21,64	28,29	34,73	40,90	
25	178,50	1435,65	2682,11	3908,40	5105,19	6263,37	7374,12	1,24	9,97	18,63	27,14	35,45	43,50	51,21	
30	193,86	1451,00	2697,45	3923,71	5120,47	6278,61	7389,31	1,62	12,09	22,48	32,70	42,67	52,32	61,58	
35	212,15	1469,28	2715,71	3941,91	5138,65	6296,73	7407,37	2,06	14,28	26,40	38,32	49,96	61,22	72,02	
40	233,38	1490,51	2736,91	3963,11	5159,77	6317,78	7428,33	2,59	16,56	30,41	44,03	57,33	70,20	82,54	
45	257,61	1514,72	2761,10	3987,25	5183,84	6341,76	7452,22	3,22	18,93	34,51	49,84	64,80	79,27	93,15	
50	284,84	1541,94	2788,28	4014,38	5210,89	6368,72	7479,05	3,96	21,42	38,73	55,76	72,37	88,45	103,88	
55	315,10	1572,19	2818,50	4044,53	5240,95	6398,66	7508,86	4,81	24,02	43,06	61,79	80,07	97,76	114,72	
60	348,43	1605,50	2851,76	4077,71	5274,03	6431,62	7541,65	5,81	26,76	47,53	67,96	87,90	107,19	125,69	
65	384,83	1641,89	2888,09	4113,96	5310,17	6467,60	7577,46	6,95	29,65	52,15	74,28	95,88	116,78	136,82	
70	424,33	1681,37	2927,52	4153,30	5349,37	6506,63	7616,29	8,25	32,69	56,92	80,76	104,02	126,52	148,09	
75	466,95	1723,97	2970,06	4195,73	5391,66	6548,74	7658,17	9,73	35,92	61,88	87,41	112,33	136,43	159,55	
80	512,72	1769,71	3015,73	4241,29	5437,05	6593,93	7703,11	11,39	39,33	67,02	94,25	120,82	146,53	171,18	
85	561,64	1818,61	3064,55	4289,98	5485,57	6642,22	7751,13	13,26	42,94	72,36	101,29	129,52	156,83	183,01	
90	613,75	1870,69	3116,55	4341,83	5537,23	6693,63	7802,24	15,34	46,77	77,91	108,55	138,43	167,34	195,06	
95	669,05	1925,96	3171,73	4396,86	5592,05	6748,18	7856,47	17,66	50,82	83,70	116,03	147,57	178,08	207,32	
100	727,57	1984,45	3230,11	4455,08	5650,04	6805,89	7913,82	20,21	55,12	89,73	123,75	156,95	189,05	219,83	
105	789,32	2046,16	3291,72	4516,51	5711,22	6866,76	7974,32	23,02	59,68	96,01	131,73	166,58	200,28	232,58	
110	854,32	2111,12	3356,56	4581,17	5775,62	6930,81	8037,97	26,10	64,51	102,56	139,98	176,48	211,77	245,60	
115	922,58	2179,34	3424,66	4649,06	5843,23	6998,07	8104,79	29,47	69,62	109,40	148,51	186,66	223,55	258,90	
120	994,12	2250,84	3495,03	4720,22	5914,08	7068,53	8174,79	33,14	75,03	116,53	157,34	197,14	235,62	272,49	
125	1068,96	2325,63	3570,69	4794,64	5988,18	7142,23	8248,00	37,12	80,75	123,98	166,48	207,92	247,99	286,39	
130	1147,11	2403,74	3648,64	4872,35	6065,55	7219,16	8324,41	41,42	86,80	131,76	175,95	219,03	260,69	300,60	
135	1228,59	2485,16	3729,91	4953,36	6146,20	7299,35	8404,04	46,07	93,19	139,87	185,75	230,48	273,73	315,15	
140	1313,41	2569,93	3814,51	5037,68	6230,14	7382,81	8486,92	51,08	99,94	148,34	195,91	242,28	287,11	330,05	
145	1401,59	2658,05	3902,45	5125,34	6317,39	7469,55	8573,04	56,45	107,06	157,18	206,44	254,45	300,86	345,30	
150	1493,13	2749,53	3993,75	5216,33	6407,97	7559,58	8662,42	62,21	114,56	166,41	217,35	267,00	314,98	360,93	
155	1588,06	2844,40	4088,42	5310,68	6501,87	7652,92	8755,07	68,37	122,47	176,03	228,65	279,84	329,90	376,95	
160	1686,39	2942,66	4186,48	5408,40	6599,12	7749,58	8851,01	74,95	130,78	186,07	240,37	293,29	344,43	393,38	
6	110	854,32	2111,12	3356,56	4581,17	5775,62	6930,81	8037,97	26,10	64,51	102,56	139,98	176,48	211,77	245,60
6	115	922,58	2179,34	3424,66	4649,06	5843,23	6998,07	8104,79	29,47	69,62	109,40	148,51	186,66	223,55	258,90
6	120	994,12	2250,84	3495,03	4720,22	5914,08	7068,53	8174,79	33,14	75,03	116,53	157,34	197,14	235,62	272,49
6	125	1068,96	2325,63	3570,69	4794,64	5988,18	7142,23	8248,00	37,12	80,75	123,98	166,48	207,92	247,99	286,39
6	130	1147,11	2403,74	3648,64	4872,35	6065,55	7219,16	8324,41	41,42	86,80	131,76	175,95	219,03	260,69	300,60
6	135	1228,59	2485,16	3729,91	4953,36	6146,20	7299,35	8404,04	46,07	93,19	139,87	185,75	230,48	273,73	315,15
6	140	1313,41	2569,93	3814,51	5037,68	6230,14	7382,81	8486,92	51,08	99,94	148,34	195,91	242,28	287,11	330,05
6	145	1401,59	2658,05	3902,45	5125,34	6317,39	7469,55	8573,04	56,45	107,06	157,18	206,44	254,45	300,86	345,30
6	150	1493,13	2749,53	3993,75	5216,33	6407,97	7559,58	8662,42	62,21	114,56	166,41	217,35	267,00	314,98	360,93
6	155	1588,06	2844,40	4088,42	5310,68	6501,87	7652,92	8755,07	68,37	122,47	176,03	228,65	279,84	329,90	376,95
6	160	1686,39	2942,66	4186,48	5408,40	6599,12	7749,58	8851,01	74,95	130,78	186,07	240,37	293,29	344,43	393,38
6	165	1788,13	3044,32	4287,94	5509,51	6699,74	7849,57	8950,25	81,96	139,53	196,53	252,91	307,07	359,77	410,22
6	170	1893,29	3149,41	4392,80	5614,00	6803,72	7952,90	9052,79	89,41	148,72	207,44	265,11	321,29	375,55	427,49
6	175	2001,89	3257,94	4501,09	5721,91	6911,09	8059,58	9158,65	97,31	158,37	218,80	278,15	335,96	391,79	445,21
6	180	2113,95	3369,91	4612,82	5833,23	7021,85	8169,64	9267,85	#####	168,50	230,64	291,66	351,09	408,48	463,39

TABEL 8 : Tabel perhitungan gaya hambat kendaraan BEV

v km/jam	Ra	Rr (N)							Θ	O	
		0	5	10	15	20	25	30		Rg (N)	WcosΘ
0	0	172,656	171,999	170,033	166,773	162,244	156,479	149,524	0	0	17265,6
1	0,05116	172,657	172	170,034	166,774	162,244	156,48	149,525	5	1504,8	17199,9
2	0,20463	172,661	172,004	170,038	166,778	162,248	156,484	149,529	10	2998,14	17003,3
3	0,46042	172,669	172,012	170,046	166,786	162,256	156,492	149,536	15	4468,67	16677,3
4	0,81852	172,684	172,027	170,06	166,8	162,27	156,505	149,548	20	5905,18	16224,4
5	1,27894	172,704	172,047	170,08	166,82	162,289	156,523	149,566	25	7296,76	15647,9
6	1,84167	172,732	172,075	170,108	166,846	162,315	156,548	149,59	30	8632,8	14952,4
7	2,50671	172,768	172,11	170,143	166,881	162,349	156,581	149,621			
8	3,27407	172,812	172,155	170,187	166,924	162,39	156,621	149,66			
9	4,14375	172,866	172,208	170,24	166,976	162,441	156,67	149,706			
10	5,11574	172,929	172,271	170,302	167,037	162,5	156,727	149,761			
11	6,19005	173,002	172,344	170,374	167,108	162,569	156,793	149,825			
12	7,36667	173,087	172,428	170,457	167,189	162,648	156,87	149,897			
13	8,6456	173,182	172,523	170,551	167,281	162,738	156,956	149,98			
14	10,0269	173,289	172,63	170,656	167,384	162,838	157,053	150,073			
15	11,5104	173,408	172,748	170,774	167,5	162,95	157,161	150,176			
16	13,0963	173,54	172,88	170,904	167,627	163,074	157,281	150,29			
17	14,7845	173,685	173,024	171,046	167,767	163,21	157,412	150,415			
18	16,575	173,843	173,181	171,202	167,919	163,359	157,555	150,552			
19	18,4678	174,014	173,352	171,371	168,085	163,52	157,711	150,701			
20	20,463	174,2	173,537	171,554	168,265	163,695	157,879	150,862			
21	22,5604	174,401	173,737	171,751	168,458	163,883	158,061	151,035			
22	24,7602	174,616	173,951	171,963	168,666	164,085	158,256	151,222			
23	27,0623	174,846	174,181	172,19	168,888	164,302	158,464	151,421			
24	29,4667	175,092	174,426	172,432	169,126	164,533	158,687	151,634			
25	31,9734	175,354	174,686	172,69	169,379	164,779	158,924	151,861			
26	34,5824	175,632	174,963	172,963	169,647	165,04	159,176	152,101			
27	37,2938	175,926	175,257	173,253	169,932	165,316	159,443	152,356			
28	40,1074	176,237	175,567	173,56	170,232	165,609	159,725	152,626			
29	43,0234	176,566	175,894	173,883	170,549	165,918	160,023	152,91			
30	46,0417	176,912	176,238	174,224	170,883	166,242	160,336	153,21			
31	49,1623	177,275	176,6	174,582	171,235	166,584	160,666	153,525			
32	52,3852	177,657	176,981	174,958	171,603	166,943	161,012	153,855			
33	55,7104	178,057	177,379	175,351	171,989	167,318	161,374	154,201			
34	59,138	178,475	177,796	175,764	172,394	167,712	161,753	154,564			
35	62,6678	178,912	178,232	176,194	172,816	168,123	162,15	154,943			

24	29,4667	175,092	174,426	172,432	169,126	164,533	158,687	151,634
25	31,9734	175,354	174,686	172,69	169,379	164,779	158,924	151,861
26	34,5824	175,632	174,963	172,963	169,647	165,04	159,176	152,101
27	37,2938	175,926	175,257	173,253	169,932	165,316	159,443	152,356
28	40,1074	176,237	175,567	173,56	170,232	165,609	159,725	152,626
29	43,0234	176,566	175,894	173,883	170,549	165,918	160,023	152,91
30	46,0417	176,912	176,238	174,224	170,883	166,242	160,336	153,21
31	49,1623	177,275	176,6	174,582	171,235	166,584	160,666	153,525
32	52,3852	177,657	176,981	174,958	171,603	166,943	161,012	153,855
33	55,7104	178,057	177,379	175,351	171,989	167,318	161,374	154,201
34	59,138	178,475	177,796	175,764	172,394	167,712	161,753	154,564
35	62,6678	178,912	178,232	176,194	172,816	168,123	162,15	154,943
36	66,3	179,369	178,686	176,644	173,257	168,552	162,563	155,338
37	70,0345	179,845	179,16	177,113	173,717	168,999	162,995	155,75
38	73,8713	180,34	179,654	177,601	174,195	169,465	163,444	156,179
39	77,8104	180,856	180,168	178,108	174,693	169,949	163,911	156,626
40	81,8519	181,392	180,702	178,636	175,211	170,453	164,397	157,09
41	85,9956	181,948	181,256	179,184	175,748	170,975	164,901	157,572
42	90,2417	182,525	181,83	179,752	176,306	171,517	165,424	158,071
43	94,59	183,123	182,426	180,341	176,883	172,079	165,966	158,589
44	99,0407	183,742	183,043	180,951	177,481	172,661	166,527	159,125
45	103,594	184,383	183,681	181,582	178,1	173,263	167,108	159,68
46	108,249	185,045	184,341	182,234	178,74	173,886	167,708	160,254
47	113,007	185,73	185,023	182,908	179,401	174,529	168,328	160,847
48	117,867	186,436	185,727	183,604	180,084	175,193	168,969	161,458
49	122,829	187,165	186,453	184,322	180,788	175,878	169,629	162,09
50	127,894	187,917	187,202	185,062	181,514	176,584	170,31	162,741
51	133,06	188,691	187,973	185,825	182,262	177,312	171,012	163,411
52	138,33	189,489	188,768	186,61	183,032	178,061	171,735	164,102
53	143,701	190,31	189,586	187,419	183,825	178,833	172,479	164,813
54	149,175	191,154	190,427	188,25	184,641	179,626	173,245	165,545
55	154,751	192,023	191,292	189,106	185,48	180,442	174,032	166,297
56	160,43	192,915	192,181	189,984	186,342	181,281	174,841	167,069
57	166,21	193,832	193,094	190,887	187,227	182,142	175,671	167,863
58	172,094	194,773	194,032	191,814	188,136	183,027	176,524	168,678
59	178,079	195,738	194,994	192,765	189,069	183,934	177,399	169,514
60	184,167	196,729	195,98	193,74	190,026	184,865	178,297	170,372
61	190,357	197,745	196,992	194,74	191,007	185,819	179,217	171,252
62	196,649	198,785	198,029	195,765	192,012	186,797	180,161	172,153

