TUGAS AKHIR – TM184835

ANALISIS RASIO DAN TINGKAT TRANSMISI, SISTEM TENAGA DAN *REGENERATIVE BRAKING* PADA TRUK HYBRID UNTUK MENGANGKUT HASIL PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

VALENTINO JOSEPH BUDIONO
NRP 02111640000051

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

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

TUGAS AKHIR – TM184835

ANALISIS RASIO DAN TINGKAT TRANSMISI, SISTEM TENAGA DAN *REGENERATIVE BRAKING* PADA TRUK HYBRID UNTUK MENGANGKUT HASIL PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

VALENTINO JOSEPH BUDIONO
NRP 02111640000051

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

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

FINAL PROJECT – TM184835

ANALYSIS OF TRANSMISSION RATIOS, POWER SYSTEMS AND REGENERATIVE BRAKES ON HYBRD TRUCK FOR TRANSPORTING OIL PALM PLANTATIONS

VALENTINO JOSEPH BUDIONO
NRP 02111640000051

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

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 20

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS RASIO DAN TINGKAT TRANSMISI, SISTEM TENAGA DAN *REGENERATIVE BRAKING* PADA TRUK HYBRID UNTUK MENGANGKUT HASIL PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

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:
Valentino Joseph Budiono
NRP. 02111640000051

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.**
   NIP. 195106051978031002 **(Pembimbing)**
2. **Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA.**
   NIP. 196508101991021001 **(Penguji)**
3. **Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT.**
   NIP. 196807061999031004 **(Penguji)**
4. **Aida Annisa Amin Daman, ST., MT.**
   NIP. 198907052015042005 **(Penguji)**

SURABAYA
JULI 2020

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

ANALISIS RASIO DAN TINGKAT TRANSMISI, SISTEM TENAGA DAN *REGENERATIVE BRAKING* PADA TRUK HYBRID UNTUK MENGANGKUT HASIL PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

Nama Mahasiswa : Valentino Joseph Budiono
NRP : 02111640000051
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Industri sawit di Indonesia hingga saat ini telah mencatat prestasi yang cukup baik dengan kontribusinya dalam pembangunan nasional. Menjelang tahun 2030, produksi minyak sawit harus meningkat menjadi setidaknya 60 juta ton dari 35 juta ton pada saat ini. Hal ini mendorong diciptakannya kendaraan barang yang berukuran besar, yang mampu membawa hasil produksi sawit secara efisien supaya pertumbuhan ekonomi terus terjaga. Kendaraan hybrid merupakan penggabungan dari sistem yang bekerja pada kendaraan konvensional dan sistem yang bekerja pada kendaraan listrik. Meskipun begitu, kendaraan hybrid masih memiliki kekurangan, yang mana daya pengeremannya masih terbuang sia-sia. Maka dari itu diciptakan teknologi *regenerative brake* sebagai pengembangan dari teknologi mobil hybrid, yang merupakan suatu sistem pengereman elektrik yang memperlambat kendaraan sekaligus menyerap energi kinetik yang terbuang dari proses pengereman tersebut. Nantinya energi yang terbuang akan dikonversikan menjadi energi listrik dan disimpan dalam baterai. Kendaraan akan dirancang dengan menggunakan sistem hybrid seri, dengan lima moda berkendara. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari rasio transmisi kendaraan, mengetahui karakteristik sistem tenaga kendaraan, dan

mendapatkan nilai kontribusi, efisiensi dan energi pengereman yang dapat ditangkap.

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 kendaraan dan perhitungan daya jalan kendaraan. Setelah itu, dilanjutkan dengan perhitungan motor, pemilihan motor, pemilihan mesin diesel, penentuan rasio transmisi, perhitungan karakteristik traksi, karakteristik power, perhitungan energi pengereman yang bisa ditangkap oleh generator berdasarkan *driving cycle* WHVC, lalu diakhiri dengan perhitungan kapasitas dan jumlah baterai. Pada tahap analisis dilakukan analisis terhadap karakteristik traksi, karakteristik power dan energi pengereman yang didapat pada tahap perhitungan sebelumnya.

Hasil akhir dari penelitian ini adalah didapatkannya rasio dan tingkat transmisi pada truk hybrid, yaitu tiga tingkat transmisi. Kemudian didapatkan karakteristrik traksi dan karakteristik power dari kendaraan yang mampu menaiki tanjakan hingga 35 derajat dan mampu mencapai kecepatan maksimum 120 km/jam. Motor yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor YASA P400 R Series, sedangkan mesin diesel yang digunakan adalah dari Mitsubishi Pajero Sport DI-D MT 4x4. Energi pengereman yang bisa ditangkap oleh generator adalah maksimal sebesar 4.49 kWh, memiliki efisiensi maksimal sebesar 67%, dan kontribusi maksimal sebesar 54%. Baterai yang digunakan dalam penelitian ini adalah empat baterai Li-Ion kapasitas 64V 20Ah.

Kata kunci: truk hybrid, moda berkendara, transmisi, regenerative brake

ANALYSIS OF TRANSMISSION RATIOS, POWER SYSTEMS AND REGENERATIVE BRAKES ON HYBRD TRUCK FOR TRANSPORTING OIL PALM PLANTATIONS

Student Name : Valentino Joseph Budiono
Student ID Number : 02111640000051
Department : Mechanical Engineering
Advisory Lecturer : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

The palm oil industry in Indonesia currently has recorded quite good achievements with its contribution to national development. By 2030, palm oil production must increase to at least 60 million tons from the current 35 million tons. This has led to the creation of large-sized goods vehicles, which can bring palm oil products efficiently so that economic growth is maintained. Hybrid vehicles are a merger of systems that work on conventional vehicles and systems that work on electric vehicles. Even so, hybrid vehicles still have shortcomings, where the braking power is still wasted. Therefore regenerative brake technology was created as a development of hybrid car technology, which is an electric braking system that slows down the vehicle while absorbing kinetic energy wasted from the braking process. Later the wasted energy will be converted into electrical energy and stored in batteries. The vehicle will be designed using a series hybrid system, with five modes of driving. The purpose of this study is to find the transmission ratio of the vehicle, determine the characteristics of the vehicle power system, and get the value of the contribution, efficiency and braking energy that can be captured.

In this final project, there are two stages, the first is the calculation phase and the second is the analysis phase. For the calculation phase, the calculation is carried out by the vehicle drag and the calculation of the vehicle's road horsepower. Then the motor calculation, motor selection, diesel engine selection, determination of the transmission ratio, calculation of traction characteristics, power characteristics, calculation of braking energy that can be captured by the generator based on the WHVC driving cycle, and finally the calculation of capacity and number of batteries. In the analysis phase, an analysis of the characteristics of traction, power characteristics, and braking energy obtained in the previous calculation stage.

The final results of this study are the ratio and transmission rate obtained in hybrid trucks, which are 3 transmission levels. Then the traction characteristics and power characteristics of the vehicle can climb up to 35 degrees and reach a maximum speed of 120 km / h. The motor used in this study is the YASA P400 R Series, while the diesel engine to be used is from the Mitsubishi Pajero Sport DI-D MT 4x4. The braking energy that can be captured by the generator is a maximum of 4.49 kWh and has a maximum efficiency of 67% and a maximum contribution of 54%. The batteries used in this study are four 64V 20Ah Li-Ion batteries.

Keywords : hybrid truck, driving mode, transmission, regenerative braking

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam proses penyusunan tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan ilmu, dukungan dan motivasi, serta membimbing penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini. Segala masukan dan bimbingan yang telah Bapak berikan selama ini sangatlah berharga bagi penulis.
2. Bapak Bapak Dr. Ir.Agus Sigit Pramono DEA., Bapak Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT., Bapak Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc., dan Ibu Aida Annisa Amin Daman. ST., MT selaku dosen penguji tugas akhir penulis karena telah meluangkan waktu dan untuk saran-saran yang telah Bapak dan Ibu berikan demi kebaikan hasil tugas akhir penulis.
3. Keluarga penulis Papa, Mama, adik Devan dan adik Ve, serta Gracia Pradnya yang telah memberikan banyak dukungan, fasilitas serta penghiburan kepada penulis.
4. Bapak Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin dan dosen wali yang sejak awal perkuliahan banyak memberikan inspirasi, motivasi, dan bantuan kepada penulis.
5. Seluruh keluarga Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan penulis kesempatan untuk menimba ilmu.
6. Angkatan M59 yang telah memberikan dukungan sekaligus menjadi keluarga penulis selama menempuh perkuliahan di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember mulai dari awal perkuliahan hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Teman 1 bimbingan Marcel, Chris, Vano, Sita, Bella, Ayub, Alex yang sudah banyak membantu penulis dalam berdiskusi dan menyusun laporan tugas akhir ini.
8. Warga laboratorium otomotif Kenny, Agih, Mahalli, Naufal, Emy yang selalu menemani, mendukung, dan memberikan hiburan untuk penulis.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis satu per satu

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan masukan maupun saran dari semua pihak. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN
ABSTRAK i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xv
BAB 1 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah Penelitian 3
1.4 Tujuan Penelitian 4
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB 2 5
TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Penelitian Terdahulu 5
2.2 Kendaraan Hybrid 7
2.2.1 HEV Konfigurasi Seri 9
2.2.2 HEV Konfigurasi Paralel 11
2.2.3 HEV Konfigurasi Seri/Paralel 13
2.3 Sistem Transmisi 14
2.4 Regenerative Braking 16
2.4.1 Hybrid Motor Generator 17
2.4.2 *Engine Control Unit* (ECU) 18
2.4.3 *Inverter* 19
2.4.4 Baterai 19
2.5 Komponen Penggerak Kendaraan 22
2.5.1 Karakteristik Motor Listrik 22
2.5.2 Karakteristik Motor Pembakaran Dalam 24
2.6 Generator 25
2.7 *Driving Cycle* 26
2.8 Gaya yang Berpengaruh pada Kendaraan 29

2.9 Analisis Kebutuhan Daya Kendaraan 32
2.10 Karakteristik Traksi dan Power Kendaraan 34
2.10.1 Karakteristik Traksi 35
2.10.2 Karakteristik Power 37
2.11 Analisis Energi Pengereman Regeneratif 39
2.11.1 Energi Pengereman dari Mesin..... 39
2.11.2 Energi Kinetik Translasi (Energi *Losses*) 40
2.11.3 Energi Pengereman dari Roda 41
2.11.4 Kontribusi *Regenerative Brake* 41
2.11.5 Efisiensi *Regenerative Brake*..... 41
BAB 3..... 43
METODOLOGI PENELITIAN 43
3.1 Flowchart Penelitian 43
3.2 Spesifikasi Kendaraan 46
3.3 Konsep Rancangan Kendaraan 48
3.4 Analisis Moda Kendaraan 51
3.4.1. Moda *Pure Electric Traction*..... 52
3.4.2 Moda *Pure Engine Traction* 52
3.4.3 Moda *Hybrid Traction*..... 53
3.4.4 Moda *Regenerative Braking* 54
3.4.5 Moda *Hybrid Battery Charging* 54
3.5 Analisis Perhitungan Gaya Hambat Kendaraan 55
3.6 Analisis Perhitungan Daya Jalan Kendaraan 58
3.7 Analisis Perhitungan Rasio Transmisi..... 59
3.8 Analisis Perhitungan Motor Listrik 62
3.9 Analisis Karakteristik Power Kendaraan..... 64
3.10 Analisis Perhitungan Energi Bangkitan..... 66
3.10.1 Perhitungan Energi Regeneratif dari Roda 66
3.10.2 Perhitungan Energi Regeneratif dari Mesin 68
3.11 Analisis Perhitungan Energi *Losses* Pengereman..... 70
3.12 Analisis Perhitungan dan Pemilihan Baterai 72
BAB 4..... 75
PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN..... 75
4.1 Analisis Gaya Hambat Kendaraan..... 75
4.1.1. Gaya Hambat Aerodinamis 75

4.1.2. Gaya Hambat *Rolling Resistance* 78
4.1.3. Gaya Hambat Gradien 80
4.1.4. Gaya Hambat Inersia 81
4.1.5. Gaya Hambat Total..... 83
4.2 Analisis Daya Jalan Kendaraan 85
4.2.1 Perhitungan Daya Dibutuhkan Kendaraan 85
4.2.2 Perhitungan Daya Motor 87
4.3 Analisis Pemilihan Motor Listrik 89
4.4 Analisis Pemilihan Mesin Diesel..... 93
4.5 Analisis Rasio dan Tingkat Transmisi..... 95
4.6 Analisis Karakteristik Traksi Kendaraan..... 97
4.6.1 Karakteristik Traksi Moda *Pure Electric Traction*.. 97
4.6.2 Karakteristik Traksi Moda *Pure Engine Traction* . 102
4.6.3 Karakteristik Traksi Moda *Hybrid Traction*..... 107
4.7 Analisis Karakteristik Power Kendaraan..... 112
4.7.1 Karakteristik Power Moda *Pure Electric Traction* 113
4.7.2 Karakteristik Power Moda *Pure Engine Traction* . 114
4.7.3 Karakteristik Power Moda *Hybrid Traction*..... 115
4.8 Analisis *Regenerative Brake* pada *Driving Cycle* 117
4.8.1 *Driving Cycle*..... 117
4.8.2 Moda *Regenerative Braking*..... 119
4.8.3 Moda *Hybrid Charging* 126
4.9 Analisis Pemilihan Baterai 134
4.9.1 Perhitungan Kapasitas Baterai..... 134
4.9.2 Pemilihan Baterai 134
4.10 Ringkasan Pembahasan 136
BAB 5..... 143
KESIMPULAN DAN SARAN 143
5.1 Kesimpulan..... 143
5.2 Saran..... 143
DAFTAR PUSTAKA..... 145
LAMPIRAN A 149
LAMPIRAN B 151
BIODATA PENULIS..... 152

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Produksi Kelapa Sawit Domestik..... 2
Gambar 2.1 Grafik Energi Pengereman Bus Transjakarta..... 6
Gambar 2.2 Komponen Utama Mobil Hybrid 8
Gambar 2.3 Konstruksi Seri pada Kendaraan HEV..... 9
Gambar 2.4 Konstruksi Paralel pada Kendaraan HEV 11
Gambar 2.5 Konstruksi Seri/Paralel pada Kendaraan HEV..... 13
Gambar 2.6 Aliran Energi saat Proses *Regenerative Braking* ... 16
Gambar 2.7 Contoh Hybrid Motor Generator..... 18
Gambar 2.8 *Toyota's Power Control Unit*..... 18
Gambar 2.9 Contoh *Inverter*..... 19
Gambar 2.10 Contoh Baterai Kendaraan Hybrid..... 20
Gambar 2.11 Karakteristik Motor Listrik 24
Gambar 2.12 Karakteristik Mesin Diesel..... 25
Gambar 2.13 Konstruksi Generator DC..... 26
Gambar 2.14 *Driving Cycle* WHVC..... 28
Gambar 2.15 Gaya Pada Kendaraan 29
Gambar 2.16 Koefisien *rolling resistance* (fo dan fs) akibat pengaruh tekanan ban 32
Gambar 2.17 Karakteristik Traksi Motor Listrik..... 35
Gambar 2.18 Karakteristik Traksi Motor Pembakaran Dalam .. 36
Gambar 2.19 Karakteristik Power Motor Listrik..... 38
Gambar 2.20 Karakteristik Power Motor Pembakaran Dalam .. 39
Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir..... 43
Gambar 3.2 Hino Dutro 130 HD X-Power 48
Gambar 3.3 Konsep Rancangan Kendaraan 48
Gambar 3.4 Flowchart Perpindahan Moda Berkendara..... 50
Gambar 3.5 Moda *Pure Electric Traction* 52
Gambar 3.6 Moda *Pure Engine Traction*..... 53
Gambar 3.7 Moda *Hybrid Traction* 53
Gambar 3.8 Moda *Regenerative Braking* 54
Gambar 3.9 Moda *Hybrid Charging*..... 55
Gambar 3.10 Flowchart Perhitungan Gaya Hambat Kendaraaan 56

Gambar 3.11 Flowchart Perhitungan Daya Jalan Kendaraan 58
Gambar 3.12 Flowchart Perhitungan Rasio Transmisi Kendaraan 59
Gambar 3.13 Flowchart Perhitungan Motor 62
Gambar 3.14 Flowchart Perhitungan Karakteristik Power 64
Gambar 3.15 Flowchart Perhitungan Energi Regeneratif dari Roda 67
Gambar 3.16 Flowchart Perhitungan Energi Regeneratif dari Mesin 69
Gambar 3.17 Flowchart Perhitungan Energi *Losses* Pengereman 71
Gambar 3.18 Flowchart Perhitungan dan Pemilihan Baterai..... 72
Gambar 4.1 Permodelan Luas Frontal Area..... 76
Gambar 4.2 Permodelan Hasil Simulasi Aliran di Solidworks.. 77
Gambar 4.3 Grafik Gaya Hambat Aerodinamis..... 78
Gambar 4.4 Grafik Gaya Hambat *Rolling Resistance* 80
Gambar 4.5 Grafik Gaya Hambat Gradien 81
Gambar 4.6 Grafik Gaya Hambat Inersia Kendaraan 82
Gambar 4.7 Grafik Gaya Hambat Total..... 84
Gambar 4.8 RHP Dibutuhkan Kendaraan..... 86
Gambar 4.9 Power Motor 88
Gambar 4.10 Motor YASA P400 R Series 90
Gambar 4.11 Torsi dan Daya Motor Listrik YASA P400 R Series 91
Gambar 4.12 Grafik Torsi vs RPM Motor YASA P400 R Series 92
Gambar 4.13 Grafik Performa *Engine* Mitsubishi Pajero Sport 95
Gambar 4.14 Grafik Karakteristik Traksi Moda *Pure Electric Traction* 101
Gambar 4.15 Grafik Karakteristik Traksi Moda *Pure Engine Traction* 106
Gambar 4.16 Grafik Karakteristik Traksi Moda *Hybrid Traction* 111
Gambar 4.17 Grafik Karakteristik Power Moda *Pure Electric Traction* 113

Gambar 4.18 Grafik Karakteristik Power Moda *Pure Engine Traction* 115
Gambar 4.19 Grafik Karakteristik Power Moda *Hybrid Traction* 116
Gambar 4.20 *Driving Cycle* WHVC 118
Gambar 4.21 *Driving Cycle* WHVC pada Moda *Pure Electric* 119
Gambar 4.22 Energi Losses Pengereman Moda *Regenerative Braking* 120
Gambar 4.23 Energi Regeneratif Pengereman Moda *Regenerative Braking* 122
Gambar 4.24 RHP Total Kendaraan Moda *Pure Electric*..... 124
Gambar 4.25 RHP Regeneratif Total Kendaraan Moda *Pure Electric*..... 125
Gambar 4.26 Energi Losses Pengereman Moda *Hybrid Charging* 127
Gambar 4.27 Energi Regeneratif Pengereman Moda *Hybrid Charging* 129
Gambar 4.28 RHP Total Kendaraan Moda *Hybrid Charging* . 131
Gambar 4.29 RHP Regeneratif Total Kendaraan Mode *Hybrid Charging* 132
Gambar 4.30 Baterai Li-Ion 64V 20Ah 135
Gambar 4.31 Spesifikasi Motor YASA P400 R Series..... 136

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Hino Dutro 130 HD X-Power 46
Tabel 3.2 Parameter Perpindahan Moda Berkendara..... 49
Tabel 4.1 Perbandingan Daya Motor dan Kecepatan 89
Tabel 4.2 Spesifikasi Mitsubishi Pajero Sport 2.5L DI-D 94
Tabel 4.3 Spesifikasi Baterai Li-Ion 64V 20Ah 135
Tabel 4.4 Spesifikasi Mitsubishi Pajero Sport 2.5L DI-D 137
Tabel 4.5 Rasio Transmisi Kendaraan 138
Tabel 4.6 Spesifikasi Baterai Li-Ion 64V 20Ah 141

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

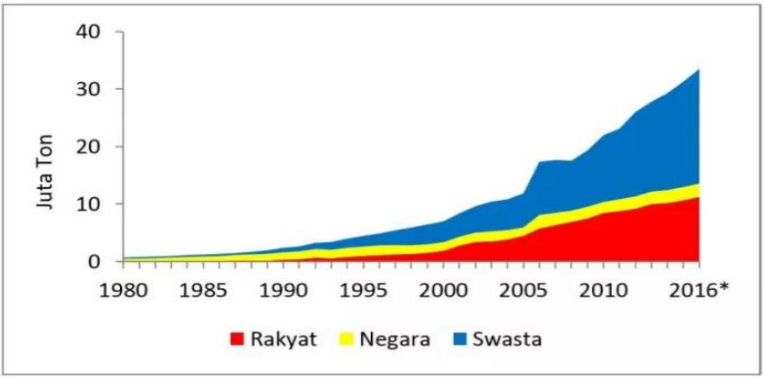
BAB 1

PENDAHULUAN

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

1.1 Latar Belakang

Industri sawit di Indonesia hingga saat ini telah mencatat prestasi yang cukup baik, bukan hanya perkembangan industri saja, melainkan juga kontribusinya dalam pembangunan nasional. Pembangunan infrastruktur yang sedang dibangun di berbagai daerah akan mendorong perkembangan ekonomi daerah lebih cepat dari masa sebelumnya. Pembangunan infrastruktur jalan dan sistem transportasi trans Sumatra, trans Jawa, trans Kalimantan, trans Sulawesi, trans Papua, tol laut, pelabuhan dan kawasan industri akan mengefisiensikan aliran barang dan jasa, serta memacu pusat-pusat pertumbuhan ekonomi di berbagai daerah. (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, 2020)



Gambar 1.1 Produksi Kelapa Sawit Domestik
Sumber : (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, 2020)

Peningkatan pertumbuhan ekonomi di Indonesia setelah tahun 2020 akan mencapai diatas 7 persen dan mendekati 10 persen menjelang tahun 2030. Pada masa tersebut, akan meningkatkan secara cepat konsumsi produk-produk akhir oleofood, oleokimia dan *biofuel*. Jika saat ini konsumsi minyak sawit pasar domestik hanya sekitar 10 juta ton per tahun, menjelang tahun 2030 akan naik setidaknya menjadi sekitae 30 juta ton per tahun. Maka dari itu, industrialisasi sawit nasional tersebut harus dipercepat untuk memanfaatkan masa kegemilangan ekonomi Indonesia tersebut. Menjelang tahun 2030, produksi minyak sawit harus meningkat menjadi setidaknya 60 juta ton dari 35 juta ton pada saat ini. Hilirisasi sawit domestik tiga jalur oleofood *complex*, oleokimia *complex* dan *biofuel complex* harus dipacu lebih cepat. (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, 2020)

Hal ini mendorong diciptakannya kendaraan barang yang berukuran besar, yang mampu membawa hasil produksi sawit dari produsen ke distributor dan konsumen secara cepat dan efisien supaya pertumbuhan ekonomi terus terjaga. Kendaraan yang sangat efisien, tetapi juga mampu dipergunakan untuk membawa beban yang berat adalah kendaraan hybrid, yang nantinya akan diterapkan pada truk pengangkut hasil perkebunan sawit

Kendaraan hybrid merupakan penggabungan dari dua sistem yang bekerja pada kendaraan konvensional dan sistem yang bekerja pada kendaraan listrik. Kendaraan konvensional mengandalkan sumber tenaganya dari bahan bakar, seperti bensin, solar, atau gas untuk bergerak.. Kendaraan hybrid menggunakan kombinasi dari mobil listrik dan mobil konvensional yang memanfaatkan pembakaran di mesin, dengan memaksimalkan kekuatan dari kedua sumber daya tersebut disamping saling mengisi kekurangannya. Meskipun begitu, kendaraan hybrid masih memiliki kekurangan, dimana daya pengeremannya masih terbuang sia-sia. Maka dari itu dikembangkannya lagi teknologi dari mobil hybrid, yakni teknologi sistem rem regeneratif atau *regenerative brake*.

