



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TM184835**

**PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM  
TENAGA, KONSUMSI ENERGI, DAN  
REGENERATIVE BRAKE PADA HONDA VARIO  
125 PGM-FI DENGAN PENAMBAHAN MOTOR  
LISTRIK SEBAGAI PENGGERAK KENDARAAN  
(HYBRID)**

Yohanes Silvano Fernanda  
NRP. 0211164000077

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D  
NIP. 196807061999031004

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



TUGAS AKHIR - TM184835

**PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM  
TENAGA, KONSUMSI ENERGI, DAN  
*REGENERATIVE BRAKE* PADA HONDA  
VARIO 125 PGM-FI DENGAN PENAMBAHAN  
MOTOR LISTRIK SEBAGAI PENGGERAK  
KENDARAAN (*HYBRID*)**

Yohanes Silvano Fernanda  
NRP. 0211164000077

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D  
NIP. 196807061999031004

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



FINAL PROJECT - TM184835

**DESIGN AND ANALYSIS OF POWER SYSTEMS,  
ENERGY CONSUMPTION, AND REGENERATIVE  
BRAKE ON HONDA VARIO 125 PGM-FI WITH  
ADDITION OF ELECTRIC MOTOR AS A VEHICLE  
DRIVER (HYBRID)**

Yohanes Silvano Fernanda  
NRP. 0211164000077

Advisor  
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D  
NIP. 196807061999031004

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEM ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## HALAMAN PENGESAHAN

# PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM TENAGA, KONSUMSI ENERGI, DAN *REGENERATIVE BRAKE* PADA HONDA VARIO 125 PGM-FI DENGAN PENAMBAHAN MOTOR LISTRIK SEBAGAI PENGGERAK KENDARAAN (*HYBRID*)

### 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 :

**Yohanes Silvano Fernanda**

NRP. 02111640000077

Disetujui oleh:

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

SURABAYA DEPARTEMEN  
TEKNIK MESIN  
AGUSTUS 2020

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM TENAGA,  
KONSUMSI ENERGI, DAN *REGENERATIVE BRAKE*  
PADA HONDA VARIO 125 PGM-FI DENGAN  
PENAMBAHAN MOTOR LISTRIK SEBAGAI  
PENGGERAK KENDARAAN (*HYBRID*)**

**Nama Mahasiswa** : Yohanes Silvano Fernanda  
**NRP** : 0211164000077  
**Departemen** : Teknik Mesin FTIRS-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

**ABSTRAK**

*Sepeda motor merupakan alat transportasi paling digemari di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia sepeda motor menempati urutan pertama jenis kendaraan bermotor yang paling banyak digunakan di Indonesia dengan jumlah 120.101.047 unit. Berdasarkan data dari handbook of energy dan economic statistic of Indonesia 2018, pemakaian energi terbesar di Indonesia adalah kegiatan transportasi yaitu sebesar 42%. Jika teknologi kendaraan saat ini yang menggunakan mesin pembakaran dengan bahan bakar minyak terus dipakai dan berkembang maka ketersediaan bahan bakar minyak akan habis dikonsumsi pada tahun 2038. Dengan kondisi seperti itu, maka antisipasi utama yang patut dilakukan untuk dapat mengurangi pemakaian minyak bumi, adalah pengembangan teknologi sarana transportasi yang seminimal mungkin menggunakan bahan bakar minyak. Teknologi yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah kendaraan dengan sistem penggerak hybrid. Hybrid adalah sistem yang menggunakan perpaduan motor pembakaran dalam dan motor listrik sebagai tenaga penggerak.*

*Sistem hybrid yang akan diterapkan adalah hybrid paralel. Pada tugas akhir ini terdapat dua tahapan, yang pertama ada tahap perhitungan dan yang kedua merupakan tahap analisis. Untuk tahap perhitungan yang dilakukan adalah melakukan*

*perhitungan gaya hambat yang meliputi gaya hambat drag, rolling resistance dan gaya hambat gradien, lalu dilakukan perhitungan spesifikasi motor, selanjutnya perhitungan karakteristik traksi, karakteristik daya pada setiap moda berkendara, lalu perhitungan konsumsi energi, perhitungan energi bangkitan hasil pengereman berdasarkan driving cycle WMTC, dan yang terakhir adalah perhitungan kapasitas dan jumlah baterai Selanjutnya untuk tahap analisis akan dilakukan analisis terhadap karakteristik traksi dan karakteristik daya pada setiap moda berkendara, konsumsi energi serta energi bangkitan hasil pengereman yang didapat dari perhitungan sebelumnya.*

*Pada penelitian ini diperoleh motor listrik yang sesuai adalah QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC Hub Motor dengan torsi maksimum 130 Nm dan daya maksimum 3,1 kW dan baterai yang digunakan adalah 72V 15 Ah Electric Bike Battery Pack Lithium Ion. Berdasarkan analisis perhitungan yang dilakukan, sepeda motor hybrid mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 29,72 m/s pada jalan datar dan mampu menanjak 30<sup>0</sup> dengan kecepatan 7,22 m/s. Dengan menerapkan sistem hybrid pada kendaraan dapat menghemat konsumsi bahan bakar sebesar 40,83% berdasarkan driving cycle WMTC kelas 2. Energi pengereman yang bisa ditangkap oleh generator adalah sebesar 0,0824 kWh dengan efisiensi maksimal sebesar 52% dan kontribusi regenerative brake terhadap konsumsi energi total adalah sebesar 30,34%.*

**Kata kunci:** *hybrid, motor listrik, karakteristik daya, karakteristik traksi*

**DESIGN AND ANALYSIS OF POWER SYSTEMS,  
ENERGY CONSUMPTION, AND REGENERATIVE  
BRAKE ON HONDA VARIO 125 PGM-FI WITH  
ADDITION OF ELECTRIC MOTOR AS A VEHICLE  
DRIVER (HYBRID)**

**Student Name** : Yohanes Silvano Fernanda  
**Student's ID** : 02111640000077  
**Department** : Teknik Mesin FTIRS-ITS  
**Advisor Lecturer** : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

**ABSTRACT**

*Motorcycles are the most popular transportation in Indonesia. Based on data from the Indonesian Central Bureau of Statistics (BPS), motorcycles got first rank in the type of motorized vehicle most used in Indonesia with a total of 120,101,047 units. Based on data from the handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2018, the largest energy use in Indonesia is transportation activities, amounting to 42%. If current vehicle technology that uses combustion engines with fuel oil continues to be used and developed, the availability of fuel oil will be consumed by 2038. With such conditions, the main anticipation that should be done to reduce the use of petroleum is technology development. the minimum possible means of transportation using fuel oil. The right technology to overcome this problem is a vehicle with a hybrid drive system. Hybrid is a system that uses a combination of an internal combustion motor and an electric motor as propulsion.*

*The hybrid system to be implemented is a parallel hybrid. In this final project, there are two stages, the first is the calculation phase and the second is the analysis phase. The calculation phase is carried out by calculating the drag which includes drag drag, rolling resistance and gradient drag, then calculating the motor specifications, then calculating the traction characteristics, power characteristics in each driving mode, then calculating energy*

*consumption, calculating the energy generated by the results. braking is based on the WMTC driving cycle, and the last is the calculation of the capacity and number of batteries. Furthermore, for the analysis stage, an analysis of the traction characteristics and power characteristics in each driving mode will be carried out, the energy consumption and the generated energy from the braking results obtained from the previous calculations.*

*In this study, the appropriate electric motor is obtained is the QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC Hub Motor with a maximum torque of 130 Nm and a maximum power of 3.1 kW and the battery used is 72V 15 Ah Electric Bike Battery Pack Lithium Ion. Based on the analysis of the calculations carried out, a hybrid motorcycle is able to travel a maximum speed of 29.72 m / s on a flat road and is able to climb 30<sup>o</sup> at a speed of 7.22 m / s. By implementing a hybrid system on the vehicle, it can save fuel consumption by 40.83% based on the WMTC class 2 driving cycle. The braking energy that can be captured by the generator is 0.0824 kWh with a maximum efficiency of 52% and regenerative brake contribution to total energy consumption. amounted to 30.34%.*

***Keywords: hybrid, electric motor, power characteristics, traction characteristics.***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya sampaikan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan berkat, rahmat, semangar, serta rezeki sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini bukan semata-mata atas kemampuan penulis sendiri, melainkan dengan adanya dukungan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak, baik secara langsung, maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Papa, Mama, Mas Aan, dan Mbak Dea serta keluarga yang selalu memberikan semangat dan doa hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan nasehat kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Yohanes, S.T., M.Sc., Bapak Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc., Bapak Prof. Dr. Harus L. Guntur, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik dalam penyusunan tugas akhir.
4. Seluruh Dosen beserta staff karyawan Departemen Teknik Mesin FTIRS - ITS yang telah memberikan bekal berupa ilmu pengetahuan serta sarana dan prasarana selama perkuliahan.
5. Keluarga angkatan M59 atas segala kerja sama dan kebersamaannya dari awal perkuliahan hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Rekan LBMM ITS serta ITS Team Sapuaringin 2019/2020 yang telah memberikan banyak pengalaman, pelajaran, serta pembentukan pola pikir.
7. Vanlith angkatan 23 utamanya Surabaya 23 atas kebersamaannya dalam menjalani kerasnya kehidupan di Surabaya.
8. Rekan 1 bimbingan Tugas Akhir Sita, Valent, Marcel, Bella, Chris, Ayub, dan Alex yang membantu penulis dalam berdiskusi dan menyusun laporan Tugas Akhir ini.

9. Rekan – rekan penghuni terakhir kos kurnia yang selalu menemani penulis dalam masa pandemi Covid-19.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk penyempurnaan laporan tugas akhir ini. Dan penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca untuk kemajuan yang lebih baik. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Pengertian <i>Hybrid</i> .....	9
2.2.1 Kendaraan <i>Hybrid</i> Sistem Paralel .....	9
2.3 Komponen Sistem Penggerak .....	13
2.3.1 Mesin Pembakaran Dalam ( <i>Internal Combustion Engine / ICE</i> ).....	13
2.3.2 Motor Listrik ( <i>Electric Motor</i> ).....	14

2.4 Baterai .....	15
2.5 Dinamika Kendaraan.....	19
2.5.1 Gaya Hambat Aerodinamika ( <i>Drag Force</i> ).....	19
2.5.2 Gaya Hambat <i>Rolling</i> ( <i>Rolling Resistance</i> ).....	20
2.5.3 Gaya Hambat Tanjakan ( <i>Gradient Resistance</i> ).....	22
2.6 Analisis Kebutuhan Torsi dan Tenaga .....	23
2.6.1 Gaya Dorong pada Kecepatan tetap dengan Operasi pada Jalan Datar .....	23
2.6.2 Gaya Dorong pada Kecepatan tetap dengan Operasi pada Jalan Menanjak .....	23
2.6.3 Gaya Dorong pada Kecepatan Berubah dengan Operasi pada Jalan Datar .....	24
2.6.4 Gaya Dorong pada Kecepatan Berubah dengan Operasi pada Jalan Menanjak .....	24
2.7 Kebutuhan Torsi dan Tenaga .....	25
2.8 Sistem Transmisi <i>Continous Variable Transmission</i> (CVT) .....	26
2.9 Karakteristik Traksi Kendaraan <i>Hybrid</i> Paralel .....	28
2.9.1 Moda Penggerak <i>Hybrid</i> .....	29
2.9.2 Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu.....	31
2.9.3 Moda Murni Penggerak Listrik .....	31
2.9.4 Moda Murni Penggerak Mesin .....	32
2.10 Karakteristik <i>Power</i> Kendaraan.....	33
2.11 <i>Driving cycle</i> .....	34
2.11.1 WMTC Part 1.....	35



2.11.2	WMTC Part 2 .....	35
2.11.3	WMTC Part 3 .....	36
2.12	<i>Regenerative brake</i> .....	38
2.12.1	Energi Bangkitan Pengereman .....	39
2.12.2	Energi Kinetik Terbuang .....	39
2.12.3	Efisiensi <i>Regenerative brake</i> .....	39
2.12.4	Kontribusi <i>Regenerative brake</i> .....	39
BAB III.....		41
3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian .....	41
3.2	Konsep Rancangan.....	43
3.3	Spesifikasi Vario 125 PGM-FI.....	45
3.4	Spesifikasi Vario 150 PGM-FI.....	46
3.5	Analisis Moda Kendaraan .....	47
3.5.1	Moda Penggerak <i>Hybrid</i> .....	47
3.5.2	Moda Murni Penggerak Listrik .....	48
3.5.3	Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu.....	48
3.6	<i>Flowchart</i> Perhitungan.....	49
3.6.1	<i>Flowchart</i> Perhitungan Gaya Hambat pada Kendaraan.....	49
3.6.2	<i>Flowchart</i> Perhitungan Karakteristik Traksi Vario 125cc dan Vario 150cc .....	51
3.6.3	<i>Flowchart</i> Perhitungan Karakteristik <i>Power</i> Vario 125cc dan Vario 150cc .....	53
3.6.4	<i>Flowchart</i> Perhitungan Motor Listrik .....	54

3.6.5 <i>Flowchart</i> analisis Karakteristik Traksi Kendaraan Hybrid.....	56
3.6.6 <i>Flowchart</i> analisis Karakteristik <i>Power</i> Kendaraan Hybrid.....	58
3.6.7 <i>Flowchart</i> analisis Konsumsi Energi Sepeda Motor Hybrid.....	60
3.6.8 <i>Flowchart</i> Perhitungan Energi Pengereman.....	62
3.6.9 <i>Flowchart</i> Perhitungan dan Pemilihan Baterai.....	64
BAB IV.....	67
4.1 Gaya Hambat Kendaraan .....	67
4.1.1 Gaya Hambat Drag ( $F_d$ ) .....	67
4.1.1.1 Penentuan Luas Frontal Area.....	67
4.1.1.2 Perhitungan Gaya Hambat <i>Drag</i> .....	68
4.1.1.3 Analisis Gaya Hambat <i>Drag</i> .....	68
4.1.2 Gaya Hambat <i>Rolling</i> ( $F_r$ ) .....	70
4.1.2.1 Penentuan Nilai Koefisien <i>Rolling Resistance</i> ( $f_r$ )	70
4.1.2.2 Perhitungan Gaya Hambat <i>Rolling</i> .....	71
4.1.2.3 Analisis Gaya Hambat <i>Rolling</i> .....	71
4.1.3 Gaya Hambat Gradien ( $F_g$ ) .....	73
4.1.3.1 Perhitungan Gaya Hambat Gradien.....	73
4.1.3.2 Analisis Gaya Hambat Gradien .....	74
4.1.4 Gaya Hambat Total ( $F_r$ Total).....	75
4.1.4.1 Perhitungan Gaya Hambat Total .....	75
4.1.4.2 Analisis Gaya Hambat Total.....	76

4.2 Karakteristik Traksi Vario 125cc dan Vario 150cc.....	77
4.2.1 Perhitungan Kecepatan Vario 125cc dan Vario 150cc	80
4.2.2 Perhitungan Gaya Traksi Vario 125cc dan Vario 150cc	81
4.2.3 Analisis Karakteristik Traksi Vario 125cc dan Vario 150cc	81
4.3 Karakteristik Daya Vario 125cc dan Vario 150cc .....	84
4.3.1 Perhitungan Daya Vario 125cc dan Vario 150cc .....	84
4.3.2 Analisis Karakteristik Daya Vario 125cc dan Vario 150cc	85
4.4 Motor Listrik.....	88
4.4.1 Perhitungan Kebutuhan Daya dan Torsi Motor Listrik .....	88
4.4.2 Pemilihan Motor Listrik .....	93
4.5 Karakteristik Traksi Sepeda Motor <i>Hybrid</i> .....	96
4.5.1 Karakteristik Traksi Moda Murni Penggerak Listrik	96
4.5.2 Karakteristik Traksi Moda <i>Hybrid</i> .....	100
4.6 Karakteristik Daya Sepeda Motor <i>Hybrid</i> .....	102
4.6.1 Karakteristik Daya Moda Murni Penggerak Listrik	103
4.6.2 Karakteristik Daya Moda <i>Hybrid</i> .....	105
4.7 Analisis Konsumsi Energi pada <i>Driving cycle</i> Tertentu .	107
4.7.1 <i>Driving cycle</i> .....	107
4.7.2 Perhitungan dan Analisis Konsumsi Energi.....	109
4.8 Analisis <i>Regenerative brake</i> pada <i>Driving cycle</i> Tertentu .....	112

4.8.1 Perhitungan dan Analisis Energi Kinetik Terbuang Akibat Pengereman .....	112
4.8.2 Perhitungan dan Analisis Energi Bangkitan <i>Regenerative brake</i> .....	113
4.8.3 Perhitungan Analisis Efisiensi dan Kontribusi Regenerative Brake.....	115
4.9 Baterai dan Karakteristik Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu 116	
4.9.1 Perhitungan Baterai .....	116
4.9.2 Spesifikasi Baterai .....	118
4.9.3 Karakteristik Traksi Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu 120	
4.9.4 Karakteristik Daya Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu 122	
4.10 Penerapan Sepeda Motor Hybrid pada Driving Cycle..	124
BAB V .....	127
5.1 Kesimpulan .....	127
5.2 Saran.....	130
DAFTAR PUSTAKA.....	131
BIODATA PENULIS.....	133
LAMPIRAN A .....	135
LAMPIRAN B.....	138
LAMPIRAN C.....	141
LAMPIRAN D .....	142

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hasil manufaktur dan blok diagram <i>hybrid motorcycle powertrain</i> <sup>[1]</sup> .....	5
Gambar 2. 2 Grafik performa BLDC motor 500 W[1] .....	6
Gambar 2. 3 Aliran energi sepeda motor <i>hybrid</i> (a) paralel, (b) seri-paralel, (c) <i>plug-in</i> dengan generator, dan (d) <i>plug-in</i> tanpa generator <sup>[9]</sup> .....	7
Gambar 2. 4 Spesifikasi <i>Hub</i> motor 48V <i>rear wheel</i> 500W <sup>[9]</sup> .....	8
Gambar 2. 5 Skema <i>power</i> dan <i>drivetrain</i> kendaraan <i>hybrid</i> sistem paralel <sup>[8]</sup> .....	10
Gambar 2. 6 Karakteristik dari mesin bensin <sup>[3]</sup> .....	14
Gambar 2. 7 Karakteristik motor listrik <sup>[7]</sup> .....	15
Gambar 2. 8 <i>Specific power</i> dan <i>specific energy</i> untuk berbagai baterai <sup>[13]</sup> .....	16
Gambar 2. 9 Dinamika kendaraan saat menanjak .....	19
Gambar 2. 10 Koefisien hambatan <i>rolling</i> ( $f_0$ dan $f_s$ ) akibat pengaruh tekanan ban <sup>[3]</sup> .....	21
Gambar 2. 11 Sistem <i>belt</i> dan <i>pulley</i> CVT pada sepeda motor <sup>[13]</sup> .....	27
Gambar 2. 12 Skema aliran energi moda penggerak <i>hybrid</i> .....	29
Gambar 2. 13 Karakteristik traksi <i>hybrid</i> paralel (a) Kedua transmisi 3 tingkat. (b) Transmisi mesin 3 tingkat, motor 1 tingkat. (c) Transmisi mesin 1 tingkat, motor 3 tingkat. (d) Kedua transmisi 1 tingkat. ....	30
Gambar 2. 14 Skema aliran energi moda penggerak mesin dan isi <i>accu</i> .....	31
Gambar 2. 15 Skema aliran energi moda murni penggerak listrik .....	32
Gambar 2. 16 Skema aliran energi moda murni penggerak mesin .....	33
Gambar 2. 17 Grafik siklus WMTc <i>part 1</i> <sup>[19]</sup> .....	35

Gambar 2. 18 karakteristik utama siklus WMTC part 2 <sup>[19]</sup> .....	36
Gambar 2. 19 Grafik siklus WMTC part 3 <sup>[19]</sup> .....	37
Gambar 2. 20 Aliran energi saat perlambatan .....	38
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> penelitian tugas akhir .....	42
Gambar 3. 2 Konsep rancangan sepeda motor <i>hybrid</i> paralel .....	43
Gambar 3. 3 Sistem manajemen daya sepeda motor <i>hybrid</i> paralel .....	44
Gambar 3. 4 Aliran energi moda penggerak <i>hybrid</i> .....	47
Gambar 3. 5 Aliran energi moda murni penggerak listrik.....	48
Gambar 3. 6 Moda penggerak mesin dan isi <i>accu</i> .....	49
Gambar 3. 7 <i>Flowchart</i> perhitungan gaya hambat kendaraan .....	50
Gambar 3. 8 <i>Flowchart</i> perhitungan karakteristik traksi.....	52
Gambar 3. 9 <i>Flowchart</i> perhitungan karakteristik daya .....	53
Gambar 3. 10 <i>Flowchart</i> perhitungan motor listrik.....	55
Gambar 3. 11 <i>Flowchart</i> analisis karakteristik traksi kendaraan <i>hybrid</i> .....	57
Gambar 3. 13 <i>Flowchart</i> analisis karakteristik <i>power</i> kendaraan <i>hybrid</i> .....	59
Gambar 3. 14 <i>Flowchart</i> analisis konsumsi energi sepeda motor <i>hybrid</i> .....	61
Gambar 3. 15 <i>Flowchart</i> perhitungan energi pengereman .....	63
Gambar 3. 16 <i>Flowchart</i> perhitungan pemilihan baterai.....	65
Gambar 4. 1 Hasil permodelan frontal area kendaraan dan pengendara (a) Vario 125cc (b) Vario 150cc .....	68
Gambar 4. 2 Grafik gaya hambat drag Vario 125cc .....	69
Gambar 4. 3 Grafik gaya hambat drag Vario 150cc.....	69
Gambar 4. 4 Grafik koefisien <i>rolling resistance</i> .....	71
Gambar 4. 5 Grafik gaya hambat <i>rolling</i> Vario 125cc .....	72
Gambar 4. 6 Gaya hambat <i>rolling</i> Vario 150cc.....	73
Gambar 4. 7 Grafik gaya hambat gradien.....	74
Gambar 4. 8 Grafik gaya hambat total Vario 125cc .....	76
Gambar 4. 9 Grafik gaya hambat total Vario 150cc.....	77
Gambar 4. 10 Hasil <i>dynotest</i> Vario 125cc.....	78

Gambar 4. 11 Hasil <i>dynotest</i> Vario 150cc.....	79
Gambar 4. 12 Grafik karakteristik Vario 125cc .....	81
Gambar 4. 13 Grafik karakteristik Vario 150cc .....	83
Gambar 4. 14 Grafik karakteristik daya Vario 125cc.....	85
Gambar 4. 15 Grafik karakteristik daya Vario 150cc.....	87
Gambar 4. 16 Spesifikasi QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC <i>Hub Motor</i> .....	94
Gambar 4. 17 Karakteristik QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC <i>Hub Motor</i> .....	95
Gambar 4. 18 Grafik karakteristik traksi moda murni penggerak listrik.....	99
Gambar 4. 19 Grafik karakteristik traksi moda hybrid.....	101
Gambar 4. 20 Grafik karakteristik daya moda murni penggerak listrik.....	103
Gambar 4. 21 Grafik karakteristik daya moda hybrid.....	106
Gambar 4. 22 Grafik siklus <i>driving cycle</i> WMTC kelas 2 .....	108
Gambar 4. 23 Pembagian moda kendaraan berdasarkan kecepatan dan RHP pada <i>driving cycle</i> .....	109
Gambar 4. 24 Grafik RHP akselerasi .....	110
Gambar 4. 25 Grafik energi kinetik terbuang.....	113
Gambar 4. 26 Grafik energi regeneratif pengereman.....	114
Gambar 4. 27 72V 15 Ah <i>Electric Bike Battery Pack</i> Lithium Ion .....	118
Gambar 4. 28 Grafik karakteristik moda penggerak mesin dan isi accu.....	121
Gambar 4. 29 Karakteristik daya moda penggerak mesin dan isi accu.....	123
Gambar 4. 30 Siklus daya sepeda motor hybrid.....	125
Gambar 5. 1 QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC <i>Hub Motor</i> .	127

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Drag Beberapa Bentuk dan Jenis Kendaraan <sup>[2]</sup> .....	20
Tabel 2. 2 Nilai Koefisien Hambatan Rolling pada Berbagai Jenis Kendaraan dan Jalan <sup>[2]</sup> .....	22
Tabel 2. 3 Nilai Efisiensi drive train berdasarkan letak penggerak <sup>[11]</sup> .....	26
Tabel 2. 4 Nilai efisiensi transmisi berdasarkan jenis transmisi <sup>[14]</sup> .....	28
Tabel 2. 5 Tabel karakteristik utama siklus WMTC part 1 <sup>[19]</sup> .....	35
Tabel 2. 6 Tabel karakteristik utama dari siklus WMTC <i>part 2</i> .....	36
Tabel 2. 7 Tabel karakteristik utama siklus WMTC <i>part 3</i> <sup>[19]</sup> .....	37
Tabel 3. 1 Spesifikasi Honda Vario 125 PGM-FI.....	46
Tabel 3. 2 Spesifikasi Honda Vario 150 PGM-FI.....	46
Tabel 4. 1 Performa Vario 125cc dan Vario 150cc.....	88
Tabel 4. 2 Kebutuhan daya motor listrik.....	93
Tabel 4. 3 Kemampuan QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC <i>Hub Motor</i> .....	95
Tabel 4. 4 Spesifikasi 72V 15 Ah <i>Electric Bike Battery Pack</i> Lithium Ion.....	119
Tabel 5. 1 Karakteristik traksi sepeda motor <i>hybrid</i> .....	128
Tabel 5. 2 Karakteristik daya sepeda motor <i>hybrid</i> .....	128
Tabel 5. 3 Spesifikasi baterai 72V 15 Ah <i>Electric Bike Battery Pack</i> Lithium Ion.....	129

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I 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 serta manfaat dari penelitian ini. Dan yang terakhir adalah mengenai batasan 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

Sepeda motor merupakan alat transportasi paling digemari di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia sepeda motor menempati urutan pertama jenis kendaraan bermotor yang paling banyak digunakan di Indonesia dengan jumlah 120.101.047 unit. Sampai tahun 2018 Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia mencatat bahwa jumlah sepeda motor di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Tercatat bahwa peningkatan pengguna sepeda motor dari tahun 2017-2018 mencapai 8.112.364 unit.<sup>[17]</sup>

Dengan jumlah pengguna sepeda motor yang tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar minyak bumi semakin tinggi pula. Berdasarkan data dari *handbook of energy dan economic statistic of Indonesia* 2018, pemakaian energi terbesar di Indonesia adalah kegiatan transportasi yaitu sebesar 42%<sup>[18]</sup>. Jika teknologi kendaraan saat ini yang menggunakan mesin pembakaran dengan bahan bakar minyak terus dipakai dan berkembang maka ketersediaan bahan bakar minyak akan habis terkonsumsi pada tahun 2038.<sup>[13]</sup> Dengan kondisi seperti itu, maka antisipasi utama yang patut dilakukan untuk dapat mengurangi pemakaian minyak bumi, adalah pengembangan teknologi sarana transportasi yang seminimal mungkin menggunakan bahan bakar minyak.

Menyikapi kondisi tersebut, di beberapa negara kendaraan listrik mulai dioperasikan sebagai alternatif solusi, karena

kendaraan listrik sangat efisien, tanpa emisi, serta dapat memberikan akselerasi yang cepat. Namun kendaraan listrik dinilai masih memiliki berbagai kekurangan seperti kendala waktu pengisian baterai yang panjang serta harga baterai yang cukup mahal. Oleh karena itu diperlukan teknologi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar tanpa mengurangi performa kendaraan. Teknologi yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah kendaraan dengan sistem penggerak *hybrid*. *Hybrid* adalah sistem yang menggunakan perpaduan motor pembakaran dalam dan motor listrik sebagai tenaga penggerak.

Dalam tugas akhir ini penulis merancang kendaraan sepeda motor dengan sistem penggerak parallel *hybrid*. Penulis mengembangkan sepeda motor dengan sistem penggerak *hybrid* karena teknologi *hybrid* masih kurang diterapkan pada sepeda motor, padahal pasar otomotif di Indonesia didominasi oleh sepeda motor. Dalam perancangan sepeda motor ini akan dilakukan analisis kebutuhan daya maksimal sepeda motor parallel *hybrid* yang menggabungkan motor pembakaran dalam dan motor listrik sebagai penggerak. Akan dilakukan pula analisis sistem manajemen daya sesuai moda operasi dari sepeda motor parallel *hybrid*. Selanjutnya akan dilakukan kinerja kendaraan untuk mengetahui kemampuan akselerasi, karakteristik traksi dan karakteristik tenaga dari kendaraan berdasarkan moda operasi berkendara. Selanjutnya juga akan dilakukan analisa mengenai *regenerative brake* dan konsumsi energi setelah menerapkan sistem *hybrid* pada sepeda motor.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah yang terdapat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan spesifikasi motor listrik yang sesuai agar performa sepeda motor *hybrid* menyamai sepeda motor 150 cc?
2. Bagaimana karakteristik traksi dan karakteristik daya dari sepeda motor *hybrid* pada setiap moda operasi berkendara?

3. Berapa besar nilai konsumsi energi dan penghematannya pada sepeda motor *hybrid*?
4. Berapa besar nilai efisiensi, kontribusi dan energi bangkitan dari pengereman sepeda motor *hybrid*?
5. Bagaimana menentukan spesifikasi baterai yang sesuai berdasarkan konsumsi energi pada sepeda motor *hybrid*?

### 1.3 Tujuan

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

1. Mendapatkan spesifikasi motor listrik yang sesuai agar performa sepeda motor *hybrid* menyamai sepeda motor 150 cc.
2. Mengetahui karakteristik traksi dan karakteristik daya dari sepeda motor *hybrid* pada setiap moda operasi berkendara.
3. Mendapatkan besar nilai konsumsi energi dan penghematannya pada sepeda motor *hybrid*.
4. Mendapatkan besar nilai efisiensi, kontribusi dan energi bangkitan dari pengereman sepeda motor *hybrid*.
5. Mendapatkan spesifikasi baterai yang sesuai berdasarkan konsumsi energi pada sepeda motor *hybrid*.

### 1.4 Batasan Masalah

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

1. Jenis *hybrid* yang akan diterapkan adalah *hybrid* paralel.
2. Tidak membahas *system control* manajemen daya.
3. Spesifikasi kendaraan menggunakan referensi kendaraan yang sudah ada yaitu Vario 125 PGM-FI.
4. Kemampuan kendaraan yang diinginkan adalah sama dengan sepeda motor Vario 150 cc.
5. Sudut tanjakan maksimum 30 derajat.
6. Massa total sepeda motor *hybrid* dengan pembebanan baterai dan penumpang diasumsi sebesar 251 kg.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Tugas akhir ini memiliki manfaat antara lain:

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

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

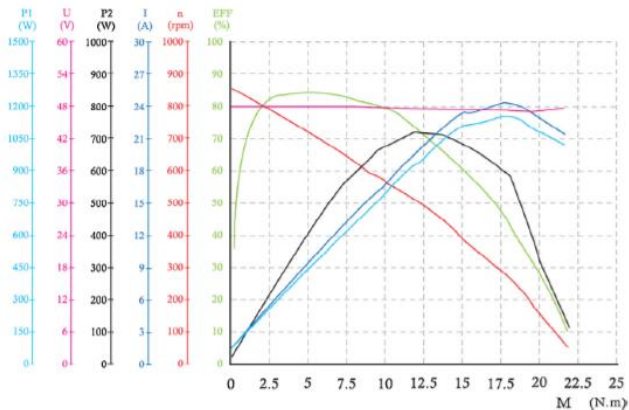
Asaei dan Habibidoost (2013) melakukan penelitian mengenai desain dan simulasi purwarupa sepeda motor *hybrid*. Dalam penelitian tersebut dilakukan penambahan 1 buah BLDC motor dengan nilai daya sebesar 500 W, tegangan 48 V, arus 10 A, dan daya maksimum sebesar 720 W di roda depan tanpa *gearbox* pada sepeda motor yang ada, sehingga sepeda motor tersebut menjadi kendaraan *hybrid* paralel seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Dalam mendesain sepeda motor *hybrid* ini digunakan 4 faktor utama untuk menghitung moda pengendalian kendaraan, diantaranya adalah grafik konsumsi bahan bakar pada kecepatan dan torsi tertentu, grafik efisiensi motor listrik pada torsi dan kecepatan tertentu, *driving cycle* dari sepeda motor *hybrid* dan *State of charge* (SOC) dari baterai. Nilai SOC yang diterapkan adalah 80 untuk tingkat atas, dan 40 untuk tingkat bawah.<sup>[1]</sup>



**Gambar 2. 1** Hasil manufaktur dan blok diagram *hybrid motorcycle powertrain*<sup>[1]</sup>

Ada 3 moda berkendara yang diterapkan dalam penelitian ini. Yang pertama adalah moda *hybrid* dimana saat motor pembakaran dalam dan motor listrik bekerja bersama untuk menggerakkan kendaraan. Moda ini digunakan saat kondisi baterai SOC baterai lebih dari 80% dan digunakan apabila mesin sedang dalam kondisi

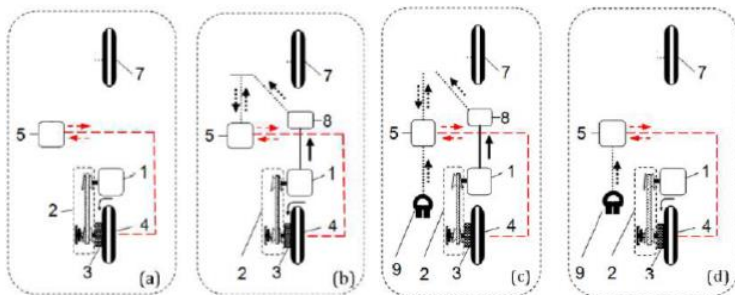
beban berat dengan kecepatan rendah seperti kondisi menanjak, motor listrik membantu memberikan torsi pada kendaraan. Yang kedua *engine only* yang digunakan untuk mengisi baterai saat SOC baterai sudah dirasa tidak cukup untuk memberikan daya ke motor listrik, atau saat motor listrik sudah tidak mampu memberikan gaya dorong yang cukup pada kecepatan tertentu sehingga motor listrik dimatikan dan motor pembakaran dalam yang bekerja untuk kendaraan. Moda kendaraan yang ketiga adalah *electric only* yang digunakan saat kondisi jalan padat dimana kendaraan hanya digerakkan oleh motor listrik. Pada moda tersebut kendaraan hanya membutuhkan kecepatan yang rendah namun membutuhkan torsi yang tepat sesuai kebutuhan dan itu sangat tepat dipenuhi oleh motor listrik. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa kinerja dari sepeda motor meningkat dibuktikan dengan hasil peningkatan percepatan dari nol sampai 60km/jam meningkat sekitar 46% yaitu membutuhkan waktu 9.6 s. Hasil tersebut didapat tanpa merubah motor pembakaran dalam (125 cc, 6,6 kW) dan roda kendaraan<sup>[1]</sup>. Gambar 2.2 menunjukkan grafik performa dari BLDC motor yang digunakan.