60	184,167	196,729	195,98	193,74	190,026	184,865	178,297	170,372
61	190,357	197,745	196,992	194,74	191,007	185,819	179,217	171,252
62	196,649	198,785	198,029	195,765	192,012	186,797	180,161	172,153
63	203,044	199,852	199,091	196,816	193,042	187,799	181,127	173,077
64	209,541	200,944	200,179	197,891	194,097	188,826	182,117	174,023
65	216,14	202,062	201,293	198,992	195,177	189,876	183,13	174,991
66	222,842	203,206	202,433	200,119	196,282	190,951	184,167	175,982
67	229,646	204,376	203,599	201,271	197,412	192,051	185,228	176,995
68	236,552	205,573	204,791	202,45	198,569	193,176	186,313	178,032
69	243,56	206,797	206,01	203,655	199,75	194,325	187,422	179,091
70	250,671	208,047	207,256	204,887	200,958	195,501	188,555	180,174
71	257,884	209,325	208,528	206,145	202,192	196,701	189,713	181,281
72	265,2	210,63	209,828	207,43	203,453	197,927	190,895	182,411
73	272,618	211,962	211,155	208,742	204,74	199,179	192,103	183,564
74	280,138	213,322	212,51	210,081	206,053	200,457	193,335	184,742
75	287,76	214,71	213,893	211,448	207,394	201,761	194,593	185,944
76	295,485	216,126	215,303	212,842	208,761	203,092	195,876	187,17
77	303,312	217,57	216,742	214,264	210,156	204,449	197,185	188,421
78	311,242	219,042	218,209	215,714	211,578	205,832	198,52	189,696
79	319,273	220,543	219,704	217,193	213,028	207,243	199,88	190,996
80	327,407	222,073	221,228	218,699	214,506	208,68	201,267	192,321
81	335,644	223,632	222,781	220,234	216,012	210,145	202,679	193,671
82	343,982	225,22	224,363	221,798	217,546	211,637	204,118	195,046
83	352,423	226,837	225,974	223,391	219,108	213,157	205,584	196,447
84	360,967	228,484	227,614	225,013	220,698	214,704	207,077	197,873
85	369,612	230,16	229,284	226,663	222,318	216,28	208,596	199,325
86	378,36	231,866	230,984	228,344	223,966	217,883	210,142	200,802
87	387,21	233,603	232,714	230,054	225,643	219,515	211,716	202,306
88	396,163	235,369	234,473	231,793	227,349	221,175	213,317	203,836
89	405,218	237,166	236,263	233,563	229,085	222,863	214,945	205,392
90	414,375	238,993	238,084	235,362	230,85	224,58	216,602	206,974
91	423,634	240,851	239,935	237,192	232,645	226,326	218,286	208,583
92	432,996	242,74	241,817	239,053	234,469	228,101	219,997	210,219
93	442,46	244,66	243,729	240,943	236,324	229,906	221,738	211,882
94	452,027	246,612	245,673	242,865	238,209	231,739	223,506	213,572
95	461,696	248,594	247,648	244,818	240,124	233,602	225,303	215,289
96	471,467	250,608	249,655	246,801	242,069	235,495	227,128	217,033
97	481,34	252,654	251,693	248,816	244,045	237,417	228,983	218,805
98	491,316	254,732	253,763	250,862	246,052	239,37	230,866	220,604

TABEL 9. Perhitungan RHP gaya hambat kendaraan BEV

0	Fr(N)									RHP (kW)					
	0 deg	5 deg	10 deg	15 deg	20 deg	25 deg	30 deg	0 deg	5 deg	10 deg	15 deg	20 deg	25 deg	30 deg	
6	0	172,556	1675,8	3168,17	4635,44	6067,43	7453,24	8782,32	0	0	0	0	0	0	
9	1	172,708	1676,85	3168,22	4635,49	6067,48	7453,29	8782,38	0,04797	0,46579	0,88006	1,28764	1,68541	2,07036	
3	2	172,866	1677	3168,38	4635,65	6067,64	7453,45	8782,53	0,09604	0,93167	1,76021	2,57536	3,37091	4,1408	
3	3	173,13	1677,27	3168,65	4635,91	6067,9	7453,71	8782,8	0,14427	1,39772	2,64054	3,86326	5,05658	6,21142	
4	4	173,502	1677,64	3169,02	4636,28	6068,27	7454,08	8783,17	0,19278	1,86405	3,52113	5,15143	6,74252	8,28231	
9	5	173,983	1678,12	3169,5	4636,76	6068,75	7454,56	8783,65	0,24164	2,33073	4,40208	6,43995	8,42882	10,3536	
4	6	174,574	1678,71	3170,09	4637,35	6069,34	7455,15	8784,23	0,29096	2,79785	5,28348	7,72892	10,1156	12,4252	
7	7	175,275	1679,41	3170,79	4638,05	6070,04	7455,85	8784,93	0,34081	3,26553	6,16542	9,01844	11,8029	14,4975	
8	8	176,086	1680,22	3171,6	4638,86	6070,85	7456,65	8785,73	0,3913	3,73383	7,048	10,3086	13,4908	16,5703	
9	9	177,01	1681,15	3172,52	4639,79	6071,77	7457,57	8786,65	0,44252	4,20287	7,93131	11,5995	15,1794	18,6439	
10	10	178,045	1682,18	3173,56	4640,82	6072,8	7458,6	8787,68	0,49457	4,67273	8,81544	12,8912	16,8689	20,7183	
11	11	179,192	1683,33	3174,7	4641,96	6073,94	7459,74	8788,81	0,54753	5,14351	9,70048	14,1838	18,5593	22,7937	
12	12	180,453	1684,59	3175,96	4643,22	6075,2	7460,99	8790,06	0,60151	5,6153	10,5865	15,4774	20,2507	24,87	
13	13	181,828	1685,96	3177,34	4644,59	6076,57	7462,36	8791,43	0,6566	6,08821	11,4737	16,7721	21,9432	26,9474	
14	14	183,316	1687,45	3178,82	4646,08	6078,05	7463,84	8792,9	0,7129	6,56232	12,3621	18,0681	23,6369	29,026	
15	15	184,919	1689,06	3180,42	4647,68	6079,64	7465,43	8794,49	0,77049	7,03773	13,2518	19,3653	25,3318	31,106	
16	16	186,636	1690,77	3182,14	4649,39	6081,35	7467,13	8796,19	0,82949	7,51454	14,1428	20,664	27,0282	33,1873	
17	17	188,469	1692,6	3183,97	4651,22	6083,18	7468,95	8798,08	0,88999	7,99285	15,0354	21,9641	28,7261	35,2701	
18	18	190,418	1694,55	3185,92	4653,16	6085,12	7470,89	8799,93	0,95209	8,47276	15,9296	23,2658	30,4256	37,3544	
19	19	192,482	1696,62	3187,98	4655,22	6087,17	7472,94	8801,97	1,01588	8,95436	16,8254	24,5692	32,1267	39,4405	
20	20	194,663	1698,8	3190,16	4657,39	6089,34	7475,1	8804,12	1,08146	9,43776	17,7231	25,8744	33,8297	41,5283	
21	21	196,961	1701,09	3192,45	4659,68	6091,63	7477,38	8806,4	1,14894	9,92305	18,6226	27,1815	35,5345	43,618	
22	22	199,376	1703,51	3194,86	4662,09	6094,03	7479,77	8808,78	1,21841	10,4103	19,5242	28,4906	37,2413	45,7097	
23	23	201,908	1706,04	3197,39	4664,62	6096,55	7482,28	8811,28	1,28997	10,8997	20,4278	29,8017	38,9502	47,8035	
24	24	204,559	1708,69	3200,04	4667,26	6099,18	7484,91	8813,9	1,36372	11,3913	21,3336	31,1151	40,6612	49,8994	
25	25	207,327	1711,46	3202,8	4670,02	6101,93	7487,66	8816,63	1,43977	11,8851	22,2417	32,4307	42,3745	51,9976	
26	26	210,214	1714,34	3205,69	4672,9	6104,81	7490,52	8819,48	1,51821	12,3814	23,1522	33,7487	44,0903	54,0982	
27	27	213,22	1717,35	3208,69	4675,89	6107,79	7493,49	8822,45	1,59915	12,8801	24,0652	35,0692	45,8084	56,2012	
28	28	216,345	1720,47	3211,81	4679,01	6110,9	7496,59	8825,53	1,68268	13,3814	24,9807	36,3923	47,5292	58,3068	
29	29	219,589	1723,71	3215,05	4682,24	6114,12	7499,8	8828,73	1,76891	13,8855	25,899	37,718	49,2527	60,4151	
30	30	222,953	1727,08	3218,41	4685,59	6117,47	7503,14	8832,05	1,85794	14,3923	26,82	39,0466	50,9789	62,5261	
31	31	226,437	1730,56	3221,88	4689,06	6120,93	7506,59	8835,49	1,94988	14,902	27,744	40,378	52,708	64,64	
32	32	230,042	1734,16	3225,48	4692,65	6124,51	7510,15	8839,04	2,04482	15,4148	28,671	41,7125	54,4401	66,7569	
33	33	233,767	1737,89	3229,2	4696,37	6128,21	7513,84	8842,71	2,14286	15,9306	29,601	43,05	56,1753	68,8769	
34	34	237,613	1741,73	3233,04	4700,2	6132,03	7517,65	8846,5	2,24412	16,4467	30,5343	44,3908	57,9136	71	

59	373,817	1877,87	3368,98	4835,81	6267,2	7652,24	8980,39	6,12645	30,7762	55,2139	79,2536	102,712	125,412	147,179
60	380,896	1884,94	3376,05	4842,86	6274,21	7659,22	8987,34	6,34826	31,4157	56,2674	80,7143	104,57	127,654	149,789
61	388,101	1892,15	3383,24	4850,03	6281,36	7666,33	8994,41	6,57616	32,0613	57,3271	82,1811	106,434	129,902	152,405
62	395,435	1899,47	3390,55	4857,33	6288,63	7673,57	9001,6	6,81026	32,7132	58,3929	83,654	108,304	132,156	155,028
63	402,896	1906,93	3398	4864,75	6296,03	7680,93	9008,92	7,05067	33,3713	59,465	85,1332	110,18	134,416	157,656
64	410,485	1914,52	3405,57	4872,3	6303,55	7688,42	9016,36	7,29751	34,0358	60,5435	86,6187	112,063	136,683	160,291
65	418,202	1922,23	3413,27	4879,98	6311,2	7696,03	9023,93	7,55087	34,7069	61,6285	88,1108	113,952	138,956	162,932
66	426,048	1930,07	3421,1	4887,79	6318,98	7703,77	9031,62	7,81087	35,3846	62,7202	89,6095	115,848	141,236	165,58
67	434,022	1938,04	3429,06	4895,72	6326,88	7711,63	9039,44	8,07763	36,0691	63,8186	91,1149	117,75	143,522	168,234
68	442,125	1946,14	3437,14	4903,79	6334,91	7719,62	9047,38	8,35125	36,7604	64,9238	92,6271	119,659	145,815	170,895
69	450,357	1954,37	3445,36	4911,98	6343,07	7727,74	9055,45	8,63185	37,4587	66,036	94,1462	121,575	148,115	173,563
70	458,719	1962,72	3453,7	4920,3	6351,35	7735,98	9063,65	8,91953	38,1641	67,1552	95,6724	123,499	150,422	176,238
71	467,209	1971,21	3462,17	4928,74	6359,77	7744,36	9071,97	9,21441	38,8766	68,2817	97,2058	125,429	152,736	178,919
72	475,83	1979,82	3470,77	4937,32	6368,31	7752,85	9080,41	9,51659	39,5965	69,4154	98,7464	127,366	155,057	181,608
73	484,58	1988,57	3479,5	4946,02	6376,98	7761,48	9088,98	9,8262	40,3238	70,5565	100,294	129,311	157,386	184,304
74	493,46	1997,44	3488,36	4954,86	6385,78	7770,23	9097,68	10,1433	41,0586	71,7052	101,85	131,263	159,721	187,008
75	502,47	2006,45	3497,35	4963,82	6394,7	7779,11	9106,5	10,4681	41,801	72,8614	103,413	133,223	162,065	189,719
76	511,611	2015,58	3506,47	4972,91	6403,76	7788,12	9115,46	10,8007	42,5512	74,0254	104,984	135,19	164,416	192,437
77	520,882	2024,85	3515,72	4982,13	6412,94	7797,26	9124,53	11,1411	43,3093	75,1973	106,562	137,166	166,775	195,164
78	530,284	2034,25	3525,1	4991,49	6422,26	7806,52	9133,74	11,4895	44,0753	76,3771	108,149	139,149	169,141	197,898
79	539,817	2043,77	3534,61	5000,97	6431,7	7815,91	9143,07	11,846	44,8495	77,565	109,743	141,14	171,516	200,64
80	549,48	2053,43	3544,25	5010,58	6441,27	7825,43	9152,53	12,2107	45,6318	78,761	111,346	143,139	173,898	203,39
81	559,278	2063,22	3554,02	5020,32	6450,97	7835,08	9162,11	12,5837	46,4225	79,9654	112,957	145,147	176,289	206,148
82	569,202	2073,14	3563,92	5030,19	6460,8	7844,86	9171,83	12,9652	47,2216	81,1782	114,577	147,163	178,688	208,914
83	579,26	2083,19	3573,95	5040,2	6470,76	7854,77	9181,67	13,3552	48,0292	82,3995	116,205	149,187	181,096	211,689
84	589,45	2093,36	3584,12	5050,33	6480,85	7864,8	9191,64	13,7538	48,8455	83,6294	117,841	151,22	183,512	214,472
85	599,772	2103,69	3594,42	5060,6	6491,08	7874,97	9201,74	14,1613	49,6705	84,8681	119,486	153,261	185,937	217,263
86	610,227	2114,14	3604,84	5070,99	6501,43	7885,26	9211,96	14,5776	50,5045	86,1157	121,14	155,312	188,37	220,064
87	620,813	2124,72	3615,4	5081,52	6511,91	7895,68	9222,32	15,003	51,3474	87,3723	122,803	157,371	190,812	222,873
88	631,532	2135,43	3626,1	5092,18	6522,52	7906,24	9232,8	15,4375	52,1995	88,6379	124,475	159,439	193,264	225,691
89	642,384	2146,28	3636,92	5102,97	6533,26	7916,92	9243,41	15,8812	53,0607	89,9128	126,157	161,517	195,724	228,518
90	653,368	2157,26	3647,88	5113,89	6544,14	7927,73	9254,15	16,3342	53,9314	91,1969	127,847	163,603	198,193	231,354
91	664,486	2168,37	3658,97	5124,95	6555,14	7938,68	9265,02	16,7967	54,8115	92,4905	129,547	165,699	200,672	234,199
92	675,737	2179,61	3670,19	5136,13	6566,28	7949,75	9276,02	17,2688	55,7011	93,7937	131,257	167,805	203,16	237,054
93	687,121	2190,99	3681,54	5147,45	6577,55	7960,96	9287,14	17,7506	56,6005	95,1065	132,976	169,92	205,658	239,918
94	698,638	2202,5	3693,03	5158,9	6588,95	7972,29	9298,4	18,2422	57,5096	96,4292	134,705	172,045	208,165	242,792
95	710,29	2214,14	3704,65	5170,49	6600,48	7983,76	9309,78	18,7438	58,4287	97,7617	136,443	174,179	210,682	245,675
96	722,075	2225,92	3716,41	5182,2	6612,14	7995,35	9321,3	19,2553	59,3578	99,1042	138,192	176,324	213,209	248,568
97	733,994	2237,83	3728,3	5194,05	6623,94	8007,06	9332,95	19,7771	60,2971	100,457	139,951	178,478	215,746	251,471