Regenerative brake merupakan suatu sistem pengereman elektrik yang memperlambat kendaraan sekaligus menyerap energi kinetik yang terbuang dari proses pengereman tersebut. Agar sistem *regenerative brake* dapat bekerja dengan baik tanpa mengurangi kinerja pengereman maka diperlukan porsi pengereman antara *regenerative brake* dan sistem rem mekanik. Nantinya energi yang terbuang akan dikonversikan menjadi energi listrik dan disimpan dalam baterai.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini, dirumuskan beberapa permasalahan yaitu sebagai berikut:

1. Berapa rasio dan tingkat transmisi dari kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power pada kondisi moda hybrid?
2. Bagaimana karakteristik sistem tenaga dari moda berkendara kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power?
3. Berapa efisiensi, kontribusi dan besar nilai energi regeneratif dari pengereman kendaraan?

1.3 Batasan Masalah Penelitian

Dalam tugas akhir ini, diberikan beberapa batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Kecepatan angin dianggap nol.

2. Kendaraan hybrid yang dirancang adalah kendaraan hybrid seri, dengan sumber tenaga dari mesin diesel dan motor listrik (*Hybrid Electric Vehicle)*.
3. Percepatan atau perlambatan pada *driving cycle* adalah linier.
4. Tidak membahas *system control.*
5. Radius dinamik roda dianggap konstan.
6. Sistem penyimpanan yang digunakan adalah hanya menggunakan baterai.
7. Penggunaan kendaraan dalam penelitian disesuaikan spesifikasinya dengan kendaraan yang sudah ada.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mencari rasio dan tingkat transmisi dari kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power pada kondisi moda hybrid.
2. Mengetahui karakteristik sistem tenaga dari moda berkendara kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power.
3. Mendapatkan efisiensi, kontribusi dan besar nilai energi regeneratif dari pengereman kendaraan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Untuk memberikan wawasan mengenai teknologi kendaraan hybrid yang jauh lebih baik dan efisien.
2. Sebagai referensi untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut mengenai sistem rem regeneratif.
3. Membantu pengembangan desain mobil hybrid dengan memanfaatkan sistem rem regeneratif melalu pemodelan kendaraan angkut kelapa sawit**.**

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

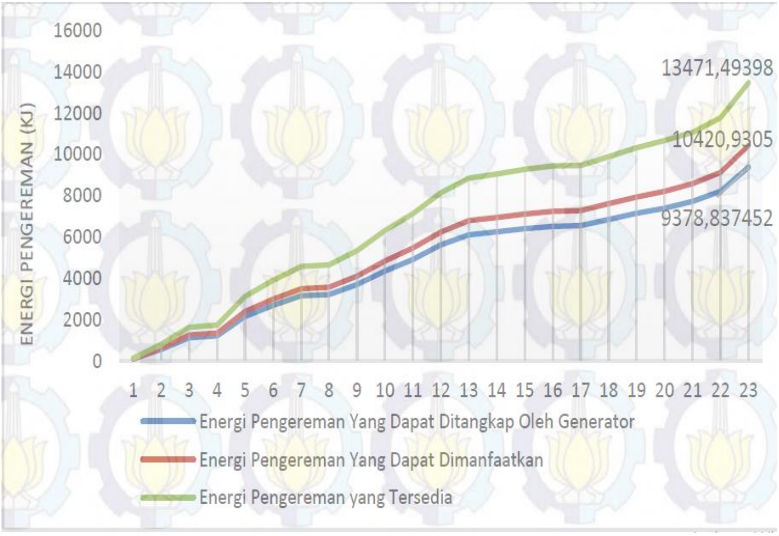
Pada bab 2 ini berisikan tentang tinjauan pustaka yang berisi tentang penelitian-penelitian tentang kendaraan hybrid dan *regenerative brake* terdahulu dan juga dasar teori yang berisi subbab tentang pengertian dari mobil hybrid, karakteristik motor listrik dan mesin diesel, sistem transmisi kendaraan, gaya hambat kendaraan yang meliputi gaya hambat drag, gaya hambat *rolling*, gaya hambat *gradien*, gaya hambat inersia dan gaya hambat total, selanjutnya berisi tentang kebutuhan tenaga dan torsi kendaraan, karakteristik traksi kendaraan, karakteristik *power* kendaraan, *regenerative brake*, energi pengereman, dan komponen-komponen *regenerative brake.*

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai kendaraan hybrid sudah pernah dilakukan, namun bukan merancang kendaraan, melainkan memetakan moda operasi kendaraan hybrid, yang dilakukan oleh Nico Hasoloan, dengan judul "Analisis Pengelolaan Energi dan Konsumsi Bahan Bakar pada Kendaraan Hibrid" dengan objek yang diteliti adalah Toyota Prius HEV 2017. Hasil yang didapatkan adalah konsumsi bahan bakar dari mobil hybrid adalah jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan kendaraan konvensional, dengan mencapai 2 liter per 100 km, sedangkan pada kendaraan konvensional masih mencapai 9 liter per 100 km. Juga didapatkan *utility* dari motor listrik adalah mencapai 6.12% saat menggerakkan kendaraan, dan mencapai 7.23% saat mengunduh energi. (Hasoloan, 2019)

Penelitian lain adalah "Analisa Pengaplikasian Sistem 'KERS' pada Bus Transjakarta dengan Sistem Penyimpanan pada Baterai" yang disusun oleh Christopher Reza Barawadya pada tahun 2016. Tugas akhir ini meneliti penggunaan *regenerative*

brake dengan pemodelan bus Transjakarta dan mengikuti *driving cycle* rute Pulogadung – Monas. (Baradwadya, 2016)



Gambar 2.1 Grafik Energi Pengereman Bus Transjakarta
Sumber : (Baradwadya, 2016)

Hasilnya, dari penelitian ini, didapatkan total energi pengereman yang tersedia sebesar 3.742kWh lalu energi pengereman yang dapat dimanfaatkan sebesar 2.8947kWh dan energi yang dapat ditangkap sebesar 2.6052kWh. (Baradwadya, 2016)

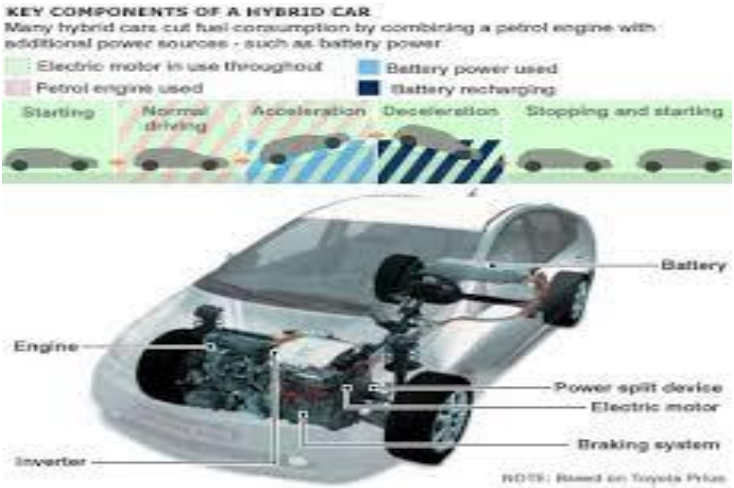
Penelitian terdahulu tentang *regenerative braking* dilakukan oleh Liang Zheng dari Hanbin Institute of Technology Shenzhen, China. Analisis terlebih dulu mendesain porsi pengereman pada roda bagian depan dan belakang, dan dilanjutkan dengan mengoptimalkan sistem kontrol yang tepat untuk *regenerative brake* yang bersadarkan *driving cycle* UNECE R13. Zheng mendesain porsi *regenerative brake* pada awal pengereman dengan porsi $0<g<0.16$ dan dilanjutkan dengan pengereman

mekanis. Dengan total energi yang dikonsumsi sebesar 0.6105kWh, energi pengereman 0.1863kWh dan energi yang bisa dibangkitkan sebesar 0.1136kWh dengan efisiensi sebesar 60.95%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa strategi control yang tepat akan meningkatkan efisiensi energi yang dapat diserap. (Zhang, 2012)

Dari beberapa penelitian diatas yang telah dilakukan, dapat diketahui energi yang diserap oleh sistem *regenerative brake* cukup besar daripada dibiarkan terbuang sia-sia dengan pengereman mekanik. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk keperluan kendaraan lain yang dapat mengurangi konsumsi bahan bakar kendaraan. Baiknya sistem *regenerative brake* ini dapat digunakan pada berbagai macam mobil.

2.2 Kendaraan Hybrid

Mesin pendorong mobil berteknologi hybrid memiliki 2 mesin berbeda, yaitu memiliki 1 unit mesin bensin atau diesel, dan sebuah mesin elektrik atau yang bisa disebut juga generator. Mesin utama yang digunakan adalah mesin bensin atau diesel. Namun ukurannya relatif kecil dan memiliki tenaga yang lebih kecil jika dibandingkan dengan mesin mobil normal. Ketika mesin bensin atau diesel bergerak dengan putaran mesin yang relatif tinggi atau berlebih, saat itu pula mesin elektrik akan mengubah energi dari putaran mesin yang relatif tinggi atau berlebih menjadi energi listrik dan selanjutnya akan disimpan di sebuah baterai khusus. Energi yang berlebihan ini timbul dari mesin bensin atau diesel. (Taymaz & Benli, 2014)



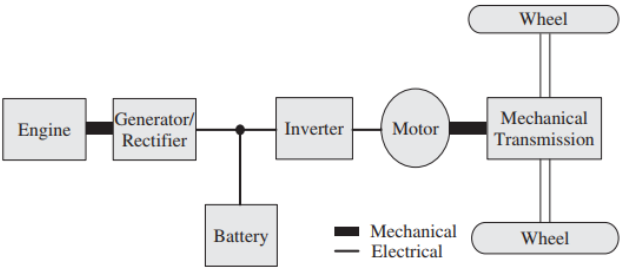
Gambar 2.2 Komponen Utama Mobil Hybrid
Sumber : (Taymaz & Benli, 2014)

Sebagai contoh, yaitu pergerakan mobil pada jalan yang datar. Maka mesin mobil hybrid akan memanfaatkan energi gerak yang dihasilkan oleh mesin bensin/diesel. Hal ini terjadi apabila pengemudi melepaskan pedal gas dan ketika menginjak pedal rem. Hal ini bisa disebut *renewable energy* atau energi yang dapat didaur ulang atau yang dapat digunakan kembali. Apabila energi yang telah tersimpan di baterai sewaktu-waktu diperlukan, maka secara otomatis energi yang tersimpan langsung disalurkan ke mesin elektrik dan kemudian dari mesin elektrik ini diubah menjadi energi gerak. Misalnya ketika mobil dalam keadaan menanjak, atau ketika mobil ingin mendahului.

Mesin mobil hybrid dapat dijuluki mesin yang dapat berpikir. Misalnya ketika mobil menunggu di persimpangan jalan atau *traffic light*, mesin bensin atau diesel akan secara otomatis mati. Mesin bensin atau diesel juga akan mati ketika pengereman dan ketika mesin tidak melakukan pembakaran atau kompresi. Mobil hybrid tidak memerlukan tempat untuk pengisian baterai

seperti telepon genggam, karena baterai akan diisi secara otomatis oleh mesin elektrik. Kedua mesin ini dapat bekerjasama dengan bantuan komputer dan sensor yang telah diprogram berdasarkan kebutuhan. Mobil hybrid adalah mobil yang ramah lingkungan dan hemat energi.

2.2.1 HEV Konfigurasi Seri



Gambar 2.3 Konstruksi Seri pada Kendaraan HEV
Sumber : (Mi, Masrur, & Gao, 2011)

Pada kendaraan hibrid elektrik (HEV) dengan konfigurasi seri, seperti yang ditujukan pada gambar 2.3, motor pembakaran dalam tidak berhubungan dengan roda kendaraan. Energi kimia yang dirubah menjadi energi mekanik pada mesin tidak digunakan untuk menggerakan roda kendaraan seperti pada kendaraan konvensional pada umumnya. Pada konfigurasi seri ini, motor pembakaran dalam dihubungkan ke komponen generator. Sehingga energi mekanik yang dihasilkan oleh mesin akan diubah menjadi energi listrik yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakan motor maupun disimpan didalam baterai kendaraan. Karena pada konstruksi ini mesin tidak berhubungan langsung dengan roda kendaraan, kinerja mesin dari kendaraan tidak dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan. Oleh karena itu, mesin dapat dijalankan pada putaran dengan tingkat konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*) terendah untuk mendapatkan tingkat efisiensi yang terbaik. (Sutantra, 2015)

Penggunaan konstruksi seri pada kendaraan hibrid sendiri memiliki beberapa kelebihan, yaitu :
1. Fleksibillitas penempatan mesin dan generator.
2. Kontrol sistem penggerak lebih ringkas.
3. Mesin dapat diatur untuk beroperasi pada putaran optimumnya.
4. Cocok untuk moda berkendara jarak dekat.

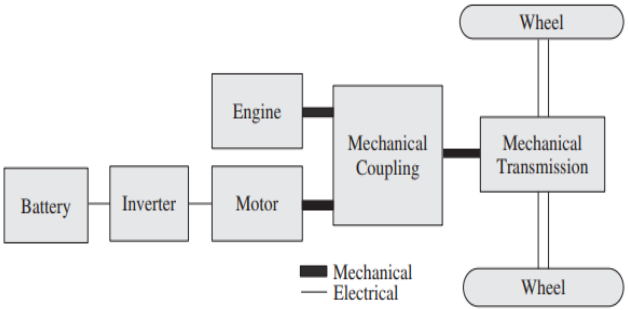
Namun, konstruksi seri pada kendaraan hibrid elektrik juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu :
1. Membutuhkan tiga komponen penggerak, yaitu : motor pembakaran dalam, generator, dan motor listrik.
2. Motor listrik didesain untuk mampu memenuhi kebutuhuan daya kendaraan sebesar mungkin, seperti dalam kondisi menanjak dan kendaraan dipercepat. Meskipun dalam sebagian besar waktu penggunaannya, kendaraan beroperasi jauh dibawah daya maksimum motor listrik. (Husain, 2005)

Dengan penggunaan konfigurasi seri pada kendaraan hibrid elektrik, terdapat beberapa moda operasi kendaraan yang dapat digunakan sesuai dengan kondisi operasi dan kebutuhan kendaraan, yaitu :
1. Murni penggerak listrik (*Pure Electric Traction Mode*) : Pada moda ini kendaraan mendapat asupan daya dari baterai. Daya listrik dari baterai dirubah menjadi daya gerak oleh motor listrik yang kemudian digunakan untuk menggerakan kendaraan. Pada moda ini motor pembakaran dalam dan generator tidak beroperasi.
2. Murni penggerak mesin (*Pure Engine Traction Mode*) : Pada moda ini kendaraan mendapat asupan daya dari mesin. Daya mekanik yang dihasilkan mesin dirubah menjadi daya listrik. Daya listrik yang dihasilkan generator kemudian digunakan sepenuhnya untuk memutar motor dan menggerakan kendaraan.
3. Penggerak hibrid (*Hybrid Traction Mode*) : Pada moda ini kendaraan mendapatkan daya dari mesin dan baterai. Pada moda ini, kendaraan membutuhkan asupan daya yang cukup besar sehingga asupan daya dari salah satu sumber saja tidak

cukup. Pada umumnya kondisi ini terjadi saat kendaraan dipercepat, berada pada kecepatan tinggi atau kendaraan menanjak.

4. Penggerak mesin dan mengisi accu (*Engine Traction with Battery Charging Mode*) : Pada moda ini daya listrik yang dihasilkan generator digunakan untuk menggerkan kendaraan dan mengisi baterai.
5. Unduh energi pengereman (*Regenerative Braking Mode*) : Pada moda ini motor listrik pada kendaraan akan berubah fungsi menjadi generator. Energi kinetik yang terbuang pada roda saat mengalami pengereman akan ditangkap dan dirubah menjadi energi listrik oleh motor listrik. Energi listrik tersebut kemudian akan disimpan dalam baterai. Pada moda ini mesin dan generator tidak beroperasi.
6. Pengisian accu (*Battery Charging Mode*) : Pada moda ini daya mekanik yang dihasilkan oleh mesin akan dirubah menjadi daya listrik oleh generator. Daya listrik tersebut kemudian akan sepenuhnya disimpan dalam baterai.
7. Pengisian accu secara hibrid (*Hybrid Battery Charging Mode*) : Pada moda ini baterai kendaraan akan menerima daya dari mesin dan motor listrik yang dioperasikan sebagai generator. (Sutantra, 2015)

2.2.2 HEV Konfigurasi Paralel



Gambar 2.4 Konstruksi Paralel pada Kendaraan HEV
Sumber : (Mi, Masrur, & Gao, 2011)

Pada kendaraan hibrid elektrik (HEV) dengan konfigurasi paralel yang ditunjukan pada gambar 2.4, motor pembakaran dan motor listrik berhubungan dengan roda kendaraan. Dengan penggunaan konstruksi paralel, daya yang dibutuhkan kendaraan dapat disuplai oleh mesin, motor listrik ataupun mesin dan motor listrik yang dioperasikan secara bersamaan. Motor listrik pada konstruksi ini juga dapat dioperasikan sebagai generator untuk mengisi baterai lewat *regenerative braking* ataupun dengan menyerap daya berlebih yang dihasilkan mesin ketika kebutuhan daya kendaraan lebih kecil dari daya yang dihasilkan oleh mesin. Karena pada kontruksi ini mesin dan motor listrik dihubungkan secara paralel, kapasitas dari motor listrik dan mesin yang dibutuhkan lebih kecil dari kendaraan HEV dengan konstruksi seri. Namun, dikarenakan mesin pada kontruksi ini berhubungan langsung dengan roda kendaraan, 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 pada konstruksi ini lebih tinggi dibandingkan dengan konstruksi seri. (Mi, Masrur, & Gao, 2011)

Penggunaan konstruksi paralel pada kendaraan hibrid sendiri memiliki beberapa kelebihan, yaitu :

1. Kendaraan hanya membutuhkan dua komponen penggerak, yaitu : motor listrik /generator dan motor pembakaran dalam. Pada konstruksi paralel, motor listrik dapat digunakan sebagai generator dan sebaliknya.
2. Motor dan mesin dengan kapasitas yang lebih kecil dapat digunakan untuk mencapai performa yang sama dengan konstruksi seri
3. Proses transmisi daya dari mesin ke roda lebih ringkas jika dibandingkan dengan konstruksi seri. Sehingga kerugian energi dari mesin ke roda dapat dikurangi.

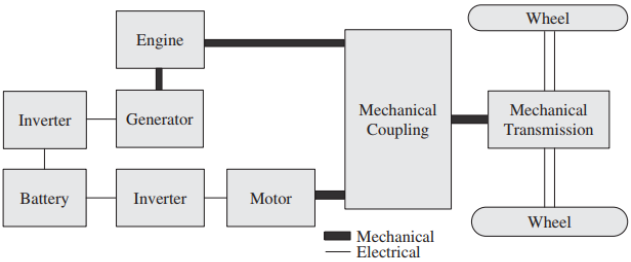
Namun, konstruksi paralel pada kendaraan hibrid elektrik juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu :

1. Membutuhkan sistem kontrol yang kompleks untuk dapat menyatukan dan mengatur daya yang dihasilkan oleh kedua sumber tenaga kendaraan, motor listrik dan motor pembakaran dalam.
2. Mesin pada konstruksi ini tidak dapat diatur untuk beroperasi pada putaran optimumnya. Sehingga tingkat efisiensi bahan bakar dari konstruksi paralel lebih kecil dibanding konstruksi seri. (Husain, 2005)

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

2.2.3 HEV Konfigurasi Seri/Paralel

Kendaraan hibrid elektrik (HEV) dengan konfigurasi seri/paralel, merupakan gabungan konstruksi seri dan paralel. Jika dibandingkan dengan konstruksi seri, konstruksi seri/paralel menambahkan sambungan mekanik antara mesin dan roda sehingga mesin dapat menggerakan roda secara langsung. Sedangkan jika dibandingkan dengan konstruksi paralel, konstruksi seri/paralel dapat dibentuk dengan menambahkan satu motor yang berfungsi sebagai generator, yang ditunjukan pada gambar 2.5. Konstruksi ini memungkinkan kendaraan untuk dapat beroperasi pada moda – moda operasi yang ada pada kontruksi seri dan paralel. (Taymaz & Benli, 2014)



Gambar 2.5 Konstruksi Seri/Paralel pada Kendaraan HEV
Sumber : (Mi, Masrur, & Gao, 2011)

Dengan menggabungkan konstruksi seri dan paralel, kelebihan dan kekurangan dari konstruksi seri dan paralel dapat dioptimasi. Motor pembakaran dalam pada konstruksi ini dapat digunakan untuk menggerakan kendaraan dan mengisi daya baterai. Salah satu keuntungan dari konstruksi ini dapat dicapai dengan mengoptimasikan strategi operasi dari mesin. Pada umumnya, motor pembakaran dalam memiliki tingkat efisiensi yang buruk jika dioperasikan pada putaran dan daya rendah, terutama mesin yang menggunakan bahan bakar bensin. Dengan meningkatkan daya dan putaran mesin, kondisi operasi optimum dapat tercapai dan daya yang berlebih dapat digunakan mengisi baterai. Dengan penggunaan konstruksi seri/paralel, kondisi berkendara yang optimal dan efisien dapat dicapai, namun konstruksi ini membutuhkan sistem kontrol yang jauh lebih kompleks dari kontruksi seri maupun paralel. (Mi, Masrur, & Gao, 2011)

2.3 Sistem Transmisi

Sistem transmisi adalah sistem yang akan berfungsi untuk mengkonversi trosi dan juga kecepatan yang berbeda-beda dan kemudian diteruskan pada penggerak akhir (*final drive)*. Konversi disini akan mengubah kecepatan putar yang lebih tinggi pada mesin menjadi lebih rendah pada roda, akan tetapi jauh lebih bertenaga. Hal ini karena putaran dari mesin sangatlah besar, bisa mencapai 6000rpm, maka dari itu dibutuhkan sistem transmisi untuk mengkonversi putaran tinggi menjadi putaran rendah pada roda kendaraan. Sistem transmisi yang sering digunakan dan banyak diaplikasikan pada kendaraan yaitu transmisi daya manual dan transmisi daya otomatis.