**Gambar 2. 2** Grafik performa BLDC motor 500 W[1]



Penelitian lainnya dilakukan oleh Nguyen dan Hwang (2019) mengenai studi *novel hybrid* dengan memvariasikan konfigurasi aliran energi pada sepeda motor Honda Wave 110cc. Penelitian ditujukan untuk memperkenalkan metode pengaplikasian teknologi *hybrid* pada sepeda motor, yang dimana pada penelitian ini sepeda motor yang dijadikan objek penelitian adalah Honda Wave 100cc dengan penambahan motor listrik pada roda belakang. Skema aliran energi sepeda motor *hybrid* ini ditunjukkan pada gambar 2.3.



1 - Engine; 2 - Chain transmission; 3 - Final drive; 4 - Rear wheel (BLDC motor); 5 - Battery; 7 - Front wheel; 8 - Generator; 9 - Plug in

**Gambar 2. 3** Aliran energi sepeda motor *hybrid* (a) paralel, (b) seri-paralel, (c) *plug-in* dengan generator, dan (d) *plug-in* tanpa generator<sup>[9]</sup>

Dalam penelitian ini dijelaskan mengenai pemilihan konfigurasi *hybrid*, pemilihan motor listrik, serta pemilihan baterai. Selanjutnya dilakukan eksperimen untuk menganalisis dan mengevaluasi hasil pengembangan sistem *hybrid* yang diterapkan agar mendapat solusi untuk meningkatkan efisiensi dari sistem *hybrid* yang digunakan. Untuk menentukan spesifikasi motor yang digunakan, dilakukan analisis pada moda berkendara *electric only*. Pada moda tersebut kendaraan dirancang agar mampu menempuh

kecepatan maksimum 70 km/jam sejauh 50 km. Setelah analisis dilakukan didapatkan spesifikasi BLDC motor seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** Spesifikasi *Hub* motor 48V *rear wheel* 500W<sup>[9]</sup>

Dari penelitian yang dilakukan didapat kesimpulan bahwa konfigurasi *plug-in hybrid* tanpa generator adalah konfigurasi yang paling efektif diterapkan pada kondisi lalu lintas di kota-kota Vietnam. Selain itu juga didapat kesimpulan dengan menerapkan konfigurasi *hybrid* pada sepeda motor bisa meningkatkan penghematan bahan bakar hingga 0,5 USD per jarak 47 kilometer dibandingkan dengan sepeda motor konvensional.<sup>[9]</sup>

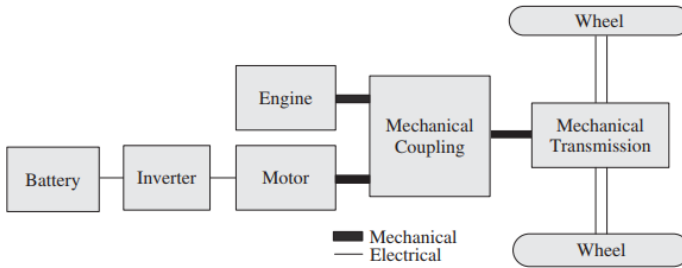
Penelitian berikutnya dilakukan oleh Rifa'I (2016) mengenai sistem suplai daya pada kendaraan produksi pertanian multiguna pedesaan yang akan dijadikan kendaraan *hybrid*. Pada penelitian tersebut penulis memiliki tujuan untuk mencari spesifikasi *engine/generator* serta baterai yang digunakan sesuai berdasarkan kebutuhan daya kendaraan dan menganalisis sistem suplai daya yang sesuai dengan variasi daya atau moda operasi pada mobil multiguna. Dari penelitian yang dilakukan didapat hasil spesifikasi daya motor listrik adalah 45 kW. Selanjutnya kapasitas baterai saat moda *full electric* dengan daya jelajah 9 km didapat sebesar 37.8 kWh. Lalu untuk spesifikasi generator disesuaikan dengan motor listrik, didapatkan spesifikasi generator dengan daya maksimum 5.5 kW<sup>[10]</sup>.

## 2.2 Pengertian *Hybrid*

*Hybrid* adalah kendaraan yang menggunakan sumber tenaga atau bahan bakar lebih dari satu<sup>[12]</sup>. Sebuah *hybrid system* pada kendaraan memiliki 2 komponen utama, yang pertama adalah tempat penyimpanan energi seperti baterai dan sebuah alat untuk mentransfer energi listrik tersebut menjadi energi kinetis yang dapat menggerakkan kendaraan seperti motor listrik. Motor listrik ini juga digunakan untuk merubah energi kinetis menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian akan disimpan dalam baterai yang kemudian akan diubah menjadi energi kimia potensial. Ada 3 tipe kendaraan *hybrid* berdasarkan konfigurasi *powertrain*-nya, yaitu serial, parallel, and *power-split hybrid*. Kendaraan *hybrid Engine-Electric*, atau *Hybrid Engine Electric Vehicle* (HEEV) adalah kendaraan yang menggunakan sumber energi dari bahan bakar minyak atau gas dan dikombinasikan dengan battery atau accu, sedangkan sebagai tenaga penggerakannya adalah motor bakar dan motor listrik<sup>[13]</sup>.

### 2.2.1 Kendaraan *Hybrid* Sistem Paralel

Pada kendaraan ini terdapat dua sumber tenaga dan juga dua tenaga penggerak yaitu mesin dan motor listrik, yang mana kedua tenaga penggerak tersebut dapat dihubungkan secara paralel untuk menggerakkan kendaraan. Pada kendaraan *hybrid* paralel ukuran mesin dan motor listrik yang dipakai dapat berkurang secara signifikan dibandingkan dengan yang dipakai pada sistem seri, namun kapasitas baterai yang dibutuhkan bisa meningkat.. Energi mekanik dari mesin digabung dengan energi mekanik dari motor listrik melalui kopleng mekanik dan kemudian ditransmisikan dan ditransformasikan melalui sistem penyalur daya ke roda penggerak untuk menjadi gaya dorong<sup>[13]</sup>. Skema aliran energi dalam penyalur daya dari kendaraan *hybrid* sistem paralel ditunjukkan pada gambar 2.5.



**Gambar 2. 5** Skema *power* dan *drivetrain* kendaraan *hybrid* sistem paralel<sup>[8]</sup>

Pada sistem *hybrid* paralel mesin dapat berhubungan langsung dengan roda kendaraan, karena itu mesin harus dapat menyediakan daya yang dibutuhkan kendaraan pada tiap tingkat kecepatan. Hal ini membuat mesin tidak dapat bekerja pada putaran optimum dan tingkat konsumsi bahan bakar spesifik menjadi lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan sistem seri. Penggunaan sistem paralel pada kendaraan *hybrid* memiliki beberapa kelebihan, yaitu:

1. Kendaraan hanya membutuhkan dua komponen penggerak, yaitu motor listrik yang juga bisa difungsikan sebagai generator dan mesin pembakaran dalam.
2. Dapat menggunakan motor listrik dan motor bakar dengan kapasitas yang lebih kecil untuk mencapai performa yang sama dengan sistem *hybrid* seri.
3. Peralihan antara daya listrik dan daya dari motor bakar bisa lebih fleksibel.
4. Efisiensi total lebih besar saat kendaraan melaju kencang dan ketika mengemudi jarak jauh

Penggunaan sistem *hybrid* paralel juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Membutuhkan sistem kendali yang rumit untuk dapat menyalurkan dan menyatukan daya yang dihasilkan oleh

motor bakar dan motor listrik sesuai dengan kebutuhan kendaraan.

2. Putaran motor bakar tidak dapat dijaga pada putaran optimumnya, karena putaran motor bakar harus disesuaikan dengan kebutuhan daya kendaraan. Hal ini menyebabkan efisiensi turun pada kecepatan rotasi yang rendah.

Dengan penggunaan konfigurasi paralel pada kendaraan *hybrid*, terdapat beberapa moda operasi kendaraan yang dapat digunakan sesuai dengan kondisi operasi dan kebutuhan kendaraan, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Penggerak *Hybrid (Hybrid Traction Mode)*: ketika kendaraan sedang dalam kondisi melawan hambatan yang besar atau mengatasi kehilangan energi pada sistem penyalur daya, kendaraan membutuhkan tenaga yang besar, karena itu dibutuhkan suplai tenaga dari motor listrik dan mesin. Moda berkendara *hybrid* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P_{demand} = P_e + P_m \quad (2.1)$$

Kebutuhan daya pada mode *Hybrid* diatas didapat dari penjumlahan daya dari mesin dan daya dari motor listrik. Dimana,  $P_{demand}$  adalah daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan,  $P_e$  adalah daya yang dihasilkan mesin, dan  $P_m$  adalah daya yang dihasilkan oleh motor listrik

2. Murni Penggerak Mesin (*Pure Engine Traction Mode*): pada moda ini kendaraan murni digerakkan oleh mesin saja. Moda operasi ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{demand} = P_e \quad (2.2)$$

Kebutuhan daya pada moda ini didapat dari jumlah daya dari mesin saja. Dimana,  $P_{demand}$  adalah daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan dan  $P_e$  adalah daya yang dihasilkan mesin.

3. Murni Penggerak Listrik (*Pure Electric Traction Mode*): pada moda ini kendaraan murni digerakkan oleh motor listrik, dengan tanpa dibantu oleh tenaga dari mesin. Moda operasi ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{demand} = P_m \quad (2.3)$$

Kebutuhan daya pada moda ini didapat dari jumlah daya dari motor listrik saja. Dimana  $P_{demand}$  adalah daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan, sedangkan  $P_m$  adalah daya dari motor listrik.

4. Penggerak Mesin dan Isi Accu (*Engine Traction and Battery Charging Mode*): energi pada baterai perlu diisi ulang, ketika telah mencapai batas *State of charge* (SOC). Energi pada baterai dapat diisi ulang oleh regenerative braking atau mesin yang memutar generator. Pengisian energi oleh regenerative braking biasanya tidak akan mencukupi, oleh karena itu biasanya yang mengisi energi adalah mesin-generator. Namun pada kasus sepeda motor *hybrid* yang akan dirancang tidak menyertakan regenerative braking. Moda operasi ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{demand} = P_e - P_b \quad (2.4)$$

Kebutuhan daya pada moda ini didapat dari pengurangan daya yang dipasok dari mesin dikurangi kebutuhan daya dari baterai. Dimana,  $P_{demand}$  adalah daya yang dihasilkan oleh mesin sedangkan  $P_b$  adalah daya yang dibutuhkan oleh baterai.

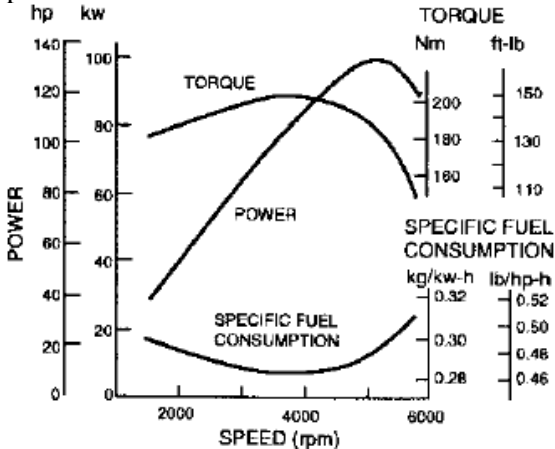
5. Unduh Energi Pengereman dan Isi Accu (*Hybrid Regenerative Braking and Battery Charging Mode*): pada kondisi ini kendaraan dalam keadaan direm, dimana motor listrik berubah menjadi generator, energi kinetik dari mesin dan energi kinetik roda yang terbuang dirubah menjadi energi listrik oleh generator kemudian digunakan untuk mengisi accu.
6. Unduh Energi Pengereman (*Regenerative Braking Mode*): pada kondisi ini kendaraan dalam keadaan direm, mesin dalam keadaan mati, motor listrik berubah menjadi generator untuk merubah energi kinetik kendaraan dan roda menjadi energi listrik yang emudian digunakan untuk mengisi accu.
7. Pengisian accu (*Battery Charging*): pada kondisi ini kendaraan dalam keadaan berhenti, sedangkan mesin dalam keadaan jalan, motor listrik berubah generator dan merubah energi mekanik dari mesin menjadi energi listrik untuk mengisi accu.
8. Pengisian Accu dari Daya Eksternal (*Plug in Battery Charging*): pada kondisi ini kendaraan dalam keadaan diam, mesin dan motor listrik dalam keadaan mati, dilakukan pengisian accu dari stasiun pengisian accu.

## **2.3 Komponen Sistem Penggerak**

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

Komponen pembangkit tenaga adalah kelompok komponen kendaraan yang fungsi utamanya menghasilkan dan merubah tenaga dari pembakaran bahan bakar menjadi tenaga mekanis putar sebagai sumber tenaga penggerak kendaraan dan kebutuhan lain kendaraan. Mesin atau pembangkit tenaga dengan bersumber pada tenaga pembakaran bahan bakar di dalam mesin disebut mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine / ICE*).<sup>[12]</sup>

Untuk menentukan performa mesin maka diperlukan 3 parameter utama, diantaranya adalah torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik. Daya yang dihasilkan mesin pembakaran dalam besarnya meningkat seiring dengan meningkatnya putaran mesin dan akan menurun pada putaran tertentu. Menurunnya tenaga pada putaran tertentu disebabkan oleh menurunnya kesempatan campuran bahan bakar untuk masuk ke dalam ruang bakar saat putaran tinggi. Selain itu kesempatan gas buang untuk keluar dari ruang bakar juga menurun akibat tingginya putaran mesin, sehingga di dalam ruang bakar masih tersisa gas buang<sup>[13]</sup>. Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik dari mesin bensin dengan tiga parameter yaitu torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin.



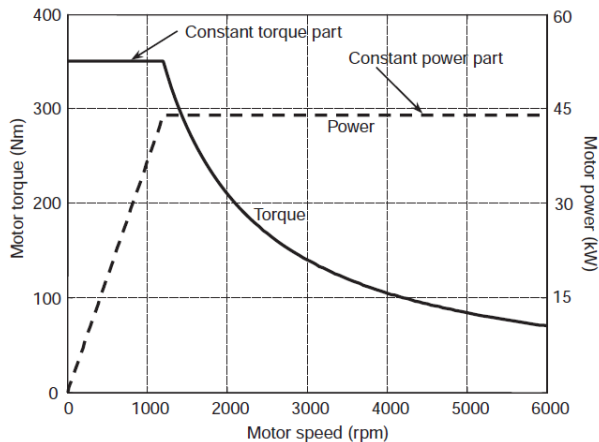
**Gambar 2. 6** Karakteristik dari mesin bensin<sup>[3]</sup>

### 2.3.2 Motor Listrik (*Electric Motor*)

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada kendaraan *hybrid*, sumber tenaga untuk menggerakkan motor listrik bisa berasal dari tenaga baterai atau tenaga mesin tergantung



dari sistem *hybrid* yang diterapkan pada kendaraan. Motor listrik memiliki karakteristik tenaga yang terus meningkat secara linear dari putaran awal hingga ke putaran dasar (*base speed*). Dari kecepatan dasar sampai dengan kecepatan maksimum, tenaga mekanik yang dihasilkan motor listrik konstan sebesar dengan tenaga maksimum yang dapat dihasilkan motor listrik. Untuk torsi, motor listrik menghasilkan torsi maksimum pada putaran awal dan terus konstan sampai dengan dengan putaran dasar. Parameter penting dalam motor listrik adalah rasio antara kecepatan maksimum dan kecepatan dasar motor. Kualitas dari motor listrik ditentukan dari faktor kecepatan. Semakin besar nilai faktor kecepatan, semakin besar nilai torsi maksimum yang dapat dihasilkan motor, sehingga gaya dorong maksimum pada roda juga akan bertambah <sup>[13]</sup>. Gambar 2.7 menunjukkan karakteristik daya dan torsi dari motor listrik terhadap putaran motor listrik.



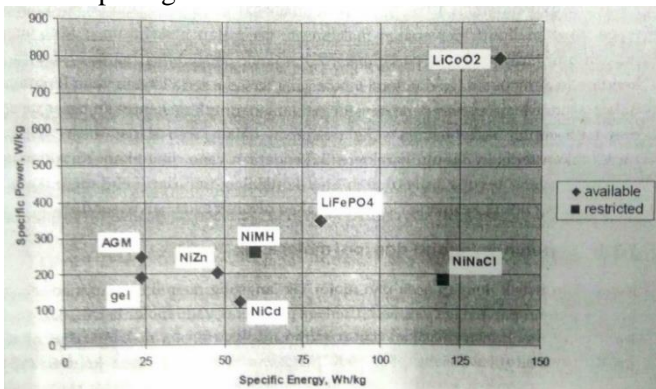
**Gambar 2. 7** Karakteristik motor listrik<sup>[7]</sup>

## 2.4 Baterai

Baterai dalam kendaraan *hybrid* dan listrik mempunyai peran sebagai penyimpanan energi dan sebagai sumber energi listrik. Peran ini identik dengan peran tangki bahan bakar pada kendaraan dengan menggunakan mesin. Ada dua jenis baterai yang saat ini

biasa digunakan sebagai penyimpanan energi dalam kendaraan listrik maupun *hybrid*, yaitu baterai *nickel metal hydride* (NiMH) dan *lithium-ion* (Li-ion). Secara teknologi, baterai NiMH sudah lebih siap dimanfaatkan saat ini, tetapi kelemahannya adalah ia mempunyai energi spesifik, yaitu kemampuan menyimpan energi per kilogram berat, lebih kecil jika dibandingkan dengan baterai Li-ion, sehingga saat ini teknologi baterai Li-ion sedang pesat dikembangkan untuk lebih meningkatkan kinerjanya. Energi spesifik dari tangki bahan bakar pada kendaraan mesin bensin saat ini masih jauh lebih besar daripada baterai, yaitu mencapai 13.000 Wh/kg sedangkan energi spesifik dari baterai sampai saat ini hanya mencapai 160 Wh/kg.<sup>[13]</sup>

Karakteristik kinerja dari baterai meliputi tenaga, kemampuan penyimpanan energi atau kapasitas energi, spesifik energi, densitas energi dan densitas tenaga dari baterai. Kapasitas energi dari baterai adalah kemampuan baterai untuk menyimpan energi dalam kWh. Tenaga spesifik yaitu tenaga per berat (W/kg), dan spesifik energi yaitu energi per berat (Wh/kg) dari berbagai jenis baterai dapat dilihat pada gambar 2.8.



**Gambar 2. 8** *Specific power* dan *specific energy* untuk berbagai baterai<sup>[13]</sup>

Tenaga yang dapat tersimpan dalam baterai dari kendaraan ( $P_b$ ) ditentukan oleh jumlahnya ( $n$ ), arusnya ( $I$ ), tegangannya ( $V$ ), dan tahanan pada baterai ( $R$ ) yang mengakibatkan berkurangnya tegangan atau *voltage drop* ( $V_d$ ) pada baterai. Besarnya pengurangan tegangan adalah arus ( $I$ ) dikalikan dengan tahanan baterai ( $R$ ).<sup>[13]</sup>

$$P_b = nL(V - V_d)kw \quad (2.5)$$

$$V_d = I.R \quad (2.6)$$

Kemampuan menyimpan energi atau kapasitas energi baterai ( $E_b$ ) adalah besarnya tenaga yang mampu dihasilkan oleh baterai selama waktu tertentu ( $t$ ) yang ditunjukkan dalam ukuran *watt hour* ( $Wh$ ). Kapasitas energi baterai ( $E_b$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$E_b = n.Ih.(V - V_d)(Wh) \quad (2.7)$$

dimana  $Ih$  adalah besar arus listrik dalam satuan *Ampere-hour* ( $Ah$ )

Waktu tempuh dari kendaraan yang menggunakan motor listrik ( $T_k$ ) tergantung dari kapasitas energi dari baterai yang digunakan dan tenaga yang dibutuhkan dari kendaraan ( $P_k$ ), sedangkan kebutuhan tenaga ditentukan oleh kecepatan kendaraan ( $V_k$ ). Jarak tempuh yang dapat dijangkau oleh kendaraan listrik ( $St$ ) tergantung pada waktu tempuh dan kecepatan kendaraan. Jika laju kendaraan dipercepat, maka akan menghabiskan tenaga yang lebih besar pula. Rumus perhitungan waktu adalah sebagai berikut.<sup>[13]</sup>

$$T_k = \frac{E_b (Watt.hour)}{P_k (Watt)} \quad (2.8)$$

Tenaga yang dibutuhkan kendaraan dengan kecepatan tetap ( $V_k$ ) dan dengan percepatan ( $a$ ) pada kecepatan ( $V_k$ ), dapat dirumuskan sebagai berikut.

Untuk kendaraan dengan kecepatan konstan :

$$Pk = (fr.W + 0,5.\rho.Cd.Af.Vk^2)Vk \quad (2.9)$$

Untuk kendaraan dengan kecepatan  $Vk$  dan percepatan  $a$  :

$$Pk = (fr.W + 0,5.\rho.Cd.Af.Vk^2 + M.a)Vk \quad (2.10)$$

dimana  $W$  adalah berat kendaraan dan  $M$  adalah massa kendaraan.

Pemilihan jenis baterai yang digunakan untuk sepeda motor *hybrid* adalah menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Langkah pertama adalah mencari konsumsi energi pada setiap kilometer (kWh/km) berdasarkan *driving cycle*.
2. Langkah kedua adalah menentukan jarak jelajah kendaraan.
3. Langkah ketiga adalah menghitung *power* baterai (kWH) yang dapat ditempuh oleh kendaraan berdasarkan data durasi tempuh kendaraan dan jarak jelajah kendaraan yang telah didapat pada langkah pertama dan kedua dengan persamaan sebagai berikut:

$$p = \text{jarak} \times \text{konsumsi energi/km} \quad (2.11)$$

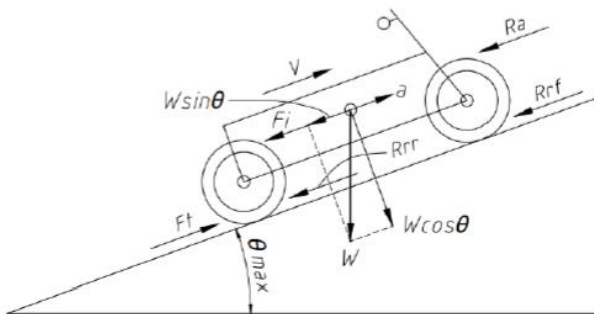
4. Langkah keempat adalah menentukan besar voltase pada baterai. Pada tahap ini terlebih dahulu mengetahui besar dari voltase motor, sehingga besar voltase motor dan baterai adalah sama.
5. Langkah kelima adalah menghitung besar ampere baterai yang dibutuhkan. Berdasarkan langkah-langkah diatas sudah didapatkan *power* dan voltase dari baterai yang diinginkan, maka persamaan yang dilakukan untuk menghitung ampere baterai yang tepat adalah sebagai berikut:

$$Ah = \frac{p}{v} \quad (2.12)$$

6. Langkah keenam adalah menghitung jumlah baterai yang diperlukan berdasarkan ketersediaan baterai dipasaran.
7. Langkah terakhir adalah mendapatkan spesifikasi dari baterai yang diperlukan kendaraan.<sup>[9]</sup>

## 2.5 Dinamika Kendaraan

Pada gambar 2.9 ditunjukkan *free body diagram* (FBD) dari gaya-gaya yang terjadi apabila suatu kendaraan melaju pada suatu jalan yang memiliki sudut tanjakan tertentu.



**Gambar 2. 9** Dinamika kendaraan saat menanjak

Dari gambar di atas didapatkan bahwa untuk melawan gaya-gaya hambat yang terjadi maka dibutuhkan gaya dorong ( $F_t$ ). Gaya dorong kendaraan *hybrid* bisa berasal dari mesin atau dari motor listrik. Gaya dorong pada kendaraan yang sedang berjalan akan menerima gaya hambat, diantaranya adalah gaya *drag*, gaya *rolling resistance*, serta gaya hambat kendaraan akibat sudut menanjak.

### 2.5.1 Gaya Hambat Aerodinamika (*Drag Force*)

Gaya *drag* adalah gaya yang disebabkan oleh dorongan angin dari bentuk bodi *streamline* kendaraan, yang menyebabkan

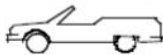






perlambatan pada kendaraan. Adapun rumus perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$F_d = 0.5 \times \rho \times A_f \times C_D \times V^2 \quad (2.13)$$

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

Gaya *drag* dipengaruhi oleh koefisien *drag* ( $C_D$ ) kendaraan itu, dimana  $C_D$  merupakan koefisien hambatan aerodinamik yang dipengaruhi oleh faktor bentuk dan kehalusan permukaan kendaraan. Semakin besar nilai  $C_D$  maka semakin besar pula hambatan aerodinamiknya. Tabel 2.1 menunjukkan koefisien drag untuk beberapa bentuk dan jenis kendaraan:

**Tabel 2. 1** Koefisien Drag Beberapa Bentuk dan Jenis Kendaraan<sup>[2]</sup>

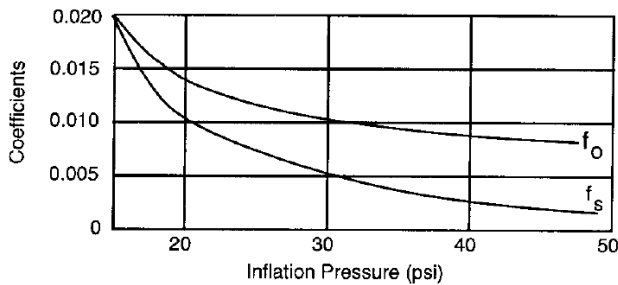
Vehicle Type	Coefficient of Aerodynamic Resistance
 Open convertible	0.5-0.7
 Van body	0.5-0.7
 Ponton body	0.4-0.55
 Wedge-shaped body; headlamps and bumpers are integrated into the body, covered underbody, optimized cooling air flow	0.3-0.4
 Headlamp and all wheels in body, covered underbody	0.2-0.25
 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

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

Gaya hambat rolling merupakan gaya hambat yang terjadi karena adanya gesekan antara ban dengan jalan. Untuk mencari besarnya gaya hambat rolling yang timbul sebelumnya kita harus menentukan besarnya koefisien hambatan rolling ( $f_r$ ) terlebih dahulu. Besarnya  $f_r$  dapat dicari menggunakan persamaan hasil eksperimen J.J Taborek berikut:

$$f_r = f_o + f_s \cdot \left(\frac{v}{100}\right) \cdot 2,5 \quad (2.14)$$

dimana,  $f_r$  merupakan koefisien hambatan rolling,  $f_o$  dan  $f_s$  merupakan koefisien yang tergantung pada tekanan ban didapat dari gambar 2.10, dan  $v$  merupakan kecepatan kendaraan dalam km/jam.



**Gambar 2. 10** Koefisien hambatan *rolling* ( $f_o$  dan  $f_s$ ) akibat pengaruh tekanan ban<sup>[3]</sup>

Tabel 2.2 menunjukkan nilai koefisien hambatan rolling pada berbagai jenis kendaraan dan jalan.

**Tabel 2. 2** Nilai Koefisien Hambatan Rolling pada Berbagai Jenis Kendaraan dan Jalan<sup>[2]</sup>

<i>Condition</i>	<i>Rolling Resistance Coefficient</i>
<i>Car tires on a concrete or asphalt road</i>	0.013
<i>Car tires on a rolled gravel road</i>	0.02
<i>Tar macadam</i>	0.025
<i>Unpaved road</i>	0.05
<i>Field</i>	0.1 – 0.035
<i>Truck tire on a concrete or asphalt road</i>	0.006 – 0.01
<i>Wheel on iron rail</i>	0.001 – 0.002

Setelah mendapatkan nilai koefisien hambat rolling ( $f_r$ ), sehingga dengan menggunakan persamaan 2.5 dibawah ini maka didapatkan nilai dari gaya hambat rolling,

$$F_{rr} = f_r \cdot W \quad (2.15)$$

dimana,  $F_{rr}$  merupakan gaya hambat rolling dalam N,  $f_r$  merupakan koefisien hambatan rolling, dan  $W$  merupakan berat kendaraan dalam N.<sup>[13]</sup>

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

Gaya hambat tanjak (*Gradient Resistance*) merupakan gaya hambat yang terjadi ketika kendaraan melaju pada kondisi jalan yang menanjak. Gaya hambat tanjak dapat dirumuskan sebagai berikut: <sup>[13]</sup>

$$R_G = W \cdot \sin\theta \quad (2.16)$$

dimana:

- $R_G$  = Gaya hambat tanjakan (N)
- $W$  = Berat kendaraan (N)
- $\theta$  = Sudut tanjakan



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

$$F_R = F_d + R_r + R_g \quad (2.17)$$

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

$$F_r = F_d + R_r + R_g \quad (2.18)$$

$$F_r = (0,5 \times \rho \times Cd \times Af \times Va^2) + (fr \times W \cos \Theta) + W \sin \Theta \quad (2.19)$$

## 2.6 Analisis Kebutuhan Torsi dan Tenaga

### 2.6.1 Gaya Dorong pada Kecepatan tetap dengan Operasi pada Jalan Datar

Kendaraan berjalan pada jalan datar dengan kecepatan konstan membutuhkan gaya dorong ( $F_t$ ) hanya untuk melawan gaya hambat *rolling* ( $R_r$ ), dan gaya hambat angin ( $R_a$ ). Besar gaya dorong yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_t = R_r + R_d = fr.M.g + 0,50.\rho.Cd.Af.Va^2 \quad (2.20)$$

### 2.6.2 Gaya Dorong pada Kecepatan tetap dengan Operasi pada Jalan Menanjak

Kendaraan yang berjalan pada jalan menanjak dengan sudut tanjak  $\theta$  dan dengan kecepatan tetap ( $V_k$ ) harus memiliki gaya dorong yang dapat melawan semua gaya-gaya hambat. Ada tiga gaya hambat yang terjadi pada kendaraan saat tanjakan yaitu, gaya hambat *rolling* ( $R_r$ ), gaya hambat angin ( $R_a$ ), dan gaya hambat tanjakan ( $R_g$ ). Gaya hambat *rolling* dan tanjakan

tergantung pada berat ( $W$ ) kendaraan, sudut tanjaka, dan koefisien dari hambatan *rolling* ( $fr$ ). Diagram benda bebas yang menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan menanjak ditunjukkan pada gambar 2.16. Besarnya gaya dorong yang dibutuhkan kendaraan yang saat menanjak dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_t = R_r + R_d + R_g = fr.W.\cos\theta + 0,50.\rho.Af.Va^2 + W.\sin\theta \quad (2.21)$$

### 2.6.3 Gaya Dorong pada Kecepatan Berubah dengan Operasi pada Jalan Datar

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

$$F_t = R_r + R_a + Fi = fr.M.g + 0,50.\rho.Cd.Af.Va^2 + M.ak \quad (2.22)$$

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

### 2.6.4 Gaya Dorong pada Kecepatan Berubah dengan Operasi pada Jalan Menanjak

Kendaraan yang berjalan pada jalan menanjak dengan sudut tanjak  $\theta$  dan dengan percepatan tetap ( $ak$ ) harus memiliki gaya dorong yang mampu melawan gaya hambat *rolling* ( $R_r$ ), gaya hambat angin ( $R_a$ ), dan gaya hambat tanjakan ( $R_g$ ) dan gaya inerti ( $Fi$ ), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11. Besarnya gaya dorong yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_t = R_r + R_a + R_g + Fi \quad (2.23)$$

$$F_t = f_r \cdot W \cdot \cos\theta + 0,50 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot V_a^2 + W \cdot \sin\theta + M \cdot a_k \quad (2.24)$$

## 2.7 Kebutuhan Torsi dan Tenaga

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

$$T_p = R \cdot F_r \quad (2.25)$$

Tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan pada beban dan kecepatan tertentu dinamakan tenaga pada beban jalan atau road load horse power ( $Rhp$ ). Besarnya tenaga yang dibutuhkan tergantung pada besarnya gaya dorong hambat maksimum ( $F_r$ ) dan kecepatan dari kendaraan ( $V_k$ ). Tenaga yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = F_r \cdot V_k \quad (2.26)$$

dimana  $P$ ,  $V_k$  dan  $F_t$  secara berurutan adalah tenaga yang dibutuhkan ( $W$ ), kecepatan kendaraan ( $m/s$ ) dan gaya dorong kendaraan ( $N$ ).

Daya kendaraan ( $P$ ) dan torsi pada roda penggerak ( $TP$ ) merupakan tenaga dan torsi yang berasal dari motor atau dari mesin yang kemudian ditransmisikan oleh drive train, maka untuk menentukan besarnya tenaga dan torsi dari motor listrik atau mesin yang dibutuhkan dapat dihitung apabila diketahui efisiensi drive train adalah ( $Edt$ ), rasio transmisi ( $It$ ), rasio gardan ( $Ig$ ) maka persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$P_m = \frac{P}{Edt} \quad (2.27)$$

Tabel 2.3 menunjukkan efisiensi drive train berdasarkan letak penggerak:

**Tabel 2. 3** Nilai Efisiensi drive train berdasarkan letak penggerak<sup>[11]</sup>

<i>Drivetrain type</i>	<i>Manual transmission</i>	<i>Driveshaft</i>	<i>Differensial drive</i>	<i>Drive-axle</i>	<i>Overall efficiency</i>
<i>Front wheel drive</i>	0.96	<i>Not required</i>	0.097	0.098	0.91
<i>Rear wheel drive</i>	0.96	0.99	0.097	0.098	0.90

Dalam gerakan lurus besarnya percepatan dapat dilakukan oleh kendaraan adalah merupakan faktor penting sebagai parameter kinerja laju kendaraan. Untuk kendaraan yang bergerak dari keadaan diam sampai kecepatan tertentu (percepatan) atau dari kecepatan tertentu sampai berhenti (perlambatan) , maka percepatan (a), waktu (t), dan jarak (S) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$a_k = \frac{(Ft - Rrr - Ra - Rslope)}{\text{massa penuh}} \quad (2.28)$$

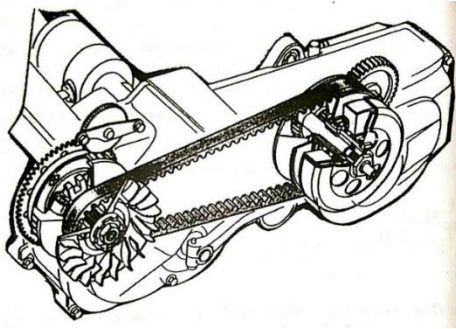
dimana :

- a = percepatan (m/s)
- Ft = gaya dorong (N)
- Rrr = gaya hambatan resistance pada roda belakang (N)
- Ra = hambatan hambatan aerodinamika (N)
- Rslope = hambatan tanjakan

## 2.8 Sistem Transmisi *Continous Variable Transmission* (CVT)

Sistem Transmisi adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengkonversikan torsi dan kecepatan dari mesin menjadi torsi dan kecepatan yang berbeda-beda dan selanjutnya diteruskan ke penggerak akhir. Salah satu sistem transmisi yang sekarang banyak digunakan pada sepeda motor adalah *continous variable transmission* (CVT). CVT didasarkan pada konsep untuk mentransmisikan daya dari satu poros berputar ke poros lainnya dengan kecepatan variabel yang terus menerus <sup>[7]</sup>.

Rasio pada CVT dapat dikendalikan secara elektronik. Dengan mengatur dimensi dan dengan pengendalian rasio dan besaran torsi yang keluar dengan elektronik, maka efisiensi dan torsi yang dihasilkan oleh torsi konverter menjadi lebih besar. Pada umumnya CVT yang digunakan pada kendaraan adalah dengan sistem *belt* dan *pulley* seperti terlihat pada gambar 2.11.