LAMPIRAN D

Perhitungan Gaya Traksi Kendaraan

TABEL 10. Perhitungan gaya traksi kendaraan ICE dengan 5 transmisi

w (rpm)	Torque (N.m)	FT (N)					Vk (km/jam)				
		n1	n2	n3	n4	n5	n1	n2	n3	n4	n5
1500	95	4899	2810	1792	1315	1014	9	16	25	34	44
2000	104	5352	3070	1958	1436	1107	12	21	33	45	59
2500	110	5668	3251	2073	1521	1173	15	27	42	57	74
3000	112	5742	3294	2101	1541	1188	18	32	50	68	88
3500	116	5970	3425	2184	1602	1235	21	37	58	79	103
4000	120	6159	3533	2253	1653	1274	24	42	67	91	118
4500	123	6324	3628	2314	1697	1309	27	48	75	102	132
5000	122	6257	3589	2289	1679	1295	30	53	83	113	147
5500	121	6222	3569	2276	1670	1287	33	58	91	125	162
6000	123	6310	3619	2308	1693	1306	37	64	100	136	176

TABEL 11. Perhitungan gaya traksi kendaraan BEV dengan 5 transmisi

Rpm	T (N.m)	Gaya Traksi (N)					Kecepatan (km/jam)				
		Ft1	Ft2	Ft3	Ft4	Ft5	Vk 1	Vk2	Vk3	Vk4	Vk5
0	330	16970,2	8393,2	6208,0	4554,2	3511,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
500	330	16970,2	8393,2	6208,0	4554,2	3511,2	3,0	6,2	8,3	11,3	14,7
1000	330	16970,2	8393,2	6208,0	4554,2	3511,2	6,1	12,3	16,6	22,7	29,4
1600	330	16970,2	8393,2	6208,0	4554,2	3511,2	9,7	19,7	26,6	36,3	47,1
2000	261	13421,9	6638,3	4910,0	3601,9	2777,1	12,2	24,6	33,3	45,3	58,8
2500	208	10696,3	5290,3	3912,9	2870,5	2213,1	15,2	30,8	41,6	56,7	73,5
3000	171	8793,6	4349,2	3216,9	2359,9	1819,5	18,3	36,9	49,9	68,0	88,2
3500	146	7508,0	3713,4	2746,6	2014,9	1553,5	21,3	43,1	58,2	79,4	102,9
4000	126	6479,5	3204,7	2370,3	1738,9	1340,7	24,3	49,2	66,5	90,7	117,6

4500	112	5759,6	2848, 6	2107, 0	1545, 7	1191, 7	27,4	55,4	74,8	102, 0	132, 3
5000	101	5193,9	2568, 8	1900, 0	1393, 9	1074, 7	30,4	61,5	83,2	113, 4	147, 0
5500	92	4731,1	2339, 9	1730, 7	1269, 7	978,9	33,5	67,7	91,5	124, 7	161, 7
6000	84	4319,7	2136, 5	1580, 2	1159, 2	893,8	36,5	73,8	99,8	136, 0	176, 4
6500	77,3	3975,1	1966, 0	1454, 2	1066, 8	822,5	39,6	80,0	108, 1	147, 4	191, 2
7000	72	3702,6	1831, 2	1354, 5	993,6	766,1	42,6	86,1	116, 4	158, 7	205, 9
7500	67	3445,5	1704, 1	1260, 4	924,6	712,9	45,6	92,3	124, 7	170, 0	220, 6
8000	63	3239,8	1602, 3	1185, 2	869,4	670,3	48,7	98,4	133, 1	181, 4	235, 3
8500	59	3034,1	1500, 6	1109, 9	814,2	627,8	51,7	104, 6	141, 4	192, 7	250, 0
9000	56	2879,8	1424, 3	1053, 5	772,8	595,8	54,8	110, 7	149, 7	204, 1	264, 7
9500	53	2725,5	1348, 0	997,0	731,4	563,9	57,8	116, 9	158, 0	215, 4	279, 4

1000 0	50	2571,2	1271, 7	940,6	690,0	532,0	60,8	123, 0	166, 3	226, 7	294, 1
1060 0	47	2417,0	1195, 4	884,2	648,6	500,1	64,5	130, 4	176, 3	240, 3	311, 7

TABEL 12. Perhitungan gaya traksi kendaraan BEV dengan 2 transmisi

Rpm	T (N.m)	Gaya Traksi (N)		V (km/jam)	
		Ft1	Ft2	Vk1	Vk2
0	330	9068,66	3508,87	0,00	0,00
500	330	9068,66	3508,87	5,69	14,71
1000	330	9068,66	3508,87	11,39	29,43
1800	330	9068,66	3508,87	20,50	52,97
2000	291	7996,91	3094,18	22,77	58,86
2500	228	6265,62	2424,31	28,47	73,57
3000	191	5248,83	2030,89	34,16	88,28
3500	162	4451,89	1722,54	39,85	103,00
4000	141	3874,79	1499,24	45,54	117,71
4500	125	3435,10	1329,12	51,24	132,42
5000	111	3050,37	1180,26	56,93	147,14

5500	101	2775,56	1073,93	62,62	161,85
6000	93	2555,71	988,86	68,32	176,57
6500	85	2335,87	903,80	74,01	191,28
7000	79	2170,98	840,00	79,70	205,99
7500	74	2033,58	786,84	85,40	220,71
8000	69	1896,17	733,67	91,09	235,42
8500	65	1786,25	691,14	96,78	250,14
9000	61	1676,33	648,61	102,48	264,85
9500	58	1593,89	616,71	108,17	279,56
10000	55	1511,44	584,81	113,86	294,28
10600	52	1429,00	552,91	120,69	311,93

LAMPIRAN E

Perhitungan Rhp *Driving Cyle*

TABEL 13. Perhitungan Rhp Kendaraan ICE

time (s)	v (km/s)	Re (N)	Rr (N)	Ft (N)	RHP (N)	RHP acc (N)	it	KM	s acc (m)	time (s)	v (km/jam)	Ra	Rr	Ft	RHP	RHP acc (N)	it	KM	0					
0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	1	0	0	0	144.31	0	0	1	3.417	1.0856	0			
1	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	2	0	0	0	144.31	0	0	1	3.417	1.0856	0			
2	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	3	0	0	0	144.31	0	0	1	3.417	1.0856	0			
3	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	4	0	0.2222	0	144.31	354.87	0	0	1	3.417	1.0856	0.1111		
4	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	5	0.8	0.7778	0.0334	144.31	1242.1	0.3081	0.3081	1	3.417	1.0856	0.6111		
5	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	6	3.6	1.3889	0.6763	144.32	27.18	2.363	2.363	1	3.417	1.0856	1.6944		
6	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	7	8.6	1.6667	3.8593	144.46	2661.6	6.7125	6.7125	1	3.417	1.0856	3.2222		
7	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	8	14.6	1.5	11.123	144.89	2395.4	10.347	10.347	1	3.417	1.0856	4.8056		
8	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	9	20	1.2222	20.872	145.6	1951.8	11.768	11.768	1	3.417	1.0856	6.1667		
9	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	10	24.4	1.0556	31.066	146.43	1685.6	12.628	12.628	1	3.417	1.0856	7.3056		
10	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	11	28.2	0.9722	41.496	147.35	1552.6	13.641	13.641	1	3.417	1.0856	8.3194		
11	0	0.06	144.31	88.7	0	0	1	3.42	1.086	0.0278	12	31.7	0.9167	52.456	148.39	1465.9	14.658	14.658	1	3.417	1.0856	9.2639		
12	0.2	0.42	0.002	144.31	665	0.045	0.045	1	3.42	1.086	0.2639	13	35	0.7222	65.921	149.53	1153.3	15.288	15.288	1	3.417	1.0856	10.083	
13	1.7	1.03	0.151	144.31	1641	0.843	0.843	1	3.42	1.086	0.9861	14	37.6	0.5833	73.771	150.56	931.54	12.072	12.072	1	3.417	1.0856	10.736	
14	5.4	1.25	1.522	144.35	1996	3.219	3.219	1	3.42	1.086	2.1125	15	39.7	0.5	82.241	151.47	798.47	11.383	11.383	1	3.417	1.0856	11.278	
15	9.9	0.89	5.114	144.53	1419	4.315	4.315	1	3.42	1.086	3.1944	16	41.5	0.5833	89.868	152.31	905.28	13.228	13.228	2	1.96	1.055	11.819	
16	13.1	1.06	8.955	144.75	1686	6.693	6.693	1	3.42	1.086	4.1667	17	43.6	0.6667	99.193	153.36	1034.6	15.589	15.589	2	1.96	1.055	12.444	
17	16.9	1.33	14.9	145.15	2129	10.75	10.75	1	3.42	1.086	5.3611	18	46	0.6667	110.41	154.66	1034.6	16.607	16.607	2	1.96	1.055	13.111	
18	21.7	1.19	24.57	145.89	1907	12.53	12.53	1	3.42	1.086	6.625	19	48.4	0.5833	122.24	156.06	905.28	15.913	15.913	2	1.96	1.055	13.736	
19	26	0.42	35.27	146.79	665	6.121	6.121	1	3.42	1.086	7.4306	20	50.5	0.3889	139.07	157.38	603.52	12.541	12.541	2	1.96	1.055	14.222	
20	27.5	0.17	39.46	147.17	266	3.459	3.459	1	3.42	1.086	7.7222	21	51.9	0.1944	140.55	158.31	301.76	8.659	8.659	2	1.96	1.055	14.514	
21	28.1	0.06	41.2	147.33	88.7	2.164	2.164	1	3.42	1.086	7.8333	22	52.6	0.0556	144.37	158.78	86.217	5.6892	5.6892	2	1.96	1.055	14.639	
22	28.3	0.14	41.79	147.38	222	3.231	3.231	1	3.42	1.086	7.9306	23	52.8	0.0278	145.47	158.92	43.109	5.0967	5.0967	2	1.96	1.055	14.681	
23	28.8	0.08	43.28	147.52	133	2.591	2.591	1	3.42	1.086	8.0417	24	52.9	0.0556	146.02	158.99	86.217	5.7489	5.7489	2	1.96	1.055	14.722	
24	29.1	0.47	44.19	147.6	754	7.646	7.646	1	3.42	1.086	8.3194	25	53.1	0.0556	147.13	159.13	86.217	5.789	5.789	2	1.96	1.055	14.778	
25	30.8	0.31	49.5	148.11	488	5.865	5.865	1	3.42	1.086	8.7083	26	53.5	-0.0556	148.24	159.27	-86.217	3.2763	0	2	1.96	1.055	0	
26	31.9	0.61	53.1	148.45	976	10.43	10.43	1	3.42	1.086	9.1667	27	53.1	-0.2222	147.13	159.13	-344.87	-0.5695	0	2	1.96	1.055	0	
27	34.1	0.89	60.68	149.2	1109	12.49	12.49	1	3.42	1.086	9.8194	28	52.3	-0.4444	142.73	158.58	-689.74	-5.6451	0	2	1.96	1.055	0	
28	36.6	0.69	69.9	150.15	1109	13.51	13.51	1	3.42	1.086	10.514	29	50.7	-0.5278	134.13	157.51	-819.07	-7.4279	0	2	1.96	1.055	0	
29	39.1	0.61	78.77	151.2	976	13.11	13.11	1	3.42	1.086	11.167	30	48.3	-0.6389	124.26	156.31	-991.5	-9.637	0	2	1.96	1.055	0	
30	41.3	0.33	89	152.21	517	8.702	8.702	2	1.96	1.055	11.639	31	46.3	-0.75	111.83	154.94	-1163.9	-11.575	0	2	1.96	1.055	0	
31	42.5	0.22	94.25	152.8	345	6.988	6.988	2	1.96	1.055	11.917	32	43.8	-0.9722	100.11	153.47	-1508.6	-15.271	0	2	1.96	1.055	0	
32	43.3	0.17	97.83	153.21	259	6.13	6.13	2	1.96	1.055	12.111	33	40.3	-1.1944	84.746	151.74	-1833.7	-18.103	0	2	1.96	1.055	0	
33	43.9	0.14	100.6	153.52	216	5.727	5.727	2	1.96	1.055	12.264	34	36	-1.4722	67.626	149.92	-2351	-21.335	0	1	3.417	1.0856	0	
34	44.4	0.03	102.9	153.78	43.1	3.697	3.697	2	1.96	1.055	12.347	35	30.7	-1.4722	49.18	148.07	-2351	-18.367	0	1	3.417	1.0856	0	
35	44.5	-0.1	103.3	153.84	-129	1.58	1.58	0	2	1.96	1.055	0	36	25.4	-1.2222	33.665	146.65	-1951.8	-12.489	0	1	3.417	1.0856	0
36	44.2	-0.4	101.9	153.68	-647	-4.8	-4.8	0	2	1.96	1.055	0	37	21	-1.1944	23.012	145.76	-1907.4	-10.142	0	1	3.417	1.0856	0
37	42.7	-0.8	95.14	152.9	-1207	-11.4	-11.4	0	2	1.96	1.055	0	38	16.7	-0.9167	14.533	145.13	-1463.9	-6.0499	0	1	3.417	1.0856	0
38	39.9	-0.8	83.07	151.56	-1286	-11.7	-11.7	0	1	3.42	1.086	0	39	13.4	-0.3889	9.3695	144.78	-621.03	-1.7378	0	1	3.417	1.0856	0
39	37	-0.7	71.44	150.31	-1065	-8.66	-8.66	0	1	3.42	1.086	0	40	12	0.0278	7.514	144.67	44.359	0.6551	0.6551	1	3.417	1.0856	3.3472
40	34.6	-0.6	62.47	149.39	-1020	-7.77	-7.77	0	1	3.42	1.086	0	41	12.1	0.1944	7.6398	144.67	310.51	1.5556	1.5556	1	3.417	1.0856	3.4983