Pada transmisi manual, daya dan torsi dari mesin akan ditransmisikan oleh kopling dan menghasilkan daya keluar kopling dan torsi, dan kemudian akan ditransmisikan lagi oleh sistem transmisi sehingga menghasilkan daya dan torsi transmisi. Daya dan torsi yang keluar dari transmisi akan disalurkan dan ditransmisikan lagi melewati poros utama dan garden untuk masuk ke poros penggerak. Daya dan torsi poros penggerak akan

dikonversikan menjadi gaya dorong/gaya traksi (Ft) pada bidang kontak antara jalan dan roda, serta menghasilkan kecepatan yang dapat dicapai oleh kendaraan.

Pada transmisi otomatis, kopling mekanis yang digunakan pada transmisi manual diganti dengan torsi konverter yang dapat berupa kopling hidrolik atau *continuous vareable transmission* (CVT). Torsi konverter ini berfungsi untuk meningkatkan torsi mesin agar mesin tidak mati saat kendaraan *start* atau saat masuk transmisi pertama. Torsi konverter hidrolik mampu menghasilkan torsi maksimum yang keluar dari torsi konverter mencapai dua kali dari torsi mesin. Sedangkan torsi konverter dengan menggunakan CVT dapat menghasilkan torsi maksimum yang lebih besar dari kopling hidrolik. Besar torsi yang keluar dari torsi konverter secara umum tergantung dari rasio putaran mesin dan torsi konverter.

Untuk menentukan besar rasio transmisi pada kendaraan, perlu diperhatikan beberapa hal, diantaranya kemampuan *output* gaya traksi yang dihasilkan kendaraan, dan juga menentukan ukuran komponen dari transmisi supaya dimensi transmisi ideal dengan kendaraan. Untuk menghitung rasio gigi pertama dapat diperoleh dari rumus berikut.

$$It_1 = \frac{Ft \times r_w}{ig \times Tm_{max} \times Eff_m} \qquad \textbf{2.1}$$

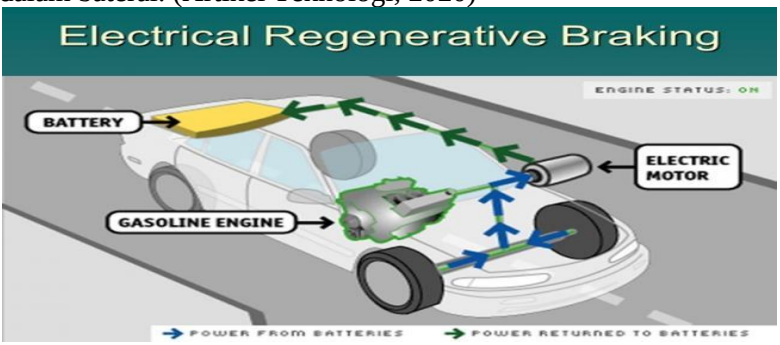
Dengan : Ft = gaya traksi maksimum (N)
r_w = radius roda/*wheel* (m)
Ig = rasio gardan
Tm_{max} = torsi maksimum (Nm)
Eff_m = efisiensi motor listrik

Kemudian, untuk mencari rasio transmisi gigi kedua dan selanjutnya, akan disesuaikan dengan kecepatan maksimal kendaraan, dan juga kemampuan menanjaknya sesuai dengan konsep rancangan kendaraan. Berikut adalah rumus untuk menghitung rasio gigi kedua dan seterusnya pada motor listrik.

$$It_n = \frac{n_{base}}{n_{maks}} \times It_{n-1} \qquad \textbf{2.2}$$

2.4 Regenerative Braking

Saat suatu kendaraan melakukan proses pengereman, maka akan selalu ada sejumlah energi yang hilang dari kendaraan tersebut. Ketika kendaraan berjalan dengan kondisi fluktuatif secara terus-menerus, maka akan lebih banyak lagi energi yang hilang akibat proses pengereman yang berulang-ulang. Desain pengereman yang harus dipenuhi pada kendaraan hybrid adalah untuk mendapatkan kembali sebanyak mungkin energi pengereman yang biasanya terbuang. Desain *regenerative braking* atau rem regeneratif akan mengacu kepada analisis kebiasaan pengereman dan karakteristik kendaraan seperti kecepatan kendaraan, energi pengereman, penurunan kecepatan dan juga *driving cycle*. Proses *regenerative braking* sendiri diawali dengan masuknya sejumlah energi kinetik yang berasal dari roda kendaraan saat melakukan perlambatan, energi kinetik tersebut yang akan dikonversikan menjadi suatu daya dan ditampung di dalam baterai. (Artikel Teknologi, 2020)



Gambar 2.6 Aliran Energi saat Proses *Regenerative Braking*
Sumber : (Artikel Teknologi, 2020)

Sistem rem regeneratif pada kendaraan hybrid tipe parallel pada umumnya hampir sama dengan sistem pengereman pada kendaraan konvensional biasa, namun pada kendaraan hybrid

sistem pengeremannya terbagi menjadi sistem pengereman mekanik dan sistem pengereman elektrik, dimana sistem pengereman elektrik diletakkan langsung pada roda penggerak. Sama seperti pada kendaraan konvensional, sistem pengereman mekanik pada kendaraan hybrid juga menggunakan *master cylinder* dan *booster*, memiliki *brake caliper* dan *brake disc*, pada sebagian tipe kendaraan hybrid juga ada yang dilengkapi dengan ABS *controller and actuator*, dan besar gaya pengereman dihasilkan dan dikontrol oleh pengemudi kendaraan tersebut. Pada sistem pengereman elektrik, motor listrik langsung mendistribusikan torsi pengereman ke bagian roda penggerak yang dikontrol oleh suatu *controller* pada kendaraan yang besarnya tergantung dari kecepatan kendaraan dan posisi pedal pengereman, dimana kondisi tersebut telah didesain sebelumnya pada *controller* sistem pengereman elektrik. (Artikel Teknologi, 2020)

Untuk mendapatkan rasio pengereman yang optimal pada kendaraan hybrid, maka kita harus dapat menentukan porsi pengereman dari sistem *regenerative braking*, sistem pengereman mekanik dan juga sistem pengereman elektrik. Penentuan porsi pengereman ini juga dipengaruhi oleh kecepatan dan perlambatan kendaraan yang menjadi nilai acuan *controller* pada motor listrik dalam sistem pengereman elektrik. (Artikel Teknologi, 2020)

Komponen penunjang dalam penggunaan *regenerative braking* adalah sebagai berikut.

2.4.1 Hybrid Motor Generator

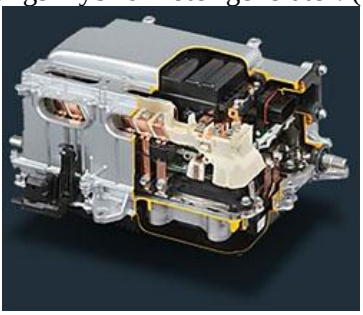
Hybrid Motor Generator adalah salah satu komponen *Hybrid Electric Vehicle* yang berfungsi untuk mengkonversi energi kinetik dari putaran *combustion engine* ketika terjadi perlambatan menjadi energi listrik yang kemudian disimpan pada baterai, atau sebaliknya. Ketika terjadi pengereman, Hybrid Motor Generator akan berfungsi sebagai generator yang mengkonversi putaran *combustion engine* menjadi energi listrik untuk selanjutnya disimpan pada baterai. Sedangkan ketika kendaraan melakukan akselerasi, Hybrid Motor Generator akan berfungsi sebagai motor yang mengkonversi energi listrik yang sebelumnya tersimpan pada

baterai menjadi energi mekanik untuk membantu kerja *combustion engine* dalam memenuhi kebutuhan daya kendaraan untuk melakukan akselerasi. Hybrid Motor Generator diatur oleh suatu *Engine Control Unit (ECU)*. (Prasetyo, 2017)

Gambar 2.7 Contoh Hybrid Motor Generator
Sumber : (Team, 2015)

2.4.2 *Engine Control Unit* (ECU)

Engine Control Unit merupakan suatu komponen pada kendaraan yang berfungsi untuk melakukan optimisasi kinerja kendaraan. ECU bertujuan untuk mengelola mesin kendaraan melalui pengendalian, misalnya pada bahan bakar untuk campuran udara, kecepatan idle dan waktu pengapian. ECU berfungsi juga untuk mengatur fungsi hybrid motor generator. (Prasetyo, 2017)



Gambar 2.8 *Toyota's Power Control Unit*
Sumber : (Toyota Motor Asia Pacific Pte Ltd, 2016)

2.4.3 *Inverter*

Inverter merupakan komponen pada mobil hybrid yang berfungsi sebagai penghubung antara baterai dan hybrid motor generator. *Inverter* akan mengkonversi arus DC yang dihasilkan oleh baterai untuk memutar motor listrik dan akan mengkonversi arus AC dari generator menjadi arus DC yang nantinya akan digunakan untuk mengisi tenaga baterai. (Akhdanazizan, 2020)

Gambar 2.9 Contoh *Inverter*
Sumber : (Akhdanazizan, 2020)

2.4.4 Baterai

Baterai dalam kendaraan hybrid dan listrik mempunyai peran sebagai penyipanan 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). Berikut ini adalah contoh baterai yang digunakan di mobil Toyota Camry Hybrid.

Gambar 2.10 Contoh Baterai Kendaraan Hybrid
Sumber : (Toyota, 2020)

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. (Sutantra, 2015)

Sampai dengan saat ini, telah banyak perusahaan otomotif yang mengembangkan kendaraan listrik yang menggunakan kedua jenis baterai tersebut sebagai penyimpanan energinya. Baterai NiMH telah digunakan pada kendaraan listrik oleh perusahaan-perusahaan, diantaranya : General Motors (USA), Ford (USA), Chrysler (USA), BMW (Jerman), Daimler Benz (Jerman), Mitsubishi (Jepang), Nissan (Jepang), dan Tesla (USA). Sedangkan baterai Li-ion telah digunakan pada kendaraan listrik oleh perusahaan-perusahaan diantaranya : General Motors (USA), Ford (USA), Toyota (Jepang), Honda (Jepang), Nissan (Jepang), BMW (Jerman), dan Daimler Benz (Jerman). (Sutantra, 2015)

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 ….. Tenaga yang dapat tersimpan dalam baterai dari kendaraan (Pb) ditentukan oleh jumlahnya (n), arusnya (I), tegangannya (V), dan tahanan pada baterai (R) yang mengakibatkan berkurangnya tegangan atau *voltage drop* (Vd) pada baterai. Besarnya pengurangan tegangan adalah arus (I) dikalikan dengan tahanan baterai (R). (Sutantra, 2015)

$$Pd = nL(V - Vd)kw \qquad \textbf{2.3}$$

$$Vd = IR \qquad \textbf{2.4}$$

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

$$Eb = n.Ih.(V - Vd)(Wh) \qquad \textbf{2.5}$$

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

Waktu tempuh dari kendaraan yang menggunakan motor listrik (Tk) tergantung dari kapasitas energi dari baterai yang digunakan dan tenaga yang dibutuhkan dari kendaraan (Pk), sedangkan kebutuhan tenaga ditentukan oleh kecepatan kendaraan (Vk). 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. (Sutantra, 2015)

$$Tk = \frac{Eb\ (Watt.hour)}{Pk\ (Watt)} \qquad \textbf{2.6}$$

Tenaga yang dibutuhkan kendaraan dengan kecepatan tetap (Vk) dan dengan percepatan (a) pada kecepatan (Vk), dapat dirumuskan sebagai berikut.
Untuk kendaraan dengan kecepatan konstan :

$$Pk = (fr.W + 0{,}5.\rho.Cd.Af.Vk^2)Vk \qquad \textbf{2.7}$$

Untuk kendaraan dengan kecepatan Vk dan percepatan a :

$$Pk = (fr.W + 0{,}5.\rho.Cd.Af.Vk^2 + M.a)Vk \qquad \textbf{2.8}$$

Dimana W adalah berat kendaraan dan M adalah massa kendaraan.

Pemilihan jenis baterai yang digunakan untuk kendaraan truk Hino Dutro 130 HD X Power adalah berpatokan dengan jumlah energi pengereman terbesar yang bisa dimanfaatkan oleh kendaraan berdasarkan *driving cycle*. Setelah didapatkan energi pengereman regeneratif, langkah selanjutnya adalah menghitung besar ampere baterai yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$Q = \frac{Energi\ Tersedia}{Voltase} \qquad \textbf{2.9}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung jumlah baterai yang diperlukan berdasarkan ketersediaan baterai di pasaran. Langkah terakhir adalah mendapatkan spesifikasi dari baterai yang diperlukan kendaraan.

2.5 Komponen Penggerak Kendaraan

2.5.1 Karakteristik Motor Listrik

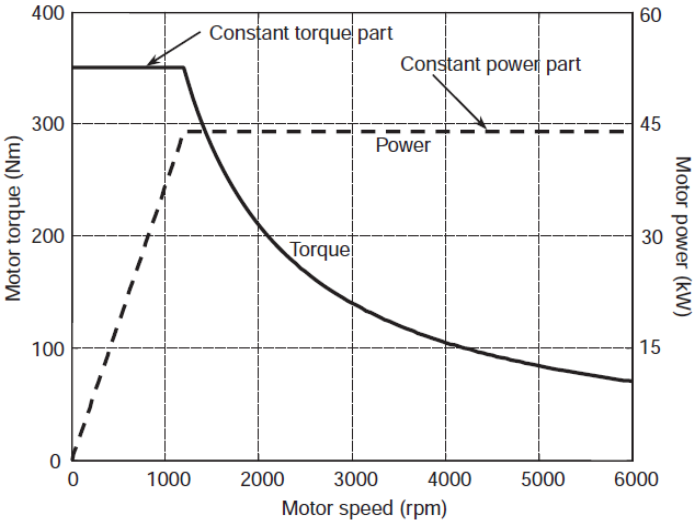
Salah satu sumber penggerak pada kendaraan hibrid adalah motor listrik. Motor listrik pada kendaraan hibrid dapat digerakan oleh tenaga tenaga baterai maupun oleh tenaga mesin sesuai dengan kontruksi yang dipakai pada kendaraan. Pada umumnya, motor listrik memiliki karakteristik tenaga yang dihasilkan oleh motor listrik meningkat secara linear dari putaran awal hingga ke putaran dasar (*base speed*). Dan ketika motor listrik mencapai kecepatan dasar, tenaga yang dihasilkan akan konstak hingga motor mencapai kecepatan maksimumnya. Sedangkan torsi yang

dihasilkan oleh motor listrik mencapai torsi maksimum dan konstan dari putaran awal hingga putaran dasar seperti yang ditujukan pada gambar 2.10. Ketika mencapai putaran dasar, nilai torsi akan menurun seiring bertambahnya kecepatan putaran motor. Untuk menghitung torsi motor listrik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$T_p = F_{r\ total} \times r_w \qquad \textbf{2.10}$$

Salah satu parameter penting dalam motor listrik adalah rasio antara kecepatan maksimum dan kecepatan dasar motor (x). Faktor kecepantan (x) dapat menentukan kualitas dari motor listrik. Semakin besar nilai x, semakin besar nilai torsi maksimum yang dapat dihasilkan motor, sehingga gaya dorong maksimum pada roda juga akan bertambah.Gaya dorong akan berpengaruh pada kecepatan kendaraan, dan pada daya yang harus dikeluarkan motor listrik, karena jika tidak sesuai kebutuhan, maka kendaraan tidak dapat melaju sesuai yang diharapkan. Daya yang dibutuhkan oleh motor listrik dapat dirumuskan sebagai berikut. (Sutantra, 2015)

$$P = {}^{RHP}/_{Edt} \qquad \textbf{2.11}$$

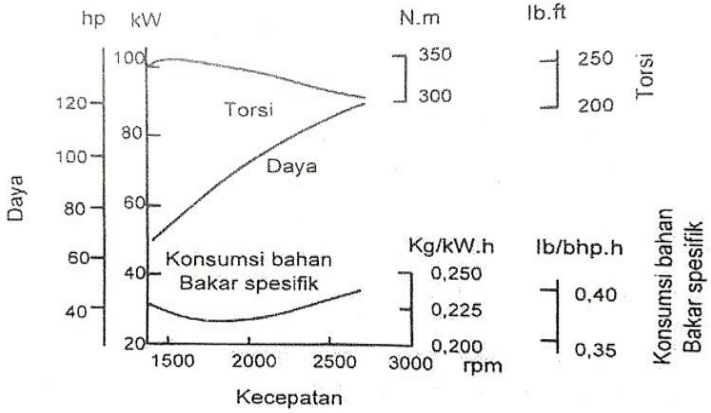


Gambar 2.11 Karakteristik Motor Listrik
Sumber : (Mashadi & Crolla, 2012)

2.5.2 Karakteristik Motor Pembakaran Dalam

Pada kendaraan hibrid selain menggunakan motor listrik, sumber tenaga juga dapat disediakan oleh motor pembakaran dalam. Motor pembakaran dalam/ mesin torak memiliki tiga parameter utama untuk menentukan performa mesin, yaitu : torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik. Mesin torak memiliki karakteristik torsi yang meningkat seiring bertambahnya kecepatan putaran mesin dan menurun pada putaran tertentu. Penurunan torsi pada putaran tinggi diakibatkan oleh pembakaran yang tidak sempurna. Hal ini disebabkan pada putaran tinggi, waktu untuk memasukan bahan bakar ke ruang bakar semakin berkurang, sehingga jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar berkurang. Hal ini juga menyebabkan tingkat konsumsi bahan bakar meningkat pada putaran mesin tinggi seperti yang ditujukan pada gambar 2.11. Selain itu gas buang dari proses pembakaran

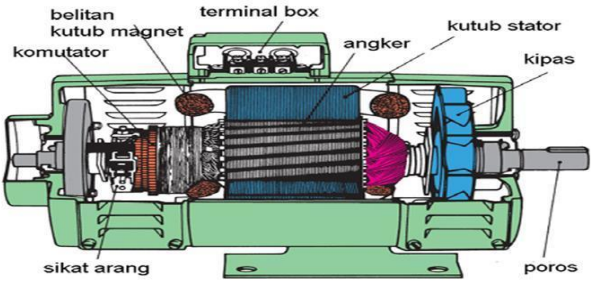
sebelumnya belum sepenuhnya keluar dari ruang bakar dan tercampur ke proses pembakaran. (Sutantra, 2015)



Gambar 2.12 Karakteristik Mesin Diesel
Sumber : (Sutantra, 2015)

2.6 Generator

Generator adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengkonversikan energi kinetik menjadi energi listrik. Energi mekanik yang akan diubah oleh generator pada sistem *regenerative braking* ini adalah energi yang berasal dari putaran roda kendaraan tersebut. Generator yang akan digunakan pada desain *regenerative braking* ini adalah generator tipe DC, dimana energi listrik yang dihasilkan oleh generator ini adalah listrik dengan arus searah, sehingga dapat langsung ditampung pada baterai yang akan digunakan pada kendaraan. Generator DC terdiri dari 2 bagian utama, yaitu bagian stator dan bagian rotor. Bagian stator adalah bagian dari generator DC yang diam, dan terdiri dari rangka motor, belitan stator, sikat arang, *bearing* dan *terminal box.* Sedangkan bagian rotor adalah bagian dari generator DC yang berputar. Bagian rotor terdiri dari komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.



Gambar 2.13 Konstruksi Generator DC
Sumber : (Baradwadya, 2016)

Spesifikasi generator yang akan dipilih dalam mendesain sistem *regenerative braking* adalah generator yang mampu mengkonversikan daya mekanik yang dihasilkan pada saat proses *regenerative braking* menjadi daya listrik, yang kemudian akan disimpan ke dalam baterai. Secara umum, karakteristik generator memiliki *output* arus dan voltase yang berbanding lurus dengan RPM rotor generator tersebut. Semakin tinggi putaran rotor generator, maka semakin tinggi pula nilai arus dan voltase yang dapat dihasilkan oleh generator. Pada putaran rotor tertentu, dengan mengalikan nilai arus dan voltase, maka kita dapat mengetahui nilai daya yang dihasilkan oleh generator tersebut.

2.7 *Driving Cycle*

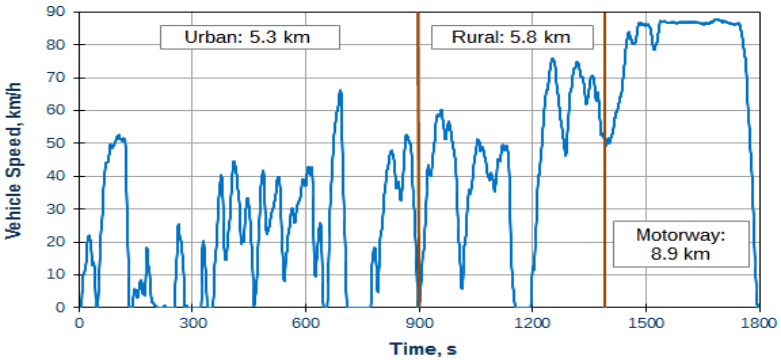
Driving cycle adalah kumpulan data kecepatan kendaraan dan pemilihan rasio gigi sebagai fungsi waktu yang mengindikasikan suatu perilaku berkendara. Daur berkendara suatu kendaraan dapat dibandingkan berdasarakan informasi statistik kendaraan. Selain data kecepatan kendaraan (v) terhadap waktu pada daur mengemudi, terdapat parameter lainnya yang dapat dikalkulasi, seperti percepatan (a) dan jarak tempuh kendaraan (s).