**Gambar 2. 11** Sistem *belt* dan *pulley* CVT pada sepeda motor <sup>[13]</sup>

Rasio dari CVT yang menentukan besar torsi yang keluar dari CVT ditentukan oleh ukuran dari pulley dan sudut kemiringan pulley dan belt. Dengan mengatur ukuran tersebut, rasio torsi yang keluar dari CVT dapat melebihi 2 kali torsi mesin. Perumusan torsi yang keluar dari CVT adalah sebagai berikut.

$$T_{vt} = I_{vt} \cdot I_t \cdot I_g \cdot T_e \cdot E_{tr} \quad (2.29)$$

dimana:  $T_{vt}$  = Torsi yang keluar dari CVT (Nm)  
 $I_{vt}$  = Rasio CVT sebagai torsi konverter  
 $I_t$  = Rasio Transmisi  
 $I_g$  = Rasio Gardan

Besar dari rasio CVT dapat dikendalikan secara elektronik dengan mengendalikan pergeseran pulley penggerak dan pulley yang digerakkan. Pulley penggerak berhubungan langsung dengan

mesin, sehingga putarannya sama dengan putaran mesin dan torsi sama dengan torsi mesin.

Pergeseran dari pulley penggerak dapat diatur secara elektronik sesuai kebutuhan, sehingga rasio dari CVT juga dapat dikendalikan sesuai kebutuhan, sehingga rasio dari CVT juga dapat dikendalikan sesuai kebutuhan, yang artinya torsi yang keluar dari pulley yang digerakkan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Gaya dorong yang dihasilkan dengan menggunakan CVT sebagai torsi konverter dengan radius roda dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Ft = \left( \frac{Ivt.It.Ig.Te}{R} \right) \text{Etr. Etc} \quad (2.30)$$

Tabel 2.4 menunjukkan nilai efisiensi transmisi berdasarkan jenis transmisi yang digunakan:

**Tabel 2. 4** Nilai efisiensi transmisi berdasarkan jenis transmisi<sup>[14]</sup>

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

## 2.9 Karakteristik Traksi Kendaraan *Hybrid Paralel*

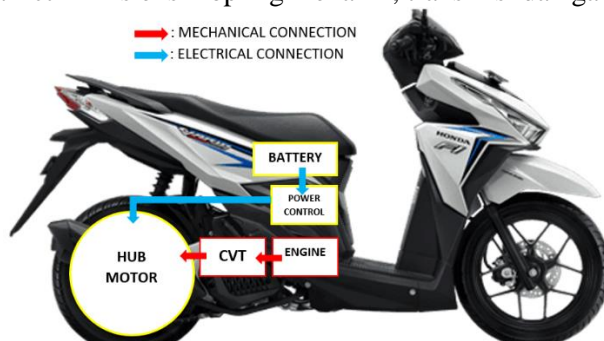
Pada kendaraan *hybrid* paralel karakteristik traksi bergantung dari moda operasi yang digunakan. Moda operasi berkendara pada kendaraan *hybrid* yang dapat dianalisis karakteristik traksi dan karakteristik dayanya adalah sebagai berikut.

### 2.9.1 Moda Penggerak *Hybrid*

Pada kondisi ini kendaraan digerakkan secara paralel oleh tenaga dari mesin dan tenaga dari motor listrik, kemudian disalurkan oleh transmisi ke roda penggerak. Tenaga mesin ditambah tenaga motor listrik adalah sama dengan tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan termasuk energi yang hilang pada proses transmisi daya.

$$P_e + P_m = (f_r \cdot W + 0,5 \cdot p \cdot C_d \cdot A_f \cdot V_k^2) \cdot V_k/E_{ct} \quad (2.31)$$

dimana  $E_{ct}$  = Efisiensi kopling mekanik, transmisi dan gardan



**Gambar 2. 12** Skema aliran energi moda penggerak *hybrid*

Gambar 2.12 menunjukkan aliran energi sepeda motor *hybrid* pada moda penggerak *hybrid*. Karakteristik traksi dari kendaraan *hybrid* paralel merupakan gabungan dari karakteristik traksi dari kendaraan listrik dan kendaraan dengan mesin dan sangat tergantung pada model dari kopling mekanik. Tenaga yang keluar dari kopling mekanik ( $P_{km}$ ), dengan tanpa kehilangan pada kopling mekanik adalah sama dengan tenaga mesin ditambah dengan tenaga motor listrik. Dengan mengabaikan kehilangan, torsi yang keluar dari torsi mekanik ( $T_{km}$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P_{km} = P_e + P_m \quad (2.32)$$

$$T_{km} \cdot \omega_{km} = T_e \cdot \omega + T_m \cdot \omega_m \quad (2.33)$$

$$T_{km} = K_e \cdot T_e + K_m \cdot T_m \quad (2.34)$$

$$K_e = \omega_e / \omega_{km}; \quad K_m = \omega_m / \omega_{km} \quad (2.35)$$

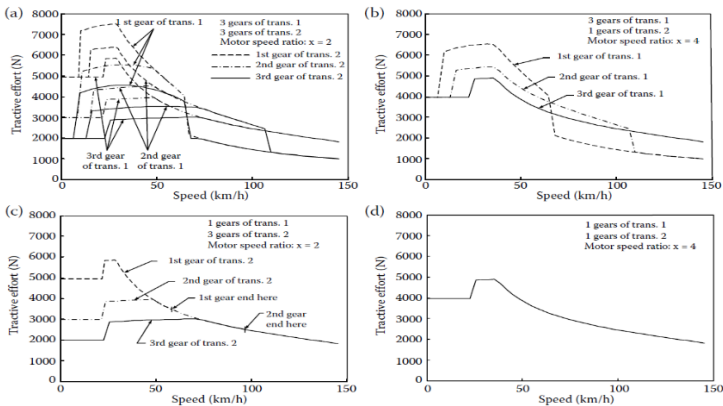
dimana:  $K_e$  = Rasio kopling mekanik untuk mesin  
 $K_m$  = Rasio kopling mekanik untuk motor listrik

Gaya traksi kendaraan *hybrid* paralel dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_{tp} = \frac{I_t \cdot I_g \cdot (K_e \cdot T_e + K_m \cdot T_m)}{R} E_{km} \cdot E_d \quad (2.36)$$

dimana:  $W_{km}$  = Putaran poros keluar dari kopling mekanik  
 $E_{km}$  = Efisiensi dari kopling mekanik  
 $E_d$  = Efisiensi dari drivetrain  
 $F_{tp}$  = Gaya traksi yang dihasilkan pada kendaraan

Gambar 2.13 menunjukkan contoh dari karakteristik traksi dari kendaraan *hybrid* paralel.



**Gambar 2. 13** Karakteristik traksi *hybrid* paralel (a) Kedua transmisi 3 tingkat. (b) Transmisi mesin 3 tingkat, motor 1 tingkat. (c) Tranmisi mesin 1 tingkat, motor 3 tingkat. (d) Kedua transmisi 1 tingkat.



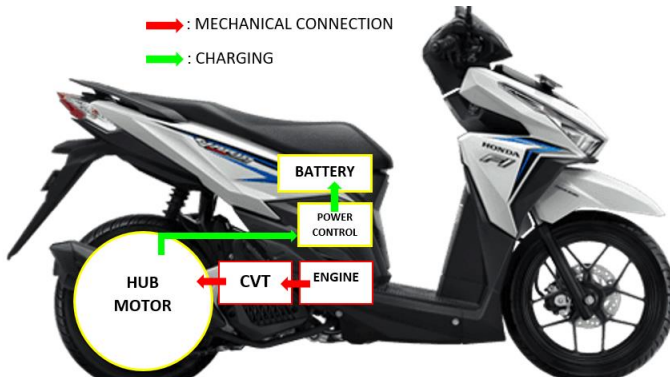
### 2.9.2 Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu

Pada kondisi ini kendaraan digerakkan oleh mesin, motor listrik menjadi generator untuk menghasilkan listrik untuk mengisi accu. Tenaga yang dihasilkan oleh mesin ( $P_e$ ) sama dengan tenaga yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan ( $P_k$ ) ditambah dengan tenaga yang digunakan untuk mengisi accu ( $P_b$ ). Torsi yang dihasilkan mesin ( $T_e$ ) adalah tergantung pada daya dan kecepatan rotasi dari mesin ( $\omega_e$ ). Gaya traksi ( $F_t$ ) yang terjadi pada roda untuk setiap tingkat transmisi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_{ti} = \frac{K \cdot I_t \cdot I_g \cdot (P_e - P_b)}{R \cdot \omega_e} \cdot E_{km} \cdot E_{dt} \quad (2.37)$$

dimana:  $T_e = (P_e \cdot P_b) / \omega_e$

Gambar 2.14 menunjukkan aliran energi sepeda motor *hybrid* pada moda penggerak mesin dan isi accu.



**Gambar 2. 14** Skema aliran energi moda penggerak mesin dan isi accu

### 2.9.3 Moda Murni Penggerak Listrik

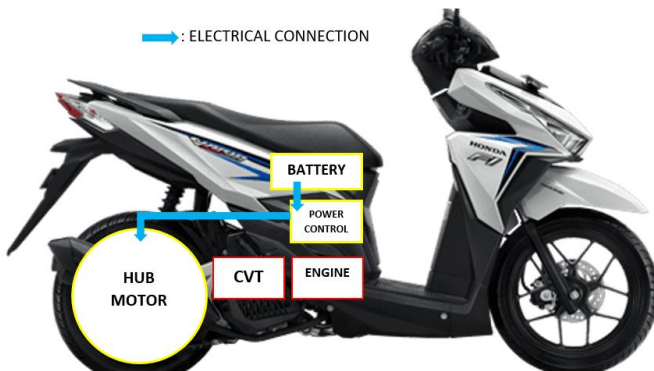
Pada kondisi ini kendaraan murni digerakkan oleh motor listrik, dengan tanpa dibantu oleh tenaga mesin. Tenaga mekanik yang dihasilkan oleh motor listrik disalurkan melalui kopling

mekanik lalu ke transmisi dan ke gardan untuk kemudian menggerakkan poros penggerak. Torsi dari motor ditransmisikan dan ditransformasikan menjadi gaya dorong pada roda penggerak oleh kopling mekanik, transmisi, dan gardan, seperti pada gambar 2.17. Gaya traksi yang terjadi pada roda penggerak ( $F_{tm}$ ) dan kecepatan kendaraan ( $V_k$ ) untuk setiap tingkat transmisi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$F_{tm} = \frac{Km.It.Ig.Tm}{R} Ekm. Edt \quad (2.38)$$

$$V_k = \frac{\pi.R.Nm}{30.Km.It.Ig} \quad (2.39)$$

Gambar 2.15 menunjukkan aliran energi sepeda motor *hybrid* pada moda penggerak murni listrik.



**Gambar 2. 15** Skema aliran energi moda murni penggerak listrik

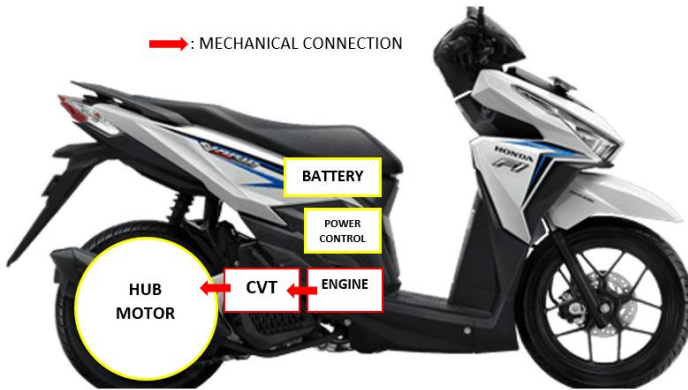
#### 2.9.4 Moda Murni Penggerak Mesin

Pada kondisi ini kendaraan murni digerakkan oleh mesin, dimana motor listrik dalam keadaan tidak bekerja. Kondisi ini umum dilakukan pada kecepatan konstan pada kecepatan dimana efisiensi dari mesin paling tinggi dan tenaga motor tidak cukup. Karakteristik traksi dari kendaraan pada kondisi ini sama dengan kendaraan dengan mesin sebagai penggerak. Besarnya gaya

dorong pada setiap tingkatan transmisi ( $F_{te}$ ) dan kecepatan kendaraan ( $V_k$ ) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$F_{tm} = \frac{K_e \cdot I_t \cdot I_g \cdot T_e}{R} E_{km} \cdot E_{dt} \quad (2.40)$$

$$V_k = \frac{\pi \cdot R \cdot N_e}{30 \cdot K_e \cdot I_t \cdot I_g} \quad (2.41)$$



**Gambar 2. 16** Skema aliran energi moda murni penggerak mesin

Gambar 2.16 menunjukkan aliran energi sepeda motor *hybrid* pada moda penggerak murni mesin.

## 2.10 Karakteristik *Power* Kendaraan

Karakteristik *power* suatu kendaraan menunjukkan seberapa besar *power* yang dapat diberikan sistem transmisi untuk memenuhi kebutuhan *power* yang dibutuhkan kendaraan. Untuk karakteristik dari motor pembakaran dalam akan berupa beberapa grafik daya yang terjadi oleh masing-masing tingkat transmisi sehingga dapat memenuhi grafik yang diberikan dari daya akibat gaya kendaraan. Untuk karakteristik dari motor listrik akan berupa grafik daya dari masing-masing tingkat transmisi yang nantinya akan diplotkan dengan grafik daya yang dibutuhkan akibat terjadinya gaya hambat.

Untuk mengetahui karakteristik *power* dari kendaraan *hybrid* maka perlu diketahui gaya traksi yang dihasilkan pada

kendaraan *hybrid*. *Power* yang didapat dari masing-masing tingkat transmisi adalah dengan rumus sebagai berikut.

$$P_t = F_t \cdot V \quad (2.42)$$

dimana:  $P_t$  = *Power* yang diberikan oleh transmisi (KW)

$F_t$  = Gaya traksi tiap transmisi (N)

$V$  = Kecepatan kendaraan (m/s)

Sedangkan untuk menentukan besarnya *power* yang dibutuhkan oleh adanya gaya hambat bisa didapar dengan rumus sebagai berikut.

$$P_r = F_r \cdot V \quad (2.43)$$

dimana:  $P_r$  = *Power* yang dibutuhkan oleh gaya hambat (KW)

$F_r$  = Gaya Hambat (N)

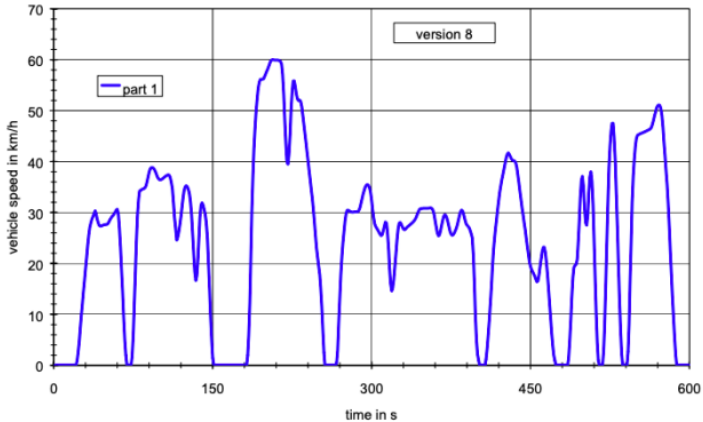
$V$  = Kecepatan kendaraan (m/s)

## 2.11 *Driving cycle*

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

### 2.11.1 WMTC Part 1

Siklus WMTC part 1 ini mewakili kecepatan rendah serta pada zona perkotaan ditunjukkan pada gambar 2.17.



**Gambar 2. 17** Grafik siklus WMTC part 1<sup>[19]</sup>

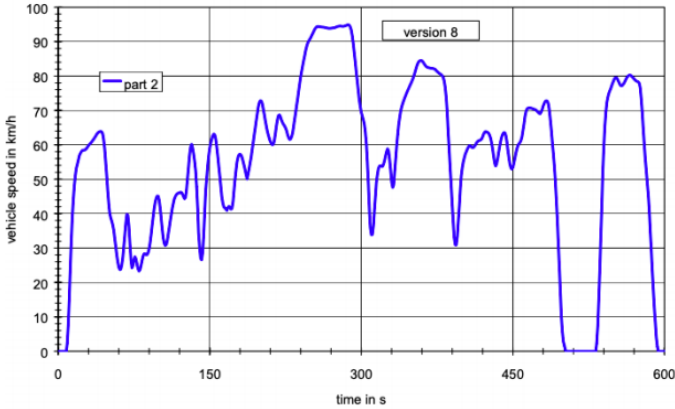
Tabel 2.5 menunjukkan karakteristik utama dari siklus WMTC part 1.

**Tabel 2. 5** Tabel karakteristik utama siklus WMTC part 1<sup>[19]</sup>

<i>Distance</i>	4,07 km
<i>Duration</i>	600 s
<i>Average speed</i>	24,4 km/jam
<i>Maximum speed</i>	60 km/jam

### 2.11.2 WMTC Part 2

Siklus WMTC part 2 ini mewakili kecepatan sedang dan penggunaan pada zona pedesaan jalan sekunder ditunjukkan pada gambar 2.18.



**Gambar 2. 18** karakteristik utama siklus WMTC part 2<sup>[19]</sup>

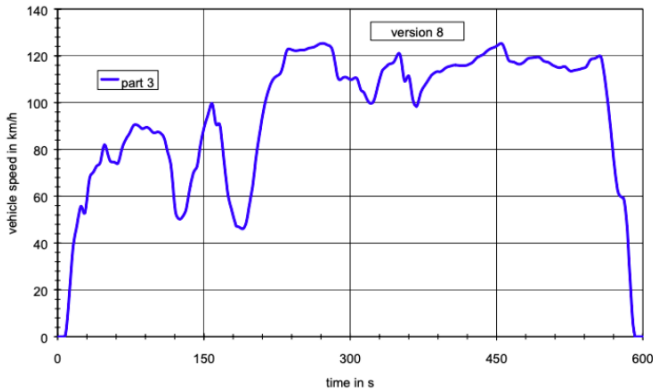
Tabel 2.6 menunjukkan karakteristik utama dari siklus WMTC *part 2*.

**Tabel 2. 6** Tabel karakteristik utama dari siklus WMTC *part 2*

<i>Distance</i>	9,11 km
<i>Duration</i>	600 s
<i>Average speed</i>	54,7 km/jam
<i>Maxium speed</i>	95 km/jam

### 2.11.3 WMTC Part 3

Siklus WMTC *part 3* ini mewakili kecepatan relatif tinggi dan penggunaan pada zona pedesaan jalan utama ditunjukkan pada gambar 2.19.



**Gambar 2. 19** Grafik siklus WMTC *part 3*<sup>[19]</sup>

Tabel 2.7 menunjukkan karakteristik utama dari siklus WMTC *part 3*

**Tabel 2. 7** Tabel karakteristik utama siklus WMTC *part 3*<sup>[19]</sup>

<i>Distance</i>	15,74 km
<i>Duration</i>	600 s
<i>Average speed</i>	94,4 km/jam
<i>Maximum speed</i>	125 km/jam

*Driving cycle* suatu kendaraan dapat dibandingkan berdasarkan informasi statistik kendaraan. Selain data kecepatan kendaraan ( $v$ ) terhadap waktu pada *driving cycle*, terdapat parameter lainnya yang dapat dikalkulasi, seperti : percepatan ( $a$ ) dan jarak tempuh kendaraan ( $s$ ) yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$a(t) = \frac{d}{dt} v(t) \quad (2.44)$$

$$S(t) = \int v(t)dt \quad (2.45)$$

Setelah data percepatan dan jarak tempuh kendaraan didapat, kecepatan rata – rata dan percepatan rata – rata suatu daur mengemudi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{S}{T} \quad (2.46)$$

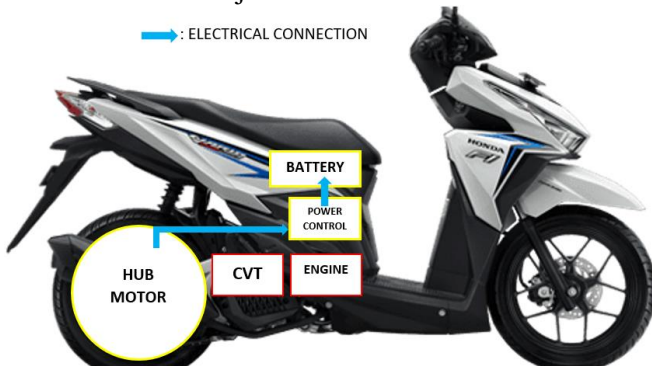
$$a_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T a(t) dt \quad (2.47)$$

dimana: S = Jarak tempuh total kendaraan

T = Waktu tempuh total kendaraan (s)

## 2.12 Regenerative brake

*Regenerative brake* adalah suatu sistem pengereman yang mampu menyerap energi saat pengereman untuk dimanfaatkan untuk kebutuhan kelistrikan pada kendaraan. Pada saat kendaraan mengalami perlambatan, energi kinetik yang terbuang akan diserap oleh *regenerative brake* dan diubah menjadi energi listrik melalui generator dan disimpan pada baterai. Gambar 2.20 menunjukkan aliran energi saat kendaraan mengalami perlambatan dan *regenerative brake* bekerja.



**Gambar 2. 20** Aliran energi saat perlambatan

Dalam *regenerative brake* yang dapat dianalisis adalah energi bangkitan pengereman, energi kinetik terbuang saat pengereman, efisiensi *regenerative brake*, dan kontribusi *regenerative brake*.



### 2.12.1 Energi Bangkitan Pengereman

Energi regeneratif kendaraan didapat dengan mengkalikan RHP regeneratif dengan waktu dan selanjutnya dikali dengan efisinesi komponen yang dilewati. Energi regeneratif pengereman dirumuskan sebagai berikut.

$$Energi\ regeneratif = RHP \cdot \frac{1}{3600} \cdot Eff \quad (2.48)$$

### 2.12.2 Energi Kinetik Terbuang

Energi kinetik terbuang yang diakibatkan oleh kendaraan bisa didapat dengan mengurangi energi kinetik pada kecepatan awal dan energi kinetik pada kecepatan setelah terjadi pengereman. Energi kinetik terbuang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Ek = 0,5 \cdot m \cdot Km \cdot (v1^2 - v2^2) \quad (2.49)$$

### 2.12.3 Efisiensi *Regenerative brake*

Efisiensi *regenerative brake* terhadap pengereman didapat dengan membagi energi regeneratif dengan energi kinetik terbuang seperti pada persamaan berikut.

$$Efisiensi = \frac{Energi\ Regeneratif\ total\ aktual}{Energi\ kinetik\ terbuang} \cdot 100\% \quad (2.50)$$

### 2.12.4 Kontribusi *Regenerative brake*

Kontribusi *regenerative brake* didapat dengan membagi nilai dari energi bangkitan dari dengan konsumsi energi total dari kendaraan dalam 1 siklus *driving cycle* seperti pada persamaan berikut.

$$Kontribusi\ Reg.\ Brake = \frac{Energi\ Regeneratif\ total\ aktual}{Konsumsi\ energi\ total} \cdot 100\% \quad (2.51)$$

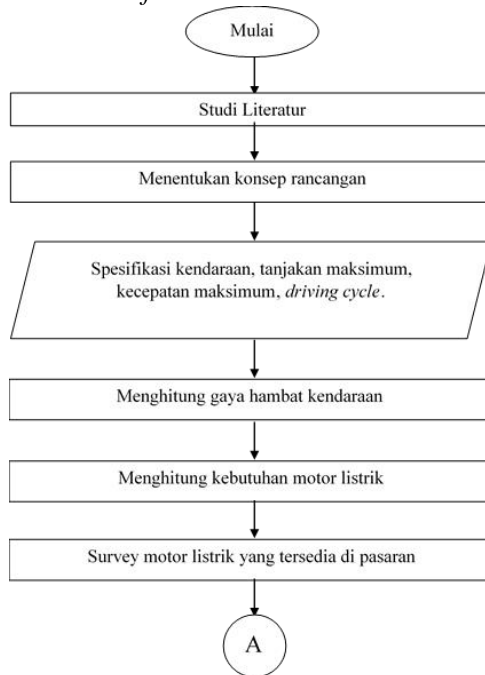
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

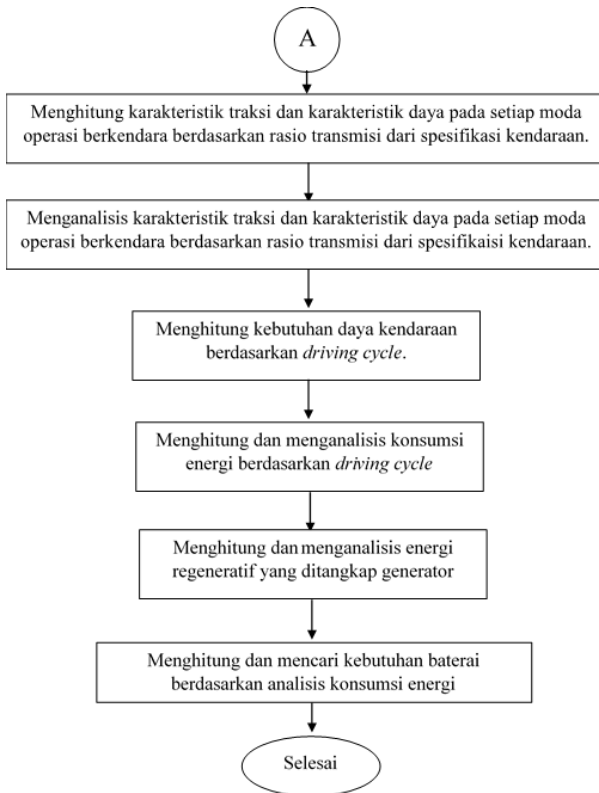
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi akan dijelaskan mengenai *flowchart* dari penelitian yang dilakukan, dimulai dari studi literatur sampai dengan hasil yang diinginkan yaitu spesifikasi motor-generator yang digunakan, baterai yang digunakan, kemampuan akselerasi kendaraan, serta karakteristik daya dan karakteristik traksi pada setiap moda operasi berkendara. Selanjutnya akan dijelaskan tahapan dari perhitungan yang dilakukan dalam pengerjaan penelitian ini, dan yang terakhir adalah *flowchart* dari analisis perhitungan yang telah dilakukan.

### 3.1 *Flowchart* Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan langkah-langkah penelitian dan disajikan dalam bentuk *flowchart*.





**Gambar 3. 1** *Flowchart* penelitian tugas akhir

Berdasarkan *flowchart* diatas maka penyusunan tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

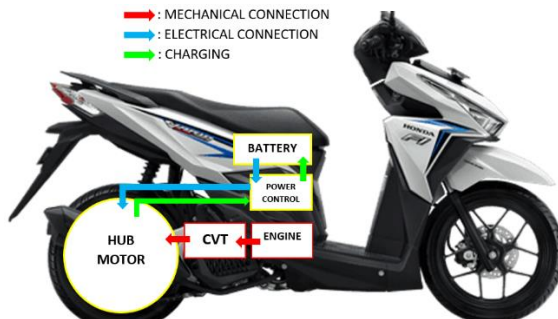
- Tahap pertama  
Penelitian diawali dengan studi dari buku, berbagai jurnal serta tugas akhir terdahulu yang berkaitan dengan kendaraan *hybrid* sehingga didapatkan konsep sistem

tenaga dan moda berkendara yang akan diterapkan untuk perancangan kendaraan.

- Tahap Kedua  
Setelah mendapatkan konsep yang diinginkan maka dilanjutkan dengan melakukan perhitungan untuk kebutuhan tenaga pada setiap moda berkendara. Perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan gaya hambat kendaraan, menghitung spesifikasi motor dan baterai, menghitung karakteristik traksi serta karakteristik daya pada setiap moda berkendara, menghitung konsumsi energi dan menghitung total energi pengereman yang ditangkap oleh generator.
- Pada tahap ketiga ini dilakukan analisis terhadap hasil-hasil perhitungan yang didapat. Analisis yang didapat berupa analisis karakteristik traksi dan karakteristik daya pada setiap moda berkendara, konsumsi energi dan energi regeneratif hasil pengereman yang bisa ditangkap generator

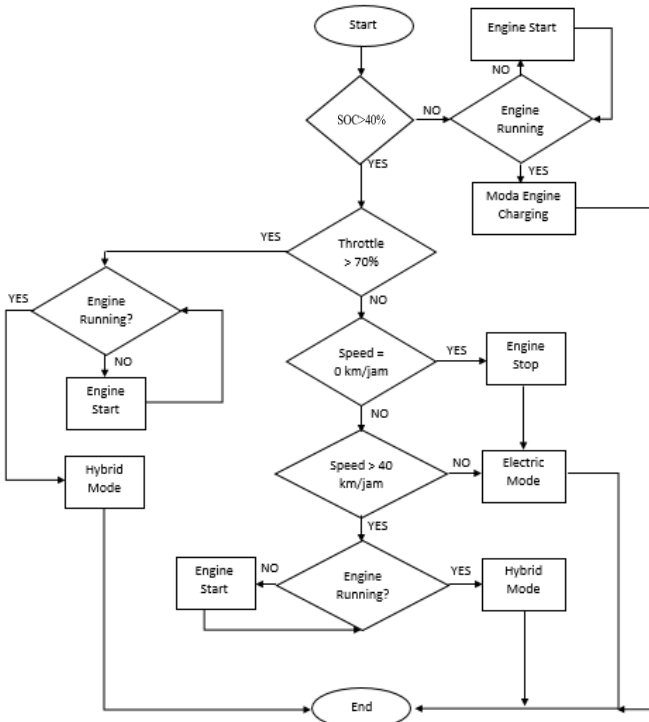
### 3.2 Konsep Rancangan

Penentuan konsep rancangan dilakukan untuk dapat menentukan konfigurasi awal dalam perancangan kendaraan yang dibuat. Konsep rangkaian dari sepeda motor *hybrid* ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3. 2** Konsep rancangan sepeda motor *hybrid* paralel

Dalam perancangan ini konfigurasi yang digunakan adalah *hybrid* paralel. Sehingga ada beberapa moda berkendara yang bisa digunakan pada konfigurasi tersebut. Dalam perancangan ini ada 3 moda berkendara yang dianalisis, diantaranya adalah moda penggerak *hybrid*, moda penggerak mesin dan isi accu, dan moda murni penggerak listrik. Untuk berpindah dari satu moda berkendara ke moda berkendara lainnya dibutuhkan konsep sistem manajemen daya yang baik. Gambar 3.3 menunjukkan alur konsep sistem manajemen daya yang akan diterapkan.



**Gambar 3. 3** Sistem manajemen daya sepeda motor hybrid paralel

Sistem ini dirancang agar mampu memberikan kontrol otomatis sehingga pengguna kendaraan tidak perlu untuk mengganti moda operasi berkendara secara manual, hal ini ditujukan untuk alasan kemudahan bagi pengguna. Dalam sistem ini yang menjadi acuan adalah kecepatan kendaraan yang dalam perhitungannya berbanding lurus dengan besarnya kebutuhan daya kendaraan, *State of charge* (SOC) dari baterai dan kebutuhan daya untuk menjalankan kendaraan. Syarat untuk SOC baterai telah ditentukan yaitu SOC maksimal adalah 100% dan minimal 40% pada kondisi dinamis.

Moda berkendara murni elektrik digunakan pada kondisi kendaraan berjalan di daerah pemukiman, dalam kota, atau saat kondisi jalan macet, dimana kendaraan tidak membutuhkan kecepatan yang tinggi untuk berjalan. Analisis yang dilakukan pada sepeda motor *hybrid* dengan moda kendaraan murni elektrik adalah kecepatan maksimal 40km/jam. Moda berkendara *hybrid* digunakan pada saat kendaraan membutuhkan torsi yang besar untuk menanjak. Analisis yang dilakukan pada sepeda motor *hybrid* pada jalan menanjak adalah dengan kemiringan 30 derajat dan kecepatan maksimal menyamai kemampuan dari kendaraan vario 150 cc saat menanjak. Selain itu moda berkendara *hybrid* akan digunakan untuk mencapai kecepatan maksimum yang diinginkan pada kondisi jalan datar. Analisis pada kondisi jalan datar yaitu dengan kecepatan maksimum sesuai dengan kemampuan Vario 150 cc. Kedua moda ini bisa diterapkan apabila SOC dari baterai adalah lebih dari 40%. Apabila SOC baterai dibawah 40% moda penggerak mesin untuk mengisi baterai akan digunakan sampai SOC baterai mencapai 100%.

### **3.3 Spesifikasi Vario 125 PGM-FI**

Spesifikasi sepeda motor Honda Vario 125 PGM-FI berdasarkan sumber yang ada ditunjukkan pada Tabel 3.1

**Tabel 3. 1** Spesifikasi Honda Vario 125 PGM-FI

Tipe mesin	4 langkah, SOHC
Volume langkah	124,8 cc
Daya maksimum	8,2 kW / 8500 rpm
Torsi maksimum	10,8 N.m / 5000 rpm
Kopling	Otomatis, sentrifugal, tipe kering
Sistem bahan bakar	Injeksi (PGM-FI)
Dimensi	1,919 x 679 x 1,062 mm
Rasio CVT	2,6 : 1 - 0,82 : 1
Rasio final drive	10,552 : 1
Jarak Sumbu Roda	1280 mm
Jarak Terendah ke Tanah	132 mm
Berat kosong	111 kg
Ukuran Ban Depan	80/80 - 14M/C 40P Tubeless
Ukuran Ban Belakang	90/90 - 14M/C 46P Tubeless
Luas <i>frontal</i> area	0,583 m <sup>2</sup>

### 3.4 Spesifikasi Vario 150 PGM-FI

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat performa Vario 125 PGM-FI menjadi sama atau mendekati performa dari Sepeda motor 150 cc (Vario 150 PGM-FI) dengan penambahan motor listrik. Karena itu perlu diketahui spesifikasi dari kendaraan Vario 150 PGM-FI untuk mengetahui kemampuan dan per forma dari kendaraan, yang selanjutnya kemampuan dan performa dari Vario 150 PGM-FI inilah yang dijadikan acuan dalam perancangan sepeda motor *hybrid*. Spesifikasi dari Vario 150 PGM-FI ditunjukkan pada tabel 3.2.

**Tabel 3. 2** Spesifikasi Honda Vario 150 PGM-FI

Tipe mesin	4 langkah, SOHC
Volume langkah	149,3 cc
Daya maksimum	9,7 kW / 8500 rpm
Torsi maksimum	13,4 N.m / 5000 rpm
Kopling	Otomatis, sentrifugal, tipe kering
Sistem bahan bakar	Injeksi (PGM-FI)
Dimensi	1919 x 679 x 1062 mm
Rasio CVT	2,6 : 1 - 0,82 : 1
Rasio final drive	9,996 : 1
Jarak Sumbu Roda	1280 mm
Jarak Terendah ke Tanah	132 mm
Berat kosong	112 kg

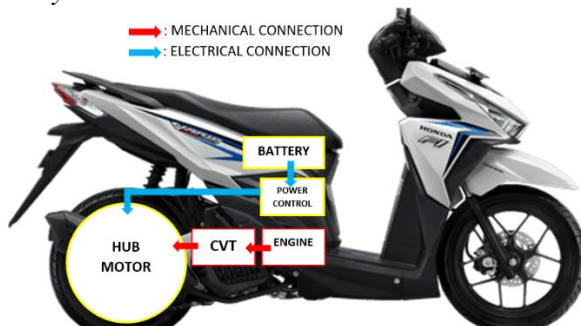


### 3.5 Analisis Moda Kendaraan

Pada penelitian ini dilakukan analisis moda berkendara bagaimana saja yang mampu dilakukan kendaraan sepeda motor *hybrid*. Hal-hal yang menjadi pertimbangan diantaranya adalah kebutuhan akselerasi, kebutuhan kecepatan kendaraan, penghematan bahan bakar dengan mengurangi beban kerja dari mesin serta kebutuhan pengisian baterai pada saat kendaraan digunakan berjalan. Maka dari itu, moda berkendara yang dianggap mampu adalah sebagai berikut.