41	32.3	-0.9	54.44	148.58	-1464	-11.3	0	1	3.42	1.086	0	42	12.8	0.7778	8.5493	144.73	1242.1	4.9612	4.9612	1	3.417	1.0856	3.9444
42	29	-1.1	43.88	147.57	-1730	-12.4	0	1	3.42	1.086	0	43	15.6	1.1944	12.699	145	1907.4	8.949	8.949	1	3.417	1.0856	4.9306
43	25.1	-0.8	32.87	146.58	-1286	-7.72	0	1	3.42	1.086	0	44	19.9	0.9722	20.664	145.58	1552.6	9.5012	9.5012	1	3.417	1.0856	6.0139
44	22.2	-0.4	25.72	145.98	-577	-2.5	0	1	3.42	1.086	0	45	25.4	0.3333	28.572	146.22	532.31	4.5961	4.5961	1	3.417	1.0856	6.6667
45	20.9	-0.1	22.79	145.75	-222	-0.31	0	1	3.42	1.086	0	46	24.6	0.1667	31.578	146.47	266.16	3.0354	3.0354	1	3.417	1.0856	6.9167
46	20.4	-0.3	21.72	145.66	-399	-1.31	0	1	3.42	1.086	0	47	25.2	0.3333	33.137	146.61	532.31	4.9844	4.9844	1	3.417	1.0856	7.1667
47	19.5	-0.3	19.84	145.52	-488	-1.75	0	1	3.42	1.086	0	48	26.4	0.6667	36.368	146.89	1064.6	9.1511	9.1511	1	3.417	1.0856	7.6667
48	18.4	-0.2	17.67	145.35	-266	-0.53	0	1	3.42	1.086	0	49	28.8	0.8333	43.281	147.52	1330.8	12.173	12.173	1	3.417	1.0856	8.4167
49	17.8	0	16.53	145.27	0	0	0.8	1	3.42	1.086	4.9444	50	31.8	0.9722	52.767	148.42	1552.6	15.492	15.492	1	3.417	1.0856	9.3194
50	17.8	-0.1	16.53	145.27	-177	-0.08	0	1	3.42	1.086	0	51	35.3	1.1667	65.022	149.65	1863.1	20.374	20.374	1	3.417	1.0856	10.389
51	17.4	-0.5	15.8	145.22	-754	-2.87	0	1	3.42	1.086	0	52	39.5	1.3889	81.415	151.38	3218	26.89	26.89	1	3.417	1.0856	11.667
52	15.7	-0.7	12.86	145.01	-1153	-4.34	0	1	3.42	1.086	0	53	44.5	1.3333	103.33	153.84	2069.2	28.757	28.757	2	1.96	1.055	13.028
53	13.1	-0.3	8.955	144.75	-444	-1.05	0	1	3.42	1.086	0	54	49.3	1.1111	126.82	156.62	1724.3	27.496	27.496	2	1.96	1.055	14.25
54	12.1	-0	7.64	144.67	-444	0.363	0	1	3.42	1.086	0	55	53.3	0.8611	148.24	159.27	1336.4	24.339	24.339	2	1.96	1.055	15.236
55	12	0	7.514	144.67	0	0.507	0.507	1	3.42	1.086	3.3333	56	56.4	0.6944	165.98	161.54	1077.7	22.015	22.015	2	1.96	1.055	16.014
56	12	0	7.514	144.67	0	0.507	0.507	1	3.42	1.086	3.3333	57	58.9	0.6389	181.03	163.52	991.5	21.859	21.859	2	1.96	1.055	16.681
57	12	0.08	7.514	144.67	133	0.951	0.951	1	3.42	1.086	3.375	58	61.2	0.3889	195.44	165.45	603.52	16.395	16.395	2	1.96	1.055	17.194
58	12.3	0.08	7.894	144.69	133	0.976	0.976	1	3.42	1.086	3.4583	59	62.6	0.1111	204.48	166.68	172.43	9.4523	9.4523	2	1.96	1.055	17.444
59	12.6	0.58	8.284	144.71	892	3.796	3.796	1	3.42	1.086	3.7917	60	63	-0.1389	207.1	167.04	-215.54	2.7754	0	2	1.96	1.055	0
60	14.7	0.17	11.28	144.9	266	1.725	1.725	1	3.42	1.086	4.1667	61	62.5	-0.4444	203.83	166.59	-689.74	-5.5438	0	2	1.96	1.055	0
61	15.3	0.17	12.21	144.97	266	1.799	1.799	1	3.42	1.086	4.3333	62	60.9	-0.4444	193.53	165.19	-689.74	-5.5998	0	2	1.96	1.055	0
62	15.9	0.08	13.19	145.03	133	1.287	1.287	1	3.42	1.086	4.4583	63	59.3	-0.1944	183.49	163.84	-301.78	0.7507	0	2	1.96	1.055	0
63	16.2	0.23	13.69	145.07	399	2.511	2.511	1	3.42	1.086	4.625	64	58.6	0	179.19	163.27	0	5.5745	5.5745	2	1.96	1.055	16.278
64	17.1	0.19	13.26	145.18	311	2.237	2.237	1	3.42	1.086	4.8472	65	58.8	0.0278	179.19	163.27	43.109	6.2762	6.2762	2	1.96	1.055	16.292
65	17.8	0.08	16.53	145.27	133	1.458	1.458	1	3.42	1.086	4.9861	66	58.7	0.0278	179.8	163.35	43.109	6.2982	6.2982	2	1.96	1.055	16.519
66	18.1	0.08	17.09	145.31	133	1.486	1.486	1	3.42	1.086	5.0694	67	58.8	0	180.41	163.43	0	5.6161	5.6161	2	1.96	1.055	16.333
67	18.4	0.53	17.67	145.35	843	5.141	5.141	1	3.42	1.086	5.375	68	58.8	0	180.41	163.43	0	5.6161	5.6161	2	1.96	1.055	16.333
68	20.3	0.81	21.5	145.64	1286	8.196	8.196	1	3.42	1.086	6.0417	69	58.8	0.0833	180.41	163.43	129.33	7.7285	7.7285	2	1.96	1.055	16.375
69	23.2	0.92	28.09	146.18	1464	10.56	10.56	1	3.42	1.086	6.9028	70	59.1	0.2778	182.26	163.68	431.09	12.756	12.756	2	1.96	1.055	16.556
70	26.5	0.92	36.64	146.91	1464	12.13	12.13	1	3.42	1.086	7.8194	71	60.1	0.4444	188.48	164.51	689.74	17.408	17.408	2	1.96	1.055	16.917
71	29.8	0.78	46.34	147.8	1242	11.89	11.89	1	3.42	1.086	8.6667	72	61.7	0.3611	198.65	165.88	580.41	15.852	15.852	2	1.96	1.055	17.319
72	32.6	0.5	55.46	148.68	798	9.079	9.079	1	3.42	1.086	9.3056	73	63	0.1944	207.1	167.04	301.76	11.828	11.828	2	1.96	1.055	17.597
73	34.4	0.31	61.75	149.31	488	6.679	6.679	1	3.42	1.086	9.7083	74	63.7	0.0556	211.73	167.67	86.217	8.2389	8.2389	2	1.96	1.055	17.722
74	35.5	0.25	66.76	149.72	399	6.062	6.062	1	3.42	1.086	9.9861	75	63.9	-0.1111	213.06	167.86	-172.43	3.7006	0	2	1.96	1.055	0
75	36.4	0.28	69.14	150.07	444	6.702	6.702	1	3.42	1.086	10.25	76	63.5	-0.3333	210.41	167.49	-517.3	-2.4591	0	2	1.96	1.055	0
76	37.4	0.31	72.99	150.48	488	7.391	7.391	1	3.42	1.086	10.542	77	62.3	-0.5556	202.33	166.41	-862.17	-8.5357	0	2	1.96	1.055	0
77	38.5	0.22	77.34	150.94	355	6.237	6.237	1	3.42	1.086	10.806	78	60.3	-0.3889	189.73	164.68	-603.52	-4.1726	0	2	1.96	1.055	0
78	39.3	0.06	80.59	151.29	88.7	3.5	3.5	1	3.42	1.086	10.944	79	58.9	-0.1389	181.03	163.52	-215.54	2.1105	0	2	1.96	1.055	0
79	39.5	-0.1	81.41	151.38	-222	0.121	0	1	3.42	1.086	0	80	58.4	0.1111	177.96	163.11	172.43	8.3303	8.3303	2	1.96	1.055	16.278
80	39	-0.1	79.37	151.16	-222	0.095	0	1	3.42	1.086	0	81	58.8	0.3889	180.41	163.43	603.52	15.474	15.474	2	1.96	1.055	16.528
81	38.5	-0.3	77.34	150.94	-532	-3.25	0	1	3.42	1.086	0	82	60.2	0.5833	189.1	164.59	905.28	21.053	21.053	2	1.96	1.055	17.014

82	37.3	-0.1	72.6	150.44	-133	0.932	0	1	3.42	1.086	0	83	62.3	0.4444	202.53	166.41	689.74	18.321	18.321	2	1.96	1.055	17.528
83	37	-0.1	71.44	150.31	-133	0.911	0	1	3.42	1.086	0	84	63.9	0.1667	213.06	167.86	258.65	11.352	11.352	2	1.96	1.055	17.833
84	36.7	-0.2	70.28	150.19	-355	-1.37	0	1	3.42	1.086	0	85	64.5	-0.0278	217.08	168.41	-43.109	6.1345	0	2	1.96	1.055	0
85	35.9	-0.2	67.25	149.88	-266	-0.49	0	1	3.42	1.086	0	86	64.4	-0.25	216.41	168.32	-387.98	-0.0581	0	2	1.96	1.055	0
86	35.3	-0.2	65.02	149.65	-311	-0.94	0	1	3.42	1.086	0	87	63.5	-0.4167	210.41	167.49	-646.63	-4.7402	0	2	1.96	1.055	0
87	34.6	-0.1	62.47	149.39	-177	0.331	0	1	3.42	1.086	0	88	62	-0.2222	200.58	166.14	-344.87	0.3764	0	2	1.96	1.055	0
88	34.2	-0.6	61.03	149.24	-1020	-7.69	0	1	3.42	1.086	0	89	61.2	0.0278	195.44	165.45	43.109	6.8679	6.8679	2	1.96	1.055	17.014
89	31.9	-1.3	53.1	148.45	-2041	-16.3	0	1	3.42	1.086	0	90	61.3	0.3611	196.08	165.53	560.41	15.7	15.7	2	1.96	1.055	17.208
90	27.3	-1.5	38.89	147.11	-2351	-16.4	0	1	3.42	1.086	0	91	62.6	0.75	204.48	166.68	1163.9	26.694	26.694	2	1.96	1.055	17.764
91	22	-1.4	25.26	145.94	-2218	-12.5	0	1	3.42	1.086	0	92	65.3	0.75	222.5	169.17	1154.1	28.039	28.039	3	1.25	1.0461	18.514
92	17	-0.8	15.08	145.16	-1242	-5.11	0	1	3.42	1.086	0	93	68	0.3889	241.28	171.82	598.45	19.107	19.107	3	1.25	1.0461	19.083
93	14.2	-0.6	10.52	144.85	-976	-3.24	0	1	3.42	1.086	0	94	69.4	0.0833	251.32	173.26	128.23	10.657	10.657	3	1.25	1.0461	19.319
94	12	-0.8	7.514	144.67	-1286	-3.78	0	1	3.42	1.086	0	95	69.7	-0.1111	253.5	173.57	-170.98	4.9581	0	3	1.25	1.0461	0
95	9.1	-0.9	4.321	144.49	-1464	-3.32	0	1	3.42	1.086	0	96	69.3	-0.3333	250.6	173.15	-512.94	-1.7169	0	3	1.25	1.0461	0
96	5.8	-0.6	1.755	144.36	-976	-1.34	0	1	3.42	1.086	0	97	68.1	-0.3333	241.99	171.92	-512.94	-1.8733	0	3	1.25	1.0461	0
97	3.6	-0.4	0.676	144.32	-621	-0.48	0	1	3.42	1.086	0	98	66.9	-0.1944	235.54	170.72	-299.21	1.9521	0	3	1.25	1.0461	0
98	2.2	-0.6	0.253	144.31	-976	-0.51	0	1	3.42	1.086	0	99	66.2	-0.1389	228.68	170.03	-213.72	3.4017	0	3	1.25	1.0461	0
99	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	100	65.7	-0.2222	225.24	169.53	-341.96	0.9641	0	3	1.25	1.0461	0
100	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	101	64.9	-0.4722	219.79	168.79	-732.85	-6.2065	0	2	1.96	1.055	0
101	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	102	63.2	-0.8056	208.42	167.22	-1250.2	-15.353	0	2	1.96	1.055	0
102	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	103	60.3	-1.25	189.73	164.68	-1939.9	-26.557	0	2	1.96	1.055	0
103	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	104	55.8	-1.4722	162.47	161.09	-2284.8	-30.399	0	2	1.96	1.055	0
104	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	105	50.5	-1.4722	133.07	157.38	-2284.8	-27.976	0	2	1.96	1.055	0
105	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	106	45.2	-1.4167	106.61	154.22	-2198.3	-24.329	0	2	1.96	1.055	0
106	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	107	40.1	-1.0833	83.907	151.65	-1681.2	-16.103	0	2	1.96	1.055	0
107	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	108	36.2	-0.9167	68.379	149.99	-1463.9	-12.524	0	1	3.417	1.0856	0
108	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	109	32.9	-0.8611	56.481	148.78	-1375.1	-10.691	0	1	3.417	1.0856	0
109	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	110	29.8	-0.8889	46.338	147.8	-1419.5	-10.143	0	1	3.417	1.0856	0
110	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	111	26.6	-1	36.921	146.94	-1596.9	-10.441	0	1	3.417	1.0856	0
111	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	112	23	-1	27.604	146.14	-1596.9	-9.0926	0	1	3.417	1.0856	0
112	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	113	19.4	-0.8611	19.639	145.5	-1375.1	-6.5205	0	1	3.417	1.0856	0
113	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	114	16.3	-0.4722	13.864	145.08	-754.11	-2.6948	0	1	3.417	1.0856	0
114	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	115	14.6	-0.1111	11.123	144.89	-177.44	-0.0869	0	1	3.417	1.0856	0
115	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	116	14.2	0.0278	10.522	144.85	44.359	0.7878	0.7878	1	3.417	1.0856	3.9583
116	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	117	14.3	0.0833	10.67	144.86	133.08	1.1464	1.1464	1	3.417	1.0856	4.0139
117	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	118	14.6	0.1389	11.123	144.89	221.8	1.5322	1.5322	1	3.417	1.0856	4.125
118	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	119	15.1	0.3611	11.898	144.94	576.67	3.0767	3.0767	1	3.417	1.0856	4.375
119	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	120	16.4	0.75	14.034	145.09	1197.7	6.1811	6.1811	1	3.417	1.0856	4.9306
120	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	121	19.1	0.9444	19.036	145.46	1508.2	8.8746	8.8746	1	3.417	1.0856	5.7778
121	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	122	22.5	0.5278	26.416	146.04	842.82	6.3455	6.3455	1	3.417	1.0856	6.5139
122	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	123	24.4	0.1111	31.066	146.43	177.44	2.4056	2.4056	1	3.417	1.0856	6.8333
123	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	124	24.8	-0.5833	32.093	146.52	-931.54	-5.1869	0	1	3.417	1.0856	0
124	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	125	22.7	-1.4722	26.888	146.08	-2351	-13.734	0	1	3.417	1.0856	0