Berdasarkan perubahan karakteristik kecepatan dan daya mesin, *driving cycle* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: *steady*

state cycles dan *transient cycles*. *Steady state cycles* adalah sebuah daur berkendara yang memiliki kecepatan dan daya mesin konstan. Pada umumnya, daur ini digunakan untuk menguji *heavy duty diesel engine*. Sedangkan, *transient cycles* adalah sebuah daur dengan kecepatan dan daya keluaran mesin yang mengalami perubahan terus menerus. Berdasarkan kecepatan kendaraan, secara umum *driving cycles* dapat dibedakan menjadi *Extra Urban Driving Cycles* (moda jalan bebas hambatan) dan *Urban Driving Cycles* (moda jalan perkotaan).

Karena kondisi jalan, moda berkendara dan kondisi lingkungan di tiap belahan dunia berbeda – beda, diperlukan sebuah standar *driving cycles* tertentu pada tiap tempat. Banyak pengujian yang sudah dilakukan oleh berbagai peneliti yang dilakukan di berbagai negara, misalnya NEDC yang dibuat berdasarkan kondisi berkendara di Eropa, WLTP yang baru dibuat oleh gabungan peneliti di Uni Eropa, Jepang dan India berdasarkan UNECE *World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations* dan *driving cycle* WHVC yang dibuat di Cina dan kebanyakan digunakan untuk kendaraan *heavy duty*.

World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC) adalah tes dinamometer sasis yang dikembangkan berdasarkan kumpulan data yang sama yang digunakan untuk pengembangan *World Harmonized Transient Cycle* (WHTC). Walaupun tes dinamometer sasis WHVC tidak identik dengan uji mesin WHTC, hasil WHVC kadang-kadang digunakan untuk membandingkan masing-masing tingkat emisi kendaraan dan mesin untuk keperluan penelitian. (ECOpoint, 2020)



Gambar 2.14 *Driving Cycle* WHVC
Sumber : (ECOpoint, 2020)

Durasi tes WHVC adalah 1800 detik. Tes ini mencakup tiga segmen, yang mewakili mengemudi perkotaan, pedesaan dan jalan raya. 900 detik pertama mewakili berkendara perkotaan dengan kecepatan rata-rata 21,3 km / jam dan kecepatan maksimum 66,2 km / jam. Segmen ini mencakup mulai sering, berhenti dan *idling*. 481 detik berikutnya mewakili berkendara pedesaan dengan kecepatan rata-rata 43,6 km / jam dan kecepatan maksimum 75,9 km / jam. 419 detik terakhir didefinisikan sebagai jalan raya dengan kecepatan rata-rata 76,7 km / jam dan kecepatan maksimum 87,8 km / jam. (ECOpoint, 2020)

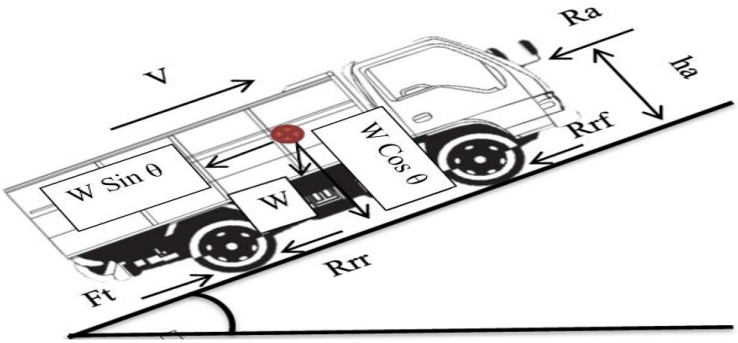
Bobot yang diterapkan masing-masing dari tiga segmen dapat bervariasi antara 0 dan 1 untuk mewakili kelas operasi kendaraan yang berbeda. Jumlah dari ketiga faktor penimbangan harus 1,0. (ECOpoint, 2020)

Versi yang sedikit dimodifikasi dari *World Harmonized Vehicle Cycle* (WHVC), C-WTVC, digunakan untuk keperluan sertifikasi di Cina. Beberapa nilai akselerasi dan deselerasi WHVC asli dikurangi di C-WTVC untuk mencerminkan kendaraan tugas berat / *heavy duty* di Cina; ini cenderung memiliki rasio bobot daya mesin terhadap kendaraan yang lebih rendah daripada kendaraan tugas berat untuk pasar utama (yaitu, Eropa, Amerika Utara, dan

Jepang) yang digunakan untuk mengembangkan WHVC. (ECOpoint, 2020)

2.8 Gaya yang Berpengaruh pada Kendaraan

Kendaraan dalam berjalan tidak hanya melakukan percepatan, namun juga terjadi perlambatan, yang disebut pengereman dalam istilah berkendara. Perlambatan yang terjadi pada kendaraan bisa disebabkan oleh banyak hal, misalnya adanya *traffic light* yang mengharuskan pengemudi berhenti, lalu adanya kemacetan atau kecelakaan yang membuat pengemudi melakukan perlambatan pada kendaraan, juga bisa disebabkan karena kondisi jalan yang tidak rata atau memadai sehingga jika kendaraan dipacu dengan kecepatan tinggi, akan menimbulkan ketidaknyamanan dalam berkendara. Gaya-gaya yang berpengaruh pada kendaraan adalah gaya *drag*, gaya *rolling resistance*, gaya traksi, gaya inersia kendaraan dan gaya hambat gradien.



Gambar 2.15 Gaya Pada Kendaraan
Sumber : (Sutantra, 2015)

Ketika kendaraan melakukan percepatan, maka dibutuhkan gaya traksi yang besar agar kendaraan mampu melaju dengan peningkatan kecepatan sampai pada kecepatan yang diharapkan, demikian pula dengan gaya akselerasi akan meningkat

seiring dengan peningkatan kecepatan kendaraan. Adapun rumus perhitungan gaya traksi adalah sebagai berikut : (Sutantra, 2015)

$$F_t = Fd + Frr + Fg + Fi \qquad \textbf{2.12}$$

Dengan : Fd = gaya hambat *drag* (N)
Frr = gaya hambat *rolling resistance* (N)
Fg = gaya hambat gradien (N)
Fi = gaya inersia kendaraan (N)

Adapun Fi adalah gaya inersia kendaraan, didapatkan dengan pengurangan antara gaya traksi dengan gaya *drag* dan gaya *rolling resistance*. Semakin besar gaya traksi, maka akan didapatkan gaya akselerasi yang semakin besar pula dan sebaliknya, karena ketika kendaraan sudah melaju dengan konstan dan dalam kecepatan tertentu, kendaraan tidak membutuhkan gaya traksi yang besar, maka akselerasi kendaraan juga tidak besar. Dapat dikatakan besar gaya traksi sebanding nilainya dengan besar gaya akselerasi. (Sutantra, 2015)

$$F_i = m \times a \qquad \textbf{2.13}$$

Dengan : m = massa (kg)
a = akselerasi (m/s^2)

Ketika kendaraan melakukan perlambatan, gaya-gaya yang berpengaruh adalah gaya *drag*, gaya *rolling resistance* dan gaya hambat tanjakan. 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 :

$$F_d = 0.5 \times \rho \times A_f \times C_D \times V^2 \qquad \textbf{2.14}$$

Dengan : ρ = Densitas udara (kg/m^3)
A_f = Luasan frontal kendaraan (m^2)
C_D = Koefisien *drag*
V = Kecepatan relative udara dengan kendaraan (m/s)

Gaya *drag* dipengaruhi oleh koefisien *drag* kendaraan itu, dimana C_D merupakan koefisien hambatan aerodinamik yang dipengaruhi oleh faktor bentuk dan kehalusan permukaan

kendaraan. Koefisien *drag* (C_D) dari sebuah kendaraan dapat dianggap sebagai beban aero terhadap gerakan maju. Semakin besar nilai C_D maka semakin besar pula hambatan aerodinamiknya. Bentuk bodi kendaraan yang mempunyai nilai C_D yang kecil dikatakan sebagai bentuk aerodinamis dimana bentuknya adalah *stramline* yang mengikuti arah aliran udara yang melewati permukaan bodinya.

Sedangkan gaya *rolling resistance* adalah gaya yang disebabkan oleh gesekan roda dengan permukaan jalan raya akibat adanya defleksi pada roda yang berputar, yang arahnya berlawanan dengan arah gerak kendaraan. Gaya *rolling resistance* dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{rr} = f_R \times W Cos\alpha \qquad \textbf{2.15}$$

Dengan : f_R = koefisien *rolling*
W = gaya berat kendaraan (N)
$Cos\alpha$ = sudut kemiringan jalan raya

Dan ketika kendaraan melaju pada jalan yang datar, perumusannya menjadi :

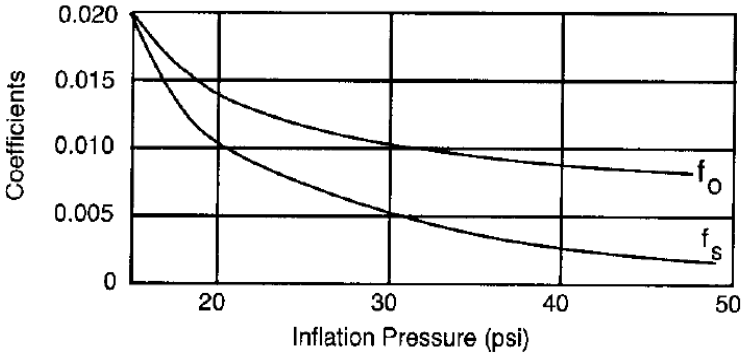
$$F_{rr} = f_R \times W \qquad \textbf{2.16}$$

Berdasarkan hasil studi dari J.J. Taborek dan eksperimen dari S.K. Clark, koefisien *rolling* dari kendaraan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_R = C_K . C_A . C_J (f_o + f_s \left(\frac{V}{100}\right)) \qquad \textbf{2.17}$$

Dengan: N = Gaya normal kendaraan
f_r = Koefisien hambatan *rolling*
C_k = 1 Jika ban menggunakan kembangan
C_k = 0.6 Jika ban bias tanpa kembangan
C_k = 0.4 Jika ban radial tanpa kembangan
C_A = 1 Jika kecepatan kendaraan konstan
C_A = 2 Jika kendaraan dipercepat atau diperlambat
C_J = 1 Jika berjalan di aspal
C_J = 0.25 Jika berjalan di beton

Koefisien f_o dan f_s merupakan koefisien hambatan *rolling* yang dipengaruhi oleh besar tekanan ban. Nilai dari f_o dan f_s dapat dicari melalui gambar 2.8 sebagai berikut:



Gambar 2.16 Koefisien *rolling resistance* (fo dan fs) akibat pengaruh tekanan ban
Sumber : (Gillespie)

Gaya hambat tanjakan merupakan gaya hambat yang terjadi ketika kendaraan melaju pada kondisi jalan yang menanjak. Gaya hambat tanjakan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_G = W.\sin\theta \qquad \textbf{2.18}$$

2.9 Analisis Kebutuhan Daya Kendaraan

Kebutuhan daya dari kendaraan hibrid dapat disediakan oleh beberapa sumber, seperti: mesin dan baterai. Untuk menentukan kapasitas mesin dan baterai yang perlu digunakan kendaraan, perlu dilakukan analisis kebutuhan daya kendaraan pada tiap moda operasi. Besar daya jalan (*Road Horse Power*) yang diperlukan tersebut tergantung pada besaran gaya dorong yang diperlukan di tiap tingkat kecepatan dan moda operasi kendaraan. Dan besaran gaya traksi kendaraan dipengaruhi oleh gaya hambat yang terjadi di tiap moda operasi.

Jika kendaraan beroperasi pada jalan yang rata dengan kecepatan konstan, gaya traksi (Ft) yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_t = R_A + R_R \qquad \textbf{2.19}$$

$$F_t = \frac{1}{2}\rho . A_f . C_D . {V_A}^2 + N . f_r \qquad \textbf{2.20}$$

Sehingga besar daya jalan (RHP) yang dibutuhkan kendaraan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$RHP = F_t . V_k \qquad \textbf{2.21}$$

$$RHP = (\frac{1}{2}\rho . A_f . C_D . {V_A}^2 + N . f_r) . V_k \qquad \textbf{2.22}$$

dengan: RHP = Daya jalan kendaraan (Watt)
Ft = Gaya traksi (Newton)
V_k = Kecepatan kendaraan (m/s)

Jika kendaraan beroperasi pada jalan yang rata dengan kecepatan berubah, gaya traksi (Ft) yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_t = R_A + R_R + Fi \qquad \textbf{2.23}$$

$$F_t = \frac{1}{2}\rho . A_f . C_D . {V_A}^2 + N . f_r + m . a \qquad \textbf{2.24}$$

Sehingga besar daya jalan (RHP) yang dibutuhkan kendaraan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$RHP = F_t . V_k \qquad \textbf{2.25}$$

$$RHP = (F_t = \frac{1}{2}\rho . A_f . C_D . {V_A}^2 + N . f_r + m . a) . V_k \qquad \textbf{2.26}$$

Jika kendaraan beroperasi pada jalan menanjak sebesar θ dengan kecepatan konstan, gaya traksi (Ft) yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_t = R_A + R_R + R_G \quad \textbf{2.27}$$

$$F_t = \frac{1}{2}\rho . A_f . C_D . {V_A}^2 + N . \cos\theta . f_r + W . \sin\theta \quad \textbf{2.28}$$

Sehingga besar daya jalan (RHP) yang dibutuhkan kendaraan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$RHP = F_t . V_k \quad \textbf{2.29}$$

$$RHP = (\frac{1}{2}\rho . A_f . C_D . {V_A}^2 + N . \cos\theta . f_r + W . \sin\theta) . V_k \quad \textbf{2.30}$$

Jika kendaraan beroperasi pada jalan menanjak sebesar θ dengan kecepatan berubah, gaya traksi (Ft) yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_t = R_A + R_R + R_G + Fi \quad \textbf{2.31}$$

$$F_t = \frac{1}{2}\rho . A_f . C_D . {V_A}^2 + N . \cos\theta . f_r + W . \sin\theta + m . a \quad \textbf{2.32}$$

Sehingga besar daya jalan (RHP) yang dibutuhkan kendaraan dapat dirumuskan sebagai berikut: (Sutantra, 2015)

$$RHP = F_t . V_k \quad \textbf{2.33}$$

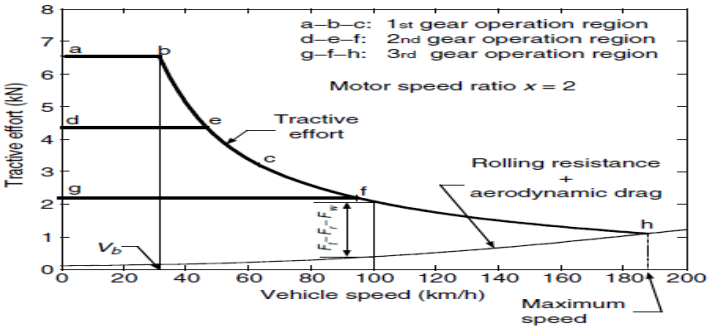
$$RHP = (\frac{1}{2}\rho . A_f . C_D . {V_A}^2 + N . \cos\theta . f_r + W . \sin\theta + m . a) . V_k \quad \textbf{2.34}$$

2.10 Karakteristik Traksi dan Power Kendaraan

Saat kendaraan melaju, maka kendaraan akan membutuhkan gaya dorong dan daya untuk menggerakkan kendaraan tersebut. Berikut ini adalah karakteristik traksi dan power dari penggerak kendaraan hybrid, yaitu motor listrik dan mesin diesel.

2.10.1 Karakteristik Traksi

Karakteristik traksi kendaraan digambarkan sebagai besar gaya traksi yang dapat dihasilkan kendaraan pada setiap kecepatan, serta dapat menggambarkan kecepatan, percepatan dan sudut tanjakan maksimum yang dapat dicapai kendaraan. Untuk dapat menggambarkan karakteristik traksi kendaraan, perlu dicari kecepatan dasar dari setiap tingkat transmisi (v *base*), gaya traksi untuk setiap transmisi (Ftn), hambatan *rolling* (Frr), hambatan angin (Fd) dan hambatan tanjakan (Fg). Berikut ini adalah contoh karakteristik traksi dari motor listrik. (Sutantra, 2015)

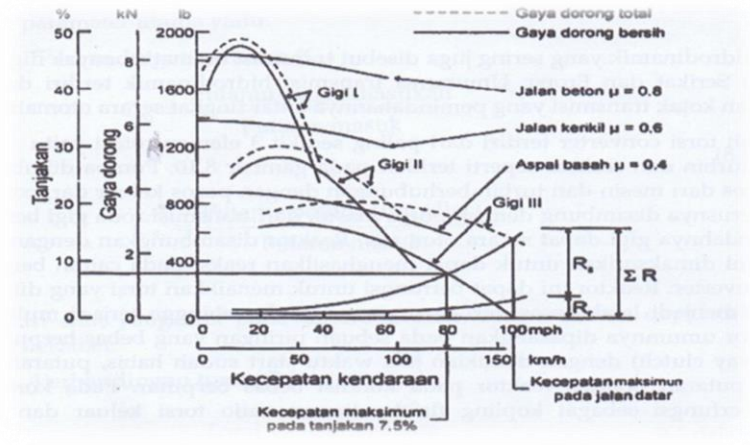


Gambar 2.17 Karakteristik Traksi Motor Listrik

Sumber : (Sutantra, 2015)

Dari gambar 2.17 diatas dapat terlihat bahwa kendaraan menggunakan 3 tingkat transmisi. Kecepatan maksimum yang bisa dicapai pada tingkat transmisi 1 adalah sekitar 70 km/jam, kecepatan maksimum yang dapat dicapai pada tingkat transmisi ke 2 adalah sebesar 95 km/jam, dan yang terakhir pada transmisi ke 3 kendaraan dapat mencapai kecepatan 185 km/jam.

Berikut ini adalah contoh karakteristik traksi dari motor pembakaran dalam.



Gambar 2.18 Karakteristik Traksi Motor Pembakaran Dalam

Sumber : (Sutantra, 2015)

Dari gambar 2.18 diatas, kendaraan menggunakan 3 tingkat transmisi, dimana pada transmisi 1 mampu mencapai kecepatan maksimum 55 km/jam, pada transmisi 2 mampu mencapai kecepatan 110 km/jam dan pada transmisi 3 mampu mencapai kecepatan maksimum 125 km/jam. Kecepatan maksimum diukur dari perpotongan yang terjadi antara gaya traksi yang dihasilkan kendaraan dengan gaya hambat yang ada.

Untuk mencari nilai karakteristik kendaraan, dibutuhkan nilai dari kecepatan maksimum yang bisa dicapai pada setiap tingkatan transmisi. Berikut ini adalah rumus untuk mencari kecepatan maksimum kendaraan.

$$V\ maks = \frac{\pi \times r_w \times N_{maks}}{30 \times It \times Ig} \qquad \textbf{2.35}$$

Dimana : r_w = jari-jari roda (m)

N_{maks} = putaran mesin/motor maksimum (rad/s)

It = rasio transmisi

Ig = rasio gardan

Kemudian, setelah mendapatkan nilai dari kecepatan maksimum kendaraan, akan dicari nilai dari gaya traksi maksimum dan gaya traksi minimum dari kendaraan, sebagai berikut.

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times T_{maks}}{r_w} \times Eff \qquad \textbf{2.36}$$

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times T_{min}}{r_w} \times Eff \qquad \textbf{2.37}$$

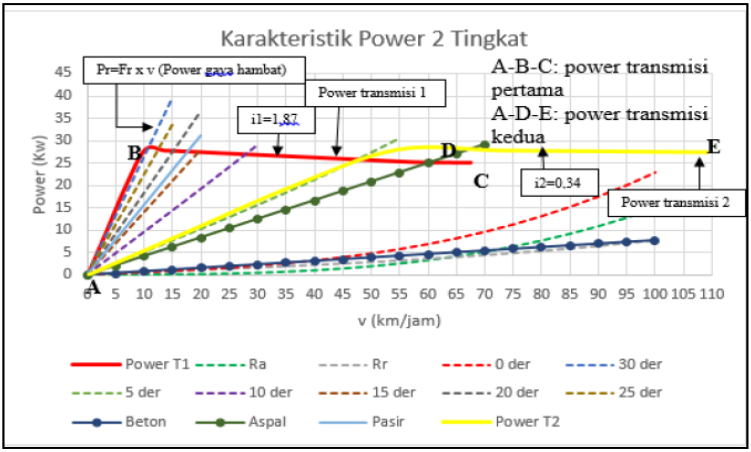
Dimana : r_w = jari-jari roda (m)
T_{maks} = torsi mesin/motor maksimum (Nm)
T_{min} = torsi mesin/motor minimum (Nm)
It = rasio transmisi
Ig = rasio gardan
Eff = efisiensi motor/drivetrain

2.10.2 Karakteristik Power

Karakteristik power suatu kendaraan menunjukkan seberapa besar power yang dapat diberikan sistem transmisi untuk memenuhi kebutuhan power yang dibutuhkan akibat adanya gaya hambat. Untuk mencari power yang dibutuhkan kendaraan, adalah dengan rumus berikut.

$$\mathrm{P} = \mathrm{Ft} \times \mathrm{V} \qquad \textbf{2.38}$$

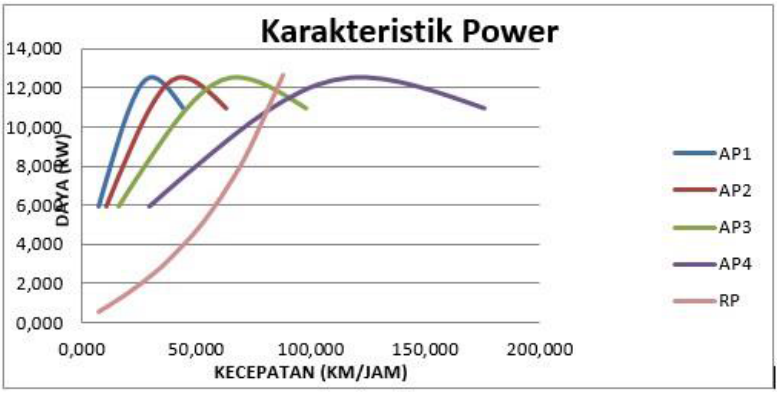
Berikut ini adalah contoh grafik karakteristik power dari motor listrik



Gambar 2.19 Karakteristik Power Motor Listrik
Sumber : (Perdana, 2018)

Dari gambar diatas, dapat terlihat bahwa daya yang dihasilkan motor listrik pada transmisi 1 mampu mencapai kecepatan maksimum 68 km/jam, dan power yang dihasilkan transmisi 2 mampu mencapai kecepatan maksimum sebesar 100 km/jam.