#### 3.5.1 Moda Penggerak *Hybrid*

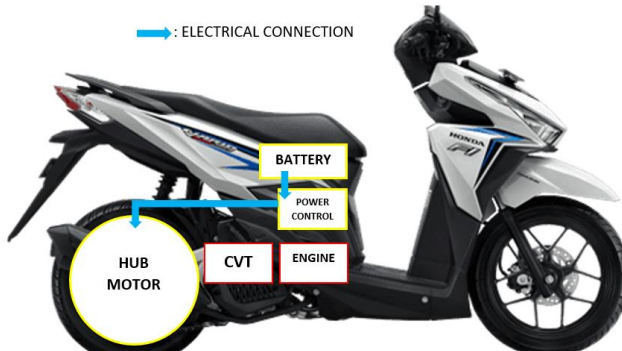
Pada moda ini kendaraan mendapatkan daya penggerak dari mesin dan motor listrik, maka daya dan torsi kendaraan juga akan meningkat karena mendapat tenaga tambahan dari motor listrik. Karena kendaraan dijalankan dengan 2 sumber penggerak maka kemampuan kendaraan untuk mencapai suatu kecepatan maksimum akan meningkat. Selain bertujuan untuk memenuhi kebutuhan kecepatan maksimum yang lebih tinggi, moda ini juga bertujuan untuk mengurangi beban kerja mesin karena beban kerja untuk mencapai suatu performa tertentu akan dibantu oleh motor listrik. Gambar 3.4 menunjukkan skema aliran energi moda penggerak *hybrid*.



**Gambar 3. 4** Aliran energi moda penggerak hybrid

### 3.5.2 Moda Murni Penggerak Listrik

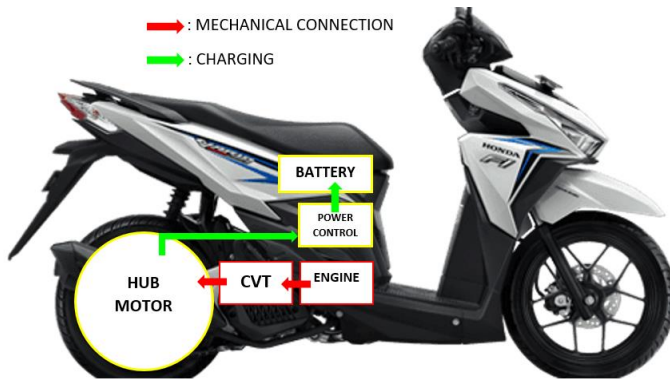
Pada moda ini kendaraan hanya mendapatkan daya penggerak dari motor listrik dengan baterai sebagai sumber energinya. Karakteristik dari motor listrik yang mempunyai torsi yang tinggi pada putaran awal cocok diterapkan jika kendaraan membutuhkan akselerasi sesaat setelah kendaraan berhenti. Tidak hanya untuk akselerasi, namun moda ini juga digunakan untuk kendaraan melaju pada kecepatan rendah yaitu maksimal 40 km/jam. Karena kebutuhan kecepatan berkendara di dalam kota yang rendah maka moda ini cocok diterapkan. Motor listrik dapat terus digunakan sesuai dengan daya yang tersedia pada baterai. Gambar 3.5 menunjukkan skema aliran energi moda murni penggerak listrik.



**Gambar 3. 5** Aliran energi moda murni penggerak listrik

### 3.5.3 Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu

Pada moda ini kendaraan hanya mendapatkan daya penggerak dari mesin. Moda ini digunakan apabila daya dari baterai dirasa tidak mampu menyuplai energi ke motor listrik, sehingga motor listrik berhenti berperan sebagai penggerak dan kendaraan hanya digerakkan oleh mesin. Motor listrik akan berperan sebagai generator untuk mengisi baterai pada saat kendaraan hanya digerakkan oleh mesin. Gambar 3.6 menunjukkan skema aliran energi moda penggerak mesin dan isi accu.



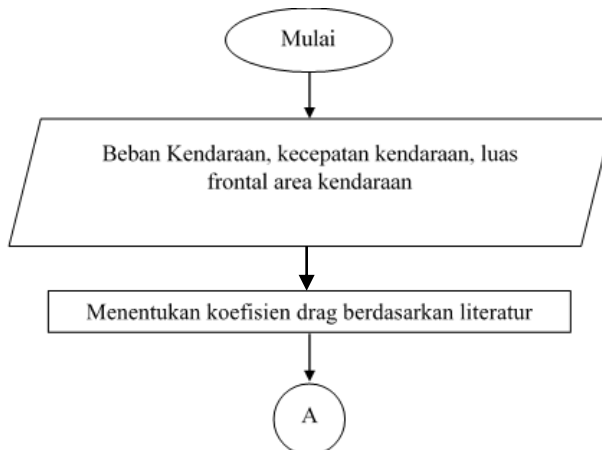
**Gambar 3. 6** Moda penggerak mesin dan isi accu

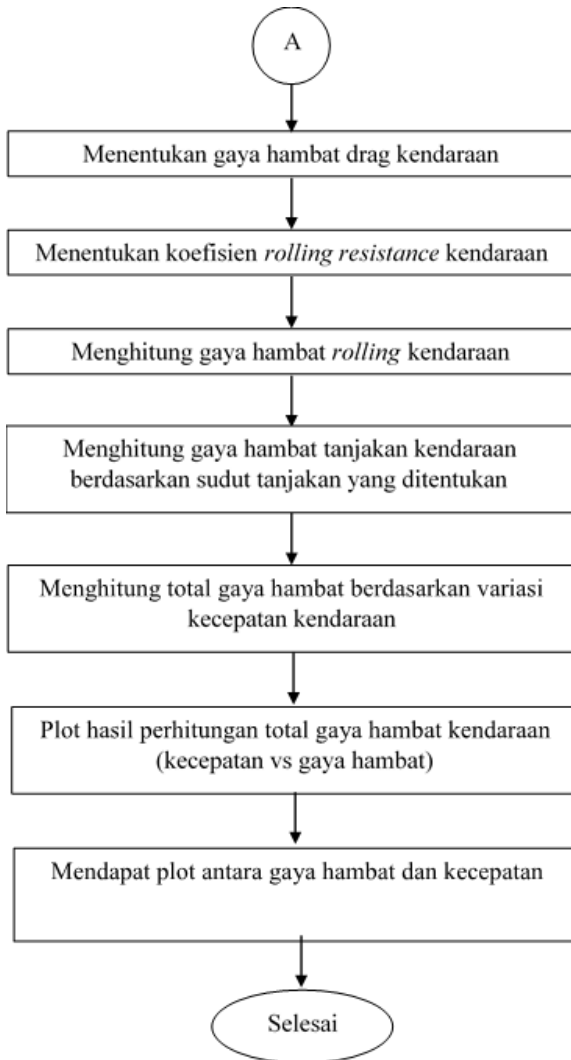
### 3.6 *Flowchart* Perhitungan

Pada subbab ini berisi tentang *flowchart* dari masing-masing perhitungan yang dibutuhkan.

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

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





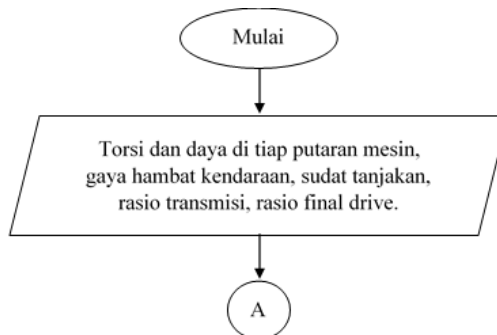
**Gambar 3. 7** *Flowchart* perhitungan gaya hambat kendaraan

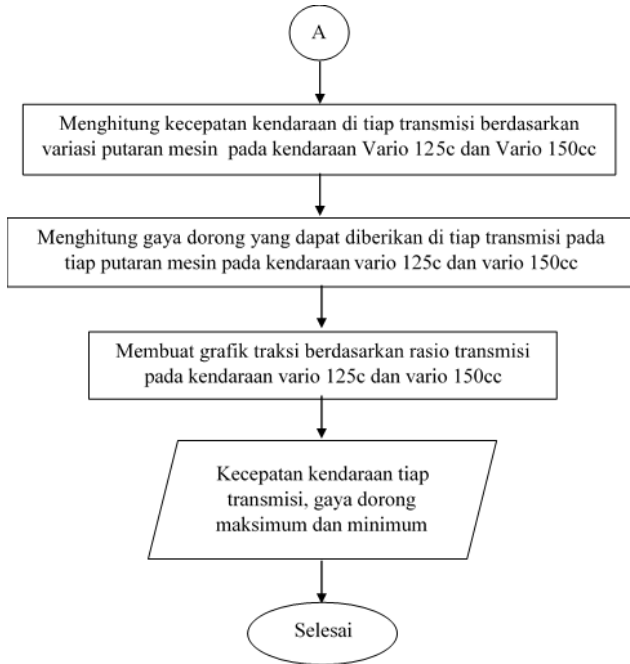
Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan gaya hambat kendaraan ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan variasi kecepatan kendaraan
2. Menentukan koefisien drag yang sesuai dengan tabel 2.1.
3. Menghitung gaya hambat aerodinamis sesuai dengan persamaan 2.13.
4. Menentukan koefisien *rolling* resistance berdasarkan tabel 2.2.
5. Menghitung gaya hambat *rolling* kendaraan berdasarkan variasi sudut sesuai dengan persamaan 2.15
6. Menghitung gaya hambat tanjakan yang terjadi pada kendaraan sesuai dengan persamaan 2.16
7. Menghitung gaya hambat total yang terjadi pada kendaraan sesuai dengan persamaan 2.19

### 3.6.2 *Flowchart* Perhitungan Karakteristik Traksi Vario 125cc dan Vario 150cc

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan karakteristik traksi Vario 125cc dan Vario 150cc. Dimana karakteristik Vario 125cc akan dijadikan informasi kendaraan yang akan dijadikan kendaraan *hybrid* dan karakteristik Vario 150cc akan dijadikan acuan kemampuan kendaraan yang dituju.





**Gambar 3. 8** *Flowchart* perhitungan karakteristik traksi

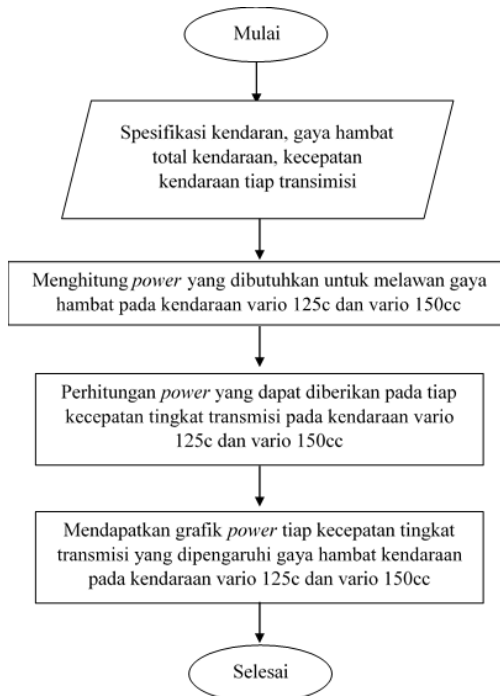
Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan karakteristik traksi kendaraan Vario 125cc dan Vario 150cc adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan data torsi daya tiap putaran mesin, gaya hambat yang terjadi pada kendaraan, rasio transmisi, rasio final drive masing-masing kendaraan Vario 125cc dan Vario 150cc
2. Menghitung kecepatan kendaraan di tiap transmisi pada kendaraan vario 125c dan vario 150cc sesuai dengan persamaan 2.41
3. Menghitung gaya dorong di tiap transmisi dan kecepatan pada kendaraan vario 125c dan vario 150cc sesuai dengan persamaan 2.30

4. Membuat grafik traksi dari perhitungan gaya dorong yang sudah didapat.
5. Mendapatkan nilai kecepatan tiap transmisi, gaya tiap transmisi pada kendaraan vario 125c dan vario 150cc

### 3.6.3 *Flowchart* Perhitungan Karakteristik *Power* Vario 125cc dan Vario 150cc

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan karakteristik *power* Vario 125cc dan Vario 150cc. Dimana karakteristik Vario 125cc akan dijadikan informasi kendaraan yang akan dijadikan kendaraan *hybrid* dan karakteristik Vario 150cc akan dijadikan acuan kemampuan kendaraan yang dituju.



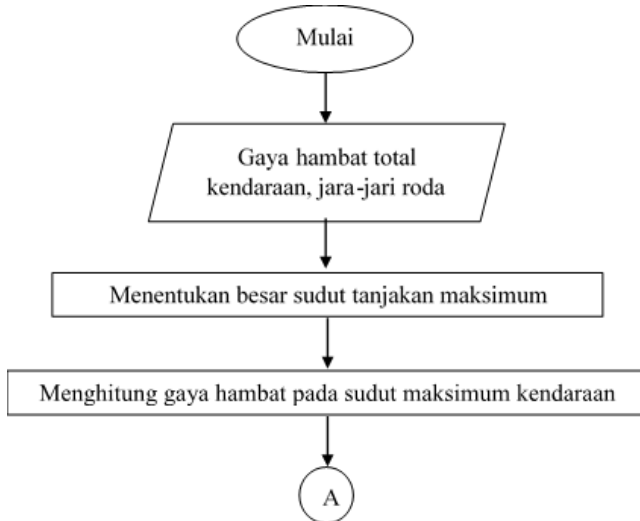
**Gambar 3. 9** *Flowchart* perhitungan karakteristik daya

Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan karakteristik *power* kendaraan Vario 125cc dan Vario 150cc ini adalah sebagai berikut:

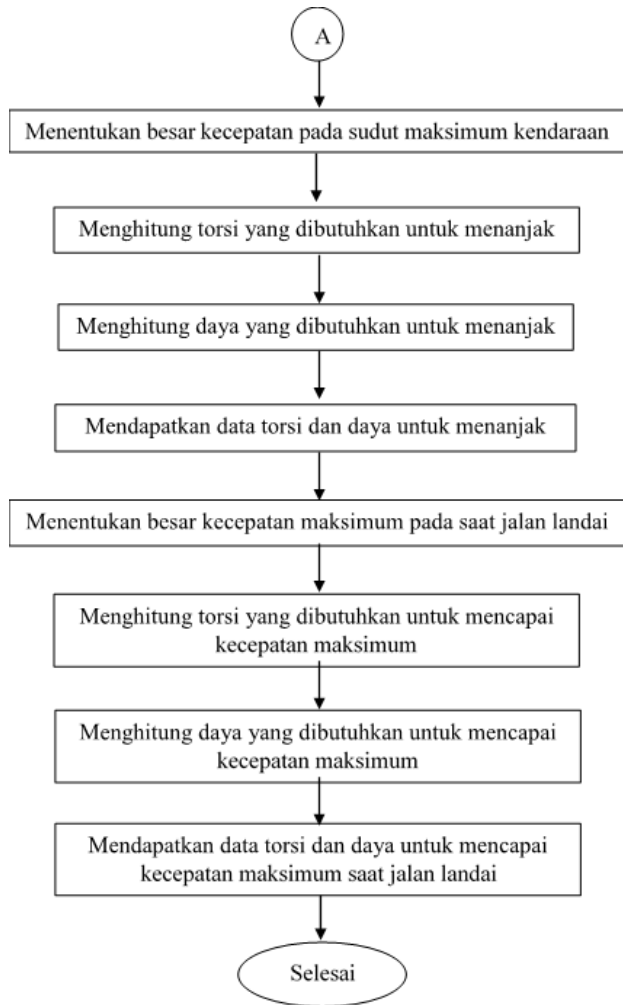
1. Mendapatkan spesifikasi kendaraan, kecepatan kendaraan tiap tingkat transmisi, dan gaya hambat total kendaraan
2. Menghitung kebutuhan *power* untuk gaya hambat pada kendaraan vario 125c dan vario 150cc dengan persamaan 2.26
3. Mendapatkan *power* yang dapat diberikan pada tiap kecepatan tingkat transmisi pada kendaraan vario 125c dan vario 150cc dengan persamaan 2.26
4. Melakukan plotting grafik karakteristik *power* kendaraan berdasarkan *power* yang dihasilkan dan gaya hambat kendaraan

#### 3.6.4 *Flowchart* Perhitungan Motor Listrik

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan motor dan baterai kendaraan sepeda motor *hybrid* paralel.







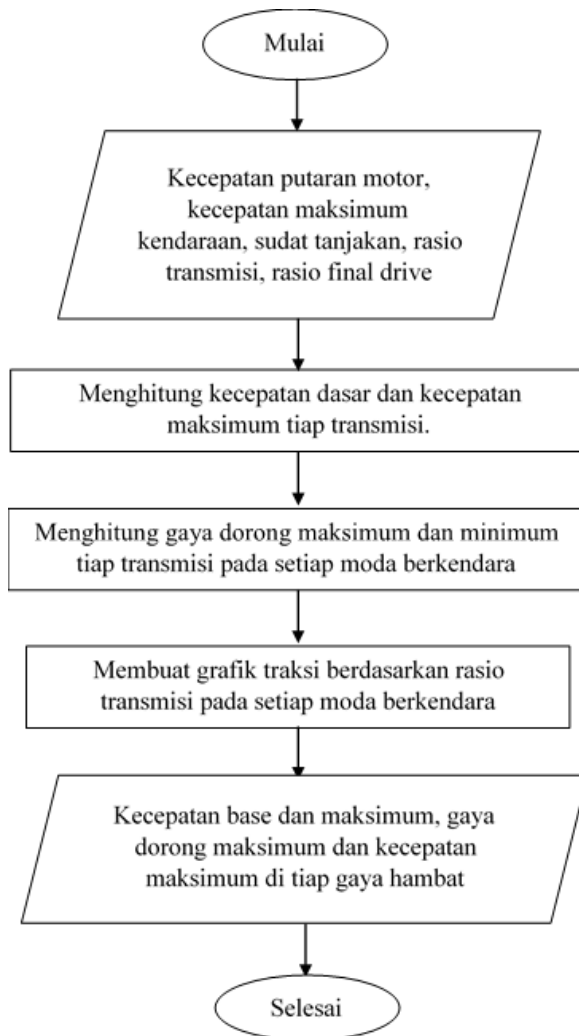
**Gambar 3. 10** *Flowchart* perhitungan motor listrik

Langkah-langkah yang digunakan dalam pemilihan motor kendaraan ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan data gaya hambat total berdasarkan *flowchart* 3.7 dan mengetahui jari-jari roda penggerak.
2. Menentukan besar sudut tanjakan maksimum.
3. Menghitung gaya hambat yang terjadi pada sudut tanjakan maksimum.
4. Menentukan besar kecepatan kendaraan yang diharapkan pada sudut maksimum kendaraan.
5. Menghitung besar torsi sesuai dengan persamaan 2.25.
6. Menghitung besar daya sesuai dengan persamaan 2.26.
7. Mendapatkan data torsi dan daya pada setiap variasi kecepatan pada kondisi menanjak.
8. Menentukan besar kecepatan kendaraan yang diharapkan pada jalan landai.
9. Menghitung besar torsi sesuai dengan persamaan 2.25.
10. Menghitung besar daya sesuai dengan persamaan 2.26.
11. Mendapatkan data torsi dan daya pada setiap variasi kecepatan pada kondisi jalan landai.
12. Menentukan jenis motor berdasarkan data yang diperoleh.

### **3.6.5 *Flowchart* analisis Karakteristik Traksi Kendaraan Hybrid**

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan karakteristik traksi pada kendaraan *hybrid*:



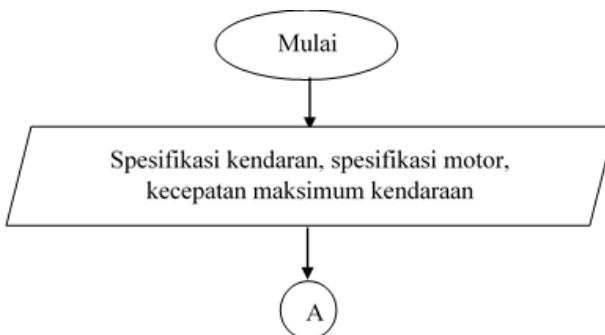
**Gambar 3. 11** Flowchart analisis karakteristik traksi kendaraan *hybrid*

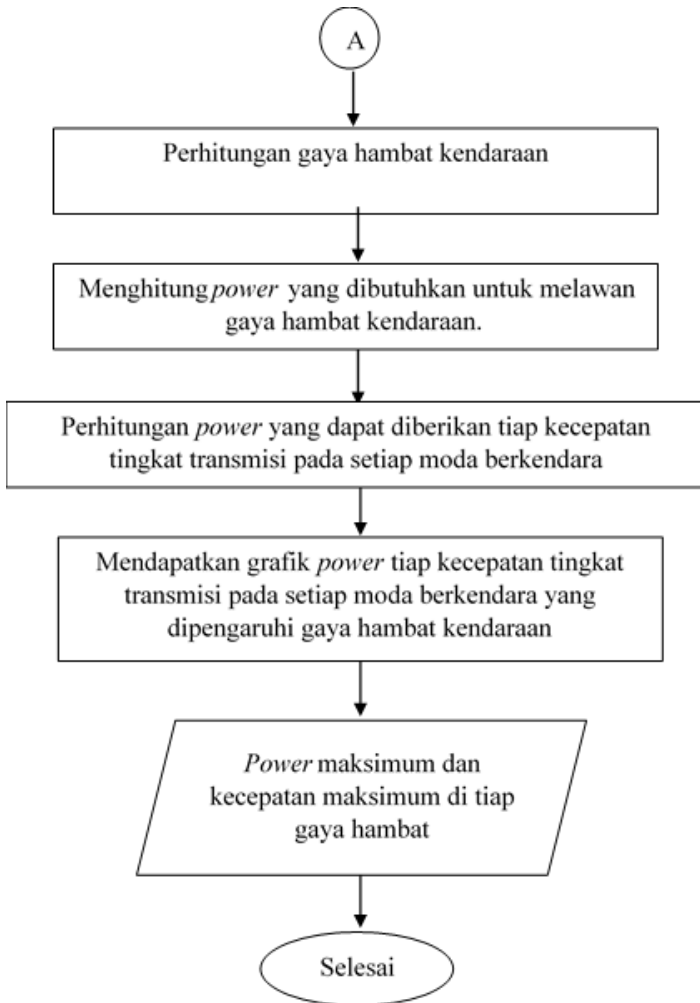
Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan karakteristik traksi adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan data kecepatan putaran motor dan mesin, rasio transmisi, rasio final drive, kecepatan maksimum dari kendaraan dan sudut tanjakan maksimum yang dapat dilalui kendaraan.
2. Menghitung kecepatan base dan maksimum yang dihasilkan tiap transmisi pada setiap moda berkendara.
3. Menghitung gaya dorong maksimum dan minimum yang dihasilkan oleh transmisi pada setiap moda berkendara dengan persamaan 2.36 untuk moda *hybrid*, persamaan 2.37 untuk moda penggerak mesin dan isi accu, dan persamaan 2.38 untuk moda murni penggerak listrik.
4. Membuat grafik traksi dari perhitungan gaya dorong yang sudah didapat.
5. Menganalisis grafik traksi dengan teori yang sudah ada.
6. Mendapatkan nilai kecepatan base dan maksimum tiap transmisi, gaya dorong maksimum dan minimum tiap transmisi.

### 3.6.6 *Flowchart* analisis Karakteristik *Power* Kendaraan *Hybrid*

Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan karakteristik *power* pada kendaraan:



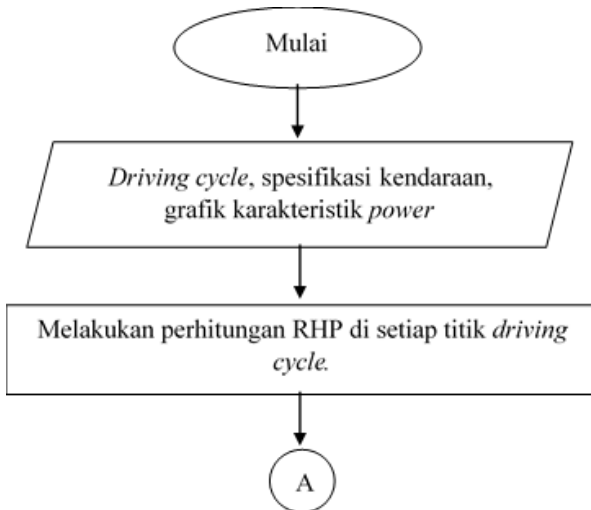


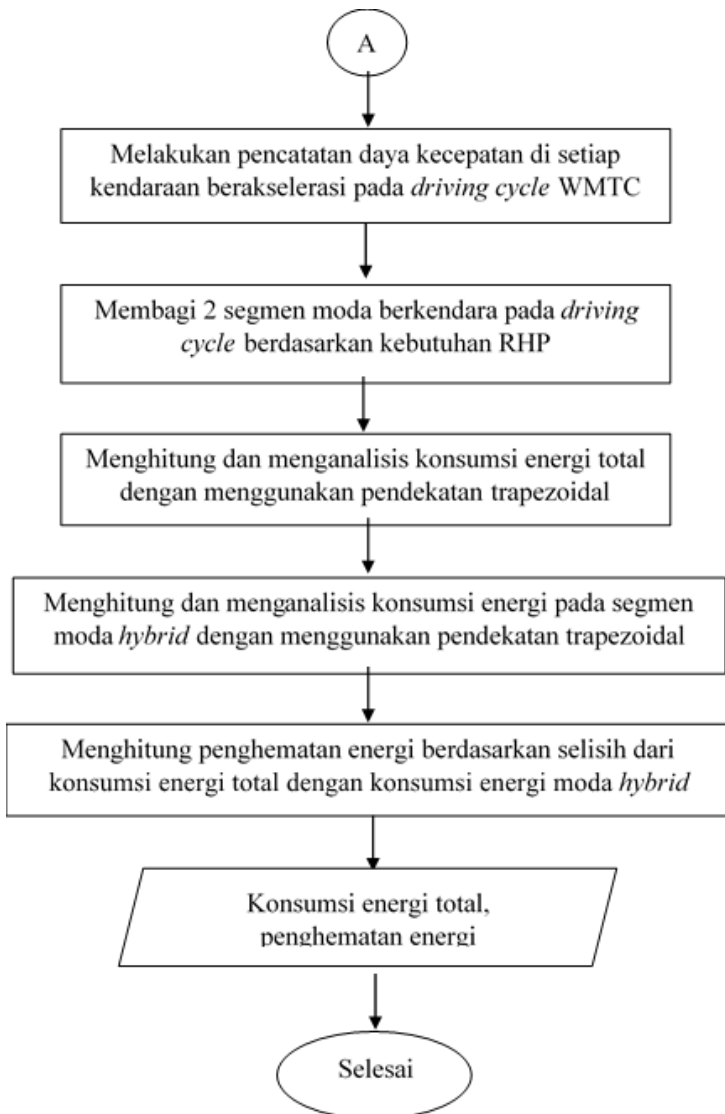
**Gambar 3. 12** *Flowchart* analisis karakteristik *power* kendaraan hybrid

Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan karakteristik *power* kendaraan ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan spesifikasi kendaraan, spesifikasi motor dan kecepatan maksimum kendaraan.
2. Menghitung gaya hambat kendaraan.
3. Menghitung kebutuhan *power* untuk gaya hambat dengan persamaan 2.26
4. Mendapatkan *power* yang dapat diberikan pada tiap kecepatan tingkat transmisi pada setiap moda berkendara dengan persamaan 2.26
5. Melakukan plotting grafik karakteristik *power* kendaraan berdasarkan hasil yang diperoleh di langkah ketiga dan langkah keempat.
6. Mendapatkan *power* maksimum dan kecepatan maksimum di tiap gaya hambat.

### 3.6.7 *Flowchart* analisis Konsumsi Energi Sepeda Motor Hybrid



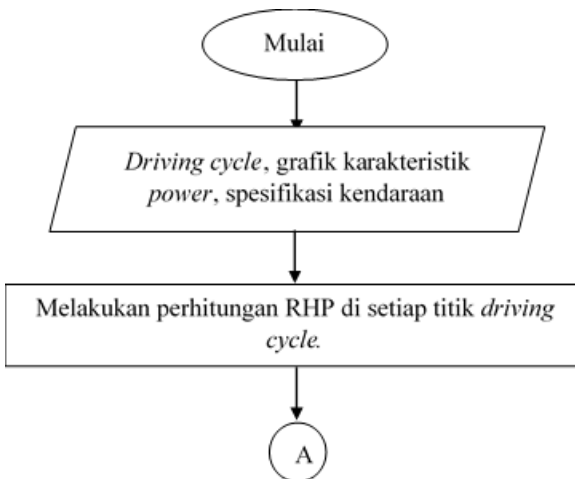


**Gambar 3. 13** *Flowchart* analisis konsumsi energi sepeda motor hybrid

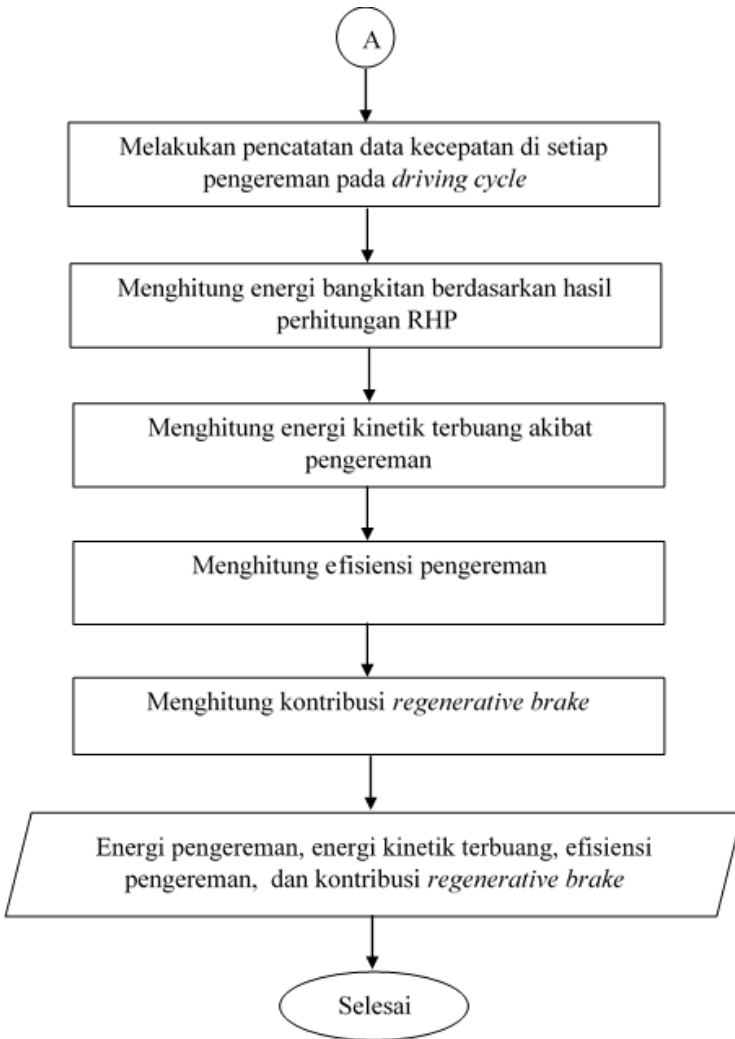
Langkah-langkah untuk menganalisis konsumsi energi pada sepeda motor *hybrid* adalah sebagai berikut.

1. Melakukan perhitungan RHP di setiap titik *driving cycle* berdasarkan persamaan 2.43.
2. Melakukan pencatatan data kecepatan di setiap titik-titik percepatan *driving cycle* pilihan.
3. Membagi 2 segmen moda berkendara pada *driving cycle* berdasarkan kebutuhan RHP.
4. Menghitung dan menganalisis konsumsi energi total dengan menggunakan pendekatan trapezoidal.
5. Menghitung dan menganalisis konsumsi energi pada segmen moda *hybrid* dengan menggunakan pendekatan trapezoidal.
6. Menghitung penghematan energi berdasarkan selisih dari konsumsi energi total dengan konsumsi energi moda *hybrid*.
7. Mendapatkan konsumsi energi total, penghematan energi.

### 3.6.8 Flowchart Perhitungan Energi Pengereman





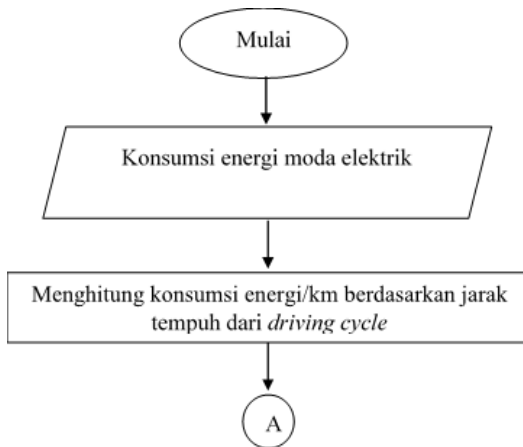


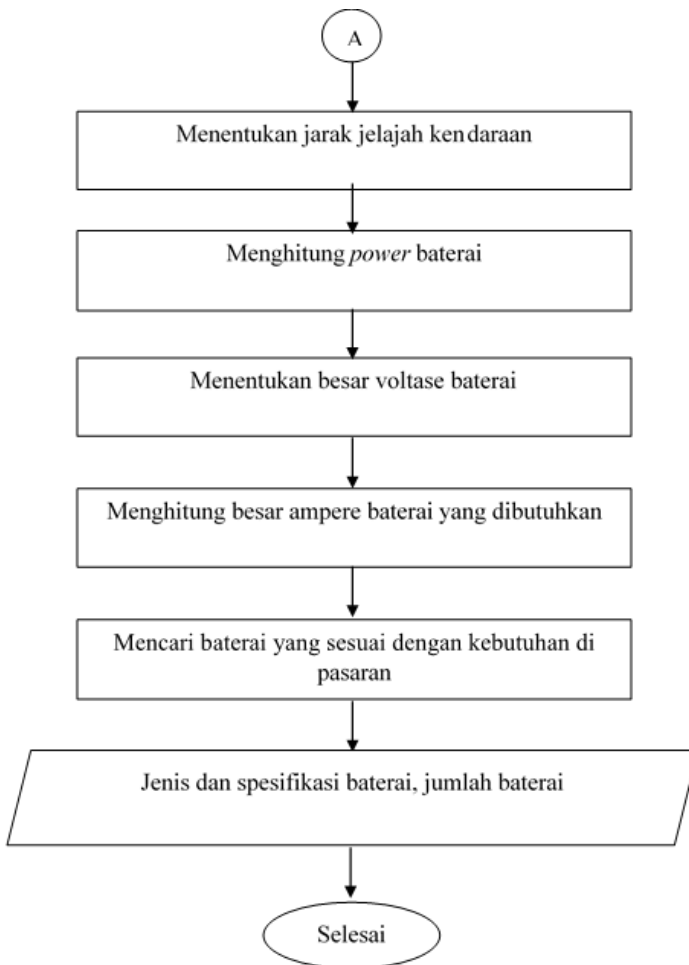
**Gambar 3. 14** *Flowchart* perhitungan energi pengereman

Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan energi pengereman yang dapat disimpan dalam baterai adalah seperti gambar *flowchart* 3.14 sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan *power* setiap titik *driving cycle* menggunakan persamaan 2.43.
2. Melakukan pencatatan data kecepatan disetiap titik-titik pengereman pada *driving cycle* pilihan.
3. Melakukan perhitungan energi bangkitan menggunakan persamaan 2.48.
4. Menghitung energi losses pengereman disetiap pengereman menggunakan persamaan 2.49.
5. Menghitung efisiensi pengereman regenerative dengan persamaan 2.50.
6. Menghitung kontribusi *regenerative brake* dengan persamaan 2.51.
7. Mendapatkan nilai energi pengereman yang bisa ditangkap oleh generator, energi losses, efisiensi pengereman regenerative, dan kontribusi *regenerative brake*.