125	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	126	17.4	-1	15.798	145.22	-1596.9	-6.9403	0	1	3.417	1.0856	0
126	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	127	13.8	-0.5	9.9373	144.82	-798.47	-2.4676	0	1	3.417	1.0856	0
127	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	128	12	0	7.514	144.67	0	0.5073	0.5073	1	3.417	1.0856	3.3333
128	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	129	12	0	7.514	144.67	0	0.5073	0.5073	1	3.417	1.0856	3.3333
129	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	130	12	0.5278	7.514	144.67	842.82	3.3167	3.3167	1	3.417	1.0856	3.5972
130	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	131	13.9	1.3611	10.082	144.82	2173.6	8.9906	8.9906	1	3.417	1.0856	4.5417
131	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	132	18.8	1.75	18.445	145.41	2794.6	15.45	15.45	1	3.417	1.0856	6.0972
132	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	133	25.1	1.3056	32.874	146.58	2084.9	15.787	15.787	1	3.417	1.0856	7.625
133	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	134	29.8	1.1111	46.338	147.8	1774.4	16.295	16.295	1	3.417	1.0856	8.8333
134	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	135	33.8	1.2222	59.613	149.1	1951.8	20.285	20.285	1	3.417	1.0856	10
135	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	136	38.2	1.4444	76.144	150.81	2306.7	26.885	26.885	1	3.417	1.0856	11.333
136	0	0	0	144.31	0	0	0	1	3.42	1.086	0	137	43.4	1.5278	98.285	153.26	2371	31.616	31.616	2	1.96	1.055	12.819
137	0	0.06	0	144.31	88.7	0	0	1	3.42	1.086	0.0278	138	48.9	1.3611	124.77	156.37	2112.3	32.511	32.511	2	1.96	1.055	14.264
138	0.2	0.47	0.002	144.31	754	0.05	0.05	1	3.42	1.086	0.2917	139	53.8	1.1111	151.03	159.62	1724.3	30.412	30.412	2	1.96	1.055	15.5
139	1.9	1.17	0.188	144.31	1863	1.06	1.06	1	3.42	1.086	1.1111	140	57.8	1.0278	174.33	162.63	1595	31.019	31.019	2	1.96	1.055	16.569
140	6.1	1.56	1.942	144.37	2484	4.457	4.457	1	3.42	1.086	2.4722	141	61.5	0.9722	197.36	165.71	1508.8	31.978	31.978	2	1.96	1.055	17.569
141	11.7	1.31	7.143	144.64	2085	7.269	7.269	1	3.42	1.086	3.9028	142	65	0.9444	220.46	168.88	1453.3	33.27	33.27	3	1.25	1.0461	18.528
142	16.4	0.69	14.03	145.09	1109	5.777	5.777	1	3.42	1.086	4.9028	143	68.4	0.8889	244.13	172.22	1367.8	33.9	33.9	3	1.25	1.0461	19.444
143	18.9	0.28	18.64	145.43	444	3.19	3.19	1	3.42	1.086	5.3889	144	71.6	0.3889	267.51	175.6	598.43	20.715	20.715	3	1.25	1.0461	20.083
144	19.9	0.25	20.66	145.58	399	3.126	3.126	1	3.42	1.086	5.6528	145	73	0.3611	278.07	177.16	555.68	20.499	20.499	3	1.25	1.0461	20.458
145	20.8	0.56	22.58	145.73	887	6.098	6.098	1	3.42	1.086	6.0556	146	74.3	0.5278	288.06	178.64	812.15	26.394	26.394	3	1.25	1.0461	20.903
146	22.8	0.72	27.13	146.1	1153	8.402	8.402	1	3.42	1.086	6.6944	147	76.2	0.4722	302.98	180.88	726.66	25.623	25.623	3	1.25	1.0461	21.403
147	25.4	0.64	33.66	146.65	1020	8.471	8.471	1	3.42	1.086	7.375	148	77.9	0.4444	316.65	182.95	683.92	25.61	25.61	3	1.25	1.0461	21.861
148	27.7	0.42	40.04	147.22	665	6.561	6.561	1	3.42	1.086	7.9028	149	79.5	0.4167	329.79	184.97	641.17	25.527	25.527	3	1.25	1.0461	22.292
149	29.2	0.17	44.49	147.63	266	3.717	3.717	1	3.42	1.086	8.1944	150	81	0.3611	342.36	186.91	555.68	24.411	24.411	3	1.25	1.0461	22.681
150	29.8	-0.1	46.34	147.8	-177	0.138	0	1	3.42	1.086	0	151	82.3	0.3333	353.43	188.64	512.94	24.119	24.119	3	1.25	1.0461	23.028
151	29.4	-0.6	45.1	147.69	-976	-6.4	0	1	3.42	1.086	0	152	83.5	0.3056	363.82	190.27	470.19	23.758	23.758	3	1.25	1.0461	23.347
152	27.2	-1.3	38.61	147.09	-2041	-14	0	1	3.42	1.086	0	153	84.6	0.25	373.46	191.8	384.7	23.234	23.234	3	1.25	1.0461	23.625
153	22.6	-1.5	26.65	146.06	-2351	-13.7	0	1	3.42	1.086	0	154	85.5	0.2222	381.45	193.08	341.96	21.767	21.767	3	1.25	1.0461	23.861
154	17.3	-1.1	15.62	145.2	-1774	-7.75	0	1	3.42	1.086	0	155	86.3	0.2222	388.62	194.23	341.96	22.17	22.17	3	1.25	1.0461	24.085
155	13.3	-0.4	9.23	144.77	-577	-1.56	0	1	3.42	1.086	0	156	87.1	0.2778	395.86	195.39	427.45	24.647	24.647	3	1.25	1.0461	24.333
156	12	0.17	7.514	144.67	266	1.394	1.394	1	3.42	1.086	3.4167	157	88.1	0.2778	405.01	196.87	427.45	25.19	25.19	3	1.25	1.0461	24.611
157	12.6	0.42	8.284	144.71	665	2.864	2.864	1	3.42	1.086	3.7083	158	89.1	0.2778	414.25	198.37	427.45	25.742	25.742	3	1.25	1.0461	24.889
158	14.1	0.86	10.37	144.84	1375	5.994	5.994	1	3.42	1.086	4.3472	159	90.1	0.25	423.6	199.9	384.7	25.233	25.233	3	1.25	1.0461	25.133
159	17.2	0.81	15.44	145.19	1286	6.914	6.914	1	3.42	1.086	5.1806	160	91	0.1944	432.11	201.3	299.21	23.575	23.575	3	1.25	1.0461	25.375
160	20.1	0.92	21.08	145.61	1464	9.104	9.104	1	3.42	1.086	6.0417	161	91.7	0.1667	438.78	202.4	256.47	22.865	22.865	3	1.25	1.0461	25.556
161	23.4	0.58	28.57	146.22	932	7.191	7.191	1	3.42	1.086	6.7917	162	92.3	0.1389	444.54	203.36	213.72	22.091	22.091	3	1.25	1.0461	25.708
162	25.5	0.58	33.93	146.67	932	7.878	7.878	1	3.42	1.086	7.375	163	92.8	0.0833	449.37	204.16	128.23	20.152	20.152	3	1.25	1.0461	25.819
163	27.6	0.53	39.75	147.19	843	7.895	7.895	1	3.42	1.086	7.9306	164	93.1	0	452.28	204.65	0	16.989	16.989	3	1.25	1.0461	25.861
164	29.5	0.44	45.41	147.72	710	7.399	7.399	1	3.42	1.086	8.4167	165	93.1	0	452.28	204.65	0	16.989	16.989	3	1.25	1.0461	25.861
165	31.1	0.28	50.47	148.2	444	5.548	5.548	1	3.42	1.086	8.7778	166	93.1	0	452.28	204.65	0	16.989	16.989	3	1.25	1.0461	25.861
166	32.1	0.31	53.77	148.52	488	6.155	6.155	1	3.42	1.086	9.0694	167	93.1	0	452.28	204.65	0	16.989	16.989	3	1.25	1.0461	25.861
167	33.2	0.56	57.52	148.89	887	10.09	10.09	1	3.42	1.086	9.5	168	93.1	0	452.28	204.65	0	16.989	16.989	3	1.25	1.0461	25.861