Berikut ini adalah contoh karakteristik power dari motor pembakaran dalam.



Gambar 2.20 Karakteristik Power Motor Pembakaran Dalam
Sumber : (Sutantra, 2015)

Dari gambar diatas, dapat terlihat daya yang dihasilkan motor pembakaran dalam. Dengan menggunakan analisis daya, maka dapat terlihat dari grafik bagaimana karakteristik power dari mesin ICE pada setiap tingkat transmisi. Dengan kondisi RP adalah gaya hambat gradien pada sudut tertentu, maka dapat terlihat semua tingkat transmisi mampu untuk melawan gaya hambat gradien RP tersebut. Daya yang dihasilkan juga digunakan untuk memberikan tenaga supaya kendaraan mampu mencapai kecepatan tertentu, dan kecepatan maksimum yang mampu dicapai kendaraan adalah sekitar 180 km/jam.

2.11 Analisis Energi Pengereman Regeneratif

Pada saat melakukan pengereman, maka akan terdapat energi yang terbuang pada kendaraan. Energi pengereman dari truk didapatkan melalui perhitungan energi yang dikeluarkan oleh mesin, namun tidak digunakan dan energi kinetik translasi yang didapat dari pengereman pada roda kendaraan.

2.11.1 Energi Pengereman dari Mesin

Energi pengereman dari mesin merupakan energi yang dikeluarkan oleh mesin diesel, tetapi tidak digunakan untuk

menggerakkan kendaraan. Dalam hal ini, yang bisa dihitung adalah daya yang dikeluarkan oleh kendaraan yaitu berupa RHP, kemudian dari perhitungan RHP akan dihitung pada kondisi perlambatan, kemudian akan dijumlahkan sehingga total dari RHP tersebut adalah daya yang bisa disimpan, atau bisa disebut juga RHP regeneratif. Rumus yang digunakan adalah sama dengan rumus mencari RHP kendaraan, sesuai persamaan 2.37. Nilai total RHP regeneratif yang sudah didapatkan akan dikalikan dengan efisiensi pada setiap komponen, yang dilewati oleh daya tersebut, yaitu generator, *inverter* dan baterai itu sendiri.

$$\text{Energi Reg.} = \frac{RHP_{reg.}}{3600} \times Efg \times Efi \times Efb \qquad \textbf{2.39}$$

Dimana : Efg = Efisiensi Generator
Efi = Efisiensi *Inverter*
Efb = Efisiensi Baterai

2.11.2 Energi Kinetik Translasi (Energi *Losses*)

Energi kinetik translasi didapat dengan mengurangi energi kinetik translasi ketika awal pengereman dengan energi kinetik translasi di akhir pengereman. Energi kinetik kendaraan yang terbuang dapat diperoleh dari rumus berikut.

$$Ek_{Translasi} = \frac{1}{2} \times Km \times m \times (v_1^2 - v_2^2) \qquad \textbf{2.40}$$

Dimana : m = massa kendaraan (kg)
v_1 = kecepatan awal kendaraan (m/s)
v_2 = kecepatan akhir kendaraan (m/s)
Km = koefisien massa rotasi

Nilai dari Km adalah dirumuskan sebagai berikut

$$Km = 1.04 + 0.0025 \times (it \times ig)^2 \qquad \textbf{2.41}$$

2.11.3 Energi Pengereman dari Roda

Energi pengereman dari roda didapat dengan mencari nilai dari RHP regeneratif atau RHP kendaraan yang bisa disimpan dari roda. Perbedaan dengan energi pengereman dari mesin adalah perkalian dari efisiensi komponen kendaraan yang dilewati oleh daya tersebut. Nilai RHP regeneratif dikali dengan efisiensi setiap komponen yang dilewati, yaitu transmisi, motor, *inverter* dan baterai, dan akan didapatkan nilai energi bangkitan dengan satuan kWh. Energi regeneratif kendaraan dicari menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Energi Reg.} = \frac{RHP_{reg}}{3600} \times Edt \times Efm \times Efi \times Efb \qquad \textbf{2.42}$$

Dimana : Edt = efisiensi transmisi/drivetrain
Efm = efisiensi motor/generator
Efi = efisiensi *inverter*
Efb = efisiensi baterai

2.11.4 Kontribusi *Regenerative Brake*

Kontribusi dari *regenerative brake* didapatkan dari pembagian antara RHP regeneratif pada setiap perlambatan kendaraan, dengan RHP total saat kendaraan berjalan dalam suatu *driving cycle*.

$$\text{Kontribusi Reg. Brake} = \frac{RHP\ Reg.Total}{RHP\ Total} \times 100\% \qquad \textbf{2.43}$$

2.11.5 Efisiensi *Regenerative Brake*

Efisiensi dari *regenerative brake* didapatkan dari pembagian antara total nilai energi yang bisa dimanfaatkan dengan nilai Ek translasi, yang adalah nilai energi *losses* pada kendaraan.

Efisiensi Reg. Brake **2.44**

$$= \frac{Energi\ Reg.Total}{Ek_{Translasi}} \times 100\%$$

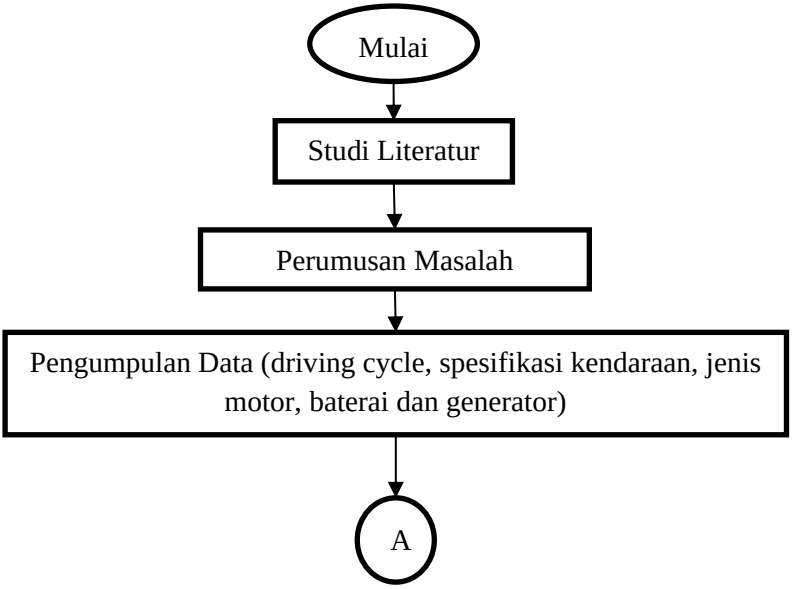
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

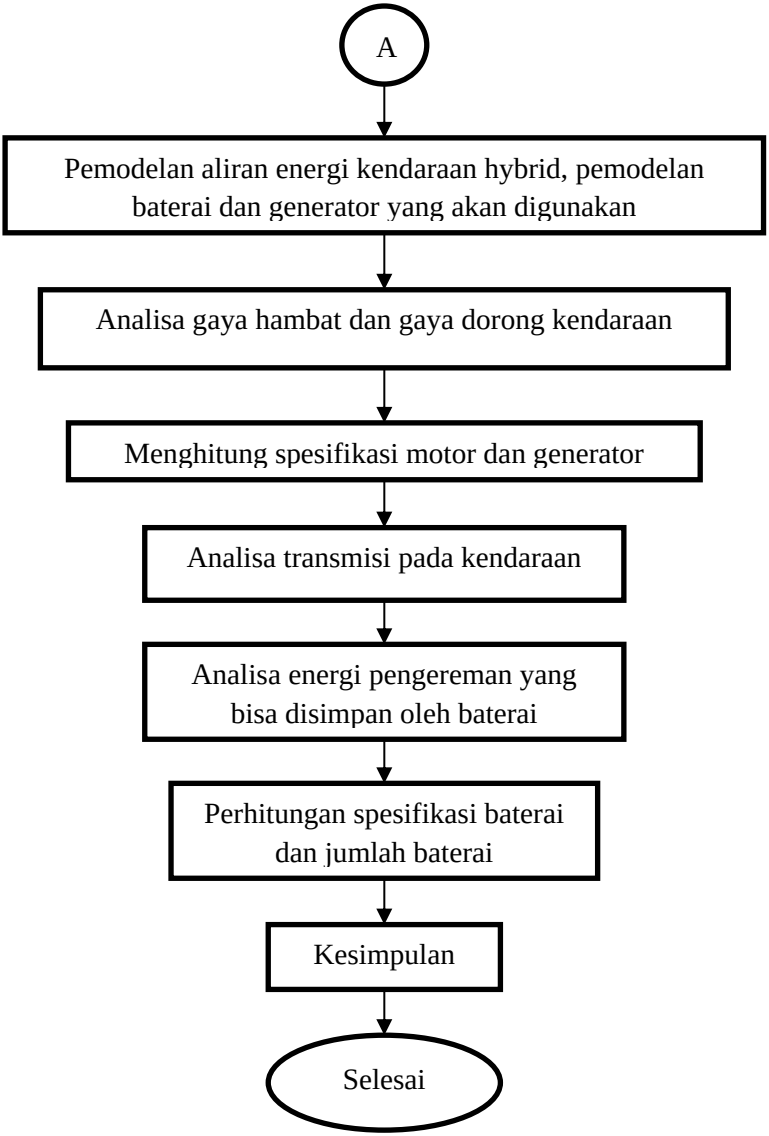
Pada bab metodologi akan dijelaskan mengenai flowchart dari penelitian yang dilakukan, dimulai dari studi literatur sampai dengan hasil yang diinginkan yaitu besar nilai energi pengereman yang dihasilkan dari kendaraan, kapasitas baterai dan generator yang akan digunakan pada kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power. 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

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan melalui diagram alir pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir (sambungan)

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis mengawalinya dengan melakukan studi literatur terhadap topik yang terkait, dalam hal ini mengenai rem regeneratif untuk mobil hybrid. Studi literatur sendiri dilakukan untuk menambah wawasan dan pengetahuan dan juga memperkaya landasan teori untuk melakukan penelitian ini. Literatur yang digunakan penulis selama penulisan dan pengerjaan tugas akhir ini terkait dengan analisis rem regeneratif, kendaraan hybrid dan model penyimpanan dan karakteristik baterai dan generator. Literatur yang dipelajari diambil dari buku-buku dan jurnal internasional, serta penelitian terdahulu yang terkait dengan topik penelitian ini.

Untuk mempelajari analisis penggunaan rem regeneratif untuk kendaraan hybrid, penulis menggunakan beberapa buku sebagai acuan, yaitu: Teknologi Otomotif Hibrid karangan I Nyoman Sutantra, *Hybrid Electric Vehicles: Principles and Application with Practical Prespective* karangan Chris Mi, M. Abdul Masrur, dan David Wenzhong Gao dan *Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals* karangan Iqbal Husain. Untuk mempelajari model penyimpanan dan karakteristik baterai dan generator penulis menggunakan buku *Hybrid Electric Vehicles: Principles and Application with Practical Prespective* karangan Chris Mi, M. Abdul Masrur, dan David Wenzhong Gao dan *Vehicles Powertrain System* karangan Behrooz Mashadi dan David Crolla.

Setelah mempelajari literatur terkait dengan analisis rem regeneratif, kendaraan hybrid dan model penyimpanan dan karakteristik baterai dan generator, penulis merumuskan beberapa masalah terkait dengan penelitian ini. Sebelum itu, kendaraan yang digunakan pada penelitian ini adalah Hino Dutro 130 HD X-Power. Pemilihan jenis kendaraan ini berdasarkan penggunaannya nanti ketika di lapangan, yakni pada area perkebunan kelapa sawit yang relatif membutuhkan tenaga besar untuk melewati medan yang berat dan mengangkut hasil perkebunan untuk dibawa ke pergudangan. Pada kendaraan Hino Dutro 130 HD X-Power perlu dilakukan analisis terhadap percobaan penggunaan mesin hybrid

yang belum digunakan pada kendaraan ini, beserta analisis penggunaan rem regeneratif yang dapat diterapkan pada kendaraan ini. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan performa mesin hybrid kendaraan yang didukung oleh penggunaan sistem rem regeneratif agar energi yang terbuang dapat tersimpan dan digunakan kembali.

3.2 Spesifikasi Kendaraan

Dalam penelitian ini, data spesifikasi dari kendaraan Hino Dutro 130 HD X-Power didapatkan dengan melakukan pengamatan langsung maupun studi literatur. Studi literatur yang dilakukan berasal dari katalog mobil Hino Dutro 130 HD X-Power. Berikut disajikan informasi umum berupa spesifikasi dari kendaraan Hino Dutro 130 HD X-Power:

Tabel 3. 1 Spesifikasi Hino Dutro 130 HD X-Power

Mesin dan Transmisi	
Sistem penggerak	Sistem penggerak roda belakang 4x2
Kode mesin	W04D-TR
Model Tipe	Mesin Diesel 4 Langkah Segaris, *Direct Injection, Turbo Charge Intercooler*
Jumlah silinder	4, *inline*
Isi silinder (cc)	4009
Daya keluaran maksimum (PS/rpm)	130/2700
Torsi keluaran maksimum (Kgm/rpm)	38/1800
Diameter Langkah Piston	104x118
Kecepatan Maksimum (Km/Jam)	106
Transmisi	Manual (kode MYY5A)
Perbandingan Gigi ke 1	5.342
Perbandingan Gigi ke 2	2.975
Perbandingan Gigi ke 3	1.604

Perbandingan Gigi ke 4	1.000
Perbandingan Gigi ke 5	0.712
Perbandingan Gigi mundur	4.970
Perbandingan Gigi akhir	6.833
Bahan Bakar	Solar (kapasitas tangki 100 liter)
Kemudi	
Tipe	*Power Steering (Recirculating Ball Screw)*
Minimal Radius Putar	6.7 m
Dimensi	
Panjang (mm)	6026
Lebar (mm)	1945
Tinggi (mm)	2165
Jarak sumbu roda (mm)	3380
Cabin to End (mm)	4250
Daya Tanjak (tan Ø)	42.6
Massa (Kg)	2355 (Berat kosong kendaraan)
GVWR/GCWR	8250
Ukuran Rim	16 x 6.00GS-127
Ukuran Ban	7.50-16-14PR
Jumlah Ban	6 (+1)
Sistem Pengereman	
Utama	*Vacuum Servo* dengan sirkuit ganda; dilengkapi booster
Parkir	*Internal expanding; out shaft* transmisi
Pelambat	Dengan gas pipa buang
Sistem Suspensi	
Depan	*Rigid axle* dengan pegas daun *semi elliptic* dengan *Shock Absorber*

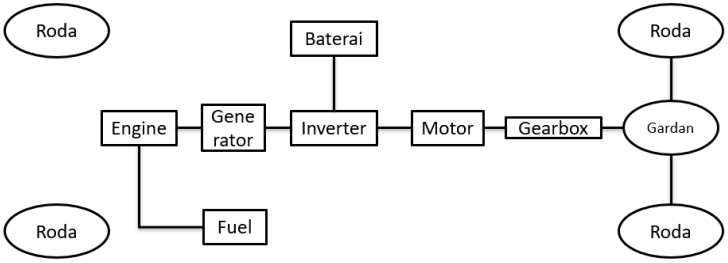
Belakang	*Rigid axle* dengan pegas daun *semi elliptic* dengan *Shock Absorber*

Dan berikut ini adalah gambar dari kendaraan Hino Dutro 130 HD X-Power yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Gambar 3.2 Hino Dutro 130 HD X-Power
Sumber : (HINO300 Dutro, 2020)

3.3 Konsep Rancangan Kendaraan

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai konsep rancangan kendaraan yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut.



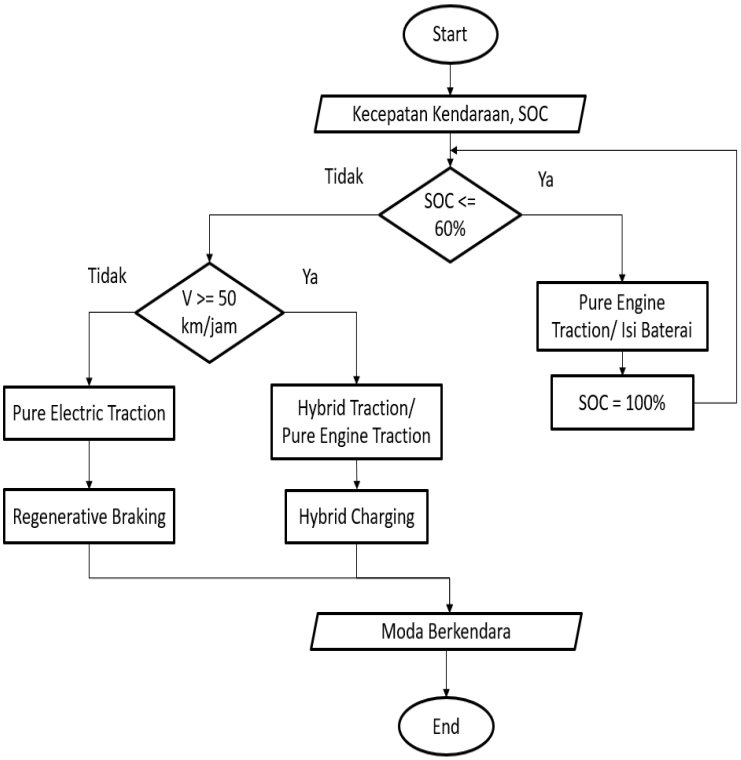
Gambar 3.3 Konsep Rancangan Kendaraan

Kendaraan yang digunakan akan dirancang dengan menggunakan sistem hybrid seri dan berpenggerak roda belakang (RWD). Kendaraan hybrid seri lebih cocok digunakan di truk ini, karena struktur dan komponen penyusunnya yang cukup sederhana, dan karena tidak membutuhkan kontrol yang tidak terlalu rumit, maka dari itu digunakan sistem hybrid seri. Selain itu, kendaraan ini hanya akan berjalan dengan jarak dekat saja, dan mesin juga dapat diatur untuk selalu bekerja pada kondisi optimumnya, sehingga akan lebih efisien dan lebih baik kinerjanya daripada kendaraan konvensional. Kegunaan dari mesin disini adalah untuk memutar generator, yang kemudian tenaga yang dihasilkan akan digunakan untuk memutar motor, dan akhirnya menjalankan kendaraan. Kendaraan memiliki 2 sumber tenaga penggerak, yaitu dari mesin dan dari baterai, yang akan disalurkan menuju motor. Hasil karakteristik traksi dan power dari kendaraan akan menunjukkan seperti karakteristik traksi dari kendaraan listrik. Kemudian untuk perpindahan moda berkendara pada konsep rancangan ini, dipengaruhi oleh 2 parameter, yaitu kecepatan kendaraan dan kapasitas baterai. Berikut ini adalah tabel parameter perpindahan moda berkendara pada truk hybrid.

Tabel 3.2 Parameter Perpindahan Moda Berkendara

Kendaraan Hybrid Seri		
Moda	Kecepatan (km/jam)	Baterai %
Pure Electric Traction	<= 50	>= 60
Pure Engine Traction	0 - v maks	<= 60
Hybrid Traction	0 - v maks	0 - 100 %
Regenerative Braking	Perlambatan saat Pure Electric	Dari energi regeneratif pada roda
Hybrid Charging	Perlambatan saat Hybrid/Pure Engine	Dari energi regeneratif pada roda dan mesin

Kemudian, dari tabel diatas, dapat dibuat flowchart perpindahan moda berkendara dengan berpatokan pada SOC atau *state of charge* atau bisa disebut juga kondisi persentase dari baterai yang ada, dan berpatokan pada kecepatan kendaraan, sebagai berikut.



Gambar 3.4 Flowchart Perpindahan Moda Berkendara

Dari flowchart diatas dapat terlihat bagaimana moda berkendara dari kendaraan hybrid seri ini. Dasaran pertama dari perpindahan moda adalah dari SOC baterai, dimana batas minimal

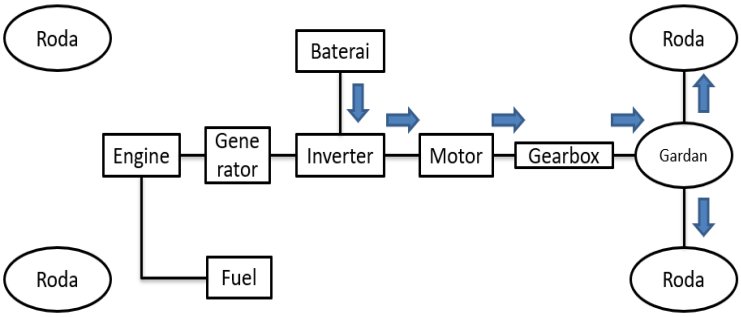
dari baterai adalah sebesar 60%. Jika kondisi baterai kurang dari 60%, maka secara otomatis baterai akan diisi oleh tenaga dari mesin, dan moda berkendara menjadi *pure engine/battery charging*. Jika kondisi lebih dari 60%, maka kendaraan harus dilihat kondisi berikutnya, yaitu dari kecepatannya. Jika memiliki kecepatan kurang dari 50 km/jam, maka kendaraan akan melaju dengan moda *pure electric*, maka sejak awal kendaraan berjalan, moda pertama yang akan menjalankan kendaraan adalah *pure electric*. Jika kecepatan sudah mencapai lebih dari 50 km/jam, maka moda berkendara otomatis berpindah menuju *pure engine* atau *hybrid traction*. Dari moda berkendara *pure electric*, bisa dihasilkan energi pengereman regeneratif atau moda *regenerative braking*, sedangkan dari moda *pure engine* atau *hybrid traction*, energi pengereman regeneratif dari moda *hybrid charging*.