### 3.6.9 *Flowchart* Perhitungan dan Pemilihan Baterai





**Gambar 3. 15** *Flowchart* perhitungan pemilihan baterai

Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan baterai adalah sebagai berikut.

1. Menghitung konsumsi energi per kilometer berdasarkan *driving cycle*.
2. Menentukan jarak jelajah kendaraan sesuai kebutuhan.
3. Menghitung *power* baterai dengan persamaan 2.11.
4. Menentukan besar voltase baterai. Terlebih dahulu diketahui besar voltase motor sehingga voltase motor dan baterai adalah sama.
5. Menghitung besar ampere hour (Ah) baterai sesuai dengan persamaan dengan persamaan 2.12.
6. Menghitung jumlah baterai yang diperlukan sesuai dengan ketersediaan baterai di pasaran.
7. Mendapatkan spesifikasi baterai untuk kendaraan.

## **BAB IV**

### **PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA**

Pada bab 4 ini berisikan tentang perhitungan dan analisis gaya hambat, pemilihan motor dan baterai yang sesuai dengan kebutuhan kendaraan, karakteristik traksi dan karakteristik daya pada setiap moda berkendara sepeda motor *hybrid*.

#### **4.1 Gaya Hambat Kendaraan**

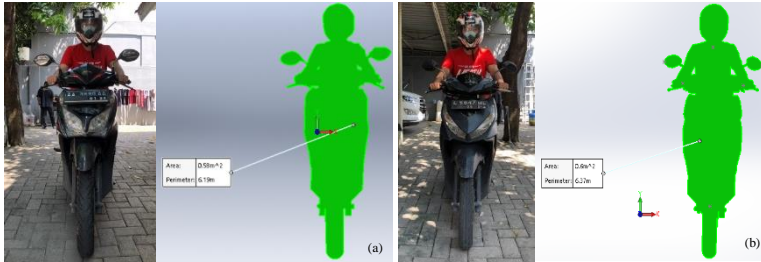
Dalam menentukan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan terlebih dahulu diperlukan untuk menghitung dan melakukan analisis gaya hambat yang mempengaruhi kendaraan, dalam penelitian ini ada 3 gaya hambat yang terjadi yaitu gaya hambat drag, gaya hambat *rolling* dan gaya hambat tanjak. Setelah menghitung gaya hambat yang terjadi maka selanjutnya bisa diketahui kebutuhan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan berdasarkan sumber tenaga yang digunakan.

##### **4.1.1 Gaya Hambat Drag ( $F_d$ )**

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai penentuan faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan gaya hambat drag, perhitungan dan analisis gaya hambat drag dengan variasi kecepatan. Koefisien drag ( $C_d$ ) yang digunakan adalah 0,6 berdasarkan tabel 2.1.

###### **4.1.1.1 Penentuan Luas Frontal Area**

Penentuan luas frontal area untuk kendaraan yang dianalisis yaitu Vario 125cc dan Vario 150cc ditentukan melalui permodelan kedua kendaraan tersebut mengikuti ukuran aslinya dengan menggunakan *software* Solidworks 2018. Setelah permodelan dilakukan maka didapat hasil seperti yang ditunjukkan gambar 4.1.



**Gambar 4. 1** Hasil permodelan frontal area kendaraan dan pengendara  
(a) Vario 125cc (b) Vario 150cc

Didapat hasil bahwa luas penampang Vario 125cc bernilai  $0,58\text{m}^2$  dan Vario 150cc bernilai  $0,6\text{m}^2$

#### 4.1.1.2 Perhitungan Gaya Hambat *Drag*

Setelah menentukan koefisien *drag* dan mengetahui luas frontal area kendaraan, maka bisa dilakukan perhitungan gaya hambat *drag* kendaraan dengan menggunakan persamaan 2.13, berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan gaya hambat *drag* Vario 125cc pada kecepatan 30 km/h.

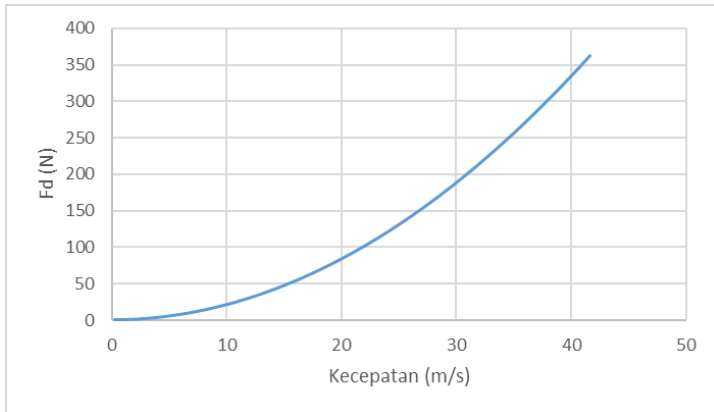
$$F_d = 0,5 \cdot \rho_u \cdot C_D \cdot A_f \cdot V_k^2$$

$$F_d = 0,5 \cdot 1,2 \text{ km}/\text{m}^3 \cdot 0,6 \cdot 0,58 \text{ m}^2 \cdot (8,33 \text{ m}/\text{s})^2$$

$$F_d = 8,7 \text{ N}$$

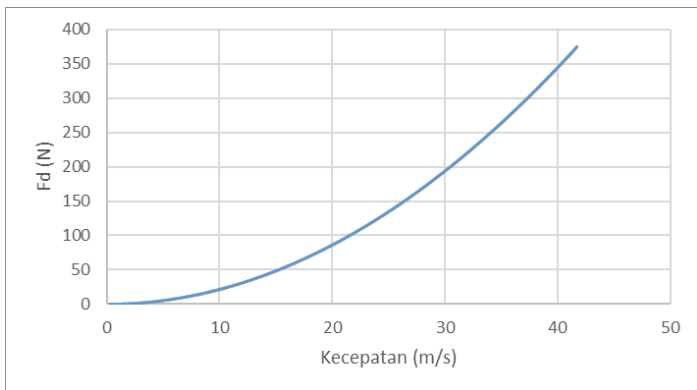
#### 4.1.1.3 Analisis Gaya Hambat *Drag*

Berdasarkan perhitungan gaya hambat yang telah dilakukan, maka bisa didapatkan berbagai nilai gaya hambat drag sesuai dengan variasi kecepatan. Gambar 4.2 menunjukkan hasil plotting gaya hambat *drag* ( $F_d$ ) Vario 125cc terhadap kecepatan berdasarkan hasil perhitungan.



**Gambar 4. 2** Grafik gaya hambat drag Vario 125cc

Pada gambar grafik 4.2 di atas bisa dilihat bahwa gaya hambat *drag* yang terjadi pada Vario 125cc akan bertambah besar seiring dengan bertambahnya kecepatan. Gaya hambat terbesar pada kecepatan 41,6 m/s sebesar 362,5 N. Gambar 4.3 menunjukkan hasil plotting gaya hambat *drag* Vario 150cc terhadap kecepatan berdasarkan hasil perhitungan.



**Gambar 4. 3** Grafik gaya hambat drag Vario 150cc

Pada gambar grafik 4.3 di atas bisa dilihat bahwa gaya hambat *drag* yang terjadi pada Vario 150cc akan bertambah besar seiring dengan bertambahnya kecepatan kendaraan Gaya hambat terbesar pada kecepatan 41,6 m/s sebesar 375,9 N.

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

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai penentuan nilai koefisien *rolling*, perhitungan dari analisis gaya hambat *rolling* dengan variasi sudut kemiringan jalan 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°.

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

Penentuan nilai koefisien *rolling resistance* (fr) ditentukan berdasarkan grafik dari gambar 2.10. Diasumsikan tekanan ban kendaraan adalah 30 psi sehingga berdasarkan grafik tersebut didapat nilai dari  $f_o = 0,01$  dan  $f_s = 0,005$ . Kemudian berdasarkan persamaan 2.14 bisa didapat nilai dari fr. Berikut adalah contoh perhitungan dalam menentukan koefisien *rolling resistance* berdasarkan variasi kecepatan.

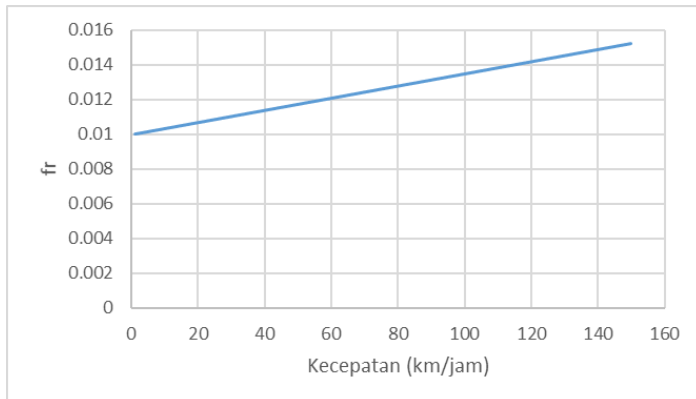
$$fr = f_o + f_s \left( \frac{v}{100} \right)^{2,5}$$

$$fr = 0,01 + 0,05 \left( \frac{10}{100} \right)^{2,5}$$

$$fr = 0,0103$$

Nilai koefisien *rolling resistance* (fr) akan bertambah selaras dengan penambahan kecepatan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4. Dimana nilai fr terkecil adalah pada kecepatan analisis 1 km/jam yaitu 0,01, dan nilai fr terbesar adalah adalah pada kecepatan analisis 150 km/jam yaitu 0,015.





**Gambar 4.4** Grafik koefisien *rolling resistance*

#### 4.1.2.2 Perhitungan Gaya Hambat *Rolling*

Berdasarkan variasi sudut  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$  dan berat total kendaraan sesuai dengan kondisi analisis yang sudah ditentukan yaitu massa kendaraan total diasumsikan 251 kg dengan kondisi dengan pembebanan penumpang dan baterai, maka bisa dilakukan perhitungan gaya hambat *rolling* dengan menggunakan persamaan 2.15, berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan gaya hambat *rolling* pada sudut  $15^{\circ}$  dan kondisi kecepatan kendaraan adalah 10 m/s.

$$F_{rr} = f_r \cdot W \cos \theta$$

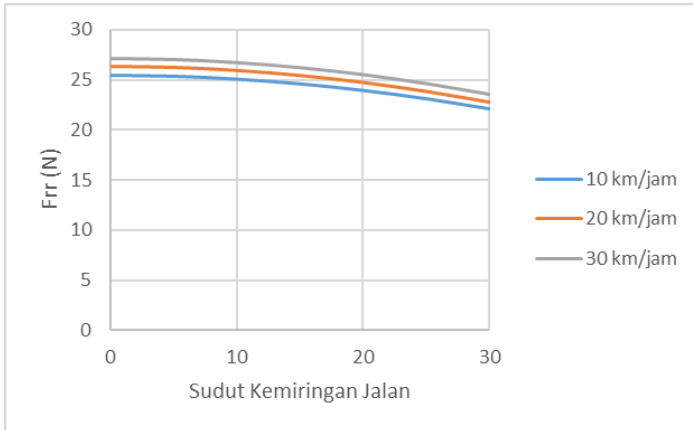
$$F_{rr} = 0,0103 \cdot 251 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos(15)$$

$$F_{rr} = 27,28 \text{ N}$$

#### 4.1.2.3 Analisis Gaya Hambat *Rolling*

Berdasarkan perhitungan gaya hambat *rolling* pada sub bab 4.1.2.2 di atas maka bisa didapatkan berbagai nilai gaya hambat *rolling* sesuai dengan variasi sudut  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,

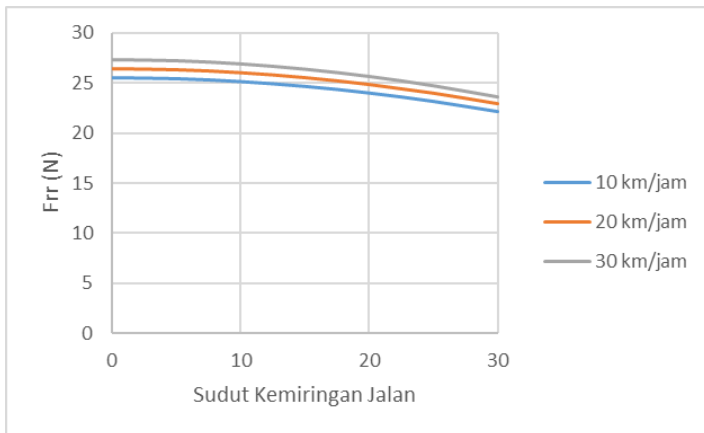
$10^0$ ,  $15^0$ ,  $20^0$ ,  $25^0$ , dan  $30^0$ . Berikut ini pada gambar 4.5 merupakan salah satu contoh hasil plotting gaya hambat *rolling* terhadap sudut dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam pada kendaraan Vario 125cc berdasarkan hasil perhitungan:



**Gambar 4. 5** Grafik gaya hambat *rolling* Vario 125cc

Gaya hambat *rolling* merupakan gaya hambat yang terjadi karena adanya gesekan antara ban dengan jalan, dan besarnya juga dipengaruhi oleh sudut kemiringan jalan. Semakin besar sudut kemiringan jalan maka gaya normal pada kendaraan akan semakin kecil. Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai gaya hambat *rolling* pada Vario 125cc semakin kecil seiring dengan meningkatnya sudut kemiringan jalan. Nilai gaya hambat *rolling* paling kecil terjadi pada sudut kemiringan jalan  $30^0$  yaitu sebesar 22,06 N (10 km/jam), 22,8 N (20 km/jam) dan 23,54 N (30 km/jam). Sedangkan gaya hambat *rolling* paling besar terjadi pada kondisi jalan datar ( $0^0$ ) yaitu sebesar 25,47 N (10 km/jam), 26,3 N (20 km/jam) dan 27,18 N (30 km/jam). Selain itu, karena koefisien *rolling* yang terus meningkat selaras dengan peningkatan kecepatan,

maka gaya hambat *rolling* juga meningkat selaras dengan peningkatan kecepatan kendaraan. Karena itulah berdasarkan grafik di atas gaya hambat *rolling* terbesar terjadi pada kecepatan 30 km/jam. Hal serupa juga terjadi pada kendaraan Vario 150 cc, gambar 4.6 menunjukkan grafik penurunan gaya hambat *rolling* pada Vario 150cc berdasarkan variasi kecepatan dan sudut kemiringan jalan.



**Gambar 4. 6** Gaya hambat *rolling* Vario 150cc

### 4.1.3 Gaya Hambat Gradien (Fg)

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perhitungan gaya hambat gradien dan analisis gaya hambat gradien dengan variasi sudut  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$ .

#### 4.1.3.1 Perhitungan Gaya Hambat Gradien

Berdasarkan variasi sudut  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$  dan berat total kedua kendaran sesuai dengan kondisi analisis dan spesifikasi Vario 125cc dan Vario 150cc yang sudah diterapkan maka bisa dilakukan perhitungan gaya hambat gradien dengan menggunakan persamaan 2.16. Berikut

merupakan salah satu contoh perhitungan gaya hambat gradien Vario 125cc pada sudut  $30^{\circ}$ .

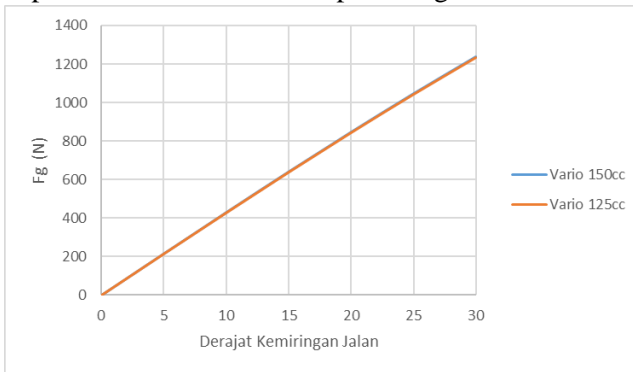
$$Fg = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

$$Fg = 251 \text{ kg} \cdot 9,81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}^2} \cdot \sin(30)$$

$$Fg = 1231,15 \text{ N}$$

#### 4.1.3.2 Analisis Gaya Hambat Gradien

Berdasarkan perhitungan gaya hambat gradien pada subbab 4.1.3.1 di atas maka bisa didapatkan berbagai nilai gaya hambat gradien pada kendaraan Vario 125cc dan Vario 150cc sesuai dengan variasi sudut  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$ . Gambar 4.7 menunjukkan hasil plotting gaya hambat gradien terhadap sudut berdasarkan hasil perhitungan.



**Gambar 4. 7** Grafik gaya hambat gradien

Gaya hambat gradien atau gaya hambat tanjak merupakan gaya hambat yang terjadi ketika kendaraan melaju pada kondisi jalan yang menanjak yang dipengaruhi oleh massa kendaraan, gaya gravitasi dan sudut kemiringan jalan. Berdasarkan gambar 4.7 nilai gaya hambat gradien terkecil pada kedua kendaraan adalah 0 N pada sudut kemiringan jalan

$0^\circ$ . Hal ini dikarenakan pada sudut kemiringan jalan  $0^\circ$  pergerakan kendaraan tidak dipengaruhi oleh gaya gravitasi yang melawan arah pergerakan kendaraan tersebut. Lalu nilai gaya hambat gradien terbesar pada kedua kendaraan adalah pada sudut kemiringan jalan  $30^\circ$  yaitu 1236,06 N untuk vario 150cc dan 1231,15 N untuk Vario 125cc.

#### 4.1.4 Gaya Hambat Total ( $F_r$ Total)

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perhitungan dan analisis gaya hambat total, dimana gaya hambat total ini merupakan penjumlahan dari ketiga gaya hambat, yaitu gaya hambat drag, gaya hambat rolling dan gaya hambat gradien.

##### 4.1.4.1 Perhitungan Gaya Hambat Total

Berdasarkan nilai gaya hambat drag, gaya hambat rolling dan gaya hambat gradien pada perhitungan sebelumnya maka bisa didapatkan gaya hambat total dari setiap variasi sudut  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ , dan  $30^\circ$ . Berikut ini contoh perhitungan gaya hambat total Vario 125cc pada sudut  $30^\circ$  pada kecepatan 60 km/h menggunakan persamaan 2.18 dan 2.19.

$$F_r = F_d + R_r + R_g$$

$$F_r = (0,5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot V k^2) + (f_r \cdot W \cos \theta) + W \sin \theta$$

$$F_r = (0,5 \cdot 1,2 \frac{km}{m^3} \cdot 0,6 \cdot 0,58 m^2 \cdot 16,67^2)$$

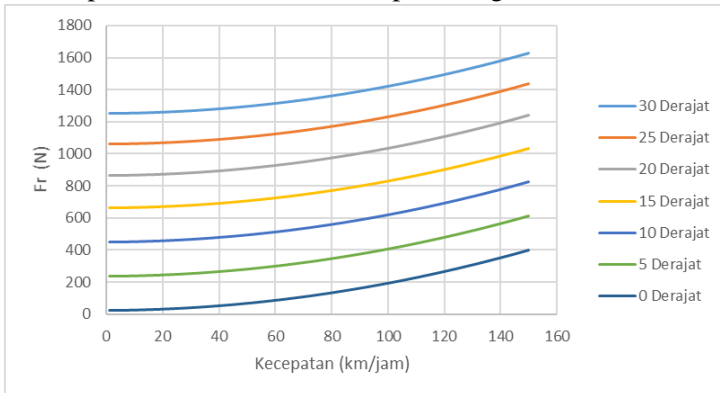
$$+ (0,011 \cdot 251 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \cos 30)$$

$$+ (251 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \sin 30)$$

$$F_r = 1269,2 N$$

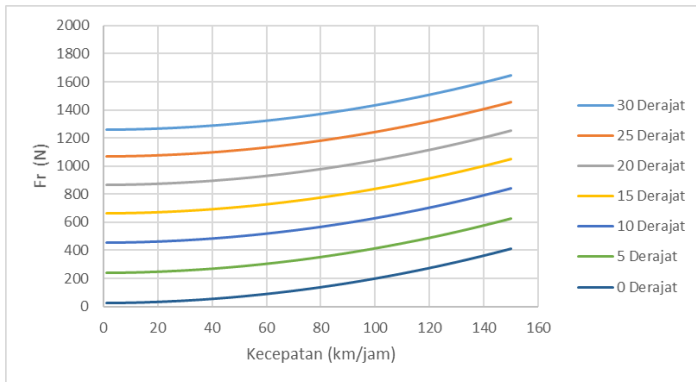
#### 4.1.4.2 Analisis Gaya Hambat Total

Berdasarkan perhitungan gaya hambat total pada subbab 4.1.4.1 diatas maka bisa didapatkan berbagai nilai gaya hambat total sesuai dengan variasi sudut  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ , dan  $30^{\circ}$  dan juga variasi kecepatan. Gambar 4.8 menunjukkan hasil plotting gaya hambat total Vario 125cc terhadap sudut berdasarkan hasil perhitungan:



**Gambar 4. 8** Grafik gaya hambat total Vario 125cc

Berdasarkan grafik di atas dapat dianalisis bahwa semakin besar sudut tanjakan yang dilalui oleh kendaraan maka gaya hambat yang terjadi juga akan semakin besar. Begitu juga sebaliknya, apabila melalui jalan mendatar maka kendaraan akan mengalami gaya hambat yang paling kecil. Maka nilai gaya hambat total terbesar pada sudut  $30^{\circ}$  dengan nilai gaya hambat sebesar 1626,08 N pada kecepatan maksimum analisis 150 km/jam, sedangkan nilai gaya hambat terkecil pada sudut  $0^{\circ}$  yaitu berikisar antara 24 N – 399,94 N. Hal serupa juga terjadi pada Vario 150cc, gambar 4.9 menunjukkan hasil plotting gaya hambat total Vario 150cc terhadap sudut berdasarkan hasil perhitungan.



**Gambar 4. 9** Grafik gaya hambat total Vario 150cc

Berdasarkan grafik di atas gaya hambat total terbesar pada sudut  $30^{\circ}$  dengan nilai gaya hambat sebesar 1643,62 N pada kecepatan maksimum analisis 150 km/jam, sedangkan nilai gaya hambat terkecil pada sudut  $0^{\circ}$  yaitu berkisar antara 24 N – 412 N.

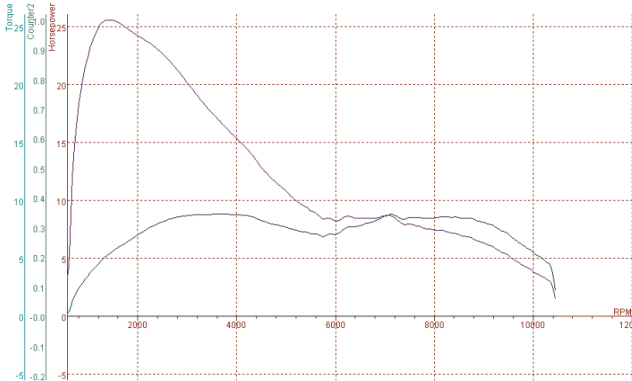
#### 4.2 Karakteristik Traksi Vario 125cc dan Vario 150cc

Untuk mengetahui kebutuhan motor listrik yang akan digunakan, perlu diketahui kemampuan dari Vario 125cc dan Vario 150cc berdasarkan karakteristik traksi masing-masing kendaraan. Untuk mengetahui karakteristik traksi kedua kendaraan diperlukan grafik gaya traksi kendaraan terhadap kecepatan kendaraan. Pada grafik tersebut akan ditunjukkan gaya hambat total yang terjadi pada kendaraan dan gaya traksi yang dapat diberikan oleh kendaraan pada setiap variasi kecepatan kendaraan. Sebelum melakukan perhitungan dan analisis karakteristik traksi dari masing-masing kendaraan, diperlukan data mengenai torsi dan daya yang mampu diberikan tiap mesin pada setiap putaran mesinnya. Berikut adalah data hasil dyno test Vario 125cc dan

Vario 150cc yang berisi data torsi dan daya mesin pada tiap putaran mesin.



Name	HP/gm	N°M/gm	EMH	Temp. (C°)	Humidity (%)	Pressure (mbar)	Date/Time
VARIO 125 STD IT3002	8.8 / 3724	25.56 / 1421	108.8	35.0	85	1000.0	19650200 11.21.07



DATA FOR TEST: VARIO 125 STD IT3002

Comments  
standard

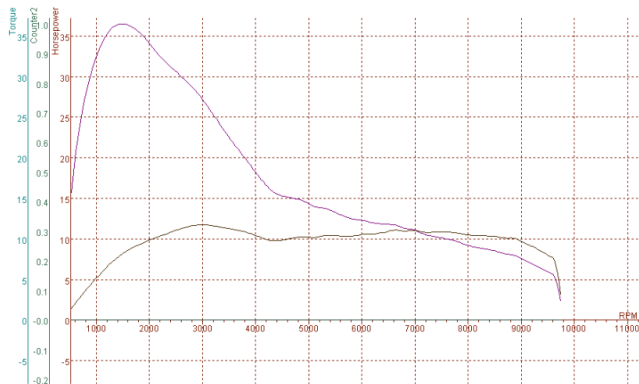
RPM	HP (HP)	TQ (N°M)	T LAMBDA 2 (Volt)	RPM	HP (HP)	TQ (N°M)	T LAMBDA 2 (Volt)
750	1.9	15.85	1.32	9.82	8.6	7.29	7.56
1000	3.5	22.35	1.44	9.84	8.5	7.02	7.92
1250	4.5	24.84	1.52	9.81	8.5	6.78	8.28
<b>1421</b>	<b>5.2</b>	<b>25.56</b>	1.58	9.86	8.1	6.32	8.66
1500	5.6	25.55	1.62	9.84	7.7	5.81	9.08
1750	6.2	25.05	1.70	9.82	7.1	5.24	9.54
2000	7.0	24.23	1.82	9.81	6.2	4.48	10.08
2250	7.6	23.61	1.92	9.81	10000	5.5	3.88
2500	8.2	22.63	2.04	9.86	10250	4.8	3.28
2750	8.5	21.68	2.14	9.81			11.36
3000	8.7	20.35	2.26	9.79			
3250	8.8	18.86	2.40	9.80	<b>WHEEL</b>	8.8 HP	25.6 N°M
3500	8.8	17.59	2.54	9.80	<b>LOSSES</b>	0.0 HP	0.0 N°M
<b>3724</b>	<b>8.8</b>	16.68	2.66	9.80	<b>TOTAL ENGINE:</b>	8.8 HP	25.56 N°M
3750	8.8	16.54	2.68	9.80			
4000	8.8	15.42	2.84	9.79			
4250	8.7	14.30	3.02	9.80			
4500	8.3	12.92	3.20	9.79			
4750	7.9	11.73	3.42	9.80			
5000	7.7	10.62	3.64	9.80			
5250	7.4	9.63	3.90	9.80			
5500	7.1	9.12	4.16	9.80			
5750	6.9	8.41	4.44	9.80			
6000	7.1	8.26	4.74	9.78			
6250	7.7	8.63	5.04	9.78			
6500	7.8	8.44	5.34	9.80			
6750	8.1	8.46	5.64	9.80			
7000	8.6	8.66	5.94	9.80			
7250	8.6	8.34	6.24	9.78			
7500	8.5	7.97	6.56	9.80			
7750	8.5	7.69	6.88	9.78			
8000	8.5	7.44	7.22	9.78			

Gambar 4. 10 Hasil *dynotest* Vario 125cc





Name	HPdyn	N°Mdyn	KMH	Temp. CC	Humidity (%)	Pressure (bar)	Date/Time
VARIO 150 STD002	11.7 (3018)	36.53 (1303)	111.1	35.0	85	1000.0	19052020 11.12.4 0



DATA FOR TEST: VARIO 150 STD002

Comments  
standard

RPM	HP (HP)	TQ (N*M)	T LAMBDA 2 (Volt)	RPM	HP (HP)	TQ (N*M)	T LAMBDA 2 (Volt)		
750	3.1	25.62	1.14	10.00	8250	10.4	8.85	6.78	9.99
1000	5.1	32.28	1.24	9.97	8500	10.3	8.54	7.14	9.98
1250	6.8	35.54	1.32	10.00	8750	10.1	8.10	7.52	9.96
1500	7.9	36.53	1.38	10.00	9000	9.7	7.61	7.88	9.96
<b>1505</b>	<b>7.9</b>	<b>36.53</b>	<b>1.38</b>	10.00	9250	8.9	6.78	8.32	9.96
1750	9.0	36.01	1.46	10.00	9500	8.0	5.90	8.80	9.96
2000	9.7	34.44	1.54	9.98	9750	0.0	0.00	9.50	9.98
2250	10.4	32.55	1.64	10.00					
2500	11.0	30.76	1.74	9.99	<b>WHEEL</b>	11.7 HP	36.5 N*M		
2750	11.5	29.28	1.84	9.99	<b>LOSSES</b>	0.0 HP	0.0 N*M		
3000	11.7	27.58	1.94	10.00	<b>TOTAL ENGINE:</b>	11.7 HP	36.53 N*M		
<b>3018</b>	<b>11.7</b>	27.58	1.94	10.00					
3250	11.6	25.13	2.06	9.99					
3500	11.3	22.58	2.20	10.00					
3750	11.0	20.51	2.34	9.98					
4000	10.4	18.50	2.50	9.98					
4250	9.9	16.50	2.68	9.99					
4500	9.8	15.50	2.88	10.00					
4750	10.1	14.95	3.08	9.99					
5000	10.2	14.34	3.28	10.00					
5250	10.3	13.82	3.50	10.00					
5500	10.4	13.29	3.72	10.00					
5750	10.4	12.63	3.96	9.99					
6000	10.5	12.32	4.20	9.99					
6250	10.6	11.95	4.44	10.00					
6500	10.9	11.79	4.72	10.00					
6750	11.0	11.44	4.98	10.00					
7000	11.0	11.08	5.24	9.98					
7250	10.8	10.45	5.52	9.97					
7500	10.8	10.15	5.82	10.00					
7750	10.8	9.79	6.12	9.97					
8000	10.5	9.23	6.44	9.96					

Gambar 4. 11 Hasil *dynotest* Vario 150cc

Berdasarkan gambar 4.10 didapatkan data bahwa mesin Vario 125cc mampu menghasilkan torsi maksimum sebesar 25,56 Nm dan daya maksimum sebesar 8,8 Hp. Lalu berdasarkan gambar 4.11 didapatkan data bahwa mesin Vario 150cc mampu menghasilkan torsi maksimum 36, 53 Nm dan daya maksimum sebesar 11,7 Hp.

#### 4.2.1 Perhitungan Kecepatan Vario 125cc dan Vario 150cc

Dalam menentukan karakteristik traksi pada tiap kendaraan diperlukan perhitungan kecepatan kendaraan di tiap transmisi berdasarkan variasi putaran mesin pada kendaraan Vario 125c dan Vario 150cc. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui kecepatan maksimum yang mampu ditempuh oleh kendaraan. Berikut merupakan contoh perhitungan kecepatan Vario 125cc dan Vario 150cc pada rasio CVT level 2 dan pada putaran mesin 2000 rpm, dengan menggunakan spesifikasi kendaraan yang sudah ada.

➤ Vario 125cc

$$Vk = \frac{\pi \cdot R \cdot Ne}{30 \cdot Km \cdot It \cdot Ig}$$

$$Vk = \frac{3,14 \cdot 0,258 \cdot 2000}{30 \cdot 10,552 \cdot 2,32}$$

$$Vk = 2,206 \text{ m/s}$$

➤ Vario 150cc

$$Vk = \frac{\pi \cdot R \cdot Ne}{30 \cdot Km \cdot It \cdot Ig}$$

$$Vk = \frac{3,14 \cdot 0,257 \cdot 2000}{30 \cdot 9,996 \cdot 2,32}$$

$$Vk = 2,32 \text{ m/s}$$

#### 4.2.2 Perhitungan Gaya Traksi Vario 125cc dan Vario 150cc

Setelah menghitung kecepatan kendaraan di tiap transmisi pada setiap putaran mesin, tahap selanjutnya adalah menghitung gaya traksi yang dapat diberikan di tiap transmisi pada tiap putaran mesin pada kendaraan Vario 125cc dan Vario 150cc. Efisiensi *drivetrain* (Etr) dan efisiensi CVT (Etc) ditentukan berdasarkan tabel 2.4. Berikut adalah contoh perhitungan gaya traksi pada Vario 125cc dan Vario 150cc pada rasio CVT level 2 dan pada putaran mesin 2000 rpm dengan menggunakan persamaan 2.30.