168	35.2	0.56	64.65	149.61	887	10.77	10.77	1	3.42	1.086	10.056	169	93.1	0	452.28	204.65	0	16.989	16.989	3	1.25	1.0461	25.861
169	37.2	0.22	72.21	150.39	355	5.967	5.967	1	3.42	1.086	10.444	170	93.1	0	452.28	204.65	0	16.989	16.989	3	1.25	1.0461	25.861
170	38	-0.2	75.35	150.73	-266	-0.42	0	1	3.42	1.086	0	171	93.1	0	452.28	204.65	0	16.989	16.989	3	1.25	1.0461	25.861
171	37.4	-0.6	72.99	150.48	-1020	-8.28	0	1	3.42	1.086	0	172	93.1	0	452.28	204.65	0	16.989	16.989	3	1.25	1.0461	25.861
172	35.1	-1.1	64.29	149.57	-1819	-15.6	0	1	3.42	1.086	0	173	93.1	0.0278	452.28	204.65	42.745	18.094	18.094	3	1.25	1.0461	25.875
173	31	-1.1	50.15	148.17	-1730	-13.2	0	1	3.42	1.086	0	174	93.2	0	453.25	204.81	0	17.037	17.037	3	1.25	1.0461	25.889
174	27.1	-0.5	38.32	147.06	-798	-4.62	0	1	3.42	1.086	0	175	93.2	0.0278	453.25	204.81	42.745	18.143	18.143	3	1.25	1.0461	25.903
175	25.3	-0.1	33.4	146.63	-88.7	0.642	0	1	3.42	1.086	0	176	93.3	0.1111	454.23	204.97	170.98	21.515	21.515	3	1.25	1.0461	25.972
176	25.1	0.22	32.87	146.58	355	3.725	3.725	1	3.42	1.086	7.0833	177	93.7	0.1389	458.13	205.62	213.72	22.839	22.839	3	1.25	1.0461	26.097
177	25.9	0.53	35	146.77	843	7.371	7.371	1	3.42	1.086	7.4583	178	94.2	0.2222	463.03	206.45	341.96	26.466	26.466	3	1.25	1.0461	26.178
178	27.8	0.39	40.33	147.25	621	6.244	6.244	1	3.42	1.086	7.9167	179	95	0.2222	470.93	207.77	341.96	26.934	26.934	3	1.25	1.0461	26.3
179	29.2	0.11	44.49	147.63	177	2.998	2.998	1	3.42	1.086	8.1667	180	95.8	0.1667	478.89	209.12	256.47	25.134	25.134	3	1.25	1.0461	26.694
180	29.6	-0	45.72	147.74	-44.4	1.226	0	1	3.42	1.086	0	181	96.4	0.1111	484.91	210.14	170.98	23.19	23.19	3	1.25	1.0461	26.833
181	29.5	-0.1	45.41	147.72	-133	0.492	0	1	3.42	1.086	0	182	96.8	0.0556	488.94	210.82	85.49	21.115	21.115	3	1.25	1.0461	26.917
182	29.2	-0.3	44.49	147.63	-399	-1.68	0	1	3.42	1.086	0	183	97	0.0278	490.97	211.17	42.745	20.07	20.07	3	1.25	1.0461	26.958
183	28.3	-0.6	41.79	147.38	-976	-6.18	0	1	3.42	1.086	0	184	97.1	0.0278	491.98	211.34	42.745	20.123	20.123	3	1.25	1.0461	26.986
184	26.1	-0.7	35.55	146.82	-1109	-6.72	0	1	3.42	1.086	0	185	97.2	0.0278	492.99	211.51	42.745	20.176	20.176	3	1.25	1.0461	27.014
185	23.6	-0.7	29.06	146.26	-1153	-6.41	0	1	3.42	1.086	0	186	97.3	0.0278	494.01	211.69	42.745	20.229	20.229	3	1.25	1.0461	27.042
186	21	-0.6	23.01	145.76	-932	-4.45	0	1	3.42	1.086	0	187	97.4	0	495.02	211.86	0	19.125	19.125	3	1.25	1.0461	27.056
187	18.9	-0.5	18.64	145.43	-798	-3.33	0	1	3.42	1.086	0	188	97.4	0	495.02	211.86	0	19.125	19.125	3	1.25	1.0461	27.056
188	17.1	-0.4	15.26	145.18	-621	-2.19	0	1	3.42	1.086	0	189	97.4	0	495.02	211.86	0	19.125	19.125	3	1.25	1.0461	27.056
189	15.7	-0.3	12.86	145.01	-532	-1.63	0	1	3.42	1.086	0	190	97.4	-0.0278	495.02	211.86	-42.745	17.969	0	3	1.25	1.0461	0
190	14.5	-0.2	10.97	144.88	-355	-0.8	0	1	3.42	1.086	0	191	97.3	0	494.01	211.69	0	19.073	19.073	3	1.25	1.0461	27.028
191	13.7	-0.2	9.794	144.81	-355	-0.76	0	1	3.42	1.086	0	192	97.3	0	494.01	211.69	0	19.073	19.073	3	1.25	1.0461	27.028
192	12.9	-0.1	8.683	144.74	-177	-0.09	0	1	3.42	1.086	0	193	97.3	0	494.01	211.69	0	19.073	19.073	3	1.25	1.0461	27.028
193	12.5	-0.1	8.153	144.7	-133	0.069	0	1	3.42	1.086	0	194	97.3	-0.0278	494.01	211.69	-42.745	17.918	0	3	1.25	1.0461	0
194	12.2	-0.1	7.767	144.68	-88.7	0.216	0	1	3.42	1.086	0	195	97.2	-0.0278	492.99	211.51	-42.745	17.868	0	3	1.25	1.0461	0
195	12	0	7.514	144.67	0	0.507	0.507	1	3.42	1.086	3.3333	196	97.1	-0.0278	491.98	211.34	-42.745	17.817	0	3	1.25	1.0461	0
196	12	0	7.514	144.67	0	0.507	0.507	1	3.42	1.086	3.3333	197	97	-0.0278	490.97	211.17	-42.745	17.767	0	3	1.25	1.0461	0
197	12	0	7.514	144.67	0	0.507	0.507	1	3.42	1.086	3.3333	198	96.9	-0.0556	489.96	211	-85.49	16.566	0	3	1.25	1.0461	0
198	12	0.14	7.514	144.67	222	1.247	1.247	1	3.42	1.086	3.4028	199	96.7	-0.0833	487.93	210.65	-128.23	15.32	0	3	1.25	1.0461	0
199	12.5	0.14	8.153	144.7	222	1.301	1.301	1	3.42	1.086	3.5417	200	96.4	-0.0833	484.91	210.14	-128.23	15.178	0	3	1.25	1.0461	0
200	15	0.28	8.819	144.74	444	2.156	2.156	1	3.42	1.086	3.75	201	96.1	-0.1111	481.9	209.63	-170.98	13.896	0	3	1.25	1.0461	0
201	14	0.28	10.23	144.83	444	2.328	2.328	1	3.42	1.086	4.0278	202	95.7	-0.0556	477.9	208.95	-85.49	15.986	0	3	1.25	1.0461	0
202	15	0.42	11.74	144.93	665	3.425	3.425	1	3.42	1.086	4.375	203	95.5	-0.0556	475.9	208.61	-85.49	15.891	0	3	1.25	1.0461	0
203	16.5	0.69	14.21	145.1	1109	5.813	5.813	1	3.42	1.086	4.9306	204	95.3	-0.0278	473.91	208.28	-42.745	16.927	0	3	1.25	1.0461	0
204	19	0.61	18.84	145.44	976	6.018	6.018	1	3.42	1.086	5.5833	205	95.2	-0.0556	472.91	208.11	-85.49	15.749	0	3	1.25	1.0461	0
205	21.2	0.72	23.45	145.8	1153	7.789	7.789	1	3.42	1.086	6.25	206	95	-0.0278	470.93	207.77	-42.745	16.782	0	3	1.25	1.0461	0
206	23.8	0.86	29.56	146.3	1375	10.25	10.25	1	3.42	1.086	7.0417	207	94.9	-0.0556	469.94	207.61	-85.49	15.607	0	3	1.25	1.0461	0
207	26.9	0.75	37.76	147.01	1198	10.33	10.33	1	3.42	1.086	7.8472	208	94.7	-0.0556	467.96	207.27	-85.49	15.514	0	3	1.25	1.0461	0
208	29.6	0.67	45.72	147.74	1065	10.34	10.34	1	3.42	1.086	8.5556	209	94.5	-0.0278	465.99	206.94	-42.745	16.542	0	3	1.25	1.0461	0
209	32	0.89	53.43	148.48	1419	14.41	14.41	1	3.42	1.086	9.3333	210	94.4	0	465	206.78	0	17.615	17.615	3	1.25	1.0461	26.222
210	35.2	0.64	64.65	149.61	1020	12.07	12.07	1	3.42	1.086	10.097	211	94.4	-0.0278	465	206.78	-42.745	16.495	0	3	1.25	1.0461	0

210	35.2	0.64	64.85	149.61	1020	12.07	12.07	1	3.42	1.086	10.097	211	94.4	-0.0278	465	206.78	-42.745	16.495	0	3	1.25	1.0461	0
211	37.5	0.47	73.38	150.52	754	10.19	10.19	1	3.42	1.086	10.653	212	94.3	0	464.02	206.61	0	17.567	17.567	3	1.25	1.0461	26.194
212	39.2	0.36	80.18	151.25	577	8.799	8.799	1	3.42	1.086	11.069	213	94.3	-0.0556	464.02	206.61	-85.49	15.327	0	3	1.25	1.0461	0
213	40.5	0.31	85.59	151.84	474	8.006	8.006	2	1.96	1.055	11.403	214	94.1	-0.0556	462.05	206.28	-85.49	15.235	0	3	1.25	1.0461	0
214	41.6	0.42	90.3	152.36	647	10.28	10.28	2	1.96	1.055	11.764	215	93.9	-0.1389	460.09	205.95	-213.72	11.798	0	3	1.25	1.0461	0
215	43.1	0.33	96.93	153.1	819	12.8	12.8	2	1.96	1.055	12.236	216	93.4	-0.1667	455.2	205.14	-256.47	10.478	0	3	1.25	1.0461	0
216	45	0.38	105.7	154.11	905	14.56	14.56	2	1.96	1.055	12.792	217	92.8	-0.2222	449.37	204.16	-341.96	8.0317	0	3	1.25	1.0461	0
217	47.1	0.33	115.8	155.29	819	14.26	14.26	2	1.96	1.055	13.347	218	92	-0.1944	441.66	202.88	-299.21	8.8249	0	3	1.25	1.0461	0
218	49	0.44	125.3	156.43	690	13.22	13.22	2	1.96	1.055	13.833	219	91.3	-0.1944	434.96	201.77	-399.21	8.5599	0	3	1.25	1.0461	0
219	50.6	0.33	133.6	157.45	517	11.36	11.36	2	1.96	1.055	14.222	220	90.6	-0.1667	428.32	200.68	-256.47	9.3752	0	3	1.25	1.0461	0
220	51.8	0.25	140	158.24	388	9.874	9.874	2	1.96	1.055	14.514	221	90	-0.1944	422.66	199.75	-399.21	8.0799	0	3	1.25	1.0461	0
221	52.7	0.11	144.9	158.85	172	6.971	6.971	2	1.96	1.055	14.694	222	89.3	-0.1667	416.11	198.68	-256.47	8.8884	0	3	1.25	1.0461	0
222	53.1	0.11	147.1	159.13	172	7.061	7.061	2	1.96	1.055	14.806	223	88.7	-0.1667	410.54	197.77	-256.47	8.6689	0	3	1.25	1.0461	0
223	53.5	0.08	149.4	159.41	129	6.511	6.511	2	1.96	1.055	14.903	224	88.1	-0.1944	405.01	196.87	-399.21	7.4068	0	3	1.25	1.0461	0
224	53.8	0.11	151	159.62	172	7.22	7.22	2	1.96	1.055	15	225	87.4	-0.1944	398.59	195.83	-399.21	7.1671	0	3	1.25	1.0461	0
225	54.2	0.17	153.3	159.91	259	8.61	8.61	2	1.96	1.055	15.139	226	86.7	-0.1944	392.24	194.81	-399.21	6.9318	0	3	1.25	1.0461	0
226	54.8	0.14	156.7	160.35	216	8.107	8.107	2	1.96	1.055	15.292	227	86	-0.1944	385.93	193.79	-399.21	6.701	0	3	1.25	1.0461	0
227	55.3	0.14	159.6	160.71	216	8.231	8.231	2	1.96	1.055	15.431	228	85.3	-0.1667	379.67	192.79	-256.47	7.4873	0	3	1.25	1.0461	0
228	55.8	0.11	162.5	161.09	172	7.688	7.688	2	1.96	1.055	15.556	229	84.7	-0.1667	374.35	191.94	-256.47	7.2894	0	3	1.25	1.0461	0
229	56.2	0.08	164.8	161.39	129	7.111	7.111	2	1.96	1.055	15.653	230	84.1	-0.1667	369.06	191.1	-256.47	7.0947	0	3	1.25	1.0461	0
230	56.5	0	166.6	161.62	0	5.151	5.151	2	1.96	1.055	15.694	231	83.5	-0.1667	363.82	190.27	-256.47	6.9031	0	3	1.25	1.0461	0
231	56.5	-0.1	166.6	161.62	-129	3.121	0	2	1.96	1.055	0	232	82.9	-0.1667	358.61	189.45	-256.47	6.7147	0	3	1.25	1.0461	0
232	56.2	-0.4	164.8	161.39	-560	-3.66	0	2	1.96	1.055	0	233	82.3	-0.1667	353.43	188.64	-256.47	6.5292	0	3	1.25	1.0461	0
233	54.9	-0.6	157.3	160.42	-862	-8.3	0	2	1.96	1.055	0	234	81.7	-0.1667	348.3	187.84	-256.47	6.3469	0	3	1.25	1.0461	0
234	52.9	-0.5	146	158.99	-819	-7.55	0	2	1.96	1.055	0	235	81.1	-0.1667	343.2	187.04	-256.47	6.1675	0	3	1.25	1.0461	0
235	51	-0.3	135.7	157.71	-517	-3.17	0	2	1.96	1.055	0	236	80.5	-0.1667	338.14	186.26	-256.47	5.9912	0	3	1.25	1.0461	0
236	49.8	-0.2	129.4	156.93	-259	0.383	0	2	1.96	1.055	0	237	79.9	-0.1389	333.12	185.48	-213.72	6.7665	0	3	1.25	1.0461	0
237	49.2	-0.2	126.3	156.56	-345	-0.85	0	2	1.96	1.055	0	238	79.4	-0.1111	328.97	184.84	-170.98	7.5611	0	3	1.25	1.0461	0
238	48.4	-0.4	122.2	156.06	-647	-4.95	0	2	1.96	1.055	0	239	79	-0.0833	325.66	184.33	-128.23	8.3774	0	3	1.25	1.0461	0
239	46.9	-0.7	114.8	155.17	-1121	-11.1	0	2	1.96	1.055	0	240	78.7	0	323.19	183.95	0	11.087	11.087	3	1.25	1.0461	21.861
240	44.3	-0.8	102.4	153.73	-1207	-11.7	0	2	1.96	1.055	0	241	78.7	0.0278	323.19	183.95	42.745	12.021	12.021	3	1.25	1.0461	21.875
241	41.5	-0.6	89.87	152.31	-862	-7.15	0	2	1.96	1.055	0	242	78.8	0.0833	324.01	184.08	128.23	13.928	13.928	3	1.25	1.0461	21.931
242	39.5	-0.7	81.41	151.38	-1109	-9.61	0	1	3.42	1.086	0	243	79.1	0.0833	326.48	184.46	128.23	14.044	14.044	3	1.25	1.0461	22.014
243	37	-0.7	71.44	150.31	-1065	-8.66	0	1	3.42	1.086	0	244	79.4	0.0556	328.97	184.84	85.49	13.218	13.218	3	1.25	1.0461	22.083
244	34.6	-0.6	62.47	149.39	-1020	-7.77	0	1	3.42	1.086	0	245	79.6	0.0556	330.62	185.09	85.49	13.293	13.293	3	1.25	1.0461	22.139
245	32.3	-0.9	54.44	148.58	-1464	-11.3	0	1	3.42	1.086	0	246	79.8	0	332.29	185.35	0	11.474	11.474	3	1.25	1.0461	22.167
246	29	-1.1	43.88	147.57	-1730	-12.4	0	1	3.42	1.086	0	247	79.8	-0.0556	332.29	185.35	-85.49	9.5793	0	3	1.25	1.0461	0
247	25.1	-0.8	32.87	146.58	-1286	-7.72	0	1	3.42	1.086	0	248	79.6	-0.0833	330.62	185.09	-128.23	8.5677	0	3	1.25	1.0461	0
248	22.2	-0.4	25.72	145.98	-577	-3.5	0	1	3.42	1.086	0	249	79.3	-0.1111	328.14	184.71	-170.98	7.5306	0	3	1.25	1.0461	0
249	20.9	-0.1	22.79	145.75	-222	-0.31	0	1	3.42	1.086	0	250	78.9	-0.1111	324.83	184.21	-170.98	7.4091	0	3	1.25	1.0461	0
250	20.4	-0.3	21.72	145.66	-399	-1.31	0	1	3.42	1.086	0	251	78.5	-0.0833	321.55	183.7	-128.23	8.221	0	3	1.25	1.0461	0
251	19.5	-0.3	19.84	145.52	-488	-1.75	0	1	3.42	1.086	0	252	78.2	-0.0833	319.1	183.32	-128.23	8.1281	0	3	1.25	1.0461	0