3.4 Analisis Moda Kendaraan

Pada analisis moda kendaraan yang akan digunakan pada penelitian ini, dilakukan beberapa analisis mengenai moda berkendara bagaimana saja yang mampu dilakukan oleh kendaraan di perkebunan kelapa sawit. Perpindahan dari setiap moda bergantung dari kondisi kecepatan kendaraan, kondisi permukaan jalan dan daya baterai yang tersedia pada baterai. Ketika kecepatan kendaraan dibawah 50km/jam, maka kendaraan akan melaju dengan tenaga baterai, dan jika kecepatan diatas itu maka mesin juga akan menyala untuk menggerakkan kendaraan. Namun jika kondisi jalan tidak memungkinkan kendaraan melaju dengan tenaga baterai saja walaupun kecepatan rendah, misalkan kondisi jalan berlumpur, maka mesin juga akan menyala dan membantu menggerakkan kendaraan. Kemudian jika kondisi tenaga baterai kurang dari 60% maka otomatis mesin juga akan menyala dan mengisi baterai sekaligus juga menggerakkan kendaraan. Kendaraan yang dirancang menggunakan sistem kendaraan hybrid seri, dengan fungsi utama dari mesin adalah untuk memutar generator, yang selanjutnya akan disalurkan tenaga nya untuk memutar motor dan menjalankan kendaraan. Maka dari itu, moda berkendara yang dianggap mampu adalah sebagai berikut.

3.4.1. Moda *Pure Electric Traction*

Pada moda ini, kendaraan diakselerasi hanya dengan menggunakan tenaga dari baterai saja, dan didapatkan pola aliran energi sebagai berikut.

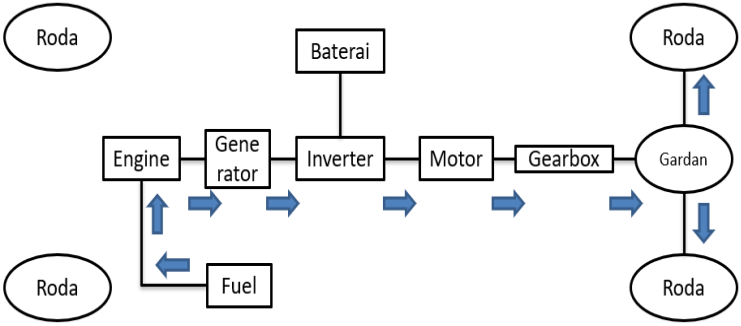


Gambar 3.5 Moda *Pure Electric Traction*

Pada moda ini, kendaraan diakselerasi dan mendapatkan daya penggerak dari baterai saja. Kondisi ini merupakan kondisi *zero emission* karena tidak ada motor pembakaran yang bekerja. Moda ini bisa terjadi ketika kendaraan baru mulai bergerak, dan hingga kecepatan sekitar 50 km/jam.

3.4.2 Moda *Pure Engine Traction*

Pada moda ini, kendaraan diakselerasi untuk dapat melaju sesuai *driving cycle* yang ada, dengan menggunakan tenaga penggerak dari mesin yang memutar generator, sebagai berikut.

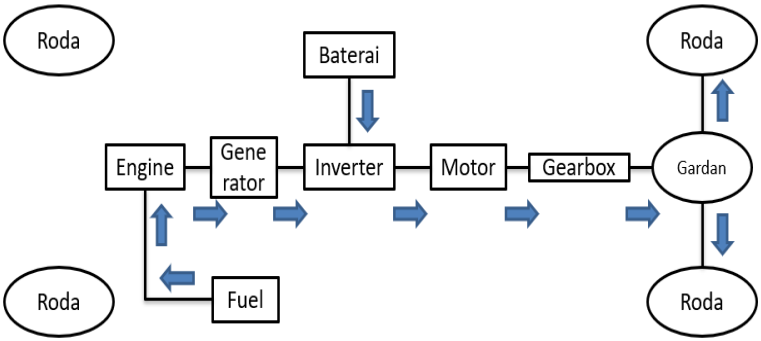


Gambar 3.6 Moda *Pure Engine Traction*

Pada moda ini, kendaraan diakselerasi dan mendapatkan daya penggerak dari mesin saja, yang akan memutar generator. Pada moda ini, mesin bekerja sejak titik awal rpm rendah hingga mencapai maksimumnya tergantung kondisi yang dibutuhkan.

3.4.3 Moda *Hybrid Traction*

Pada moda ini, kendaraan diakselerasi untuk dapat melaju sesuai *driving cycle* yang ada, dan didapatkan pola aliran energinya sebagai berikut.



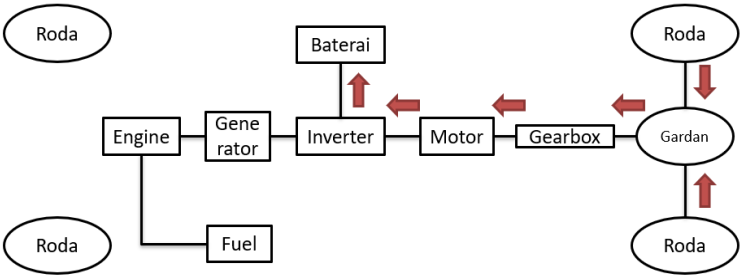
Gambar 3.7 Moda *Hybrid Traction*

Pada moda ini, kendaraan diakselerasi dan mendapatkan daya penggerak dari baterai dan mesin. Pada kondisi ini, mesin akan

bekerja pada kondisi optimum saja, dan bekerja ketika dibutuhkan tenaga atau power lebih untuk melawan gaya hambat pada kendaraan.

3.4.4 Moda *Regenerative Braking*

Pada moda ini, kendaraan melakukan pengereman sesuai *driving cycle* yang ada, dan didapatkan pola aliran energinya sebagai berikut.

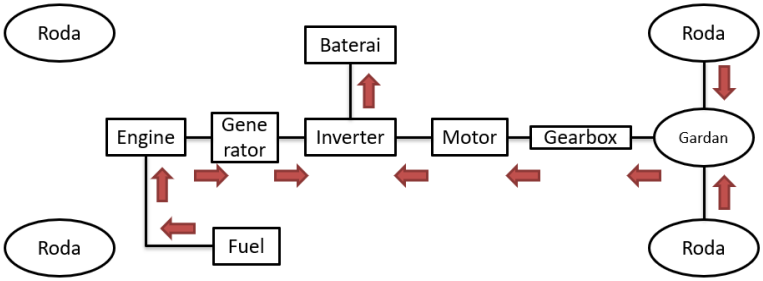


Gambar 3.8 Moda *Regenerative Braking*

Pada moda ini, kendaraan melakukan pengereman dan energi pengereman yang dihasilkan oleh kendaraan pada roda akan ditangkap oleh generator dan disalurkan menuju baterai sebagai sumber energi tambahan untuk kendaraan. Moda ini terjadi ketika kendaraan hanya bergerak dengan menggunakan sumber tenaga baterai saja.

3.4.5 Moda *Hybrid Battery Charging*

Pada moda ini, kendaraan melakukan pengereman sesuai *driving cycle* yang ada, dan didapatkan pola aliran energinya sebagai berikut.



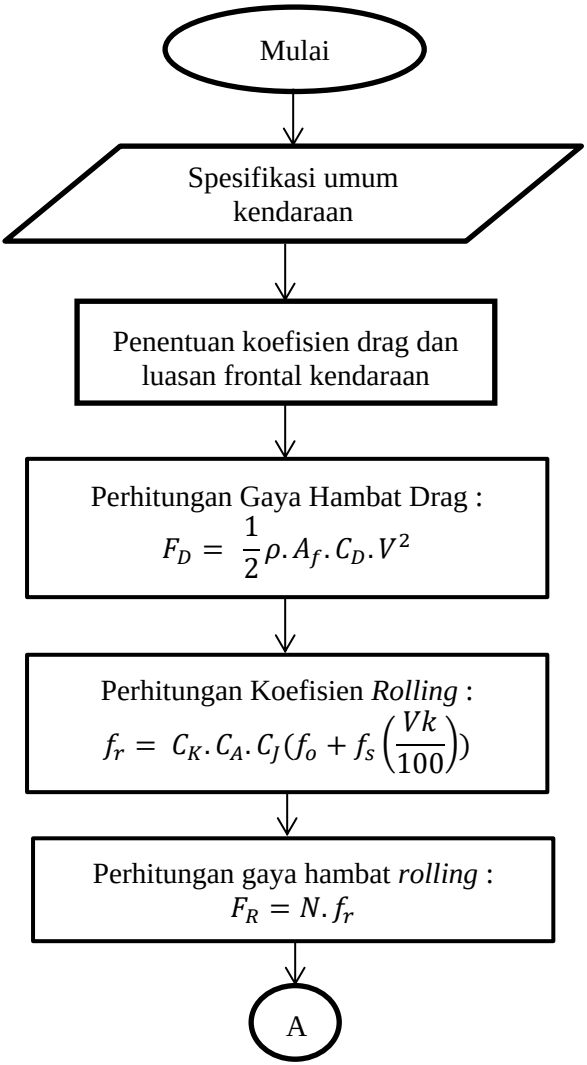
Gambar 3.9 Moda *Hybrid Battery Charging*

Pada moda ini, kendaraan melakukan perlambatan dengan aliran daya yang terjadi adalah dari dua sumber, yakni dari mesin dan dari roda. Tenaga yang dihasilkan oleh mesin ditangkap oleh generator dan kemudian diubah menjadi energi listrik dan masuk ke baterai. Sedangkan energi terbuang dari roda akan ditangkap oleh motor yang berubah menjadi generator dan disalurkan menuju baterai sebagai sumber energi tambahan untuk kendaraan.

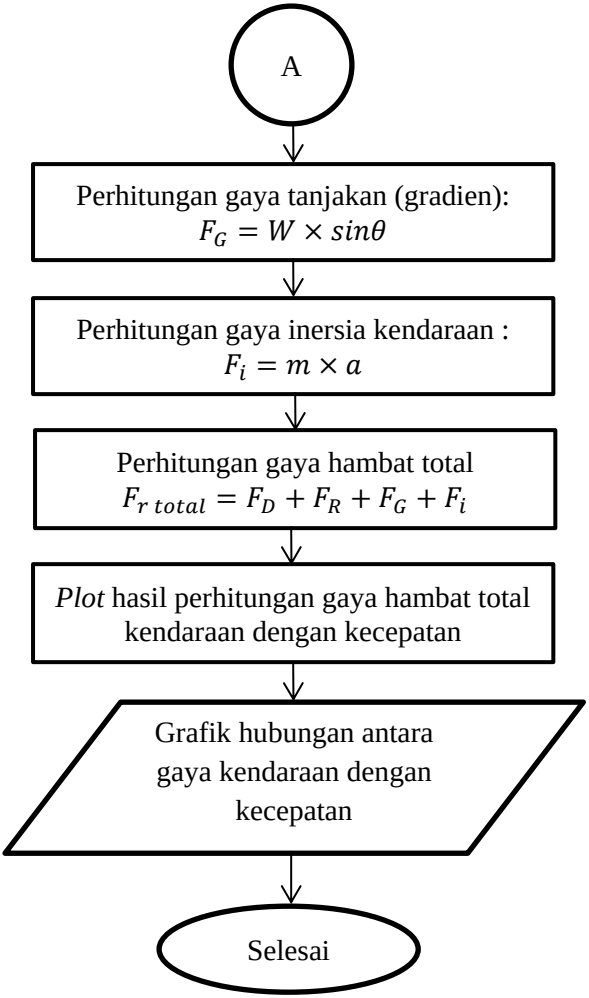
3.5 Analisis Perhitungan Gaya Hambat Kendaraan

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai analisis dan perhitungan gaya hambat pada kendaraan, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memasukan parameter operasi dan sepesifikasi kendaraan.
2. Mencari luasan frontal dan koefisien *drag* kendaraan
3. Menghitung besaran gaya hambat *drag*
4. Menentukan besaran koefisien *rolling*
5. Menghitung besaran gaya hambat *rolling*
6. Menghitung besaran gaya hambat tanjakan
7. Menghitung besaran gaya hambat inersia kendaraan
8. Plot hasil perhitungan kebutuhan gaya hambat kendaraan.



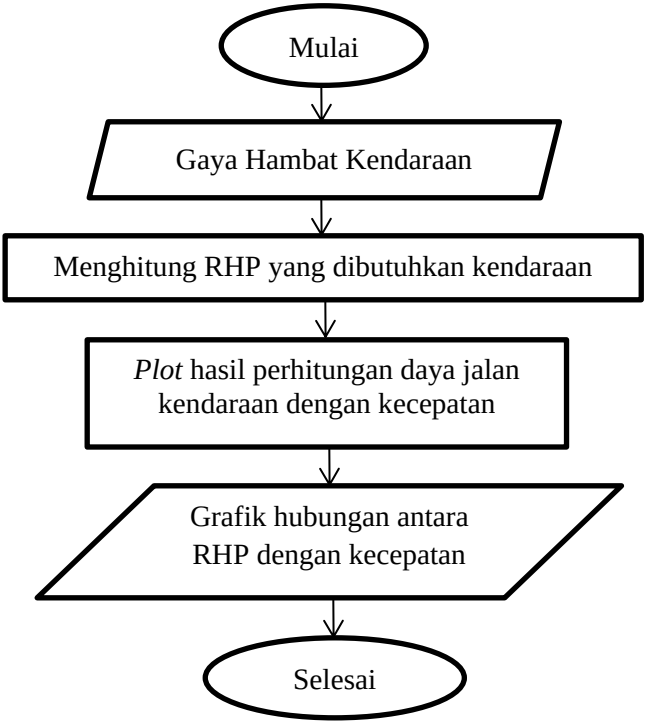
Gambar 3.10 Flowchart Perhitungan Gaya Hambat Kendaraaan



Gambar 3.10 Flowchart Perhitungan Gaya Hambat Kendaraaan (lanjutan)

3.6 Analisis Perhitungan Daya Jalan Kendaraan

Pada sub bab kali ini berisi tentang flowchart analisis perhitungan daya jalan kendaraan yang dikeluarkan Hino Dutro 130 HD X-Power.



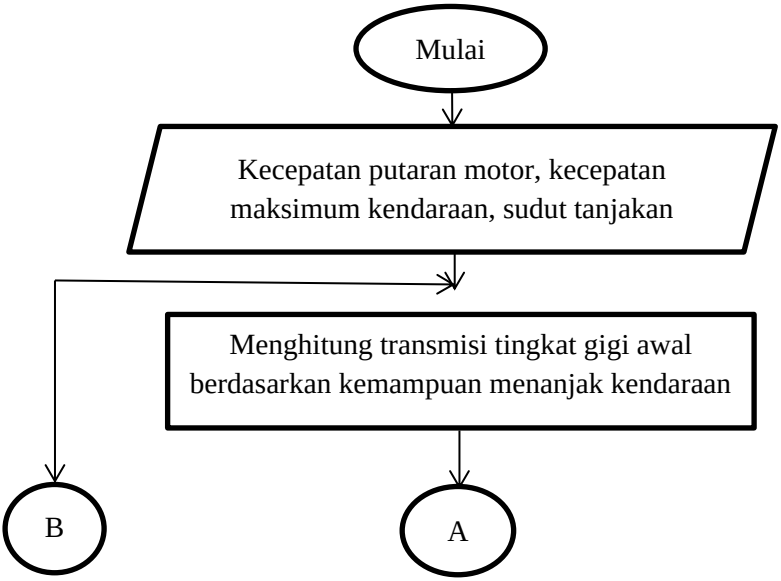
Gambar 3.11 Flowchart Perhitungan Daya Jalan Kendaraan

Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan daya jalan kendaraan ini adalah sebagai berikut.

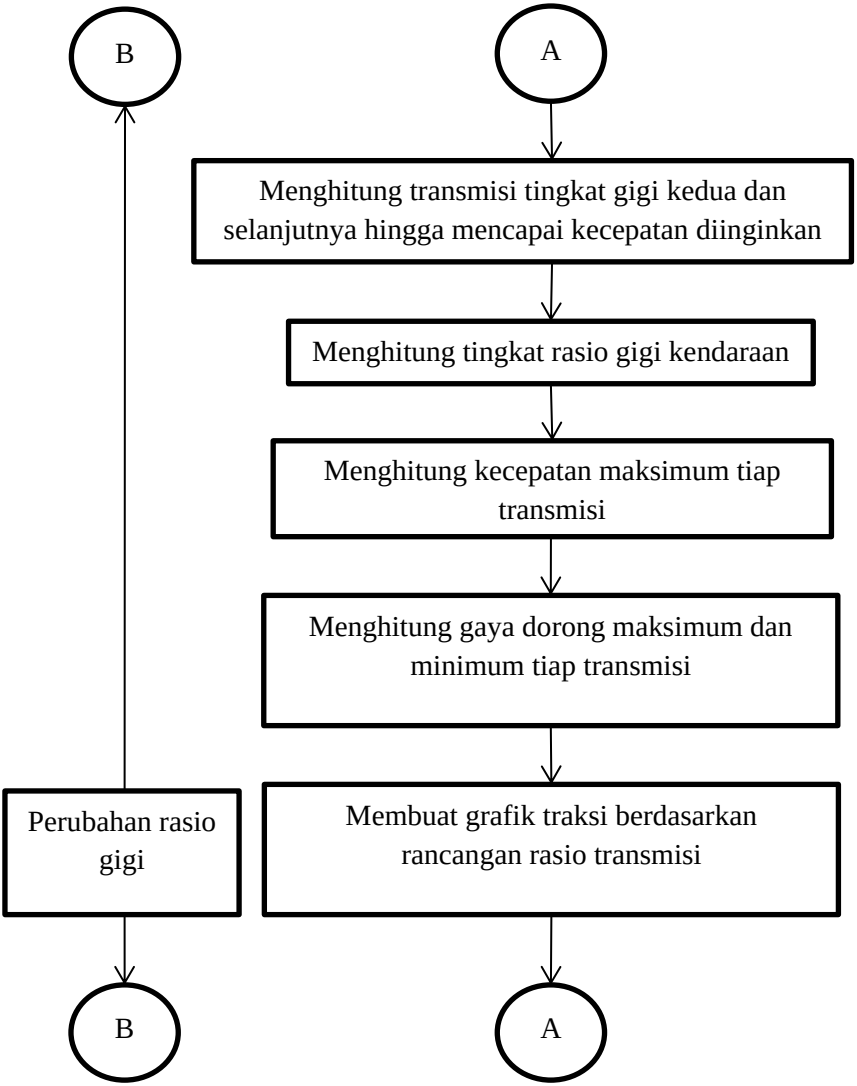
1. Memperoleh data hasil perhitungan gaya hambat kendaraan.
2. Menghitung RHP kendaraan.
3. Hasil RHP yang didapatkan berdasarkan kecepatan diplotkan ke dalam grafik.

3.7 Analisis Perhitungan Rasio Transmisi

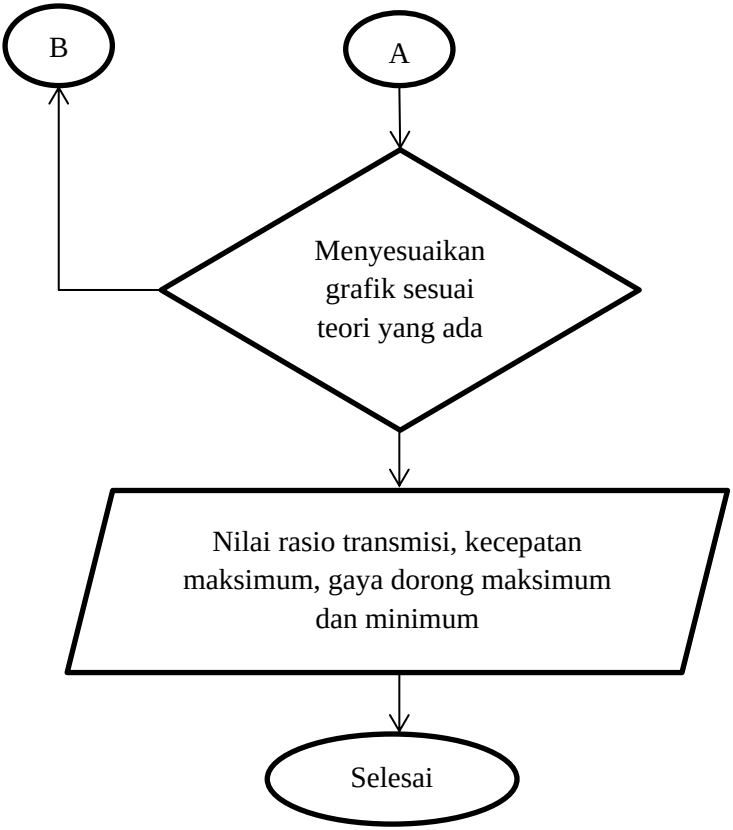
Pada subbab kali ini berisi tentang flowchart analisis perhitungan rasio transmisi kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power. Perhitungan rasio transmisi kendaraan dihitung berdasarkan perhitungan untuk kendaraan listrik, yaitu sebagai berikut.



Gambar 3.12 Flowchart Perhitungan Rasio Transmisi Kendaraan



Gambar 3.12 Flowchart Perhitungan Rasio Transmisi Kendaraan (lanjutan)



Gambar 3.12 Flowchart Perhitungan Rasio Transmisi Kendaraan (lanjutan)

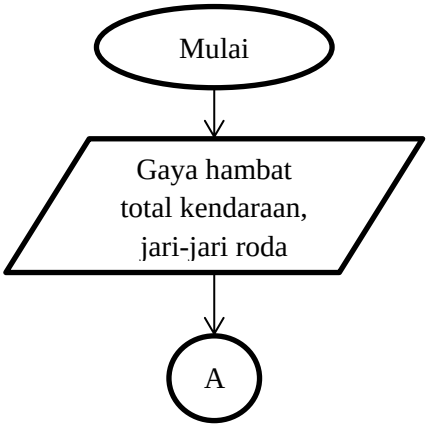
Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan rasio transmisi motor listrik adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan data kecepatan putaran motor, kecepatan maksimum dari kendaraan dan sudut tanjakan maksimum yang dapat dilalui kendaraan.