- Vario 125cc

$$F_t = \left( \frac{Ivt \cdot It \cdot Ig \cdot Te}{R} \right) Etr \cdot Etc$$

$$F_t = \left( \frac{2,32 \cdot 10,522 \cdot 24,23}{0,258} \right) 0,97 \cdot 0,86$$

$$F_t = 1917,9 \text{ N}$$

- Vario 150cc

$$F_t = \left( \frac{Ivt \cdot It \cdot Ig \cdot Te}{R} \right) Etr \cdot Etc$$

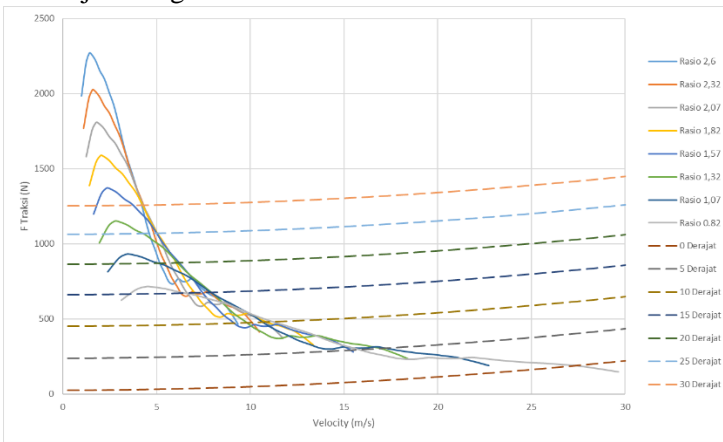
$$F_t = \left( \frac{2,32 \cdot 9,996 \cdot 34,44}{0,257} \right) 0,97 \cdot 0,86$$

$$F_t = 2592,47 \text{ N}$$

#### 4.2.3 Analisis Karakteristik Traksi Vario 125cc dan Vario 150cc

Setelah mengetahui kecepatan kendaraan dan gaya traksi pada tiap tingkat transmisi pada kedua kendaraan, maka

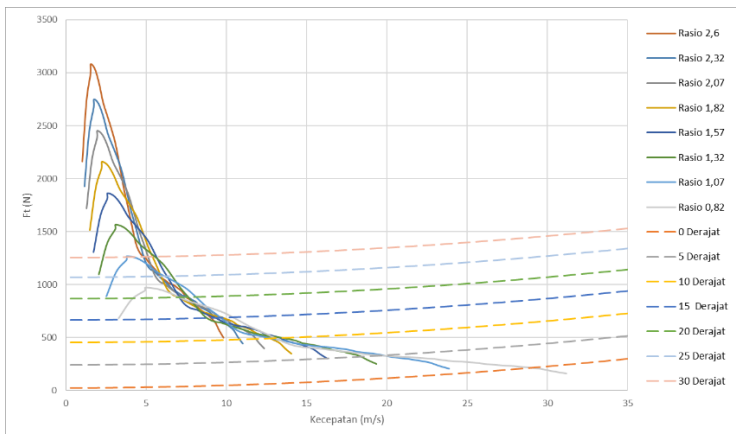
bisa dibuat grafik gaya traksi berdasarkan rasio transmisi yang dipengaruhi oleh gaya hambat total kendaraan. Pada grafik karakteristik traksi dapat dilihat kemampuan kendaraan untuk mencapai suatu kecepatan maksimum pada suatu kondisi gaya hambat tertentu. Kecepatan maksimum didapat dari perpotongan garis antara gaya traksi dengan garis gaya hambat, lalu dari perpotongan tersebut ditarik garis lurus ke bawah untuk mendapatkan kecepatan maksimum. Gambar 4.12 menunjukkan grafik karakteristik traksi Vario 125cc.



**Gambar 4.12** Karakteristik Traksi Vario 125

Berdasarkan grafik di atas didapatkan bahwa Vario 125cc mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 4,44 m/s saat melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 30 derajat, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 25 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 5,27 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 20 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 6,36 m/s. Selanjutnya untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 15 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 8,05 m/s, kemudian untuk

melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 10 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 11,38 m/s, lalu untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 5 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 17,22 m/s. Lalu kecepatan maksimum Vario 125cc saat melewati jalan datar adalah 27,5 m/s. Gambar 4.13 menunjukkan grafik karakteristik traksi Vario 150cc.



**Gambar 4. 13** Grafik karakteristik Vario 150cc

Berdasarkan grafik di atas didapatkan bahwa Vario 150cc mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 5,27 m/s saat melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 30 derajat, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 25 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 6,66 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 20 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 8,33 m/s. Selanjutnya untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 15 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 10,55 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total

dengan sudut tanjak 10 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 13,61 m/s, lalu untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 5 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 19,77 m/s. Lalu kecepatan maksimum Vario 150cc saat melewati jalan datar adalah 28,88 m/s.

### 4.3 Karakteristik Daya Vario 125cc dan Vario 150cc

Karakteristik daya dari Vario 125cc dan Vario 150cc perlu diketahui untuk mendapatkan data seberapa besar *power* yang dapat diberikan oleh masing-masing kendaraan untuk memenuhi kebutuhan daya yang dibutuhkan akibat adanya gaya hambat.

#### 4.3.1 Perhitungan Daya Vario 125cc dan Vario 150cc

Setelah mengetahui gaya traksi yang bisa diberikan pada tiap tingkat kecepatan pada masing-masing kendaraan, maka bisa dihitung daya yang mampu diberikan oleh kendaraan tersebut dengan persamaan 2.26. Berikut adalah contoh perhitungan daya yang dapat diberikan oleh masing-masing kendaraan pada level tingkat transmisi kedua pada putaran mesin 3000 rpm.

➤ Vario 125cc

$$P = ft.Vk$$

$$P = 1610,78 \text{ N} \cdot 3,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 5330,4 \text{ W} = 5,33 \text{ kW}$$

➤ Vario 150cc

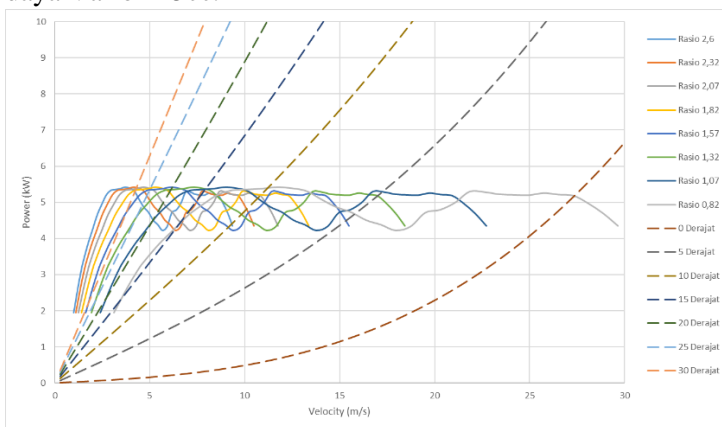
$$P = ft.Vk$$

$$P = 2076,08 \text{ N} \cdot 3,47 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 7224,2 \text{ W} = 7,22 \text{ kW}$$

### 4.3.2 Analisis Karakteristik Daya Vario 125cc dan Vario 150cc

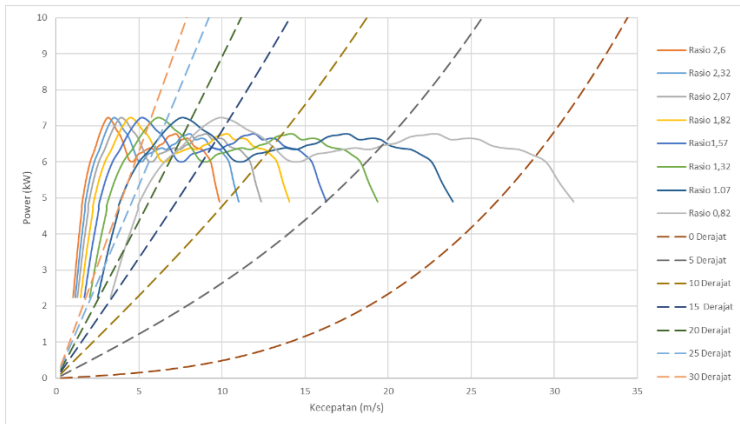
Setelah mengetahui daya yang dihasilkan pada tiap tingkat transmisi dan kecepatan pada kedua kendaraan, maka bisa dibuat grafik daya berdasarkan rasio transmisi yang dipengaruhi oleh gaya hambat total kendaraan. Pada grafik karakteristik daya dapat dilihat daya yang dihasilkan kendaraan untuk melawan suatu kondisi gaya hambat tertentu dan kecepatan maksimum yang dapat ditempuh. Kecepatan maksimum didapat dari perpotongan garis antara garis daya dengan garis gaya hambat, lalu dari perpotongan tersebut ditarik garis lurus ke bawah untuk mendapatkan kecepatan maksimum. Gambar 4.14 menunjukkan grafik karakteristik daya Vario 125cc.



**Gambar 4. 14** Grafik karakteristik daya Vario 125cc

Berdasarkan grafik di atas didapatkan bahwa untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 30 derajat Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 5,59 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 4,44 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 25 derajat Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 5,34 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 5,27 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 20 derajat Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 5,34 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 6,11 m/s. Selanjutnya untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 15 derajat Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 5,45 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 8,05 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 10 derajat Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 5,34 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 11,11 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 5 derajat Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 5,27 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 17,22 m/s. Lalu pada saat berjalan di jalan datar Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 5,11 kW dan menempuh kecepatan maksimum sebesar 27,22 m/s. Gambar 4.15 menunjukkan grafik karakteristik daya Vario 150cc.





**Gambar 4. 15** Grafik karakteristik daya Vario 150cc

Berdasarkan grafik di atas didapatkan bahwa untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 30 derajat Vario 150cc menghasilkan daya sebesar 6,64 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 5,27 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 25 derajat Vario 150cc menghasilkan daya sebesar 6,27 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 6,66 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 20 derajat Vario 150cc menghasilkan daya sebesar 6,62 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 8,33m/s. Selanjutnya untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 15 derajat Vario 150cc menghasilkan daya sebesar 6,67 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 10,55 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 10 derajat Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 6,77 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 13,61 m/s, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 5 derajat Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 19,72 kW dan mampu menempuh kecepatan maksimum

sebesar 19,77 m/s. Lalu pada saat berjalan di jalan datar Vario 125cc menghasilkan daya sebesar 6,17 kW dan menempuh kecepatan maksimum sebesar 28,88 m/s.

#### 4.4 Motor Listrik

Setelah mengetahui kemampuan Vario 125cc dan Vario 150cc berdasarkan karakteristik traksi dan daya, maka bisa dicari kebutuhan daya yang harus dipenuhi oleh motor listrik. Motor listrik harus bisa memenuhi kebutuhan daya dari Vario 125cc untuk minimal menyamai performa dari Vario 150cc. Parameter yang akan dituju adalah kecepatan maksimum Vario 150cc pada jalan datar dan kecepatan maksimum pada saat tanjakkan maksimum yaitu 30°. Tabel 4.1 menunjukkan perbandingan performa Vario 125cc dan Vario 150cc setelah dilakukan analisis karakteristik traksi dan daya.

**Tabel 4. 1** Performa Vario 125cc dan Vario 150cc

	Vario 125cc	Vario 150cc
Vmaks jalan datar	27,22 m/s	28,88 m/s
Ft maks jalan datar	191 N	213,91 N
Power jalan datar	5,11 kW	6,17 kW
Vmaks tanjakkan 30°	4,44 m/s	5,27 m/s
Ft tanjakkan 30°	1257,78 N	1264,89 N
Power tanjakkan 30°	5,59 kW	6,64 kW

##### 4.4.1 Perhitungan Kebutuhan Daya dan Torsi Motor Listrik

Setelah mengetahui parameter yang dituju maka bisa dihitung untuk kebutuhan daya motor listrik. Parameter pertama yang dituju adalah sepeda motor *hybrid* mampu menempuh kecepatan maksimum saat menanjak 5,27 m/s pada tanjakkan 30°. Pertama harus diketahui kebutuhan daya saat kendaraan melaju dengan kecepatan maksimum 5,27 m/s pada saat tanjakkan 30°. Berikut adalah perhitungan kebutuhan daya tersebut berdasarkan persamaan 2.26.

$$Pd \text{ (Power Demand)} = Fr.Vk$$

$$Pd = ((0,5 \cdot \rho u \cdot Cd \cdot Af \cdot Vk^2) + (fr \cdot W \cos \theta) + W \sin \theta) \cdot Vk$$

$$Pd = (0,5 \cdot 1,2 \frac{km}{m^3} \cdot 0,6 \cdot 0,58 m^2 \cdot 5,27^2) + (0,011 \cdot 251 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \cos 30) + (251 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \sin 30) \cdot 5,27 m/s$$

$$Pd = 1259,7 N \cdot 5,27 m/s$$

$$Pd = 6648,42 W = 6,64 Kw$$

$$Td \text{ (Torque Demand)} = Fr \cdot R$$

$$Td = 1259,7 N \cdot 0,258 m$$

$$Td = 325 Nm$$

Kebutuhan daya kendaraan untuk melaju dengan kecepatan 5,27 m/s pada saat tanjakkan 30° ini harus dipenuhi oleh mesin dan motor listrik sesuai dengan persamaan 2.1. Maka dari itu perlu diketahui daya dan torsi yang mampu diberikan oleh Vario 125cc pada saat tanjakkan 30° dengan kecepatan 5,2 m/s agar bisa mengetahui kekurangan daya dan torsi yang harus dipenuhi oleh motor listrik. Berdasarkan perhitungan karakteristik traksi dan daya pada sub bab sebelumnya didapatkan bahwa Vario 125cc memberikan daya sebesar 4,2 kW dan gaya traksi sebesar 842 N pada kecepatan 5,27 m/s di tingkat transmisi 1. Berikut adalah perhitungan

daya dan torsi yang harus dipenuhi oleh motor listrik berdasarkan persamaan 2.1.

$$P_{demand} = P_e + P_m$$

$$P_m = P_{demand} - P_e$$

$$P_m = 6,64 \text{ kW} - 4,2 \text{ kW}$$

$$P_m = 2,4 \text{ kW}$$

$$T_{demand} = T_e + T_m$$

$$T_m = T_{demand} - (F_t \cdot R)$$

$$T_m = 325 \text{ Nm} - (217,2 \text{ m})$$

$$T_m = 107,7 \text{ Nm}$$

Parameter kedua yang dituju adalah sepeda motor *hybrid* mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 28,88 m/s pada jalan datar. Sama seperti sebelumnya, harus diketahui kebutuhan daya saat kendaraan melaju dengan kecepatan maksimum 28,88 m/s pada jalan datar. Berikut adalah perhitungan kebutuhan daya tersebut berdasarkan persamaan 2.26.

$$P_d = F_r \cdot V_k$$

$$P_d = ((0,5 \cdot \rho_u \cdot C_d \cdot A_f \cdot V_k^2) + (f_r \cdot W)) \cdot V_k$$

$$P_d = \left(0,5 \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,6 \cdot 0,58 \text{ m}^2 \cdot 28,88^2\right)$$

$$+ \left(0,013 \cdot 251 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot 28,88 \text{ m/s}$$

$$P_d = 207,7 \text{ N} \cdot 28,88 \text{ m/s}$$

$$Pd = 6002 \text{ W} = 6 \text{ kW}$$

$$Td = Fr \cdot R$$

$$Td = 207,7 \text{ N} \cdot 0,258 \text{ m}$$

$$Td = 53,6 \text{ Nm}$$

Kebutuhan daya kendaraan untuk melaju dengan kecepatan 28,88 m/s pada saat jalan datar ini harus dipenuhi oleh mesin dan motor listrik sesuai dengan persamaan 2.1. Maka dari itu perlu diketahui daya dan torsi yang mampu diberikan oleh Vario 125cc pada kecepatan 28,88 m/s saat jalan datar agar bisa mengetahui kekurangan daya dan torsi yang harus dipenuhi oleh motor listrik. Berdasarkan perhitungan karakteristik traksi dan daya pada sub bab sebelumnya didapatkan bahwa Vario 125cc memberikan daya sebesar 4,6 kW dan gaya traksi sebesar 162 N pada kecepatan 28,88 m/s di tingkat transmisi tertinggi. Berikut adalah perhitungan daya yang harus dipenuhi oleh motor listrik berdasarkan persamaan 2.1.

$$Pdemand = Pe + Pm$$

$$Pm = Pdemand - Pe$$

$$Pm = 6 \text{ kW} - 4,6 \text{ kW}$$

$$Pm = 1,4 \text{ kW}$$

$$Tdemand = Te + Tm$$

$$T_m = T_{demand} - (F_t \cdot R)$$

$$T_m = 53 \text{ Nm} - (162 \text{ N} \cdot 0,258 \text{ m})$$

$$T_m = 11,2 \text{ Nm}$$

Parameter ketiga yang dituju adalah sepeda motor *hybrid* mampu menempuh kecepatan maksimum 40 km/jam pada saat moda murni murni penggerak listrik di jalan datar. Berdasarkan persamaan 2.3, kebutuhan *power* dari kendaraan harus dipenuhi oleh motor listrik. Berikut adalah perhitungan kebutuhan daya dan torsi motor listrik untuk menempuh kecepatan maksimum 40 km/jam pada jalan datar.

$$P_d = F_r \cdot V_k$$

$$P_d = ((0,5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot V_k^2) + (f_r \cdot W)) \cdot V_k$$

$$P_d = (0,5 \cdot 1,2 \text{ km/m}^3 \cdot 0,6 \cdot 0,58 \text{ m}^2 \cdot 11,11^2)$$

$$+ (0,011 \cdot 251 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2) \cdot 11,11 \text{ m/s}$$

$$P_d = 53,8 \text{ N} \cdot 11,11 \text{ m/s}$$

$$P_d = 598 \text{ W} = 0,59 \text{ kW}$$

$$P_m = P_d = 0,59 \text{ Kw}$$

$$T_d = F_r \cdot R$$

$$T_d = 53,8 \text{ N} \cdot 0,258 \text{ m}$$

$$T_d = 13,88 \text{ Nm}$$

$$T_m = T_d = 13,88 \text{ Nm}$$

Setelah menghitung berdasarkan 3 parameter yang diinginkan maka didapat kebutuhan motor listrik adalah sebagai berikut.

**Tabel 4. 2** Kebutuhan daya motor listrik

Kondisi Kendaraan	Kebutuhan Daya Motor	Kebutuhan Torsi Motor
$V_{maks} = 5,27 \text{ m/s}, \theta = 30^\circ$ (moda <i>hybrid</i> )	2,4 kW	107,7 Nm
$V_{maks} = 28,88 \text{ m/s}, \theta = 0^\circ$ (moda <i>hybrid</i> )	1,4 kW	11,2 Nm
$V_{maks} = 11,11 \text{ m/s}, \theta = 0^\circ$ (moda murni penggerak listrik)	0,59 kW	13,88 Nm

#### 4.4.2 Pemilihan Motor Listrik

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan daya motor listrik maka bisa dilakukan survey untuk menentukan motor listrik yang memenuhi bisa memenuhi kebutuhan kendaraan. Berdasarkan hasil survey didapatkan motor listrik yang sesuai yaitu motor listrik QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC Hub Motor. Gambar 4.16 menunjukkan spesifikasi dan penampakan dari motor listrik yang diinginkan.



**Gambar 4. 16** Spesifikasi QS 2000W 273 28H V2 72V  
BLDC Hub Motor

QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC Hub Motor ini sudah sesuai karena bisa memenuhi kebutuhan sepeda motor *hybrid* berdasarkan analisis sebelumnya. Motor listrik QS ini memiliki *rated power* sebesar 2 kW dengan efisiensi perkiraan sebesar 88%, dan dengan voltase sebesar 72V. Motor QS ini juga dipilih karena motor listrik ini bisa berperan sebagai generator, mendukung untuk sistem *regenerative brake* dan bisa diaplikasikan pada kendaraan murni penggerak listrik seperti sepeda motor listrik. Tabel 4.1 menunjukkan kemampuan dari motor listrik QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC Hub Motor. Torsi maksimum yang bisa dihasilkan

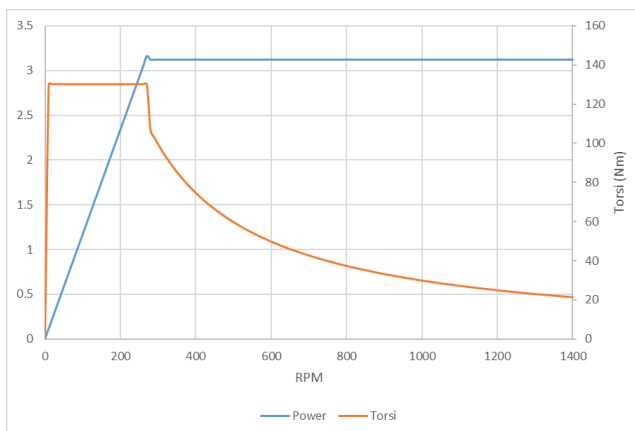


adalah sebesar 130 Nm pada putaran *base* 270 rpm dengan daya yang dihasilkan 3,1 kW.

**Tabel 4. 3** Kemampuan QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC *Hub Motor*

特征点	电压	电流	输入功率	转矩	转速	输出功率	效率
	V	A	W	N.m	rpm	W	%
最大输出功率点(Pout_max)	72,76	49.60	3609	130.0	270	3128	86,9
最大转矩点(Torque_max)	72,76	49.60	3609	130.0	270	3128	86,9

Setelah menentukan motor listrik QS 2000W 273 28H V2 48V BLDC *Hub Motor* sebagai motor yang akan digunakan, langkah selanjutnya memplotting data torsi dan daya dari motor listrik agar mendapatkan grafik torsi dan grafik daya dari motor listrik QS 2000W 273 28H V2 48V BLDC *Hub Motor*. Seperti yang diketahui sebelumnya bahwa torsi maksimum yang bisa dihasilkan adalah sebesar 130 Nm pada putaran *base* 270 rpm dengan daya yang dihasilkan 3,1 kW. Berdasarkan data tersebut dan dapat dibuat grafik torsi dan daya dari motor listrik. Gambar 4.17 menunjukkan grafik dari karakteristik motor listrik QS 2000W 273 28H V2 48V BLDC *Hub Motor*.



**Gambar 4. 17** Karakteristik QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC *Hub Motor*

Grafik tersebut dibuat berdasarkan pendekatan karakteristik motor listrik, dimana torsi motor listrik memiliki nilai maksimum (130 Nm) pada putaran awal sampai pada putaran base (270 rpm), kemudian turun secara hiperbolik sampai putaran maksimumnya dan daya motor listrik mengalami kenaikan sampai mencapai daya maksimum (3,1 kW) dari putaran awal sampai putaran basenya (270 rpm), kemudian akan cenderung konstan setelah melewati putaran basenya.

#### **4.5 Karakteristik Traksi Sepeda Motor *Hybrid***

Pada sub bab ini akan dilakukan perhitungan dan analisis gaya traksi pada setiap moda berkendara beserta pembahasan grafik karakteristik traksi yang sudah didapatkan. Moda berkendara yang akan dianalisis pada sub bab ini adalah moda murni penggerak listrik dan moda hybrid. Moda penggerak mesin dan isi accu dianalisis apabila sudah mendapat spesifikasi baterai yang akan digunakan.

##### **4.5.1 Karakteristik Traksi Moda Murni Penggerak Listrik**

Dalam perancangan sepeda motor *hybrid* ini moda murni penggerak listrik akan digunakan saat di dalam kota dimana kendaraan tidak membutuhkan kecepatan yang tinggi untuk berjalan, kecepatan maksimum yang diharapkan untuk moda murni penggerak listrik adalah 40 km/jam. Motor listrik akan dipasang di roda belakang tanpa *gearbox* atau dengan kata lain tidak menerapkan tingkatan transmisi. Untuk menentukan karakteristik traksi pada moda murni murni penggerak listrik diperlukan perhitungan kecepatan *base* ( $V_{base}$ ) dan kecepatan maksimum ( $V_{max}$ ) dari kendaraan. Berikut ini adalah perhitungan  $V_{base}$  dan  $V_{max}$  dari kendaraan berdasarkan 2.39.

$$Vb = \frac{\pi \cdot R \cdot Nb}{30 \cdot It \cdot It} \cdot \frac{3600 s}{1000 m} \left( \frac{km}{jam} \right)$$

$$Vb = \frac{3,14 \cdot 0,258 m \cdot 270rpm}{30 \cdot 1 \cdot 1} \cdot \frac{3600s}{1000m} \cdot \left( \frac{km}{jam} \right)$$

$$Vb = 21,87 \frac{km}{jam}$$

$$Vmax = \frac{\pi \cdot R \cdot Nmax}{30 \cdot It \cdot It} \cdot \frac{3600 s}{1000 m} \left( \frac{km}{jam} \right)$$

$$Vmax = \frac{3,14 \cdot 0,258 m \cdot 1400rpm}{30 \cdot 1 \cdot 1} \cdot \frac{3600s}{1000m} \cdot \left( \frac{km}{jam} \right)$$

$$Vmax = 114,3 \frac{km}{jam}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan bahwa nilai kecepatan base ( $V_{base}$ ) kendaraan adalah 21,87 km/jam pada putaran motor 270 rpm dan nilai kecepatan maksimum ( $V_{max}$ ) adalah 114,3 km/jam pada putaran motor 1400 rpm. Namun nilai kecepatan maksimum yang sebenarnya akan didapat dari perhitungan dan analisis gaya traksi pada kendaraan yang dipengaruhi gaya hambat total, dimana nanti akan didapat perpotongan garis gaya traksi dengan gaya hambat pada grafik karakteristik traksi. Untuk mengetahui karakteristik traksi dari kendaraan pada moda murni penggerak listrik perlu diketahui gaya traksi maksimum ( $F_{tmax}$ ) dan gaya traksi minimum ( $F_{tmin}$ ) yang dapat diberikan oleh kendaraan. Berikut adalah perhitungan gaya traksi maksimum dan minimum pada moda murni penggerak listrik berdasarkan persamaan 2.38.

$$Ft_{max} = \frac{Km. It. Ig. Tm_{max}}{R} Ekm. Edt$$

$$Ft_{max} = \frac{1. 1. 1. 130 Nm}{0,258} 1. 1$$

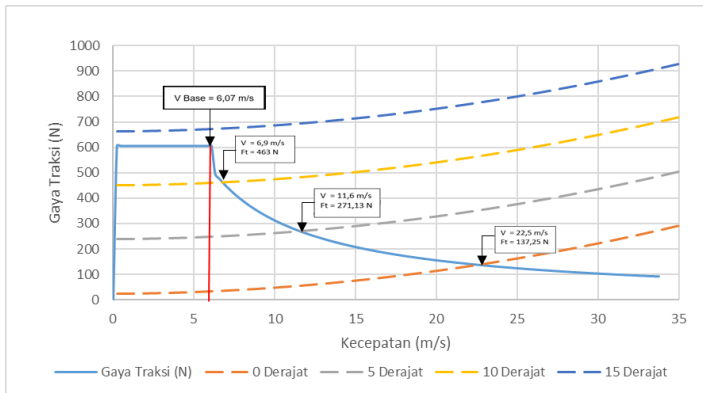
$$Ft_{max} = 604,65 N$$

$$Ft_{min} = \frac{Km. It. Ig. Tm_{min}}{R} Ekm. Edt$$

$$Ft_{min} = \frac{1. 1. 1. 21,29 Nm}{0,258} 1. 1$$

$$Ft_{min} = 99,03 N$$

Berdasarkan nilai torsi maksimum dan minimum pada spesifikasi motor listrik QS 2000W 273 28H V2 48V BLDC *Hub Motor* bisa didapatkan gaya traksi maksimum dan minimum seperti perhitungan di atas. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai gaya traksi maksimum ( $Ft_{max}$ ) adalah 604,65 N dan gaya traksi minimum ( $Ft_{min}$ ) adalah 99,03 N. Langkah selanjutnya adalah melakukan plotting gaya traksi dan gaya hambat total kendaraan terhadap kecepatan kendaraan untuk mengetahui kemampuan sepeda motor *hybrid* pada moda murni penggerak listrik. Gambar 4.18 menunjukkan grafik karakteristik traksi sepeda motor *hybrid* pada moda murni murni penggerak listrik.



**Gambar 4.18** Grafik karakteristik traksi moda murni penggerak listrik

Berdasarkan grafik karakteristik traksi sepeda motor *hybrid* pada moda murni penggerak listrik didapatkan bahwa kendaraan mampu untuk melawan gaya hambat dari sudut 0 derajat sampai 10 derajat. Saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 22,5 m/s atau 80 km/jam dengan gaya traksi sebesar 137,25 N. Selanjutnya ketika melawan gaya hambat 5 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 11,6 m/s atau 41,76 km/jam dengan gaya traksi sebesar 271,13 N, dan yang terakhir ketika melawan gaya hambat 10 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 6,9 m/s atau 24,84 km/jam dengan gaya traksi sebesar 463 N. Sepeda motor *hybrid* tidak mampu lagi untuk melawan gaya hambat yang lebih dari 10 derajat karena pada grafik tidak terjadi perpotongan antara garis gaya traksi dan garis gaya hambat 15 derajat. Dengan hasil ini maka tujuan kendaraan mampu berjalan dengan kecepatan maksimum 40 km/jam pada jalan datar dengan

moda murni murni penggerak listrik bisa terpenuhi. Dengan kondisi ini juga maka kecepatan maksimum yang diterapkan pada moda murni elektrik adalah 80 km/jam.

#### **4.5.2 Karakteristik Traksi Moda *Hybrid***

Dalam analisa perhitungan karakteristik traksi moda hybrid, diasumsikan kendaraan beroperasi dari kecepatan 0 sampai kecepatan maksimum seluruhnya menggunakan moda hybrid, hal ini dilakukan untuk memudahkan perhitungan. Moda *hybrid* akan digunakan saat kendaraan membutuhkan daya dan torsi yang besar untuk melawan gaya hambat, seperti pada saat menanjak dan untuk mencapai suatu kecepatan maksimum tertentu. Kendaraan diharapkan mampu menanjak pada tanjakan 30 derajat dengan kecepatan maksimum 5,27 m/s atau 19 km/jam dan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 28,88 m/s atau 104 km/jam pada jalan datar. Dalam hal ini mesin dan motor listrik yang akan memberikan gaya traksi pada kendaraan. Karena tidak merubah rasio dan konstruksi transmisi, maka kecepatan kendaraan hanya tetap bergantung pada putaran mesin dan rasio transmisi yang sudah dibahas pada sub bab 4.2.1.

Untuk menentukan karakteristik traksi pada moda *hybrid* diperlukan perhitungan gaya traksi *hybrid* ( $F_{th}$ ) dimana gaya traksi *hybrid* adalah penggabungan gaya traksi yang diberikan oleh mesin ( $F_{te}$ ) dan gaya traksi yang diberikan oleh motor listrik ( $F_{tm}$ ). Motor listrik yang digunakan adalah hub motor yang langsung terhubung dengan roda belakang, maka performa dari motor listrik tidak dipengaruhi oleh efisiensi mekanik, hanya dipengaruhi oleh efisiensi dari motor listrik itu sendiri. Berikut ini adalah contoh perhitungan gaya traksi *hybrid* berdasarkan persamaan 2.36 pada kondisi mesin beroperasi pada putaran 3000 rpm pada rasio CVT level 1, dimana pada kondisi tersebut mesin memberikan gaya traksi

sebesar 1805 N, motor listrik memberikan gaya traksi sebesar 503,8 N dan kecepatan kendaraan adalah 2,95 m/s

$$Ft_h = Ft_e + Ft_m$$

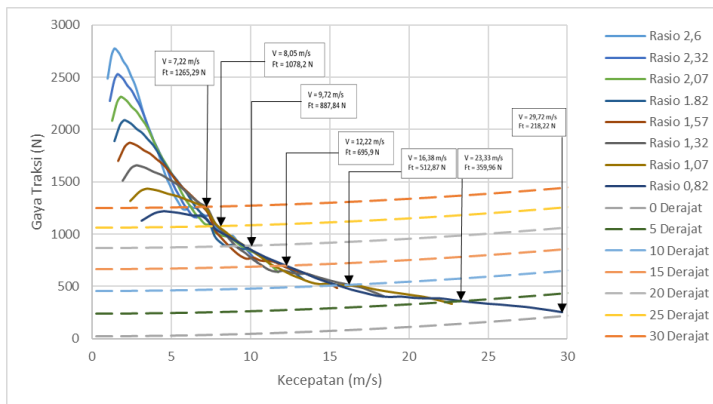
$$Ft_h = \left( \frac{Ivt \cdot It \cdot Ig \cdot Te}{R} \right) \text{Etr. Etc} + \left( \frac{Tm}{R} \right)$$

$$Ft_h = \left( \frac{2,6 \cdot 10,522 \cdot 20,35}{0,258} \right) 0,97 \cdot 0,86 + \left( \frac{130}{0,258} \right)$$

$$Ft_h = 1805,19 \text{ N} + 503,87 \text{ N}$$

$$Ft_h = 2309,06 \text{ N}$$

Setelah dilakukan perhitungan gaya traksi *hybrid* ( $Ft_h$ ) pada setiap rasio CVT dan pada setiap kecepatan kendaraan, maka bisa dibuat grafik karakteristik traksi moda *hybrid* terhadap variasi gaya hambat total kendaraan. Gambar 4.19 menunjukkan grafik karakteristik traksi moda *hybrid* dari kendaraan.



**Gambar 4. 19** Grafik karakteristik traksi moda hybrid

Berdasarkan grafik di atas didapatkan pada moda *hybrid*, sepeda motor *hybrid* mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 7,22 m/s dengan gaya traksi sebesar

1265,29 N saat melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 30 derajat, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 25 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 8,05 m/s dengan gaya traksi sebesar 1078,2 N. Selanjutnya untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 20 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 9,72 m/s dengan gaya traksi sebesar 887,84 N, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 15 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 12,22 m/s dengan gaya traksi sebesar 695,9 N. Selanjutnya untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 10 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 16,38 m/s dengan gaya traksi sebesar 512,87 N, lalu untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 5 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 23,33 m/s dengan gaya traksi sebesar 359,96 N. Lalu kecepatan maksimum sepeda motor *hybrid* saat melewati jalan datar adalah 29,72 m/s dengan gaya traksi sebesar 218,22 N. Dengan hasil ini maka tujuan kendaraan mampu menanjak pada tanjakan 30 derajat dengan kecepatan maksimum 5,27 m/s dan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 28,88 m/s pada jalan datar bisa terpenuhi.

#### **4.6 Karakteristik Daya Sepeda Motor *Hybrid***

Pada sub bab ini akan dilakukan perhitungan dan analisis daya yang diberikan kendaraan pada setiap moda berkendara beserta pembahasan grafik karakteristik daya yang sudah didapatkan. Moda berkendara yang akan dianalisis adalah moda murni penggerak listrik, moda hybrid, dan moda penggerak mesin dan isi accu.



#### 4.6.1 Karakteristik Daya Moda Murni Penggerak Listrik

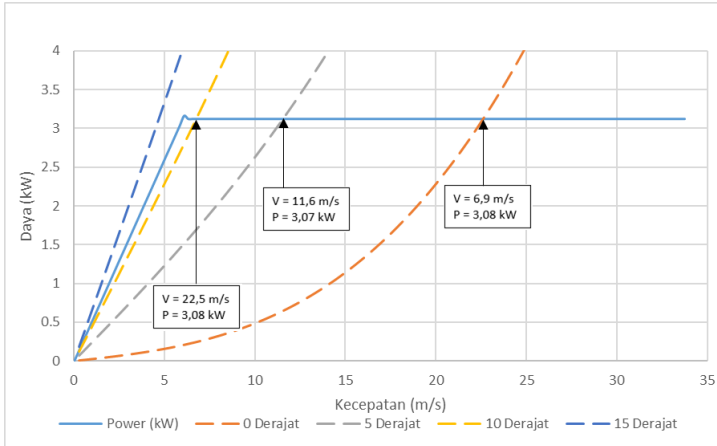
Sama seperti karakteristik traksi, dalam analisa perhitungan karakteristik daya moda hybrid, diasumsikan kendaraan beroperasi dari kecepatan 0 sampai kecepatan maksimum seluruhnya menggunakan moda hybrid, hal ini dilakukan untuk memudahkan perhitungan. Setelah mengetahui gaya traksi yang diberikan oleh kendaraan pada moda murni penggerak listrik pada tiap tingkat kecepatannya maka bisa dilakukan analisis perhitungan daya yang diberikan kendaraan. Berikut adalah contoh perhitungan daya yang diberikan kendaraan pada moda murni penggerak listrik (Pl) berdasarkan persamaan 2.42 pada kondisi putaran motor 500 rpm dengan torsi sebesar 59,61 Nm.

$$Pl = Ft \cdot Vk$$

$$Pl = 277,29 \text{ N} \cdot 11,25 \text{ m/s}$$

$$Pl = 3120 \text{ W} = 3,12 \text{ kW}$$

Setelah dilakukan perhitungan daya yang diberikan kendaraan pada moda murni penggerak listrik pada setiap tingkat kecepatan, maka bisa diperoleh grafik karakteristik daya sepeda motor *hybrid* terhadap variasi gaya hambat total kendaraan pada moda murni penggerak listrik. Gambar 4.20 menunjukkan grafik karakteristik daya moda murni penggerak listrik.