TABEL 14 Perhitungan Rhp Kendaraan Listrik

time	s	v (km/s)	a	Rs (N)	Rr (N)	Fi (N)	RHP (kW)	RHP ecc	i	it	KM	s ecc (m)
0	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
1	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
2	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
3	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
4	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
5	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
6	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
7	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
8	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
9	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
10	0	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
11	0	0,06	0	144,31	88,7	0	0	0	1	3,42	1,086	0,0278
12	0,2	0,42	0,002	144,31	665	0,045	0,045	1	3,42	1,086	0,2639	
13	1,7	1,03	0,148	144,31	1641	0,843	0,843	1	3,42	1,086	0,9861	
14	5,4	1,25	1,492	144,35	1996	3,213	3,213	1	3,42	1,086	2,125	
15	9,9	0,89	5,014	144,53	1419	4,315	4,315	1	3,42	1,086	3,1944	
16	13,1	1,06	8,779	144,75	1686	6,693	6,693	1	3,42	1,086	4,1667	
17	16,9	1,33	14,61	145,15	2129	10,75	10,75	1	3,42	1,086	5,3611	
18	21,7	1,19	24,09	145,89	1907	12,52	12,52	1	3,42	1,086	6,625	
19	26	0,42	34,58	146,79	665	6,116	6,116	1	3,42	1,086	7,4306	
20	27,5	0,17	38,69	147,17	266	3,453	3,453	1	3,42	1,086	7,7222	
21	28,1	0,06	40,39	147,33	88,7	2,158	2,158	1	3,42	1,086	7,8333	
22	28,3	0,14	40,97	147,38	222	3,224	3,224	1	3,42	1,086	7,9306	
23	28,8	0,08	42,43	147,52	133	2,584	2,584	1	3,42	1,086	8,0417	
24	29,1	0,47	43,32	147,6	754	7,639	7,639	1	3,42	1,086	8,3194	
25	30,8	0,31	48,53	148,1	488	5,857	5,857	1	3,42	1,086	8,7083	
26	31,9	0,61	52,06	148,45	976	10,42	10,42	1	3,42	1,086	9,1667	
27	34,1	0,69	59,49	149,2	1109	12,48	12,48	1	3,42	1,086	9,8194	
28	36,6	0,69	68,53	150,15	1109	13,5	13,5	1	3,42	1,086	10,514	
29	39,1	0,61	78,21	151,2	976	13,09	13,09	1	3,42	1,086	11,167	
30	41,3	0,33	87,26	152,21	517	8,682	8,682	2	1,96	1,055	11,639	
31	42,5	0,22	92,4	152,8	345	6,966	6,966	2	1,96	1,055	11,917	
32	43,3	0,17	95,91	153,21	259	6,107	6,107	2	1,96	1,055	12,111	
33	43,9	0,14	98,59	153,52	216	5,703	5,703	2	1,96	1,055	12,264	
34	44,4	0,03	100,8	153,78	43,1	3,672	3,672	2	1,96	1,055	12,347	
35	44,5	-0,1	101,3	153,84	-129	1,555	0	2	1,96	1,055	0	
36	44,2	-0,4	99,94	153,68	-647	-4,83	0	2	1,96	1,055	0	
37	42,7	-0,8	93,27	152,9	-1207	-11,4	0	2	1,96	1,055	0	
38	39,9	-0,8	81,44	151,56	-1286	-11,7	0	1	3,42	1,086	0	

38	39,9	-0,8	81,44	151,26	-1486	-11,7	0	1	3,42	1,086	0
39	37	-0,7	70,03	150,31	-1065	-8,68	0	1	3,42	1,086	0
40	34,6	-0,6	61,24	149,39	-1020	-7,78	0	1	3,42	1,086	0
41	32,3	-0,9	53,37	148,58	-1464	-11,3	0	1	3,42	1,086	0
42	29	-1,1	43,02	147,57	-1730	-12,4	0	1	3,42	1,086	0
43	25,1	-0,8	32,23	146,58	-1286	-7,72	0	1	3,42	1,086	0
44	22,2	-0,4	25,21	145,98	-577	-2,5	0	1	3,42	1,086	0
45	20,9	-0,1	22,35	145,75	-222	-0,31	0	1	3,42	1,086	0
46	20,4	-0,3	21,29	145,66	-399	-1,32	0	1	3,42	1,086	0
47	19,5	-0,3	19,45	145,52	-488	-1,75	0	1	3,42	1,086	0
48	18,4	-0,2	17,32	145,35	-266	-0,53	0	1	3,42	1,086	0
49	17,8	0	16,21	145,27	0	0,798	0,798	1	3,42	1,086	4,9444
50	17,8	-0,1	16,21	145,27	-177	-0,08	0	1	3,42	1,086	0
51	17,4	-0,5	15,49	145,22	-754	-2,87	0	1	3,42	1,086	0
52	15,7	-0,7	12,61	145,01	-1153	-4,34	0	1	3,42	1,086	0
53	13,1	-0,3	8,779	144,75	-444	-1,06	0	1	3,42	1,086	0
54	12,1	-0	7,49	144,67	-44,4	0,362	0	1	3,42	1,086	0
55	12	0	7,367	144,67	0	0,507	0,507	1	3,42	1,086	3,3333
56	12	0	7,367	144,67	0	0,507	0,507	1	3,42	1,086	3,3333
57	12	0,08	7,367	144,67	133	0,95	0,95	1	3,42	1,086	3,375
58	12,3	0,08	7,74	144,69	133	0,975	0,975	1	3,42	1,086	3,4583
59	12,6	0,58	8,122	144,71	932	3,795	3,795	1	3,42	1,086	3,7917
60	14,7	0,17	11,05	144,9	266	1,724	1,724	1	3,42	1,086	4,1667
61	15,3	0,17	11,98	144,97	266	1,798	1,798	1	3,42	1,086	4,3333
62	15,9	0,08	12,93	145,03	133	1,285	1,285	1	3,42	1,086	4,4583
63	16,2	0,25	13,43	145,07	399	2,51	2,51	1	3,42	1,086	4,625
64	17,1	0,19	14,96	145,18	311	2,236	2,236	1	3,42	1,086	4,8472
65	17,8	0,08	16,21	145,27	133	1,456	1,456	1	3,42	1,086	4,9861
66	18,1	0,08	16,76	145,31	133	1,484	1,484	1	3,42	1,086	5,0694
67	18,4	0,53	17,32	145,35	843	5,139	5,139	1	3,42	1,086	5,375
68	20,3	0,81	21,08	145,64	1286	8,194	8,194	1	3,42	1,086	6,0417
69	23,2	0,92	27,53	146,18	1464	10,55	10,55	1	3,42	1,086	6,9028
70	26,5	0,92	35,93	146,91	1464	12,12	12,12	1	3,42	1,086	7,8194
71	29,8	0,78	45,43	147,8	1242	11,88	11,88	1	3,42	1,086	8,6667
72	32,6	0,5	54,37	148,68	798	9,069	9,069	1	3,42	1,086	9,3056
73	34,4	0,31	60,54	149,31	488	6,668	6,668	1	3,42	1,086	9,7083
74	35,5	0,25	64,47	149,72	399	6,049	6,049	1	3,42	1,086	9,9861
75	36,4	0,28	67,78	150,07	444	6,688	6,688	1	3,42	1,086	10,25
76	37,4	0,31	71,56	150,48	488	7,376	7,376	1	3,42	1,086	10,542
77	38,5	0,22	75,83	150,94	355	6,22	6,22	1	3,42	1,086	10,806
78	39,3	0,06	79,01	151,29	88,7	3,483	3,483	1	3,42	1,086	10,944
79	39,5	-0,1	79,82	151,38	-222	0,103	0	1	3,42	1,086	0
80	39	-0,1	77,81	151,16	-222	0,078	0	1	3,42	1,086	0

81	38,5	-0,3	75,83	150,94	-532	-3,27	0	1	3,42	1,086	0
82	37,3	-0,1	71,17	150,44	-133	0,917	0	1	3,42	1,086	0
83	37	-0,1	70,03	150,31	-133	0,897	0	1	3,42	1,086	0
84	36,7	-0,2	68,9	150,19	-355	-1,38	0	1	3,42	1,086	0
85	35,9	-0,2	65,93	149,88	-266	-0,5	0	1	3,42	1,086	0
86	35,3	-0,2	63,75	149,65	-311	-0,95	0	1	3,42	1,086	0
87	34,6	-0,1	61,24	149,39	-177	0,319	0	1	3,42	1,086	0
88	34,2	-0,6	59,84	149,24	-1020	-7,71	0	1	3,42	1,086	0
89	31,9	-1,3	52,06	148,45	-2041	-16,3	0	1	3,42	1,086	0
90	27,3	-1,5	38,13	147,11	-2351	-16,4	0	1	3,42	1,086	0
91	22	-1,4	24,76	145,94	-2218	-12,5	0	1	3,42	1,086	0
92	17	-0,8	14,78	145,16	-1242	-5,11	0	1	3,42	1,086	0
93	14,2	-0,6	10,32	144,85	-976	-3,24	0	1	3,42	1,086	0
94	12	-0,8	7,367	144,67	-1286	-3,78	0	1	3,42	1,086	0
95	9,1	-0,9	4,236	144,49	-1464	-3,32	0	1	3,42	1,086	0
96	5,8	-0,6	1,721	144,36	-976	-1,34	0	1	3,42	1,086	0
97	3,6	-0,4	0,663	144,32	-621	-0,48	0	1	3,42	1,086	0
98	2,2	-0,6	0,248	144,31	-976	-0,51	0	1	3,42	1,086	0
99	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
100	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
101	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
102	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
103	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
104	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
105	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
106	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
107	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
108	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
109	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
110	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
111	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
112	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
113	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
114	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
115	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
116	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
117	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
118	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
119	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
120	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
121	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
122	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0
123	0	0	0	144,31	0	0	0	1	3,42	1,086	0

LAMPIRAN F
Center of Gravity

Diketahui	$b_{battery1-8} = 0,561 m$	
	$w_{battery 1-8} = 144 kg$	
	$b_{battery 9-12} = 0,1805 m$	
	$w_{battery 9-12} = 72 kg$	
	$b_{battery 13-20} = 0,1805 m$	
	$w_{battery 13-20} = 144 kg$	
	$b_{motor} = 2,906 m$	$w_{motor} =$
	$49 kg$	
	$b_{transmission} = 2,906 m$	
	$w_{transmission} = 28.5 kg$	
	$b_{electric} = 2,906 m$	$w_{electric} =$
	$30 kg$	
	$b_{chassis} = 1,235 m$	$w_{chassis} =$
	$855.5 kg$	
	$b_{pass 1,2} = 1,625 m$	$w_{pass 1,2} =$
	$140 kg$	
	$b_{pass 3,4,5} = 0,625 m$	$w_{pass 3,4,5} =$
	$210 kg$	
	Ditanya: $b' = \dots ?$	

Jawab :

$$b' = X_{cg} = \frac{\sum_1^i (X_i \cdot W_i)}{\sum_1^i W_i}$$

$$= \frac{(0,561 m \times 144 kg) + (0,1805 m \times 72 kg) + (0,1805 m \times 144 kg) + (2,906 m \times 49 kg) + (2,906 m \times 28.5 kg) + (2,906 \times 30 kg) + (1,235 m \times 855.5 kg) + (1,625 m \times 140 kg) + (0,625 m \times 210 kg)}{162 kg + 72 kg + 144 kg + 49 kg + 28.5 kg + 30 kg + 855.5 kg + 140 kg + 210 kg}$$

$$b = 1,104 m$$

Diketahui : $b = 1,104 m$
 $L = 2,525 m$

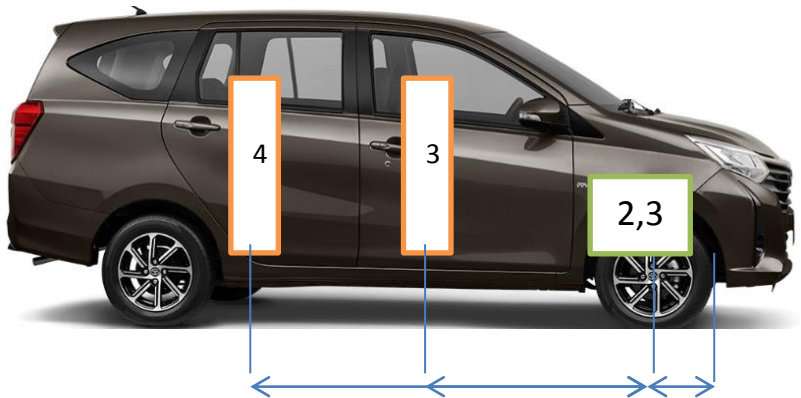
Ditanya: $a = \dots ?$

Jawab

$$: \quad a' = L - b'$$

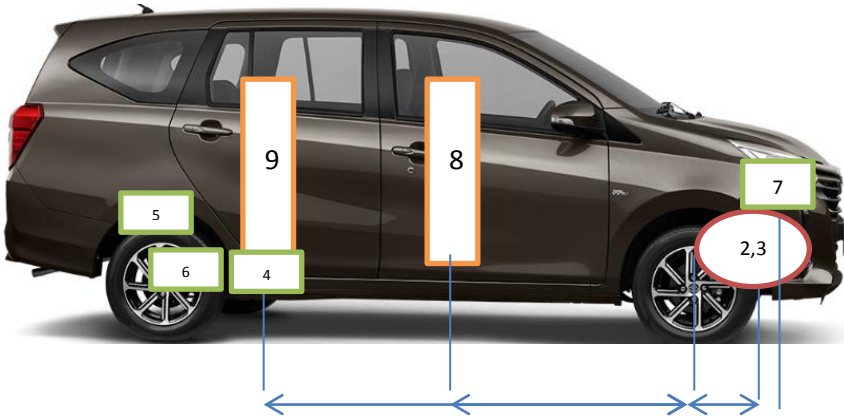
$$a' = 2,525 \text{ m} - 1,104 \text{ m}$$

$$a' = 1,421 \text{ m}$$



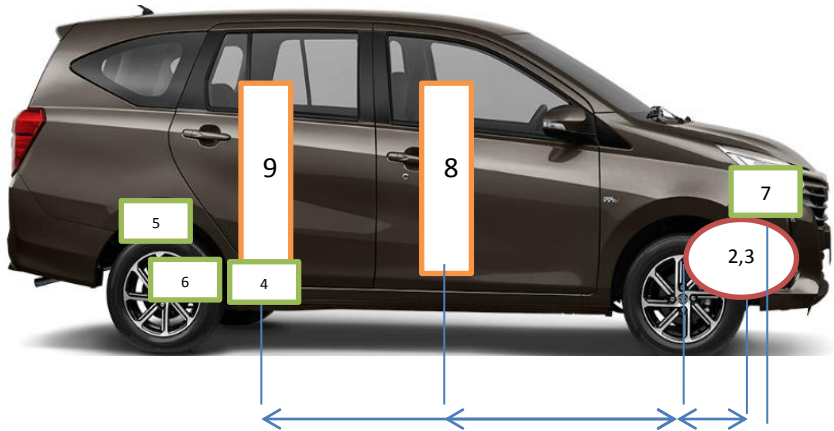
TABEL 15. Posisi dan massa komponen CG ICE

no	Komponen	b (m)	a (m)	massa (kg)
1	Chassis	1,233088	1,291912	855,5
2	Transmission	2,906	-0,381	28,5
3	Passenger 1,2	1,325	1,2	140
4	Passenger 3,4,5	0,425	2,1	210
5	Engine	2,925	-0,4	91
	CG kosong	1,4399	1,0851	981
	CG gross	1,264	1,261	1331