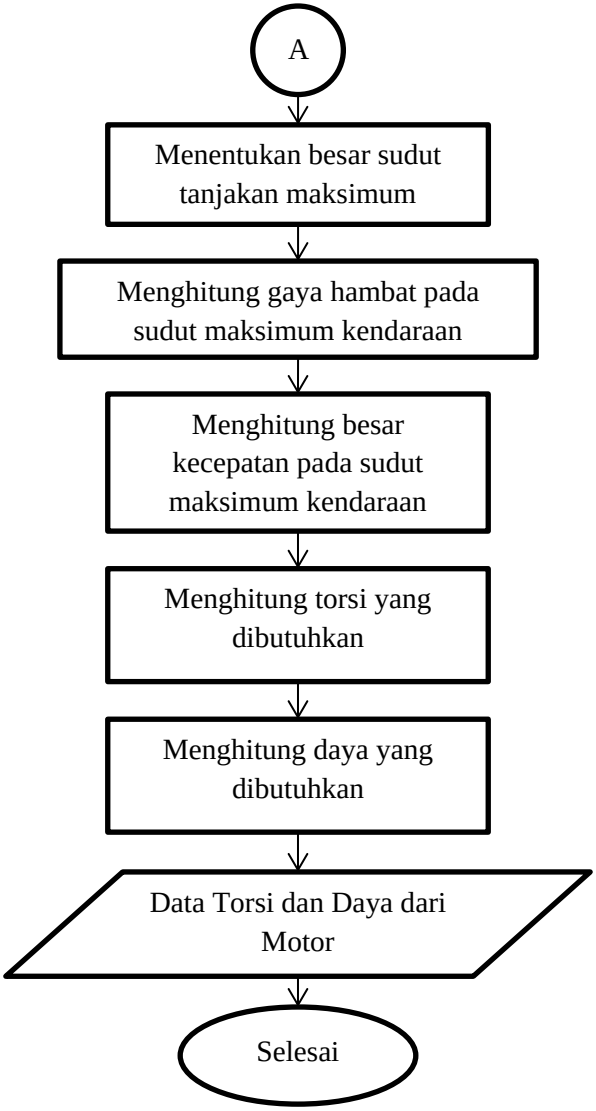
2. Menghitung rasio transmisi awal dimana perhitungan harus dapat melalui sudut tanjakan maksimum dari kendaraan.
3. Menghitung rasio transmisi kedua dan selanjutnya hingga mencapai kecepatan yang diinginkan.
4. Menghitung kecepatan maksimum yang dihasilkan tiap transmisi.
5. Menghitung gaya dorong maksimum dan minimum yang dihasilkan oleh transmisi.
6. Membuat grafik traksi dari perhitungan gaya dorong yang sudah didapat.
7. Menganalisis grafik traksi dengan teori yang sudah ada.
8. Mendapatkan nilai rasio transmisi, kecepatan maksimum tiap transmisi, gaya dorong maksimum dan minimum tiap transmisi.

3.8 Analisis Perhitungan Motor Listrik

Berikut ini adalah flowchart yang digunakan untuk perhitungan motor yang akan digunakan pada kendaraan Hino Dutro 130 HD X-Power.



Gambar 3.13 Flowchart Perhitungan Motor



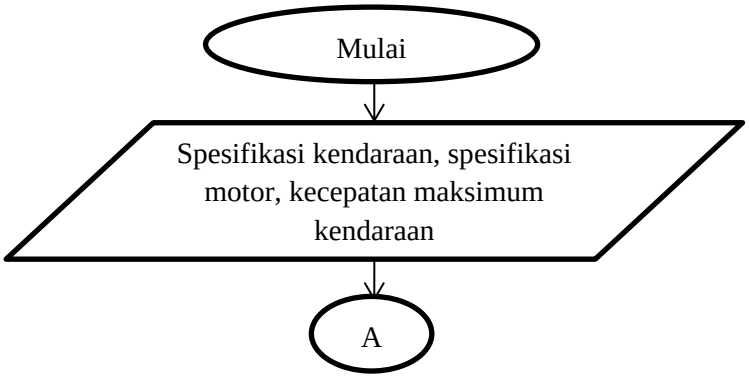
Gambar 3.13 Flowchart Perhitungan Motor (lanjutan)

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

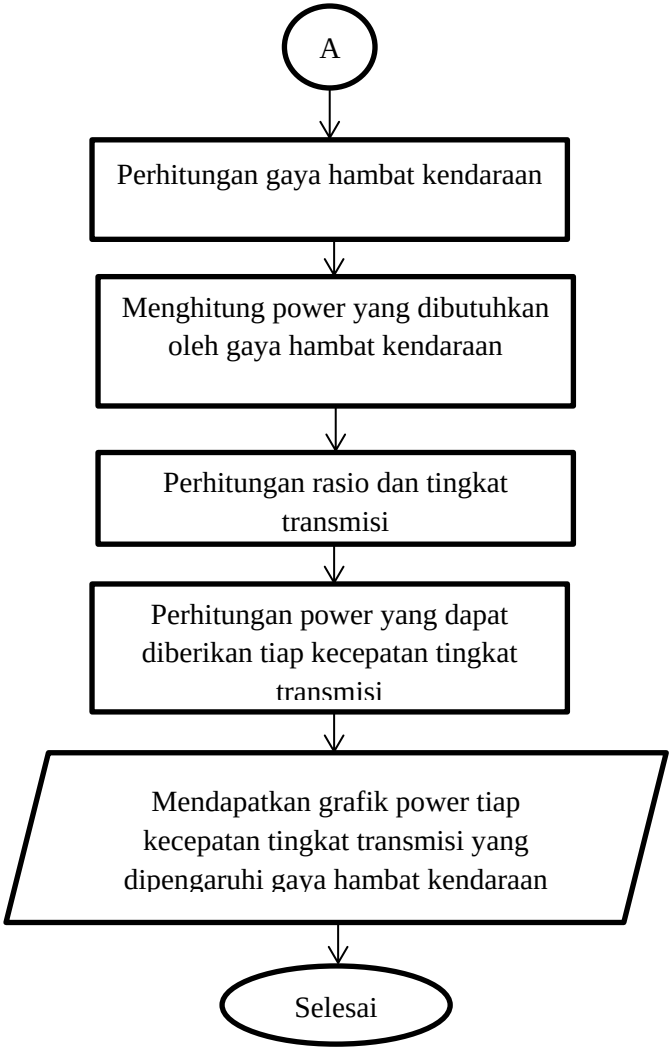
1. Mendapatkan data gaya hambat total kendaraan dan mengetahui jari-jari roda penggerak.
2. Menentukan besar sudut tanjakan maksimum.
3. Menghitung gaya hambat yang terjadi pada sudut tanjakan maksimum.
4. Menentukan besar kecepatan kendaraan yang diharapkan pada sudut maksimum kendaraan.
5. Menghitung besar torsi dari motor listrik.
6. Menghitung besar daya dari motor listrik.
7. Mendapatkan data torsi dan daya pada setiap variasi kecepatan.
8. Menentukan jenis motor berdasarakan data yang diperoleh.

3.9 Analisis Karakteristik Power Kendaraan

Pada subbab kali ini berisi tentang flowchart perhitungan karakteristik power kendaraan Hino Dutro 130 HD X-Power. Berikut ini merupakan flowchart perhitungan karakteristik power:



Gambar 3.14 Flowchart Perhitungan Karakteristik Power



Gambar 3.14 Flowchart Perhitungan Karakteristik Power (lanjutan)

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

1. Mendapatkan spesifikasi kendaraan, spesifikasi motor dan mesin, dan kecepatan maksimum kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power.
2. Menghitung gaya hambat kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power.
3. Menghitung kebutuhan power untuk gaya hambat kendaraan.
4. Melakukan perancangan rasio transmisi untuk kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power dan kemudian mendapatkan kecepatan maksimum di setiap tingkat transmisi.
5. Menghitung kebutuhan power di setiap tingkat transmisi berdasarkan kecepatan maksimum di setiap tingkat transmisi.
6. Melakukan plotting grafik karakteristik power kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power berdasarkan hasil yang diperoleh di langkah ketiga dan langkah keempat.

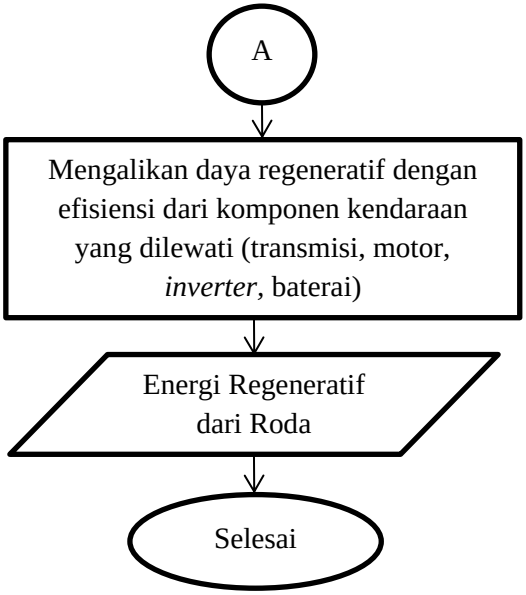
3.10 Analisis Perhitungan Energi Bangkitan

Pada subbab kali ini berisi tentang flowchart perhitungan energi bangkitan yang bisa disimpan oleh baterai pada kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power, yaitu energi regeneratif dari roda dan energi regeneratif dari mesin.

3.10.1 Perhitungan Energi Regeneratif dari Roda

Berikut ini merupakan flowchart perhitungan energi regeneratif dari roda yang bisa disimpan oleh baterai :

Gambar 3.15 Flowchart Perhitungan Energi Regeneratif dari Roda



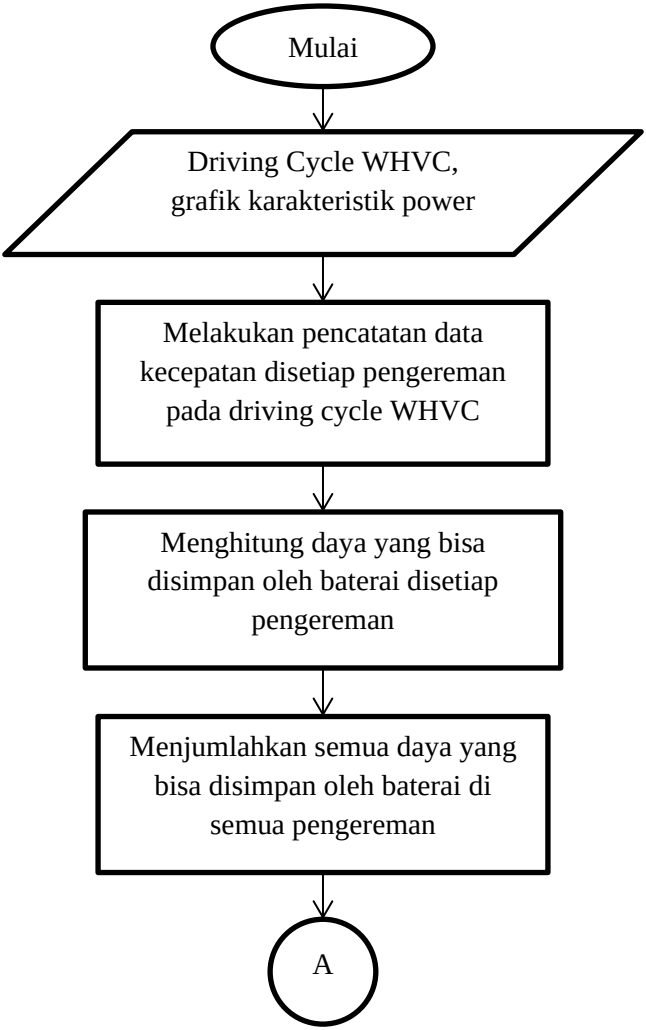
Gambar 3.15 Flowchart Perhitungan Energi Regeneratif dari Roda (lanjutan)

Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan energi regeneratif dari roda adalah sebagai berikut:

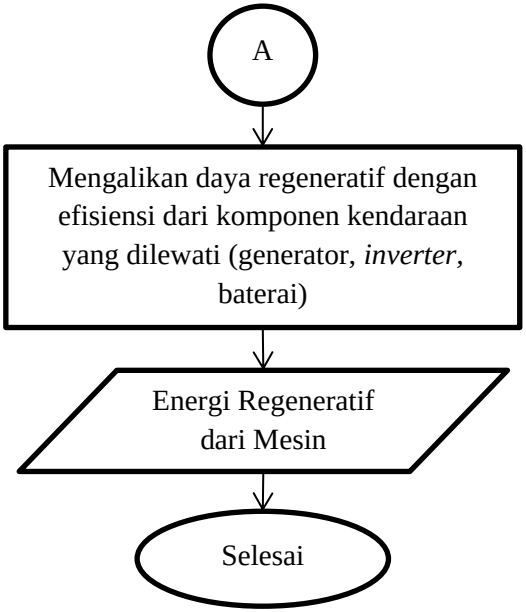
1. Melakukan pencatatan data kecepatan disetiap titik-titik pengereman.
2. Melakukan perhitungan daya bangkitan yang bisa disimpan oleh baterai disetiap titik pengereman dengan menggunakan grafik karakteristik power.
3. Menjumlahkan semua hasil perhitungan daya bangkitan.
4. Hasil perhitungan dikalikan dengan efisiensi setiap komponen yang dilewati.

3.10.2 Perhitungan Energi Regeneratif dari Mesin

Berikut ini merupakan flowchart perhitungan energi regeneratif dari mesin yang bisa disimpan oleh baterai :



Gambar 3.16 Flowchart Perhitungan Energi Regeneratif dari Mesin



Gambar 3.16 Flowchart Perhitungan Energi Regeneratif dari Mesin (lanjutan)

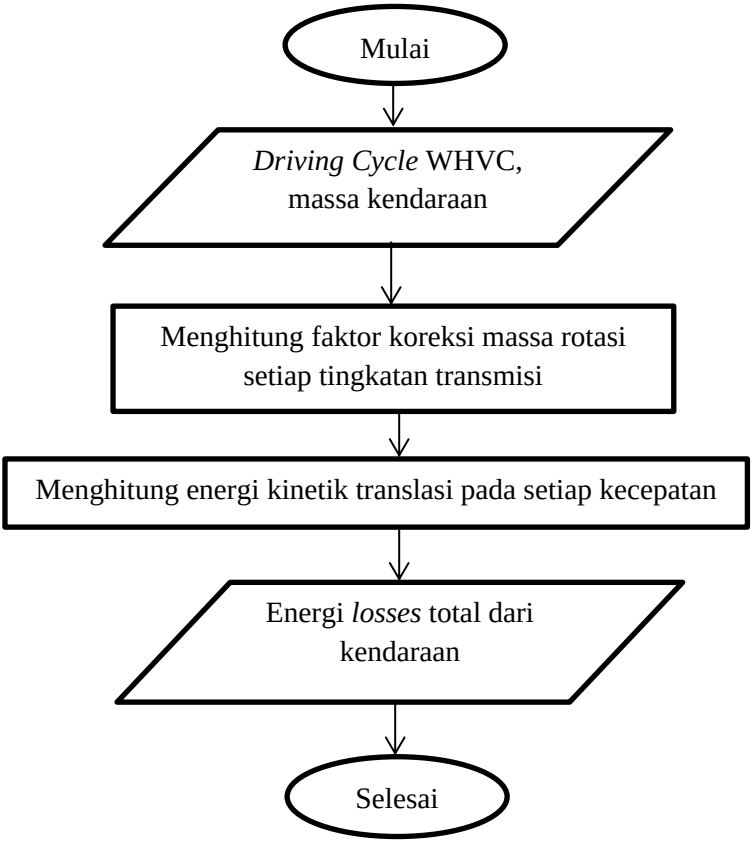
Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan energi regeneratif dari mesin ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pencatatan data kecepatan disetiap titik-titik pengereman.
2. Melakukan perhitungan daya bangkitan yang bisa disimpan oleh baterai disetiap titik pengereman dengan menggunakan grafik karakteristik power.
3. Menjumlahkan semua hasil perhitungan daya bangkitan.
4. Hasil perhitungan dikalikan dengan efisiensi setiap komponen yang dilewati.

3.11 Analisis Perhitungan Energi *Losses* Pengereman

Pada subbab kali ini berisi tentang *flowchart* perhitungan energi *losses* pengereman dari kendaraan, atau yang bisa disebut

energi kinetik translasi, berdasarkan *driving cycle* WHVC. Berikut ini merupakan *flowchart* perhitungan energi *losses* pengereman pada kendaraan:



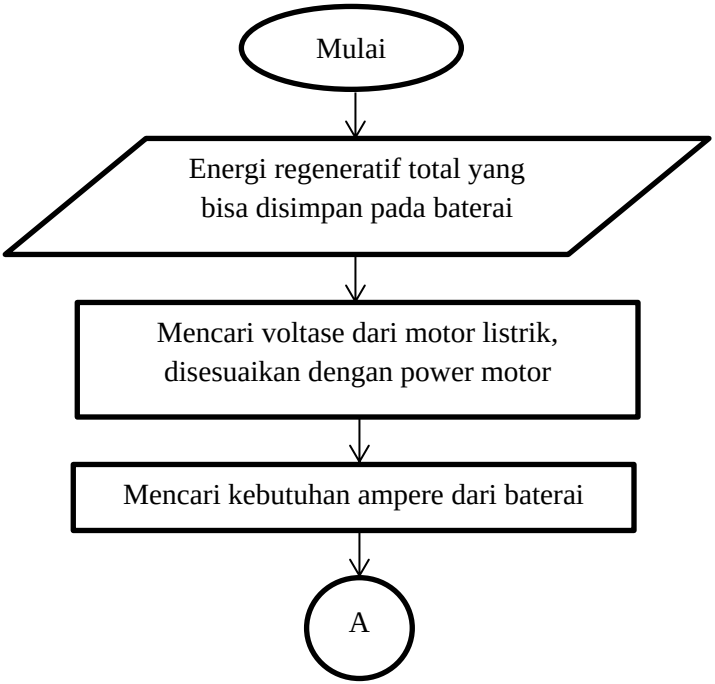
Gambar 3.17 Flowchart Perhitungan Energi *Losses* Pengereman

Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan energi terbuang pada saat pengereman adalah sebagai berikut:

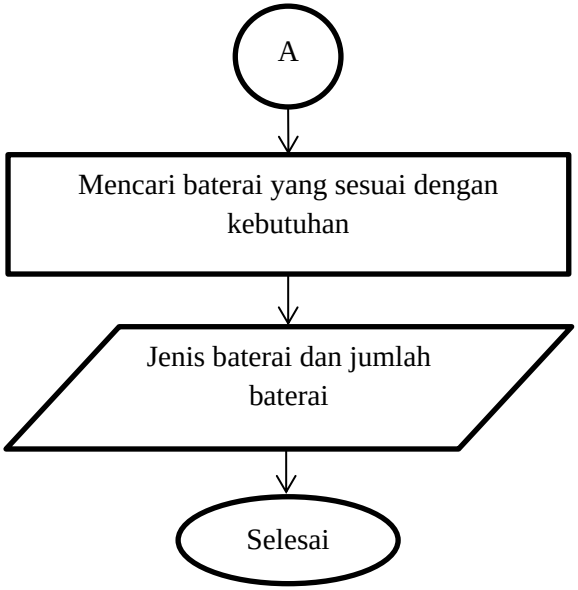
1. Menghitung faktor koreksi massa rotasi pada setiap tingkatan transmisi.
2. Menghitung energi kinetik translasi pada setiap kecepatan kendaraan berdasarkan *driving cycle* WHVC.

3.12 Analisis Perhitungan dan Pemilihan Baterai

Pada sub bab ini akan berisi flowchart perhitungan dan pemilihan baterai yang akan digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.18 Flowchart Perhitungan dan Pemilihan Baterai



Gambar 3.18 Flowchart Perhitungan dan Pemilihan Baterai (lanjutan)

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

1. Mencari voltase dari motor listrik, yang disesuaikan dengan power yang dihasilkan oleh motor.
2. Mencari kebutuhan ampere minimal yang dibutuhkan baterai.
3. Mencari jenis baterai yang sesuai dengan kebutuhan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

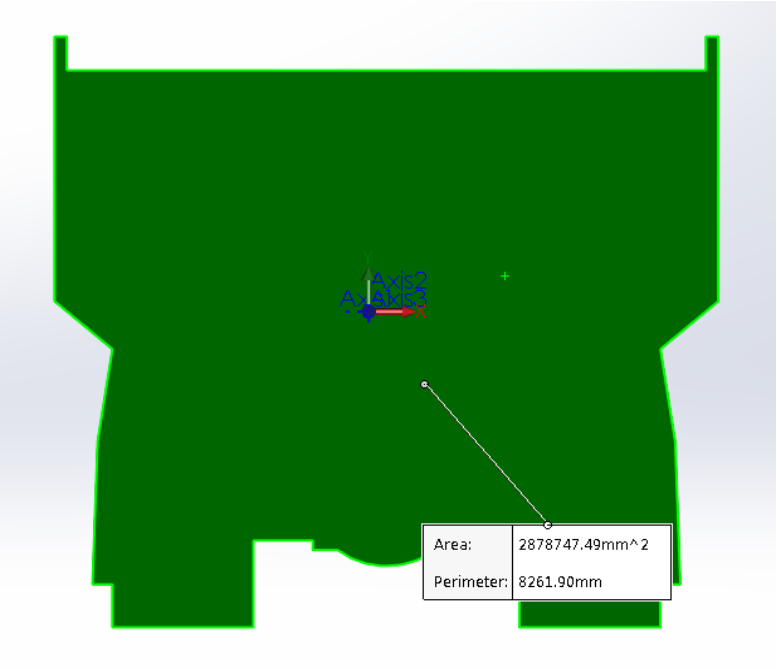
Pada bab Perhitungan dan Pembahasan ini, akan dibahas mengenai perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada truk Hino Dutro 130 HD X-Power, perhitungan komposisi transmisi untuk mesin diesel dan motor listrik, pemilihan motor dan baterai, dan perhitungan energi pengereman regeneratif yang bisa ditangkap dan disimpan pada baterai.

4.1 Analisis Gaya Hambat Kendaraan

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perhitungan gaya hambat kendaraan, dimana pada saat kendaraan melaju, maka akan ada gaya-gaya dari luar yang mempengaruhi kinerja dari kendaraan tersebut, diantaranya gaya hambat aerodinamis/*drag*, gaya hambat *rolling resistance*, gaya hambat gradien/tanjakan dan gaya hambat inersia. Dari perhitungan gaya hambat ini, nantinya akan didapatkan kebutuhan daya/*power* dari kendaraan untuk menentukan komposisi transmisi dan motor yang akan digunakan pada truk ini.