**Gambar 4.20** Karakteristik daya moda murni penggerak listrik

Berdasarkan grafik karakteristik daya sepeda motor *hybrid* pada moda murni penggerak listrik didapatkan bahwa kendaraan mampu untuk melawan gaya hambat dari sudut 0 derajat sampai 10 derajat. Saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 22,5 m/s atau 80 km/jam dengan memberikan daya sebesar 3,08 kW. Selanjutnya ketika melawan gaya hambat 5 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 11,6 m/s atau 41,76 km/jam dengan memberikan daya sebesar 3,07 kW, dan yang terakhir ketika melawan gaya hambat 10 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 6,9 m/s atau 24,84 km/jam dengan memberikan daya sebesar 3,08 kW. Sepeda motor *hybrid* tidak mampu lagi untuk melawan gaya hambat yang lebih dari 10 derajat karena pada grafik tidak terjadi perpotongan antara garis daya dan garis gaya hambat 15 derajat. Dengan hasil ini maka tujuan kendaraan mampu

berjalan dengan kecepatan maksimum 40 km/jam pada jalan datar dengan moda murni murni penggerak listrik bisa terpenuhi. Dengan kondisi ini juga maka kecepatan maksimum yang diterapkan pada moda murni elektrik adalah 80 km/jam.

#### 4.6.2 Karakteristik Daya Moda Moda *Hybrid*

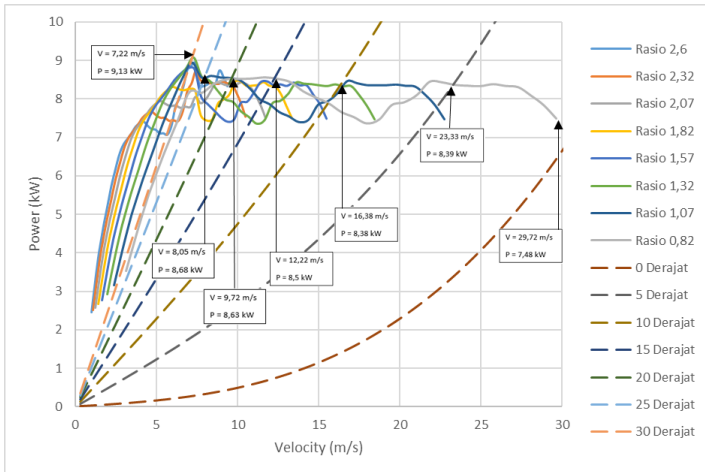
Setelah mengetahui gaya traksi yang diberikan oleh kendaraan pada moda *hybrid* pada tiap tingkat kecepatannya maka bisa dilakukan analisis perhitungan daya yang diberikan kendaraan. Berikut adalah contoh perhitungan daya yang diberikan kendaraan pada moda murni *hybrid* ( $P_h$ ) berdasarkan persamaan 2.42 pada kondisi rasio CVT level 2 dengan putaran mesin 3000 rpm, dimana pada kondisi tersebut kendaraan menghasilkan gaya traksi sebesar 2114,66 N.

$$P_h = F_t \cdot V_k$$

$$P_h = 2114,66 \text{ N} \cdot 3,09 \text{ m/s}$$

$$P_h = 6997 \text{ W} = 6,99 \text{ kW}$$

Setelah dilakukan perhitungan daya yang diberikan kendaraan pada moda *hybrid* pada setiap tingkat kecepatan dan tiap rasio CVT, maka bisa diperoleh grafik karakteristik daya sepeda motor *hybrid* terhadap variasi gaya hambat total kendaraan pada moda *hybrid*. Gambar 4.21 menunjukkan grafik karakteristik daya moda *hybrid*.



**Gambar 4. 21** Grafik karakteristik daya moda hybrid

Berdasarkan grafik karakteristik daya sepeda motor *hybrid* pada moda *hybrid* didapatkan bahwa saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 29,72 m/s atau 107 km/jam dengan memberikan daya sebesar 7,48 kW. Selanjutnya ketika melawan gaya hambat 5 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 23,33 m/s atau 83,98 km/jam dengan memberikan daya sebesar 8,39 kW, kemudian ketika melawan gaya hambat 10 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 16,38 m/s atau 58,96 km/jam dengan memberikan daya sebesar 8,38 kW. Selanjutnya ketika melawan gaya hambat 15 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 12,22 m/s atau 44 km/jam dengan memberikan daya sebesar 8,5 kW, kemudian ketika melawan gaya hambat 20 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 9,72 m/s atau 35 km/jam dengan memberikan daya sebesar 8,63 kW. Selanjutnya

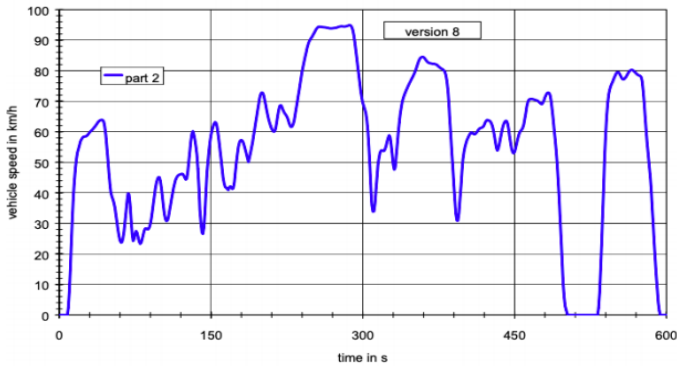
ketika melawan gaya hambat 25 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 8,05 m/s atau 29 km/jam dengan memberikan daya sebesar 8,68 kW, kemudian ketika melawan gaya hambat 30 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 7,22 m/s atau 26 km/jam dengan memberikan daya sebesar 9,13 kW. Dengan hasil ini maka tujuan kendaraan mampu menanjak pada tanjakan 30 derajat dengan kecepatan maksimum 5,27 m/s dan mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 28,88 m/s pada jalan datar bisa terpenuhi.

#### **4.7 Analisis Konsumsi Energi pada *Driving cycle* Tertentu**

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai konsumsi energi yang terjadi pada *driving cycle* tertentu, yaitu perhitungan daya yang digunakan pada kendaraan pada saat berakselerasi. Pada *driving cycle* yang dipilih akan dipisahkan menjadi 2 bagian, yaitu bagian pada saat menggunakan moda penggerak murni elektrik dan bagian pada saat mesin bekerja berdasarkan kecepatan kendaraan yang ditentukan.

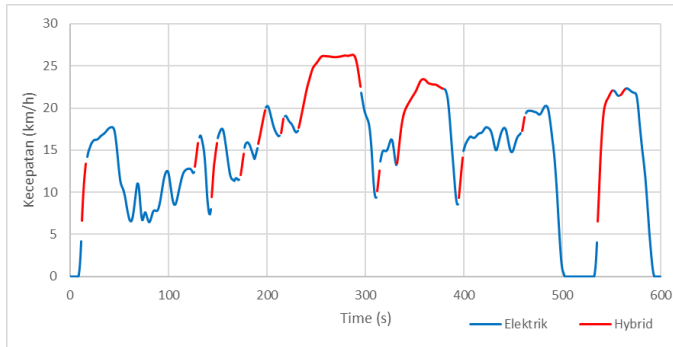
##### **4.7.1 *Driving cycle***

*Driving cycle* yang dipilih pada penelitian ini adalah *driving cycle* dari World Motorcycle Test Cycle (WMTC), dimana WMTC merupakan *driving cycle* yang digunakan untuk sepeda motor dan berasal dari proyek antara VROM (Netherlands Ministry of the Environment), TNO Automotive, dan IMMA (International Motorcycle Manufacturer Association). WMTC versi yang paling baru adalah versi ke-7 dengan prosedur pengujian *driving cycle* yang terbagi menjadi 3 kelas. Kelas yang digunakan adalah WMTC kelas 2, dimana WMTC kelas 2 ini mewakili kecepatan sedang dan penggunaan pada zona pedesaan jalan sekunder. Gambar 4.22 menunjukkan *driving cycle* WMTC kelas 2



**Gambar 4. 22** Grafik siklus *driving cycle* WMTC kelas 2

WMTC kelas 2 dipilih karena kecepatan yang diterapkan dalam 1 siklus mampu dipenuhi oleh sepeda motor *hybrid* yang telah dirancang, dimana kecepatan rata-ratanya adalah 54,7 km/jam dan kecepatan maksimumnya adalah 95 km/jam. WMTC kelas 2 dimulai dari detik 0 hingga detik 900, dengan jarak tempuh 9,11 km. Setelah mengetahui karakteristik traksi dan daya dari moda penggerak murni elektrik pada analisis sebelumnya, maka *driving cycle* ini bisa dibagi menjadi 2 berdasarkan moda berkendara yang digunakan. Saat moda penggerak murni elektrik kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum 80 km, maka pada *driving cycle* data kecepatan 0 km/jam sampai 80 km/jam akan digunakan moda penggerak murni elektrik. Lalu data kecepatan di atas 80 km/jam akan digunakan moda *hybrid*. Selain berbasis kecepatan, pembagian segmen *driving cycle* juga berdasar RHP yang dibutuhkan kendaraan, pada moda elektrik RHP maksimum yang bisa dihasilkan adalah 3,1 kW, maka titik *driving cycle* yang memiliki RHP diatas 3,1 kW masuk ke dalam moda *hybrid*. Gambar 4.23 menunjukkan pembagian data kecepatan WMTC kelas 2 berdasarkan moda berkendara.



**Gambar 4. 23** Pembagian moda berkendara berdasarkan kecepatan dan RHP pada *driving cycle*

#### 4.7.2 Perhitungan dan Analisis Konsumsi Energi

Untuk mengetahui konsumsi energi yang digunakan dalam 1 siklus *driving cycle*, diperlukan data kecepatan tiap waktu sehingga dapat dihitung RHP berdasarkan gaya hambat. Berikut adalah contoh perhitungan RHP pada detik ke-14 dengan kecepatan 10,88 m/s menuju ke detik ke-15 dengan kecepatan 12,25 m/s berdasarkan persamaan 2.43.

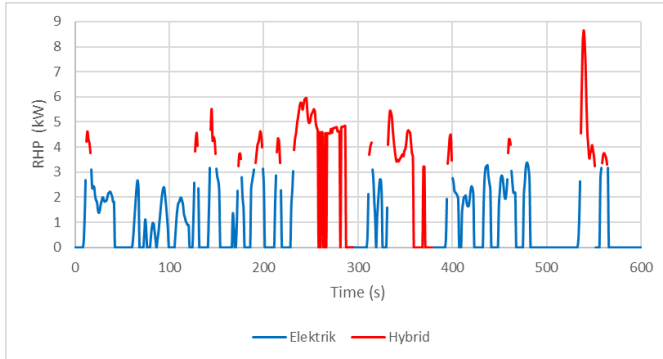
$$RHP = \frac{(Fd + Fr + Fa + Fg) \cdot V}{1000}$$

$$RHP = \frac{(31,33 + 28,39 + 278,88 + 0) \cdot 12,25}{1000}$$

$$RHP = 4,14 \text{ kW}$$

Karena yang akan dicari adalah energi yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan, maka RHP yang digunakan adalah hanya RHP kendaraan saat melakukan akselerasi. Setelah menghitung RHP pada setiap kecepatan dan waktu yang ada, bisa dibuat grafik RHP

pada saat kendaraan berakselerasi. Gambar 4.24 menunjukkan grafik RHP akselerasi dalam 1 siklus *driving cycle*.



**Gambar 4. 24** Grafik RHP akselerasi

Untuk mengetahui konsumsi energi dalam 1 *driving cycle* bisa dilakukan dengan menghitung luasan daerah pada grafik RHP akselerasi. Cara untuk mendapatkan dari luasan tersebut adalah dengan menggunakan pendekatan aturan trapezoidal dengan *software* Microsoft Excel. Berikut adalah perhitungan dengan pendekatan trapezoidal untuk mendapat nilai konsumsi energi total (KE) dalam 1 siklus *driving cycle*.

$$KE = (b - a) \cdot \frac{f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n)}{2n \cdot 3600} \text{ kWh}$$

$$KE = (601 - 0) \cdot \frac{0 + 2 \cdot 976,71 \cdot 0}{2 \cdot 600 \cdot 3600} \text{ kWh}$$

$$KE = 0,2717 \text{ kWh}$$

Pada gambar 4.24 ditunjukkan bahwa pada siklus *driving cycle* dibagi menjadi 2 moda operasi



berkendara yaitu moda murni penggerak listrik dan moda hybrid. Daerah luasan yang terbentuk oleh garis biru yang semula dipenuhi oleh mesin sekarang bisa dipenuhi oleh motor listrik yang tidak mengkonsumsi bahan bakar. Maka penghematan energi bahan bakar bisa didapatkan dengan mengurangi konsumsi energi total dengan konsumsi energi saat mesin bekerja (garis merah), dimana daerah saat mesin bekerja terdiri dari 13 luasan. Dengan pendekatan trapezoidal berikut adalah contoh perhitungan luasan garis merah untuk mengetahui konsumsi energi saat mesin bekerja (KE<sub>m</sub>).

$$KE_m = (b - a) \cdot \frac{f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n)}{2 \cdot (n - 1) \cdot 3600} \text{ kWh}$$

$$KE_m = (295 - 232) \cdot \frac{3,46 + 2 \cdot 201,65 + 0}{2 \cdot (64 - 1) \cdot 3600} \text{ kWh}$$

$$KE_m = 0,16 \text{ kWh}$$

Setelah menghitung semua luasan daerah garis merah didapatkan bahwa konsumsi energi saat mesin bekerja (KE<sub>m</sub> total) adalah sebesar 0,16 kWh. Maka bisa dilakukan perhitungan penghematan energi dalam 1 siklus *driving cycle* seperti pada perhitungan di bawah.

$$\text{Penghematan Energi} = KE - KE_m$$

$$\text{Penghematan Energi} = 0,2717 \text{ kWh} - 0,1607 \text{ kWh}$$

$$\text{Penghematan Energi (PE)} = 0,1109 \text{ kWh}$$

$$PE (\%) = \frac{\text{Penghematan Energi}}{\text{Konsumsi Energi}} \cdot 100\%$$

$$PE (\%) = \frac{0,1109}{0,2717} \cdot 100\% = 40,83\%$$

Dari hasil perhitungan yang sudah dilakukan didapat bahwa dengan menerapkan teknologi *hybrid* pada sepeda motor yang sudah ada dapat menghemat bahan bakar sebesar 40,83% berdasarkan *driving cycle* WMTC kelas 2.

#### 4.8 Analisis Regenerative brake pada Driving cycle Tertentu

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai penggunaan *regenerative brake* yang akan diaplikasikan pada sepeda motor *hybrid*, yaitu perhitungan energi terbuang pada kendaraan, energi yang mampu dimanfaatkan pada moda murni elektrik dan *hybrid* beserta efisiensi dari *regenerative brake* tersebut. Analisis *regenerative brake* akan menggunakan *driving cycle* yang sama dengan analisis konsumsi energi yaitu *driving cycle* WMTC kelas 2.

##### 4.8.1 Perhitungan dan Analisis Energi Kinetik Terbuang Akibat Pengereman

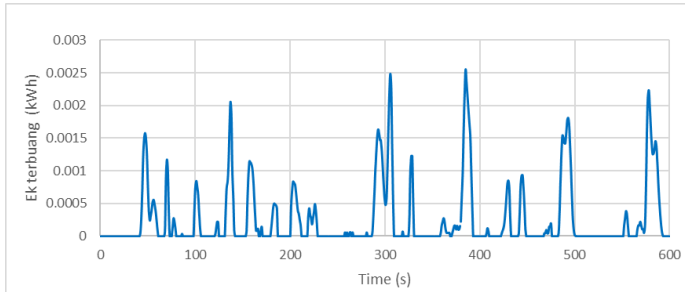
Berdasarkan hasil plotting *driving cycle* pada gambar 4.23 maka bisa dilakukan perhitungan kehilangan energi kinetik yang diakibatkan oleh pengereman. Untuk menghitung energi kinetik *losses* akibat pengereman, dapat dihitung dengan persamaan berikut, dengan mengambil contoh kecepatan pada detik ke-42 dengan kecepatan 17,75 m/s menuju detik ke-43 dengan kecepatan 17,72 m/s.

$$Ek = 0,5 \cdot m \cdot Km \cdot (v1^2 - v2^2)$$

$$Ek = 0,5 \cdot 240 \cdot 1,31 \cdot (17,75^2 - 17,72^2)$$

$$Ek = 163,02 J = 4,52 \cdot 10^{-5} kWh$$

Setelah menghitung energi kinetik terbang pada pada setiap waktu maka bisa dibuat grafik energi kinetik terbang terhadap waktu dalam siklus *driving cycle*. Gambar 4.25 menunjukkan grafik energi kinetik terbang pada sepeda motor *hybrid*.



**Gambar 4. 25** Grafik energi kinetik terbang

Berdasarkan grafik di atas didapat bahwa nilai tertinggi dari energi kinetik terbang pada 1 siklus *driving cycle* adalah sebesar 0,0025 kWh, tepatnya pada detik ke-385 dengan kecepatan 1 ( $v_1$ ) sebesar 20,47 m/s dan nilai kecepatan 2 ( $v_2$ ) sebesar 19,27 m/s. Total energi kinetik terbang pada moda akibat pengereman dalam 1 siklus *driving cycle* adalah sebesar 0,158 kWh.

#### 4.8.2 Perhitungan dan Analisis Energi Bangkitan *Regenerative brake*

Setelah melakukan perhitungan dan analisis dari energi kinetik yang terbang akibat pengereman, selanjutnya bisa dilakukan analisis perhitungan energi regeneratif dari *regenerative brake*. Berikut adalah contoh perhitungan untuk energi regeneratif pengereman yang bisa didapatkan oleh sepeda motor *hybrid* pada salah satu titik pada *driving cycle*, diambil contoh pada detik ke-45

dengan kecepatan 17,13 m/s menuju detik ke-46 dengan kecepatan 16,36 m/s.

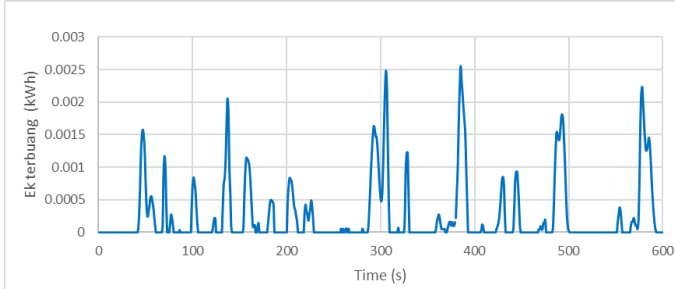
$$RHP = \frac{(Fd + Fr - Fa + Fg) \cdot V}{1000}$$

$$RHP = \frac{(61,33+29,89-195,22+0) \cdot 17,13}{1000}$$

$$RHP = -1,78 \text{ kW} = 1,78 \text{ kW (absolut)}$$

$$\text{Energi Regeneratif} = \frac{1,78 \text{ kW}}{3600} = 0,000495 \text{ kWh}$$

Setelah menghitung energi regeneratif pada pada setiap waktu maka bisa dibuat grafik energi regeneratif terhadap waktu dalam 1 siklus *driving cycle*. Gambar 4.26 menunjukkan grafik energi regeneratif pengereman pada sepeda motor *hybrid*.



**Gambar 4. 26** Grafik energi regeneratif pengereman

Dari grafik diatas didapat bahwa nilai energi regeneratif pengereman terbesar bernilai 0,00167 kWh tepatnya pada detik ke-306. Total nilai energi regeneratif adalah sebesar 0,091 kWh, untuk mendapatkan energi regeneratif total yang aktual nilai tersebut harus dikalikan efisiensi dari komponen yang dilewati yaitu motor listrik,

baterai, dan *power control* seperti pada perhitungan di bawah ini.

$$\text{Energi Regeneratif total aktual} = E_{rt} \cdot E_m \cdot E_b \cdot E_{pc}$$

$$\text{Energi Regeneratif total aktual} = 0,091 \text{ kWh} \cdot 0,86 \cdot 0,9 \cdot 0,9$$

$$\text{Energi Regeneratif total aktual} = 0,0824 \text{ kWh}$$

#### 4.8.3 Perhitungan Analisis Efisiensi dan Kontribusi Regenerative Brake

Setelah mengetahui energi regeneratif total aktual maka bisa didapatkan efisiensi dari *regenerative brake* tersebut dengan membagi nilai dari energi regeneratif dengan Energi kinetik translasi seperti di bawah ini.

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Energi Regeneratif total aktual}}{\text{Energi kinetik terbang}} \cdot 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{0,082 \text{ kWh}}{0,158 \text{ kWh}} \cdot 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = 52\%$$

Dari perhitungan yang sudah dilakukan didapat bahwa efisiensi *regenerative brake* pada moda penggerak murni listrik adalah sebesar 52%. Kontribusi dari *regenerative brake* didapatkan dengan membagi nilai dari energi regeneratif total dengan konsumsi energi total dari kendaraan dalam 1 siklus *driving cycle* seperti perhitungan berikut.

$$\text{Kontribusi} = \frac{\text{Energi regeneratif total aktual}}{\text{Konsumsi Energi Total}} \cdot 100\%$$

$$\text{Kontribusi} = \frac{0,0824 \text{ kW}}{0,2715 \text{ kW}} \cdot 100\%$$

$$\text{Kontribusi} = 30,34 \%$$

Dari hasil perhitungan didapat bahwa kontribusi regenerative brake terhadap konsumsi energi total adalah sebesar 30,34 %

#### 4.9 Baterai dan Karakteristik Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu

Setelah mengetahui spesifikasi motor listrik dan konsumsi energi dari analisis sebelumnya maka bisa dilakukan analisis perhitungan *power* baterai, jumlah baterai dan pemilihan jenis baterai yang digunakan untuk sepeda motor *hybrid*.

##### 4.9.1 Perhitungan Baterai

Analisis perhitungan baterai akan dilakukan pada saat kondisi sedang pada moda murni murni penggerak listrik, dimana kendaraan hanya akan digerakkan oleh motor listrik yang mendapatkan daya dari baterai. Berdasarkan analisis konsumsi energi sebelumnya didapat bahwa energi yang digunakan oleh moda murni penggerak listrik adalah sama dengan penghematan energi yang terjadi yaitu 0,1109 kWh dengan jarak tempuh 0,36 km. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan yang digunakan untuk menghitung kebutuhan baterai.

- Langkah pertama adalah mencari konsumsi energi pada setiap kilometer dengan membagi konsumsi energi pada moda murni penggerak listrik senilai 0,1109 kWh dengan jarak tempuh senilai 0,36 km yang dipengaruhi oleh efisiensi. Didapat nilai 0,194 kWh/km.

- Langkah kedua adalah menentukan jarak jelajah kendaraan sesuai dengan kebutuhan yaitu sebesar 5 km.
- Langkah ketiga adalah menghitung *power* baterai yang dapat ditempuh oleh kendaraan berdasarkan data durasi tempuh kendaraan dan jarak jelajah kendaraan yang telah didapat pada langkah pertama dan kedua, berikut ini merupakan perhitungan *power* yang dibutuhkan kendaraan:

$$p = \text{jarak} \times \text{konsumsi energi/km}$$

$$p = 5 \text{ km} \times 0,194 \text{ kWh/km} = 0,97 \text{ kWh}$$

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

$$Ah = \frac{p}{v}$$

$$Ah = \frac{0,97 \text{ kWh}}{72} = 13,47 \text{ Ah}$$

- Langkah keenam adalah menghitung jumlah baterai yang diperlukan berdasarkan ketersediaan baterai di pasaran. Berdasarkan perhitungan minimal kebutuhan baterai di langkah sebelumnya maka didapatkan spesifikasi baterai yang ada di pasaran menggunakan baterai 72V 15 Ah *Electric Bike Battery Pack* Lithium Ion. Maka berikut ini merupakan perhitungan jumlah pack baterai yang harus digunakan:

$$\text{Jumlah baterai} = \frac{72 \text{ V}}{72 \text{ V}} = 1$$

#### 4.9.2 Spesifikasi Baterai

Berdasarkan perhitungan pada sub bab 4.5.1 ditentukan bahwa dalam perancangan sepeda motor *hybrid* ini akan menggunakan baterai 72V 15 Ah *Electric Bike Battery Pack* Lithium Ion. Gambar 4.17 menunjukkan penampakan dan spesifikasi dari 72V 15 Ah *Electric Bike Battery Pack* Lithium Ion.



**Gambar 4. 27** 72V 15 Ah *Electric Bike Battery Pack* Lithium Ion



**Tabel 4. 4** Spesifikasi 72V 15 Ah *Electric Bike Battery Pack* Lithium Ion

Battery Model	72v 15ah
Nominal Voltage (V)	72v
Nominal Capacity (AH)	15ah
Source Resistance (mΩ)	about 40
Cell Specification	3.7V 2.5AH
Cell Combination	6-parallel 20-series
Cell Size	3.7V 2500mah 18650
Cell Quantity (parallel*series)	120pcs
Discharge Cutoff Voltage (V)	60+/- 1V
Charge Cutoff Voltage (V)	84v
Rated Discharge Current (A)	40A
instantaneous Maximum Discharge Current (A)	120A
Maximum Continuous Discharge Current (A)	40A
Maximum Continuous Charge Current (A)	5A
Charge Mode	CC-CV
Standard Charge Current (A)	5A
Charge Time under Standard Charge Current	7.5hours
Fast Charge Current (A)	5A
Charge Time under Fast Charge Current	3hours
Charge Temperature Range	-20-55°C
Cell Size (L*W*T )	380*130*70mm
Battery Weight	About 6KG
Battery Power	1000W 1500W 2000W 2500W
<p>Feature:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cells - A grade cells to make sure batteries in high and full capacity</li> <li>2. Protection - Dual IC chips, that can anti-short circuit, anti-over charger, anti-over current, anti-overload</li> <li>3. Compose Type : Injection Technology to make battery more stable.</li> <li>4. Certifications : CE,UL,FCC, RoHS, ISO9001</li> <li>5. Long life cycle, No memory, environment friendly.</li> </ol>	

Dari spesifikasi yang sudah didapat bisa dicari daya baterai (Pb) yang digunakan untuk mengisi baterai dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Pb = (V \cdot I) / 1000$$

$$Pb = (72V \cdot 5A) / 1000$$

$$Pb = 0,36 \text{ kW}$$

### 4.9.3 Karakteristik Traksi Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu

Setelah mengetahui spesifikasi baterai yang digunakan maka bisa dilakukan perhitungan dan analisis pada moda penggerak mesin dan isi accu. Pada moda ini kendaraan hanya mendapatkan daya penggerak dari mesin. Moda ini digunakan apabila daya dari baterai dirasa tidak mampu menyuplai energi ke motor listrik, sehingga motor listrik berhenti berperan sebagai penggerak dan kendaraan hanya digerakkan oleh mesin. Motor listrik akan berperan sebagai generator untuk mengisi baterai pada saat kendaraan hanya digerakkan oleh mesin. Dalam moda ini daya mesin ( $P_e$ ) akan dipengaruhi oleh daya baterai ( $P_b$ ), sehingga torsi yang digunakan untuk meggerakkan kendaraan akan menurun. mengetahui karakteristik traksi pada moda penggerak mesin dan isi accu ( $F_{ti}$ ) perlu dihitung gaya traksi yang diberikan pada kendaraan pada tiap rasio CVT dan pada setiap kecepatan kendaraan. Berikut adalah contoh perhitungan gaya traksi pada moda penggerak mesin dan isi accu berdasarkan persamaan 2.37 pada kondisi putaran mesin 3000 rpm dan rasio CVT level 1.

$$T_e = \frac{(P_e - P_b) \cdot 60000}{2 \cdot \pi \cdot n} \text{ (Nm)}$$

$$T_e = \frac{(6,48 - 0,36) \cdot 60000}{2 \cdot 3,14 \cdot 3000} \text{ (Nm)}$$

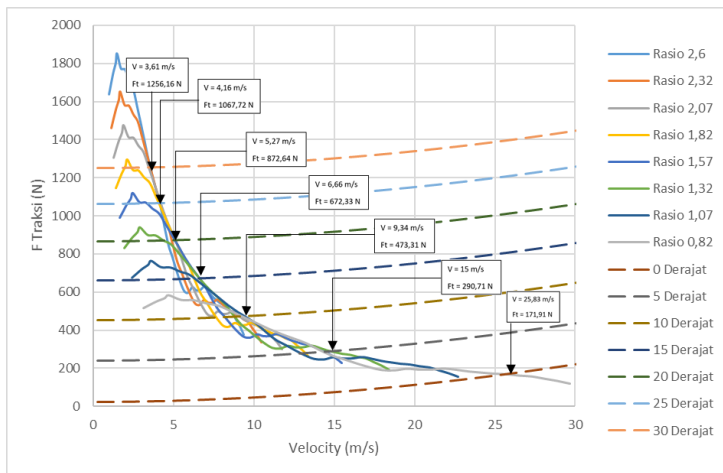
$$T_e = 19,49 \text{ Nm}$$

$$F_{ti} = \frac{I_{vt} \cdot I_g \cdot T_e}{R} \cdot E_{tc} \cdot E_{tr} \cdot E_m$$

$$F_{ti} = \frac{2,6 \cdot 10,552 \cdot 19,49}{0,258} \cdot 0,86 \cdot 0,97 \cdot 0,86$$

$$F_{ti} = 1487,254 \text{ N}$$

Setelah dilakukan perhitungan gaya traksi moda penggerak mesin dan isi accu (F<sub>ti</sub>) pada setiap rasio CVT dan pada setiap kecepatan kendaraan, maka bisa dibuat grafik karakteristik traksi moda penggerak mesin dan isi accu terhadap variasi gaya hambat total kendaraan. Gambar 4.31 menunjukkan grafik karakteristik traksi moda penggerak mesin dan isi accu dari kendaraan.



**Gambar 4. 28** Grafik karakteristik moda penggerak mesin dan isi accu

Berdasarkan grafik di atas didapatkan pada moda penggerak mesin dan isi accu, sepeda motor *hybrid* mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 3,61 m/s dengan gaya traksi sebesar 1256,16 N saat melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 30 derajat, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 25 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 4,16 m/s dengan gaya traksi sebesar 1067,72 N. Selanjutnya untuk melawan gaya

hambat total dengan sudut tanjak 20 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 5,72 m/s dengan gaya traksi sebesar 872,64 N, kemudian untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 15 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 6,66 m/s dengan gaya traksi sebesar 672,33 N. Selanjutnya untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 10 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 9,34 m/s dengan gaya traksi sebesar 473,31 N, lalu untuk melawan gaya hambat total dengan sudut tanjak 5 derajat dapat dilalui dengan kecepatan maksimum sebesar 15 m/s dengan gaya traksi sebesar 290,71 N. Lalu kecepatan maksimum sepeda motor *hybrid* saat melewati jalan datar adalah 25,83 m/s dengan gaya traksi sebesar 171,91 N.

#### 4.9.4 Karakteristik Daya Moda Penggerak Mesin dan Isi Accu

Setelah mengetahui gaya traksi yang diberikan oleh kendaraan pada moda penggerak mesin dan isi accu pada tiap tingkat kecepatannya maka bisa dilakukan analisis perhitungan daya yang diberikan kendaraan. Berikut adalah contoh perhitungan daya yang diberikan kendaraan pada moda penggerak mesin dan isi accu ( $P_i$ ) berdasarkan persamaan 2.42 pada kondisi rasio CVT level 2 dengan putaran mesin 2000 rpm, dimana pada kondisi tersebut kendaraan menghasilkan gaya traksi sebesar 1578,78 N.

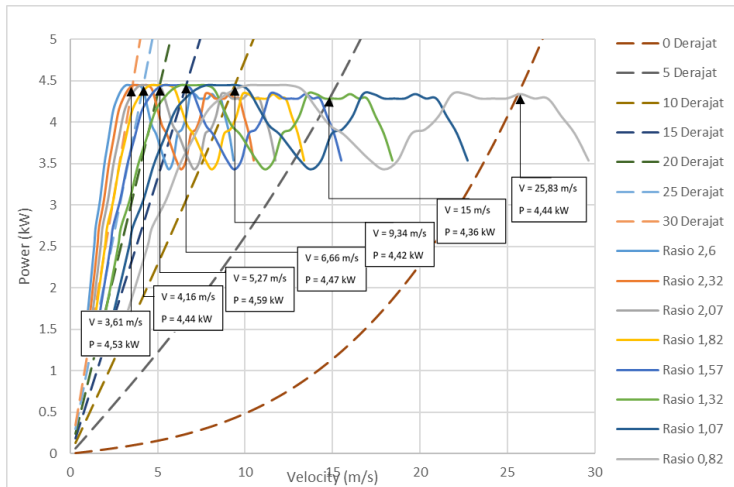
$$P_i = F_t \cdot V_k$$

$$P_i = 1578,78 \text{ N} \cdot 2,20 \text{ m/s}$$

$$P_i = 3483 \text{ W} = 3,48 \text{ kW}$$

Setelah dilakukan perhitungan daya yang diberikan kendaraan pada moda penggerak mesin dan isi accu pada setiap tingkat

kecepatan dan tiap rasio CVT, maka bisa diperoleh grafik karakteristik daya sepeda motor *hybrid* terhadap variasi gaya hambat total kendaraan pada moda penggerak mesin dan isi accu. Gambar 4.32 menunjukkan grafik karakteristik daya moda moda penggerak mesin.



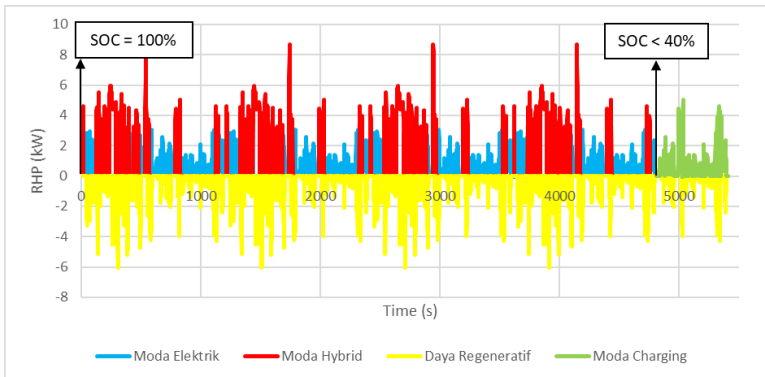
**Gambar 4. 29** Karakteristik daya moda penggerak mesin dan isi accu

Berdasarkan grafik karakteristik daya sepeda motor *hybrid* pada moda penggerak mesin dan isi accu didapatkan bahwa saat melawan gaya hambat 0 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 25,83 m/s dengan memberikan daya sebesar 4,44 kW. Selanjutnya ketika melawan gaya gaya hambat 5 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 15 m/s dengan memberikan daya sebesar 4,36 kW, kemudian ketika melawan gaya gaya hambat 10 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 9,34 m/s dengan memberikan

daya sebesar 4,42 kW. Selanjutnya ketika melawan gaya gaya hambat 15 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 6,66 m/s dengan memberikan daya sebesar 4,47 kW, kemudian ketika melawan gaya gaya hambat 20 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 5,27 m/s dengan memberikan daya sebesar 4,59 kW. Selanjutnya ketika melawan gaya gaya hambat 25 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 4,16 m/s dengan memberikan daya sebesar 4,44 kW, kemudian ketika melawan gaya gaya hambat 30 derajat, kendaraan mampu menempuh kecepatan maksimum sebesar 3,61 m/s dengan memberikan daya sebesar 4,53 kW.