TABEL 16. Posisi dan massa komponen BEV konfigurasi 1

no	Komponen	b (m)	a (m)	massa (kg)
1	Chassis	1,234476	1,290524	855,5
2	Transmission	2,925	-0,4	28,5
3	Electric Motor	2,906	-0,4	49
4	Battery tank	0,589	1,936	108
5	Battery trunk	0	2,525	108
6	Battery behind tank	0,199	2,326	54
7	Power control +inverter	2,925	-0,4	30
8	Passenger 1,2	1,325	1,2	140
9	Passenger 3,4,5	0,425	2,1	210
	CG	1,171849	1,353151	1233
	CG gross	1,085729	1,439	1583



TABEL 17. Posisi dan massa komponen BEV konfigurasi 2

no	Komponen	b (m)	a (m)	massa (kg)
1	Chassis	1,234476	1,290524	855,5
2	Transmission	2,925	-0,4	28,5
3	Electric Motor	2,906	-0,4	49
4	Battery tank	0,589	1,936	108
5	Battery front	2,7635	-0,2385	54
6	Battery behind tank	0,199	2,326	54
7	Battery trunk	0	2,525	54
8	Power control + inverter	2,925	-0,4	30
9	Passenger 1,2	1,325	1,2	140
10	Passenger 3,4,5	0,425	2,1	210
	CG	1,292878	1,232122	1233
	CG gross	1,180	1,345	1583

LAMPIRAN G
Perhitungan Slip, Skid, dan Kus
TABEL 18. Perhitungan *skid* CG 1 (ICE)

δf (deg)	R anckerman	β	Vfs (km/jam)	Vrs (km/jam)
5	29,2395	2,477084	55,01169	54,11734
10	14,61975	4,958813	39,28413	38,01336
15	9,7465	7,449911	32,4317	30,86294
20	7,309875	9,955265	28,43539	26,60345
25	5,8479	12,48001	25,78534	23,70679
30	4,87325	15,02965	23,9013	21,58207

TABEL 19. Perhitungan *skid* CG2

δf (deg)	R anckerman	β	Vfs (km/jam)	Vrs (km/jam)
5	29,2395	2,128011	55,00484	54,21902
10	14,61975	4,258964	39,26414	38,14553
15	9,7465	6,39584	32,39361	31,01129
20	7,309875	8,541692	28,37427	26,75974
25	5,8479	10,69969	25,69584	23,86526
30	4,87325	12,87316	23,77729	21,73816

TABEL 20. Perhitungan *skid* CG3

δf (deg)	R anckerman	β	Vfs (km/jam)	Vrs (km/jam)
5	29,2395	2,312875	55,00833	54,16854
10	14,61975	4,629529	39,27434	38,07997
15	9,7465	6,953798	32,41304	30,9378
20	7,309875	9,289633	28,40541	26,68247
25	5,8479	11,64116	25,74136	23,7871
30	4,87325	14,01275	23,84024	21,66142

TABEL 23. Perhitungan slip dan Kus CG3

v(km/jam)	delta f (deg)	R anck (m)	beta (deg)	alfa depan	alfa beka	Rn	delta nya	Kus	v (km/jam)	delta f	R anck (m)	beta (deg)	alfa depan	alfa beka	Rn	delta nya	Kus
20	5	29,240	2,31	0,000	0,000	28,934	4,999	0	40	5	29,24	2,31	0,056	0,051	28,90	5,010	0,0125
	10	14,620	4,63	0,000	0,000	14,467	9,999	0		10	14,62	4,63	0,185	0,156	14,43	10,056	-
	15	9,747	6,95	0,023	0,018	9,642	15,008	0,0140		15	9,75	6,95	0,303	0,245	9,61	15,115	-
	20	7,310	9,29	0,059	0,045	7,228	20,026	0,0324		20	7,31	9,29	0,415	0,322	7,20	20,186	-
	25	5,848	11,64	0,094	0,069	5,781	25,048	0,0468		25	5,85	11,64	0,525	0,389	5,76	25,270	-
	30	4,873	14,01	0,128	0,090	4,816	30,074	0,0592		30	4,87	14,01	0,632	0,447	4,79	30,367	-
25	5	29,240	2,31	0,000	0,000	28,934	4,999	0,0000	45	5	29,24	2,31	0,092	0,082	28,88	5,019	0,0181
	10	14,620	4,63	0,027	0,023	14,462	10,006	0,0103		10	14,62	4,63	0,246	0,208	14,41	10,076	-
	15	9,747	6,95	0,082	0,066	9,635	15,030	0,0306		15	9,75	6,95	0,389	0,314	9,60	15,148	-
	20	7,310	9,29	0,134	0,104	7,223	20,059	0,0449		20	7,31	9,29	0,525	0,406	7,19	20,237	-
	25	5,848	11,64	0,185	0,137	5,776	25,094	-		25	5,85	11,64	0,658	0,486	5,75	25,341	-
	30	4,873	14,01	0,235	0,166	4,811	30,134	-		30	4,87	14,01	0,788	0,556	4,79	30,461	-
30	5	29,240	2,31	0,000	0,000	28,934	4,999	0,0000	50	5	29,24	2,31	0,129	0,114	28,85	5,029	0,0217
	10	14,620	4,63	0,074	0,063	14,451	10,021	0,0225		10	14,62	4,63	0,312	0,263	14,40	10,098	-
	15	9,747	6,95	0,149	0,120	9,627	15,055	0,0384		15	9,75	6,95	0,481	0,388	9,59	15,185	-
	20	7,310	9,29	0,219	0,170	7,216	20,097	-		20	7,31	9,29	0,643	0,496	7,18	20,292	-
	25	5,848	11,64	0,288	0,214	5,770	25,146	-		25	5,85	11,64	0,800	0,590	5,74	25,418	-
	30	4,873	14,01	0,355	0,252	4,806	30,203	-		30	4,87	14,01	0,955	0,671	4,78	30,564	-
35	5	29,240	2,31	0,024	0,022	28,927	5,002	0,0039									
	10	14,620	4,63	0,127	0,108	14,439	10,038	0,0291									
	15	9,747	6,95	0,222	0,180	9,618	15,083	-									
	20	7,310	9,29	0,313	0,243	7,208	20,139	-									
	25	5,848	11,64	0,401	0,298	5,763	25,205	-									
	30	4,873	14,01	0,487	0,345	4,800	30,281	-									

DAFTAR PUSTAKA

- Bhatt, P. N., Mehar, H., & Sahajwani, M. (2019). *Electrical Motors for Electric Vehicle - A Comparative Study*. Indore: Elsevier.
- Burrige, M., & Alakahoon, S. (2017). *The Design and Construction of a Battery Electric Vehicle Propulsion System-High Performance Electric Kart Application*. Australia: IOP.
- Chattanooga, U. o. (2014). *Hybrid Vehicle*. Dipetik July 15, 2020, dari University of Tennessee Chattanooga Research: <https://www.utc.edu/college-engineering-computer-science/research/cete/hybrid.php>
- Diouf, B., & Pode, R. (2014). *Potential Lithium-Ion in Renewable Energy*. Seoul: Elsevier.
- Ehsani, & Gao. (2017).
- Ehsani, M., & Gao, Y. (2010). *Modern Electric Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicle Fundamentals Theory and Design*. New York: CRC Press.
- Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., & Emadi, A. (2005). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicle Fundamentals, Theory, and Design 3th edition*. Washington, D.C.: CRC Press.
- Enerdata.com. (2018). *Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi*. Jakarta Pusat: Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian ESDM.

- GAIKINDO. (2020, Januari). *10 Mobil Terlaris di Indonesia Juli 2019*. Dipetik Juni 2, 2020, dari [gaikindo.or.id](https://www.gaikindo.or.id):
<https://www.gaikindo.or.id/10-mobil-terlaris-januari-oktober-2019-honda-brio-geser-mitsubishi-xpander/>
- Harsyawina, A. R. (2017). *Analisa Stabilitas Kendaraan dan Kekuaran Pengait Bak Angkut Kendaraan Multiguna Pedesaan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hasoloan, N. (2019). *Analisis Pengelolaan Energi dan Konsumsi Bahan Bakar pada Kendaraan Hibrid*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Indiamart. (2017). *NextGen Electric Car Battery Pack, Capacity: 40 Ah, Voltage: 96 to 110 V*. Dipetik June 7, 2020, dari Indiamart:
<https://www.indiamart.com/proddetail/electric-car-battery-pack-21200136912.html>
- Leitman, S., & Brant, B. (2009). *Build Your Own Electric Vehicle 2nd Edition*. New York: Mc Graw Hill.
- Mahmuddah, R. D. (2019). *Analisis Perbandingan dan Studi Eksperimen Karakteristik Traksi Transmisi Manual dengan Transmisi Otomatis pada Mobil Suzuki All New Ertiga 2019*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mashadi, B., & Crolla, D. (2012). *Vehicle Powertrain System*. United Kingdom: John Willey & Sons.

- Masudi, N. (2014). *Desain Controller Motor BLDC untuk Meningkatkan Performa (Daya Output) Sepeda Motor Listrik*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nicolas, R. (2013, May 1). *The Different Driving Cycles*. Dipetik May 3, 2020, dari car-engineer.com: car-engineer.com/the-different-driving-cycles/
- Oneexperience. (2016, September 4). *BLDC*. Dipetik Juni 9, 2020, dari One Experience:
<https://onexperience.wordpress.com/2016/09/04/blog-post-title-2/>
- Park, G., Lee, S., Jin, S., & Kwak, S. (2013). *Integrated Modeling and Analysis of Dynamics for Electric Vehicle Powertrains*. Korea: Elsevier, Ltd.
- Prasetyo, D. B. (2017). *Desain dan Analisa Sistem Tenaga dan Transmisi pada Mobil Angkut Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik*. Surabaya: Teknik Mesin FTI ITS.
- Rahman, F. (2017). *Analisis Stabilitas Arah Mobil Toyota Agya dengan Variasi Jumlah Penumpang, Kecepatan Belok, Sudut Belok, dan Kemiringan Melintang Jalan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rasyad, R. (2019). *Analysis and Experimental Study of Comparison Between Manual Transmission and CVT Transmission in Honda Jazz 2018, Based on Characteristics of Traction and Transmission Efficiency*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sutantra, I. N. (2001). *Teknologi Otomotif-Teori dan Aplikasinya*. Surabaya: Guna Widya.

- Sutantra, I. N. (2015). *Teknologi Otomotif Hybrid*. Surabaya: Widya Guna.
- Sutantra, M. P., & Sampurno, M. D. (2010). *Teknologi Otomotif Edisi Kedua*. Surabaya: Guna Widya.
- Sutantra, M.Sc, Ph.D, P. (2015). *Teknologi Otomotif Hybrid Edisi Pertama*. Surabaya: Guna Widya.
- Taborek, J. J. (1957). *Mechanics of Vehicles*. Ohio: Penton.
- Tech, T. C. (2016). *Finding the Car Center of Gravity/ Mass (CG/CM)*. Dipetik June 23, 2020, dari The Car Tech: http://www.thecartech.com/subjects/auto_eng/Center_of_Gravity.htm
- Technology, E. (2016, May). *BLDC Brushless DC Motor Construction Working Principles*. Dipetik May 27, 2020, dari Electrical Technology: <https://www.electricaltechnology.org/2016/05/bldc-brushless-dc-motor-construction-working-principle.html>
- Toyota. (2018). *Toyota Calya E M/T*. Dipetik Feb 16, 2020, dari Toyota Astra: toyota.astra.co.id/
- transportpolicy.net. (2018, 8 2). *International Light-Duty Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP)*. Dipetik May 3, 2020, dari transportpolicy.net: <https://www.transportpolicy.net/standard/international-light-duty-worldwide-harmonized-light-vehicles-test-procedure-wltp/>
- Wardana, N. Y. (2016). *Analisa dan Studi Eksperimen Performa Toyota Agya yang Menggunakan Transmisi Manual*

dengan Toyota Agya yang Menggunakan Transmisi Otomatis. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Yoga, N. B., & Sutantra, I. N. (2019). *Desain dan Analisis Sistem Tenaga dan Transmisi pada Mobil Bertenaga Listrik Ezzy ITS II.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BIODATA PENULIS



Putri Nabila Auliya dilahirkan di Jakarta pada tanggal 21 Januari 1998. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara pasangan ibu Susilawati dan bapak Djohan Suadi. Penulis menempuh pendidikan di SDN Cijagra 2 Bandung (2004-2006), SDN Malaka Sari 04 pg Jakarta (2006-2010), SMP N 255 Jakarta (2010-2013), kemudian SMA N 8 Jakarta (2013-2016). Pada tahun 2016, Penulis melanjutkan studi ke perguruan tinggi negeri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mengambil jurusan Teknik Mesin.

Penulis mengambil bidang studi Vibrasi dan Desain Otomotif. Selama perkuliahan, Penulis mengikuti kegiatan organisasi kampus dan tercatat sebagai Staff Badan Semi Otonom *Big Event* HMM 2017/2018, Staff Divisi Event MMC 2017/2018, Sekretaris Badan Semi Otonom *Big Event* HMM 2018/2019, dan Staff ahli Divisi Event MMC 2018/2019. Selain itu, penulis juga aktif dalam proyek konversi mobil listrik di PUI-SKO. Apabila terdapat kritik maupun saran dapat menghubungi Penulis melalui e-mail pnabilaauliya@gmail.com.