#### **4.10 Penerapan Sepeda Motor Hybrid pada Driving Cycle**

Setelah mengetahui motor listrik dan baterai yang digunakan serta sudah menentukan konsep manajemen daya untuk menentukan moda dari kendaraan, maka bisa dilakukan uji analisa kendaraan pada driving cycle sebagai penerapan dari sepeda motor hybrid. Driving cycle yang digunakan adalah perpaduan dari driving cycle kelas 1 dan kelas 2 yang siklusnya digunakan secara berulang. Gambar 3.31 menunjukkan grafik siklus daya sepeda motor hybrid pada *driving cycle*.



**Gambar 4. 30** Siklus daya sepeda motor hybrid

Pada grafik dapat dilihat bahwa kendaraan mulai berjalan pada detik ke 9 dengan moda murni elektrik yang diwakili oleh garis berwarna biru, dimana pada kondisi awal SOC dari baterai adalah 100% (1,08 kWh). Kemudian pada detik ke-12 kendaraan berganti moda menjadi moda *hybrid* yang diwakili oleh garis merah. Pergantian moda ini dikarenakan motor listrik tidak mampu memenuhi kebutuhan daya kendaraan pada saat berakselerasi, dimana daya maksimum motor listrik adalah 3,1 kW dan kebutuhan daya saat berakselerasi pada detik ke-12 adalah 4,2 kW. Sehingga mesin harus membantu memenuhi kebutuhan daya tersebut dengan moda hybrid. Moda hybrid terus digunakan sampai detik ke-16, lalu pada detik ke-17 kendaraan berganti ke moda murni elektrik karena daya kebutuhan untuk berjalan adalah kurang dari 3,1 kW sehingga cukup dipenuhi oleh motor listrik. Kemudian pada detik ke-42 sampai detik ke-60 kendaraan mengalami perlambatan, dimana pada kondisi ini energi yang terbuang akibat perlambatan dimanfaatkan oleh *regenerative brake* untuk mengisi daya baterai. Daya yang diserap oleh generator diwakili oleh garis berwarna kuning pada grafik. Lalu pada detik ke-61 kendaraan kembali berjalan dengan moda murni elektrik dan

selanjutnya akan berganti moda berkendara sesuai dengan kondisi dan kebutuhan pengendara, yaitu moda murni elektrik akan digunakan apabila kebutuhan daya adalah kurang dari 3,1 kW dan SOC baterai lebih dari 40%, moda hybrid akan digunakan apabila kebutuhan daya adalah lebih dari 3,1 kW dan SOC baterai lebih dari 40%, dan moda regenerative brake akan digunakan apabila kendaraan mengalami perlambatan dimana energi yang terbuang akibat perlambatan akan digunakan untuk mengisi baterai. Pada detik ke-4794 atau setelah kendaraan menempuh jarak sejauh 52,7 km SOC dari baterai sudah mencapai batas bawah yaitu 40% (0,43 kWh), maka kendaraan berganti moda menjadi moda murni penggerak mesin dan isi aki yang diwakilkan oleh garis hijau pada grafik untuk mengisi baterai sampai SOC maksimum.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab 5 ini berisikan tentang kesimpulan yang diperoleh dari perhitungan dan perancangan Tugas Akhir, selain itu pada bab 5 ini juga berisikan tentang saran mengenai perancangan Tugas Akhir kali ini agar ke depannya dapat dikembangkan.

### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis perhitungan dan pembahasan pada bab 4 maka bisa didapatkan kesimpulan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

1. Motor listrik yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sepeda motor *hybrid* adalah QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC *Hub Motor* dengan penampakan dan kemampuan sebagai berikut:



**Gambar 5. 1** QS 2000W 273 28H V2 72V BLDC Hub Motor

2. Tabel 5.1 menunjukkan kemampuan kendaraan berdasarkan karakteristik traksi sepeda motor *hybrid*.

**Tabel 5. 1** Karakteristik traksi sepeda motor *hybrid*

Moda Berkendara	Sudut tanjak	Kecepatan maksimum (m/s)	Gaya Traksi (N)
Murni Penggerak Listrik	0°	22,5 m/s	137,25 N
	10°	6,9 m/s	463 N
Hybrid	0°	29,72 m/s	218,22 N
	30°	7,22 m/s	1265,29 N
Penggerak Mesin dan Isi Accu	0°	25,83 m/s	171,91 N
	30°	3,61 m/s	1256,16 N

3. Tabel 5.2 menunjukkan kemampuan kendaraan berdasarkan karakteristik daya sepeda motor *hybrid*.

**Tabel 5. 2** Karakteristik daya sepeda motor *hybrid*

Moda Berkendara	Sudut tanjak	Kecepatan maksimum (m/s)	Daya (kW)
Murni Penggerak Listrik	0°	22,5 m/s	3,08 kW
	10°	6,9 m/s	3,08 kW
Hybrid	0°	29,72 m/s	7,48 kW
	30°	7,22 m/s	9,13 kW
Penggerak Mesin dan Isi Accu	0°	25,83 m/s	4,4 kW
	30°	3,61 m/s	4,53 kW

4. Konsumsi energi sepeda motor *hybrid* yang didapat berdasarkan *Driving cycle* WMTC kelas 2 adalah sebagai berikut:
- Konsumsi energi total = 0,2717 kWh
  - Konsumsi energi saat mesin bekerja = 0,1607 kWh
  - Penghematan energi (konsumsi energi moda murni elektrik) = 0,1109 kWh
  - Penghematan energi (%) = 40,83%

5. Energi pengereman sepeda motor *hybrid* yang bisa didapat berdasarkan *Driving cycle* WMTC kelas 2 adalah sebagai berikut:
  - a. Total energi kinetik terbuang akibat pengereman = 0,158 kWh
  - b. Total energi regeneratif actual = 0,0824 kWh
  - c. Efisiensi Regenerative Brake = 52%
  - d. Kontribusi Regenerative Brake terhadap konsumsi energi total = 30,34%
6. Baterai yang digunakan pada perancangan sepeda motor ini adalah baterai 72V 15 Ah *Electric Bike Battery Pack* Lithium Ion dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 5. 3** Spesifikasi baterai 72V 15 Ah *Electric Bike Battery Pack* Lithium Ion

Battery Model	72v 15ah
Nominal Voltage (V)	72v
Nominal Capacity (AH)	15ah
Source Resistance (mΩ)	about 40
Cell Specification	3.7V 2.5AH
Cell Combination	6-parallel 20-series
Cell Size	3.7V 2500mah 18650
Cell Quantity (parallel*series)	120pcs
Discharge Cutoff Voltage (V)	60+/- 1V
Charge Cutoff Voltage (V)	84v
Rated Discharge Current (A)	40A
Instantaneous Maximum Discharge Current (A)	120A
Maximum Continuous Discharge Current (A)	40A
Maximum Continuous Charge Current (A)	5A
Charge Mode	CC-CV
Standard Charge Current (A)	5A
Charge Time under Standard Charge Current	7.5hours
Fast Charge Current (A)	5A
Charge Time under Fast Charge Current	3hours
Charge Temperature Range	-20-55°C
Cell Size (L*W*T)	380*130*70mm
Battery Weight	About 6KG
Battery Power	1000W 1500W 2000W 2500W
Feature: 1. Cells - A grade cells to make sure batteries in high and full capacity 2. Protection - Dual IC chips, that can anti-short circuit, anti-over charger, anti-over current, anti-overload 3. Compose Type : Injection Technology to make battery more stable. 4. Certifications : CE,UL,FCC, RoHS, ISO9001 5. Long life cycle, No memory, environment friendly.	

7. Tabel 5.4 menunjukkan syarat penerapan moda berkendara yang diterapkan pada sepeda motor hybrid berdasarkan hasil perancangan dan pemilihan komponen kendaraan

**Tabel 5. 4** Syarat penerapan moda berkendara

Moda Berkendara	Syarat/Kondisi	SOC Baterai
Murni Penggerak Listrik	$P \leq 3,1 \text{ kW}$	$\text{SOC} \geq 40\%$
Hybrid	$P > 3,1 \text{ kW}$	$\text{SOC} \geq 40\%$
Penggerak Mesin dan Isi Accu	-	$\text{SOC} < 40\%$
Regenerative Brake	Perlambatan	-

## 5.2 Saran

Saran dari penulis untuk pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai uji kestabilan pada sepeda motor *hybrid* ini agar rancangan bisa terealisasi.
2. Perlu adanya tugas akhir yang membahas sistem kontrol manajemen daya pemilihan moda berkendara serta sistem kontrol *regenerative brake* pada sepeda motor hybrid untuk menunjang terealisasinya perancangan ini.
3. Perlu dilakukan rancang bangun sepeda motor hybrid dan dilakukan eksperimen untuk mengetahui performanya di lapangan.
4. Untuk saran acuan diagram alir sistem kontrol manajemen daya sepeda motor *hybrid* tertera pada lampiran.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Asaei B., Habibidoost M. (2013), *Design, simulation, and prototype production of a through the road parallel hybrid electric motocyple, Energy Conversion and Management*.
2. Ehsani, Mehrdad dan Yimin Gao. 2010. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicle Fundamentals, Theory, and Design*. New York: CRC Press.
3. Gillespie, T. D. (n.d.). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers Inc.
4. Hariyanto, Muhammad Dwi., “Studi Eksperimen dan Analisis Pengaruh Perubahan Kombinasi Massa Roller dan Konstanta Pegas pada Continous Variable Transmission (CVT) terhadap Performa Kendaraan Vario 125 PGM-FI”, Tugas Akhir 2016
5. Hasoloan, Nico., “Analisis Pengelolaan Energi dan Konsumsi Bahan Bakar pada Kendaraan Hibrid”, Tugas Akhir 2019
6. Ilmy, Irvan., “Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Konstanta Pegas dan Massa Roller Continuously Variable Transmission (CVT) Terhadap Peforma Kendaraan Honda Vario 150 CC”, Tugas Akhir 2018
7. Mashadi, B., & Crolla, D. 2012. *Vehicle Power Train* (1 ed.). West Sussex: John Wiley and Sons Ltd.
8. Mi, C., Masrur, M. A., & Gao, D. W. 2011. *Hybrid Elecetric Vehicles : Principles and Applications With Practical Prespectives*. West Sussex: John Wiley and Sons Ltd.
9. Nguyen VT., Hwang P. (2019), *Study of a Novel Hybrid Powertrain System for Honda Wave 110cc Motorcycle with Rear Wheel Electric Motor*.
10. Rifa’I, Muchlis., “Analisis Perancangan Sistem Suplai Daya pada Kendaraan Produksi Pertanian Multiguna Pedesaan”, Tugas Akhir 2016
11. Seth Leitman dan Bob Brant. 2009. *Build Your Own Electric Vehicle*, 2nd ed. New York, USA: The McGraw-Hill Companies, Inc.

12. Sutantra I.N., Sampurno B. (2010), Teknologi Otomotif, Edisi Kedua, Guna Widya, Surabaya.
13. Sutantra I.N. (2015), Teknologi Otomotif *Hybrid*, Edisi Pertama, Guna Widya, Surabaya.
14. Heath, R P G.” Seamless AMT offers efficient alternative to CVT”. 314-20075013
15. <https://www.astra-honda.com/product/vario-125-esp>
16. <https://www.astra-honda.com/product/vario-150-esp>
17. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>
18. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2018-final-edition.pdf>
19. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2003/wp29grpe/TRANS-WP29-GRPE-45-inf09e.pdf>.

## BIODATA PENULIS



Yohanes Silvano Fernanda merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Yohanes Handoko dan Ibu Katarina Murjiyati. Lahir pada 14 Desember 1997 di Bandar Lampung. Menempuh pendidikan dari SD Xaverius WHP, SMP Fransiskus Tanjung Karang, SMA Pangudi Lujur Van Lith, dan pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Selama masa perkuliahan di ITS, penulis aktif di beberapa kegiatan maupun organisasi. Pada tahun kedua, penulis menjadi staf Divisi Kewirausahaan LBMM ITS 2017/2018. Pada tahun ketiga menjadi Kabiro Marketing Divisi Kewirausahaan LBMM ITS dan menjadi *Non-Technical Manager* Mesin ITS Karting Club 2018/109. Pada tahun keempat penulis menjadi anggota ITS Team Sapuangin 2019/2020 pada divisi *Engine and Drivetrain*. Penulis memiliki pengalaman kerja praktik di CV. Karya Hidup Sentosa (KHS) atau yang lebih dikenal dengan produsen traktor Quick pada 2019, dimana penulis ditempatkan pada divisi Riset dan Testing Alat Uji.

Mengenai saran dan kritik terkait tugas akhir, dapat menghubungi penulis melalui:

Email : [vanofernanda@gmail.com](mailto:vanofernanda@gmail.com)

No. Telp : 085704377182

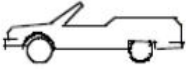






*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## LAMPIRAN A

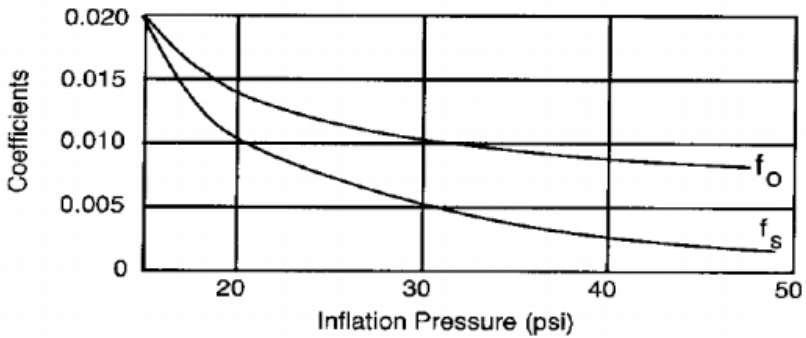
### Gaya Hambat Kendaraan

**Tabel A.1** Koefisien drag kendaraan

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

**Tabel A.2** Koefisien hambatan *rolling* kendaraan

<i>Condition</i>	<i>Rolling Resistance Coefficient</i>
<i>Car tires on a concrete or asphalt road</i>	0.013
<i>Car tires on a rolled gravel road</i>	0.02
<i>Tar macadam</i>	0.025
<i>Unpaved road</i>	0.05
<i>Field</i>	0.1 – 0.35
<i>Truck tire on a concrete or asphalt road</i>	0.006 – 0.01
<i>Wheel on iron rail</i>	0.001 – 0.002

**Gambar A.1** Grafik koefisien rolling kendaraan terhadap tekanan ban

**Tabel A.3** Efisiensi *drivetrain* kendaraan

<i>Drivetrain type</i>	<i>Manual</i>		<i>Differential</i>		<i>Overall efficiency</i>
	<i>transmission</i>	<i>Driveshaft</i>	<i>drive</i>	<i>Drive axle</i>	
<i>Front wheel drive</i>	0,96	Not required	0,097	0,098	0,91
<i>Rear wheel drive</i>	0,96	0,99	0,097	0,098	0,90

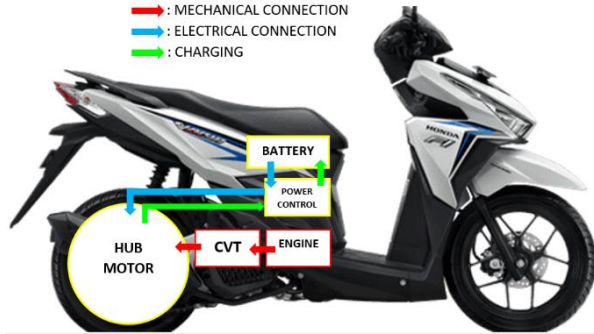
**Tabel A.4** Efisiensi transmisi berdasarkan jenis transmisi

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

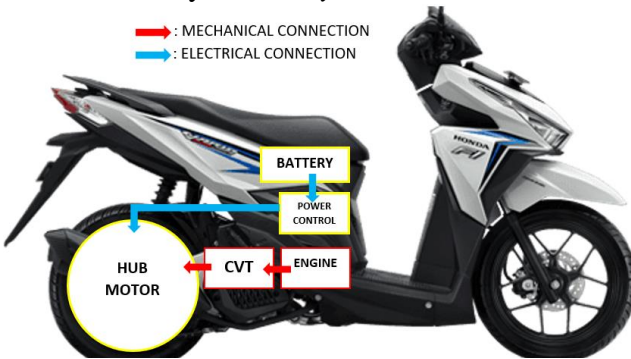
**LAMPIRAN B**

**Rancangan dan Aliran Daya Moda Operasi Kendaraan**

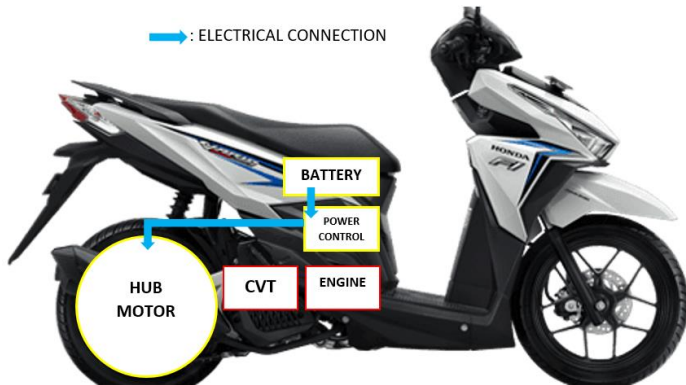
**Gambar B.1** Rancangan aliran daya sepeda motor hybrid



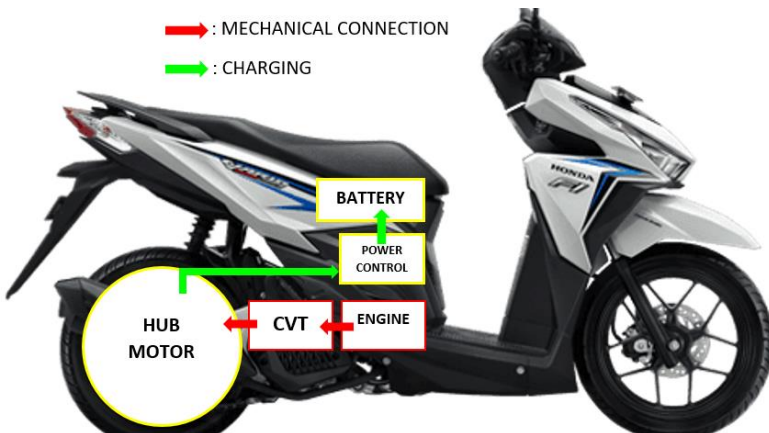
**Gambar B.1** Aliran daya moda *hybrid*



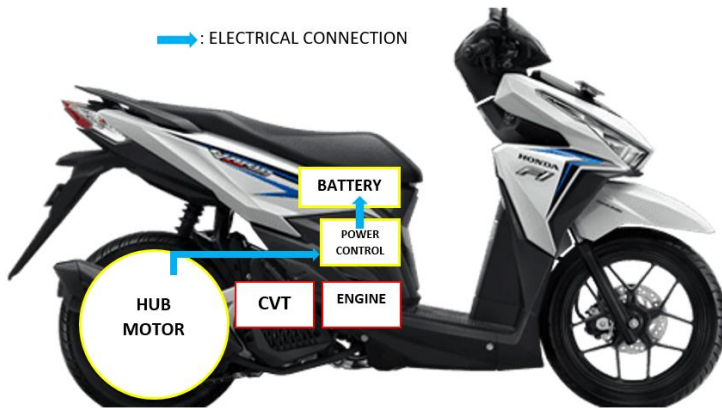
**Gambar B.1** Aliran daya moda murni penggerak listrik



**Gambar B.1** Aliran daya moda penggerak mesin dan isi accu

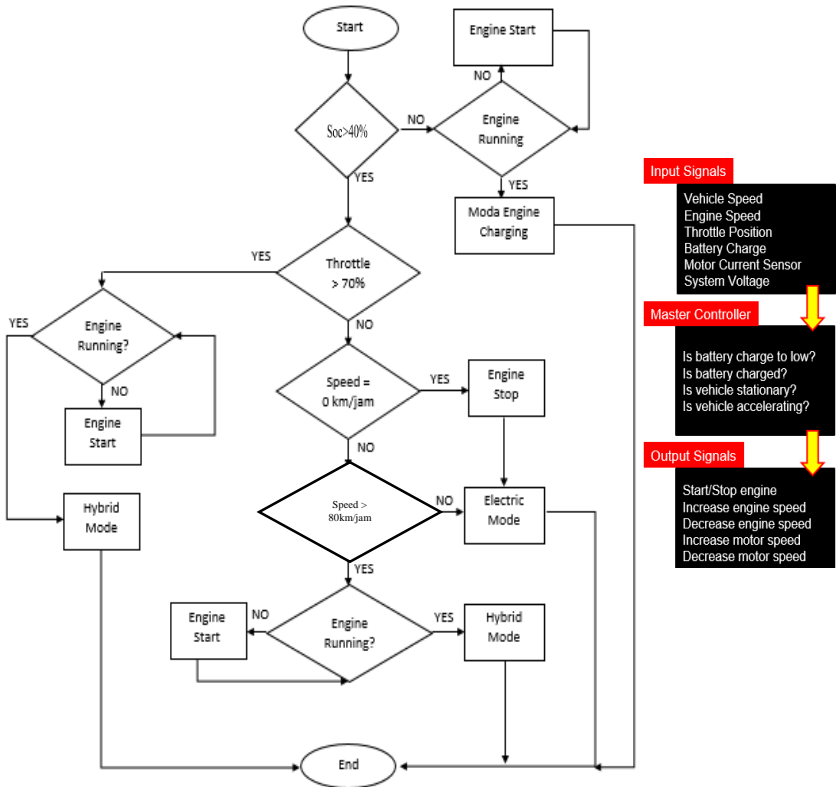


**Gambar B.1** Aliran daya moda *regenerative brake*



## LAMPIRAN C

### Diagram Alir Sistem Kontrol Manajemen Daya Sepeda Motor Hybrid







Tabel C.2 Performa motor listrik

rpm	torsi (Nm)	power (kW)	V (m/s)	V(km/jam)	F Traksi (N)	Power (kW)
0	0	0	0	0	0	0
10	130	0,117017333	0,22503333	0,81012	604,6511628	0,117017333
20	130	0,234034667	0,45006667	1,62024	604,6511628	0,234034667
30	130	0,351052	0,6751	2,43036	604,6511628	0,351052
40	130	0,468069333	0,90013333	3,24048	604,6511628	0,468069333
50	130	0,585086667	1,12516667	4,0506	604,6511628	0,585086667
60	130	0,702104	1,3502	4,86072	604,6511628	0,702104
70	130	0,819121333	1,57523333	5,67084	604,6511628	0,819121333
80	130	0,936138667	1,80026667	6,48096	604,6511628	0,936138667
90	130	1,053156	2,0253	7,29108	604,6511628	1,053156
100	130	1,170173333	2,25033333	8,1012	604,6511628	1,170173333
110	130	1,287190667	2,47536667	8,91132	604,6511628	1,287190667
120	130	1,404208	2,7004	9,72144	604,6511628	1,404208
130	130	1,521225333	2,92543333	10,53156	604,6511628	1,521225333
140	130	1,638242667	3,15046667	11,34168	604,6511628	1,638242667
150	130	1,75526	3,3755	12,1518	604,6511628	1,75526
160	130	1,872277333	3,60053333	12,96192	604,6511628	1,872277333
170	130	1,989294667	3,82556667	13,77204	604,6511628	1,989294667
180	130	2,106312	4,0506	14,58216	604,6511628	2,106312
190	130	2,223329333	4,27563333	15,39228	604,6511628	2,223329333
200	130	2,340346667	4,50066667	16,2024	604,6511628	2,340346667
210	130	2,457364	4,7257	17,01252	604,6511628	2,457364
220	130	2,574381333	4,95073333	17,82264	604,6511628	2,574381333
230	130	2,691398667	5,17576667	18,63276	604,6511628	2,691398667
240	130	2,808416	5,4008	19,44288	604,6511628	2,808416
250	130	2,925433333	5,62583333	20,253	604,6511628	2,925433333
260	130	3,042450667	5,85086667	21,06312	604,6511628	3,042450667
270	130	3,159468	6,0759	21,87324	604,6511628	3,159468
280	106,4604186	3,12	6,30093333	22,68336	495,1647375	3,12
290	102,7893696	3,12	6,52596667	23,49348	478,0900914	3,12
300	99,36305732	3,12	6,751	24,3036	462,153755	3,12
310	96,15779741	3,12	6,97603333	25,11372	447,2455694	3,12
320	93,15286624	3,12	7,20106667	25,92384	433,2691453	3,12
330	90,33005211	3,12	7,4261	26,73396	420,1397773	3,12
340	87,67328587	3,12	7,65113333	27,54408	407,782725	3,12
350	85,16833485	3,12	7,87616667	28,3542	396,13179	3,12
360	82,80254777	3,12	8,1012	29,16432	385,1281292	3,12

610	48,86707737	3,12	13,7270333	49,41732	227,288732	3,12
620	48,07889871	3,12	13,9520667	50,22744	223,6227847	3,12
630	47,31574158	3,12	14,1771	51,03756	220,0732167	3,12
640	46,57643312	3,12	14,4021333	51,84768	216,6345727	3,12
650	45,85987261	3,12	14,6271667	52,6578	213,3017331	3,12
660	45,16502606	3,12	14,8522	53,46792	210,0698886	3,12
670	44,49092119	3,12	15,0772333	54,27804	206,9345172	3,12
680	43,83664294	3,12	15,3022667	55,08816	203,8913625	3,12
690	43,20132927	3,12	15,5273	55,89828	200,9364152	3,12
700	42,58416742	3,12	15,7523333	56,7084	198,065895	3,12
710	41,98439042	3,12	15,9773667	57,51852	195,2762345	3,12
720	41,40127389	3,12	16,2024	58,32864	192,5640646	3,12
730	40,83413315	3,12	16,4274333	59,13876	189,9262007	3,12
740	40,28232054	3,12	16,6524667	59,94888	187,3596304	3,12
750	39,74522293	3,12	16,8775	60,759	184,861502	3,12
760	39,22225947	3,12	17,1025333	61,56912	182,4291138	3,12
770	38,71287948	3,12	17,3275667	62,37924	180,0599045	3,12
780	38,21656051	3,12	17,5526	63,18936	177,7514442	3,12
790	37,73280658	3,12	17,7776333	63,99948	175,5014259	3,12
800	37,2611465	3,12	18,0026667	64,8096	173,3076581	3,12
810	36,80113234	3,12	18,2277	65,61972	171,1680574	3,12
820	36,35233805	3,12	18,4527333	66,42984	169,0806421	3,12
830	35,91435807	3,12	18,6777667	67,23996	167,0435259	3,12
840	35,48680619	3,12	18,9028	68,05008	165,0549125	3,12
850	35,06931435	3,12	19,1278333	68,8602	163,11309	3,12
860	34,66153162	3,12	19,3528667	69,67032	161,2164262	3,12
870	34,26312322	3,12	19,5779	70,48044	159,3633638	3,12
880	33,87376954	3,12	19,8029333	71,29056	157,5524165	3,12
890	33,49316539	3,12	20,0279667	72,10068	155,7821646	3,12
900	33,12101911	3,12	20,253	72,9108	154,0512517	3,12
910	32,75705187	3,12	20,4780333	73,72092	152,3583808	3,12
920	32,40099695	3,12	20,7030667	74,53104	150,7023114	3,12
930	32,05259914	3,12	20,9281	75,34116	149,0818565	3,12
940	31,71161404	3,12	21,1531333	76,15128	147,4958793	3,12
950	31,37780758	3,12	21,3781667	76,9614	145,9432911	3,12
960	31,05095541	3,12	21,6032	77,77152	144,4230484	3,12
970	30,73084247	3,12	21,8282333	78,58164	142,934151	3,12
980	30,41726245	3,12	22,0532667	79,39176	141,4756393	3,12

990	30,11001737	3,12	22,2783	80,20188	140,0465924	3,12
1000	29,8089172	3,12	22,5033333	81,012	138,6461265	3,12
1010	29,5137794	3,12	22,7283667	81,82212	137,2733926	3,12
1020	29,22442862	3,12	22,9534	82,63224	135,927575	3,12
1030	28,94069631	3,12	23,1784333	83,44236	134,6078898	3,12
1040	28,66242038	3,12	23,4034667	84,25248	133,3135832	3,12
1050	28,38944495	3,12	23,6285	85,0626	132,04393	3,12
1060	28,12162	3,12	23,8535333	85,87272	130,7982325	3,12
1070	27,85880112	3,12	24,0785667	86,68284	129,5758192	3,12
1080	27,60084926	3,12	24,3036	87,49296	128,3760431	3,12
1090	27,34763046	3,12	24,5286333	88,30308	127,1982812	3,12
1100	27,09901563	3,12	24,7536667	89,1132	126,0419332	3,12
1110	26,85488036	3,12	24,9787	89,92332	124,9064203	3,12
1120	26,61510464	3,12	25,2037333	90,73344	123,7911844	3,12
1130	26,37957274	3,12	25,4287667	91,54356	122,6956872	3,12
1140	26,14817298	3,12	25,6538	92,35368	121,6194092	3,12
1150	25,92079756	3,12	25,8788333	93,1638	120,5618491	3,12
1160	25,69734241	3,12	26,1038667	93,97392	119,5225228	3,12
1170	25,47770701	3,12	26,3289	94,78404	118,5009628	3,12
1180	25,26179424	3,12	26,5539333	95,59416	117,4967174	3,12
1190	25,04951025	3,12	26,7789667	96,40428	116,50935	3,12
1200	24,84076433	3,12	27,004	97,2144	115,5384387	3,12
1210	24,63546876	3,12	27,2290333	98,02452	114,5835756	3,12
1220	24,43353869	3,12	27,4540667	98,83464	113,644366	3,12
1230	24,23489203	3,12	27,6791	99,64476	112,720428	3,12
1240	24,03944935	3,12	27,9041333	100,45488	111,8113923	3,12
1250	23,84713376	3,12	28,1291667	101,265	110,9169012	3,12
1260	23,65787079	3,12	28,3542	102,07512	110,0366083	3,12
1270	23,47158834	3,12	28,5792333	102,88524	109,1701783	3,12
1280	23,28821656	3,12	28,8042667	103,69536	108,3172863	3,12
1290	23,10768775	3,12	29,0293	104,50548	107,4776174	3,12
1300	22,92993631	3,12	29,2543333	105,3156	106,6508665	3,12
1310	22,75489862	3,12	29,4793667	106,12572	105,8367378	3,12
1320	22,58251303	3,12	29,7044	106,93584	105,0349443	3,12
1330	22,4127197	3,12	29,9294333	107,74596	104,2452079	3,12
1340	22,2454606	3,12	30,1544667	108,55608	103,4672586	3,12
1350	22,08067941	3,12	30,3795	109,3662	102,7008344	3,12
1360	21,91832147	3,12	30,6045333	110,17632	101,9456812	3,12
1370	21,75833372	3,12	30,8295667	110,98644	101,2015522	3,12













332	0	0	-0.61	24.6533	0	165.91111	0.6289	109.946	0	0	0	0	0	0	1	1.13183	0	-47.0793394	0	-1.8799745	0	136.778111	
333	0.23090	2.0	0.0821	0.0198	0.1819	0	364.126880	0.3611	109.946	0	0	0	0.23418794	0	0	1	1.13183	0	-998.363594	0	-0.0001316	0	17.461811
334	7	7	0.8374	0.0195	25.1387	0	515.844444	4.9505	101.018	1.04840	0	0	0.00035664	0	0	1	1.13183	0	-3076.48674	0	-0.00017081	0	-486.670569
335	0.00002	0.01	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.000000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0.000000	0	0	1	1.13183	0	0.000000	0	0.000000	0	0.000000
336	0.37776	25.0	0.8978	0.0180	0.0000	0	663.98111	5.0786	101.018	0	0	0	0.00007071	0	0	1	1.13183	0	-4873.44744	0	-0.00017081	0	-436.813191
337	0.56987	40.0	0.5747	0.0117	27.4665	0	676.907500	4.6444	101.295	0.11847	0	0	0.01387141	0	0	1	1.13183	0	-4878.70589	0	-0.00019995	0	-435.103971
338	15.92311	40.0	0.3758	0.0105	26.7728	0	676.907500	4.6444	101.295	0.11847	0	0	0.00007071	0	0	1	1.13183	0	-4878.70589	0	-0.00019995	0	-435.103971
339	15.9899	33.0	0.37	0.0110	26.0110	0	676.907500	4.6444	101.295	0.11847	0	0	0.00007071	0	0	1	1.13183	0	-4878.70589	0	-0.00019995	0	-435.103971
340	10.3	0.04	0.4378	0.0109	26.7118	0	411.941111	4.0861	101.020	0.17496	0	0	0.17496711	0	0	1	1.13183	0	-4962.70749	0	-0.00019995	0	-334.819621
341	10.1339	0.04	0.4378	0.0109	26.7118	0	411.941111	4.0861	101.020	0.17496	0	0	0.17496711	0	0	1	1.13183	0	-4962.70749	0	-0.00019995	0	-334.819621
342	15.2333	0.04	0.4378	0.0109	26.7118	0	411.941111	4.0861	101.020	0.17496	0	0	0.17496711	0	0	1	1.13183	0	-4962.70749	0	-0.00019995	0	-334.819621
343	20.0133	0.04	0.4378	0.0109	26.7118	0	411.941111	4.0861	101.020	0.17496	0	0	0.17496711	0	0	1	1.13183	0	-4962.70749	0	-0.00019995	0	-334.819621
344	20.0133	0.04	0.4378	0.0109	26.7118	0	411.941111	4.0861	101.020	0.17496	0	0	0.17496711	0	0	1	1.13183	0	-4962.70749	0	-0.00019995	0	-334.819621
345	20.0133	0.04	0.4378	0.0109	26.7118	0	411.941111	4.0861	101.020	0.17496	0	0	0.17496711	0	0	1	1.13183	0	-4962.70749	0	-0.00019995	0	-334.819621
346	20.0133	0.04	0.4378	0.0109	26.7118	0	411.941111	4.0861	101.020	0.17496	0	0	0.17496711	0	0	1	1.13183	0	-4962.70749	0	-0.00019995	0	-334.819621
347	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
348	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
349	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
350	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
351	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
352	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
353	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
354	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
355	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
356	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
357	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
358	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
359	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
360	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
361	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
362	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
363	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
364	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
365	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
366	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
367	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
368	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
369	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611
370	21.25	70.0	0.9295	0.0106	11.1534	0	65.777778	0.2222	101.295	0.18106	0	0	0.18106711	0	0	1	1.13183	0	-1775.79745	0	-0.00019995	0	49.470611