4.1.1. Gaya Hambat Aerodinamis

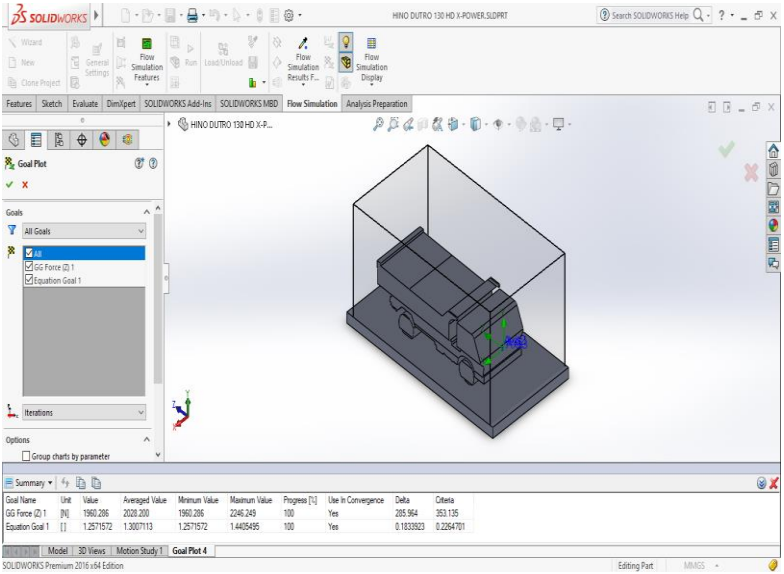
Gaya hambat aerodinamis adalah gaya dari luar yang berhubungan antara bodi luar kendaraan dengan udara yang saling bergesekan. Hal ini bisa mengurangi kecepatan dari kendaraan, karena gaya hambat aerodinamis arahnya berbalik dari arah kecepatan kendaraan. Berdasarkan persamaan 2.18, dalam menghitungn gaya hambat aerodinamis, dibutuhkan luasan frontal kendaraan (A_f) dan koefisien *drag* (Cd) dari kendaraan. Dengan permodelan menggunakan *software* Solidworks, didapatkan luasan frontal kendaraan sebagai berikut.



Gambar 4.1 Permodelan Luas Frontal Area

Dari gambar 4.1 diatas, didapatkan luasan frontal dari Hino Dutro 130 HD X-Power ini adalah sebesar 2.878747 m^2 dan keliling sepanjang 8.26 m.

Kemudian dengan permodelan menggunakan *software* Solidworks, juga didapatkan koefisien *drag* kendaraan sebagai berikut.



Gambar 4.2 Permodelan Hasil Simulasi Aliran di Solidworks

Dari hasil simulasi aliran pada solidworks, didapatkan koefisien *drag* dari truk adalah sebesar 1.2571.

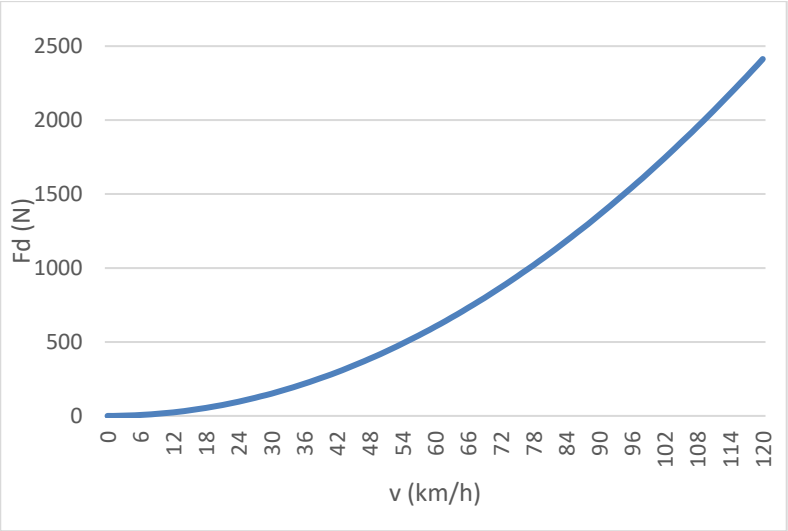
Berdasarkan persamaan 2.14, dapat dihitung gaya hambat aerodinamis kendaraan, dan berikut adalah contoh perhitungan gaya hambat aerodinamis pada kecepatan 30 km/jam dan ρ sebesar 1.2 kg/m^3.

$$F_d = 0.5 \times \rho \times A_f \times C_D \times V^2$$

$$F_d = 0.5 \times 1.2\frac{kg}{m^3} \times 2.878747m^2 \times 1.2571 \times (\frac{30}{3.6})^2 ({}^{m}/_{s})^2$$

$$F_d = 150.7863689\ N$$

Kemudian dengan menggunakan excel, akan didapatkan grafik perbandingan gaya hambat aerodinamis kendaraan berbanding kecepatan sebagai berikut.



Gambar 4.3 Grafik Gaya Hambat Aerodinamis

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kecepatan kendaraan, maka gaya hambat aerodinamis pada kendaraan juga semakin meningkat. Terlihat ketika pada kecepatan 0 km/jam, gaya hambat aerodinamis juga bernilai 0 N. Ketika pada kecepatan maksimal kendaraan, yaitu pada 97 km/jam, nilai gaya hambat aerodinamis adalah sebesar 1576.387 N.

4.1.2. Gaya Hambat Rolling Resistance

Gaya hambat *rolling resistance* merupakan gaya hambat kendaraan yang berhubungan antara roda dan ban kendaraan dengan kontur jalan yang dilewati kendaraan tersebut. Gaya hambat ini dipengaruhi oleh koefisien *rolling* dimana kondisi ban antara ban bias atau radial, dan kondisi jalan sangat berpengaruh, sesuai dengan persamaan 2.17. Dalam menentukan koefisien *rolling*, dipengaruhi oleh beberapa kecepatan kendaraan dan koefisien lain, yaitu C_K, C_J bernilai 1 dan C_A bernilai 2, f_o bernilai 0.01 dan f_s bernilai 0.0025. Maka sebagai contoh, didapatkan nilai

koefisien *rolling* untuk kecepatan kendaraan sebesar 30 km/jam sebagai berikut.

$$f_R = C_K . C_A . C_J (f_o + f_s \left(\frac{V}{100}\right)^{2.5})$$

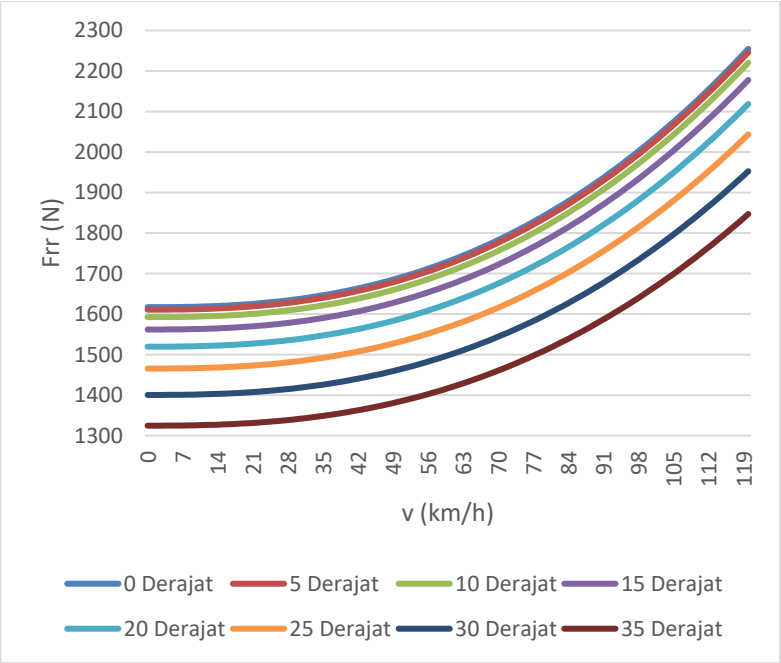
$$f_R = 1.2.1(0.01 + 0.0025 \left(\frac{30}{100}\right)^{2.5})$$

$$f_R = 0.020246475$$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan gaya *rolling resistance* pada kecepatan kendaraan 30 km/jam dan pada sudut kemiringan 0 derajat.

$$F_{rr} = f_R \times WCos\alpha$$
$$F_{rr} = 0.020246475 \times 80850(Cos0)$$
$$F_{rr} = 1636.927516\ N$$

Kemudian, dengan menggunakan excel, didapatkan grafik perbandingan gaya hambat *rolling resistance* dengan kecepatan kendaraan, dan pada setiap kenaikan sudut tanjakan dari 0 derajat hingga 35 derajat pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Grafik Gaya Hambat *Rolling Resistance*

Dari grafik diatas, dapat terlihat bahwa nilai dari Frr akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya dari kecepatan kendaraan, tetapi akan semakin berkurang seiring bertambahnya kemiringan sudut tanjakan jalan. Sebagai contoh, pada kecepatan 0 km/jam dan sudut 0 derajat, nilai Frr adalah sebesar 1617 N dan pada kecepatan maksimum truk, yaitu sebesar 97 km/jam, nilai Frr adalah sebesar 1991.609 N. Pada kecepatan 0 km/jam dan pada sudut tanjakan 35 derajat, nilai Frr adalah sebesar 1324.568 N, dan pada kecepatan 97 km/jam, nilai Frr adalah sebesar 1631.431 N.

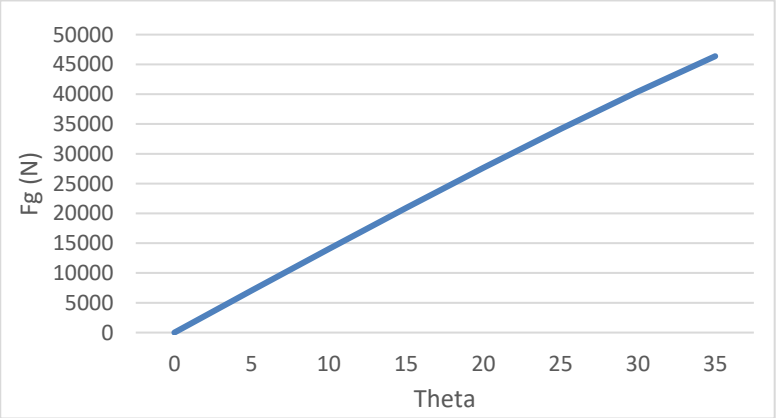
4.1.3. Gaya Hambat Gradien

Gaya hambat gradien merupakan gaya hambat kendaraan yang disebabkan oleh kemiringan sudut tanjakan jalan, karena jalan raya tidak selamanya selalu datar pada sudut 0 derajat, namun

bisa memiliki kemiringan tertentu, dan itu merupakan suatu hambatan pada laju kendaraan. Berikut contoh nilai Fg pada sudut kemiringan 20 derajat berdasarkan persamaan 2.18.

$$F_G = W.\sin\theta$$
$$F_G = 80850.\sin 20$$
$$F_G = 27652.32859 \text{ N}$$

Dengan menggunakan excel, akan didapatkan gaya hambat gradien pada kendaraan, dengan sudut tanjakan jalan tertentu sebagai berikut.



Gambar 4.5 Grafik Gaya Hambat Gradien

Dari gambar 4.5 diatas, dapat terlihat bahwa nilai dari Fg akan semakin meningkat seiring bertambahnya sudut tanjakan jalan, dimana pada sudut tanjakan 0 derajat, nilai Fg adalah sebesar 0 N dan pada sudut tanjakan 35 derajat, nilai Fg adalah sebesar 46373.65488 N.

4.1.4. Gaya Hambat Inersia

Gaya hambat inersia kendaraan adalah gaya hambat yang disebabkan oleh percepatan kendaraan, dimana ketika kendaraan memulai berjalan, maka akan ada percepatan yang akan menyebabkan gaya hambat pada kendaraan tersebut. Gaya hambat

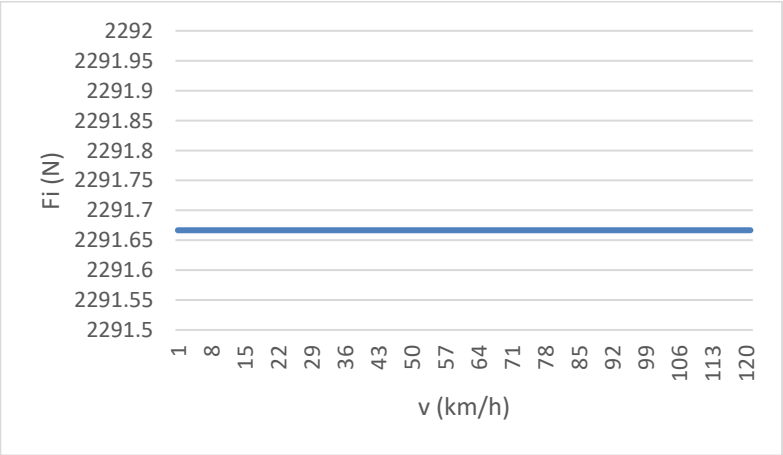
inersia akan bernilai sama/konstan jika percepatan kendaraan tersebut juga bertambah secara konstan. Contoh perhitungan gaya hambat inersia kendaraan pada kecepatan 5 km/jam menuju 6 km/jam, dan pada detik ke-5 menuju detik ke-6 adalah sebagai berikut.

$$\mathrm{F_i} = \mathrm{m}.\frac{v_{i+1} - v_i}{t_{i+1} - t_i}$$

$$\mathrm{F_i} = 8250.\frac{(\frac{6}{3.6} - \frac{5}{3.6})}{6 - 5}$$

$$\mathrm{F_i} = 2291.667\ \mathrm{N}$$

Pada perhitungan gaya hambat inersia ini, nilai dari setiap gaya hambat adalah sama, yakni sebesar 2291.667 N, karena percepatan kendaraan adalah konstan, yaitu sebesar 0.27778 m/s^2.



Gambar 4.6 Gaya Hambat Inersia

Gaya hambat inersia akan berubah-ubah nilainya seiring dengan berubahnya percepatan kendaraan, dimana jika percepatan

semakin tinggi, maka gaya hambat inersia juga akan bertambah, namun jika percepatan berkurang, maka gaya hambat inersia akan berkurang nilainya.

4.1.5. Gaya Hambat Total

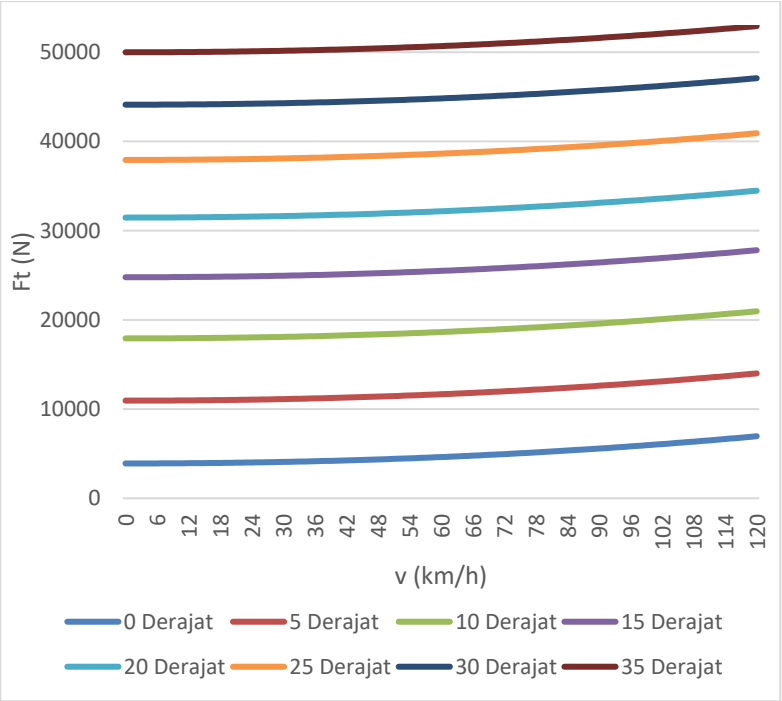
Gaya hambat total kendaraan merupakan gabungan gaya-gaya hambat yang berpengaruh pada kendaraan, yaitu gaya hambat aerodinamis, gaya hambat *rolling resistance*, gaya hambat gradien dan gaya hambat inersia. Total penjumlahan gaya hambat total ini adalah gaya traksi/gaya dorong yang dibutuhkan oleh kendaraan untuk menempuh kriteria jalan tertentu. Contoh perhitungan gaya hambat total untuk kecepatan 30 km/jam dan pada sudut tanjakan 20 derajat adalah sebagai berikut.

$$\mathrm{F_t} = \mathrm{F_D} + \mathrm{F_R} + \mathrm{F_G} + F_i$$

$$\mathrm{F_t} = 150.7863689 + 1526.278302 + 27652.32859 + 2291.667$$

$$\mathrm{F_t} = 31537.28972\ N$$

Dengan menggunakan excel, maka didapatkan distribusi gaya hambat total kendaraan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.7 Gaya Hambat Total

Berdasarkan grafik 4.7 diatas, dapat terlihat bahwa gaya hambat total kendaraan akan semakin meningkat seiring bertambahnya kecepatan dan juga sudut tanjakan jalan kendaraan. Pada kecepatan 0 km/jam dan sudut tanjakan 0 derajat, memiliki gaya hambat total sebesar 3908.67 N, dan pada sudut tanjakan 35 derajat memiliki gaya hambat total sebesar 49989.8904 N. Pada kecepatan maksimum kendaraan 97 km/jam, pada sudut tanjakan 0 derajat memiliki gaya hambat total sebesar 5859.664381 N, dan pada sudut tanjakan 35 derajat memiliki gaya hambat total sebesar 51873.14066 N.

4.2 Analisis Daya Jalan Kendaraan

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai daya jalan kendaraan, dimana daya jalan adalah dibutuhkan oleh kendaraan untuk dapat melaju pada kecepatan dan ketinggian jalan tertentu. Kemudian untuk daya yang dibutuhkan oleh motor, haruslah lebih besar dari daya yang dibutuhkan kendaraan, karena daya yang dikeluarkan oleh motor akan melewati berbagai komponen kendaraan, dan itu akan mengurangi efisiensi dari daya tersebut. Maka dari itu, nantinya daya motor akan disesuaikan dengan efisiensi dari *drivetrain* kendaraan tersebut.

4.2.1 Perhitungan Daya Dibutuhkan Kendaraan

Pada saat kendaraan melaju, kendaraan membutuhkan daya untuk dapat melawan gaya-gaya hambat yang ada pada saat kendaraan melaju, sesuai dengan sub bab 4.1. Berikut ini adalah contoh perhitungan daya yang dibutuhkan oleh kendaraan, sesuai dengan persamaan 2.37. Perhitungan dengan patokan kecepatan Vk kendaraan sebesar kecepatan maksimal kendaraan, yakni 97 km/jam dan pada ketinggian jalan 0 derajat.

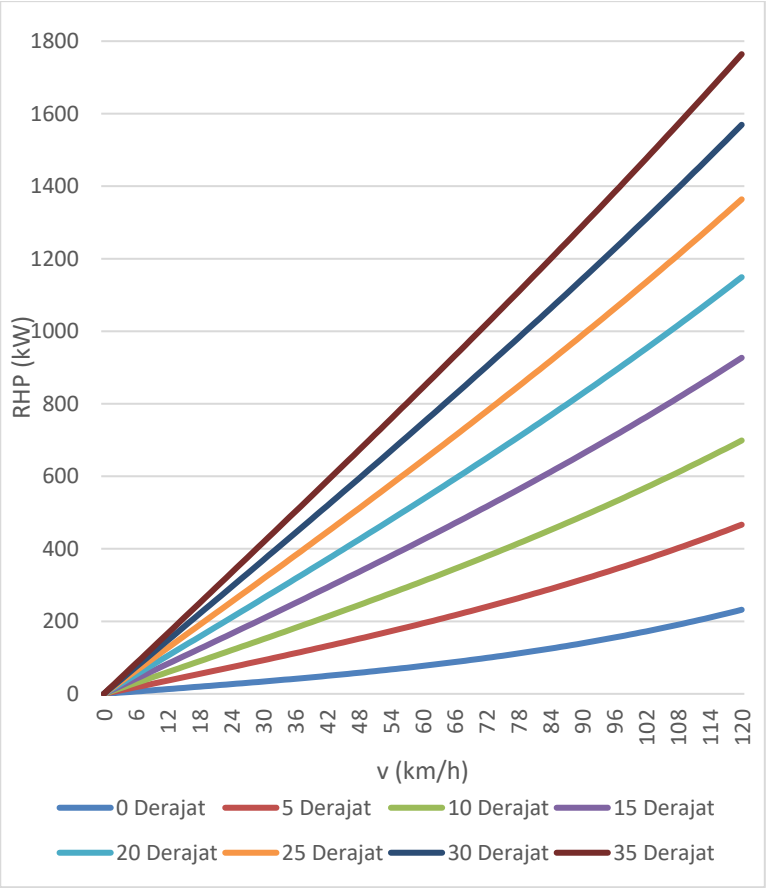
$$\mathrm{RHP} = \mathrm{F_t}.\mathrm{V_k}$$

$$\mathrm{RHP} = 5859.664381\ \mathrm{N} \times \left(\frac{97}{3.6}\right)\ m/s$$

$$\mathrm{RHP} = 157885.4014\ W$$

$$\mathrm{RHP} = 157.8854014\ kW$$

Dengan menggunakan excel, akan didapatkan distribusi daya yang dibutuhkan oleh kendaraan sebagai berikut.



Gambar 4.8 RHP Dibutuhkan Kendaraan

Dari gambar 4.8 dapat terlihat bahwa daya yang dibutuhkan kendaraan seiring bertambahnya kecepatan kendaraan, maka daya yang dibutuhkan juga semakin meningkat. Demikian juga dengan kenaikan ketinggian jalan, semakin tinggi sudut kenaikan sudut jalan, maka daya yang dibutuhkan kendaraan akan semakin meningkat juga. Dapat terlihat, ketika kendaraan melaju dengan kecepatan 97km/jam atau pada kecepatan maksimal kendaraan dan

pada sudut tanjakan 0 derajat, daya yang dibutuhkan adalah sebesar 157.885 kW, dan pada tanjakan sebesar 35 derajat, daya yang dibutuhkan kendaraan adalah sebesar 1397.692 kW.

4.2.2 Perhitungan Daya Motor

Daya motor adalah tenaga yang dikeluarkan oleh motor, dan dipengaruhi oleh gaya hambat total kendaraan, dan juga efisiensi *drivetrain* kendaraan, dimana pada kendaraan truk Hino Dutro 130 HD X-Power ini menggunakan penggerak roda belakang. Maka dari itu, efisiensi *drivetrain* truk adalah sebesar 90% atau 0.9. Pada kendaraan hybrid, kebutuhan daya motor listrik tidaklah terlalu besar, karena kerja dari motor akan dibantu oleh mesin *internal combustion engine* (ICE), atau dalam hal ini adalah mesin diesel pada penelitian truk ini. Maka dari itu, kemampuan daya motor tidaklah harus pada kecepatan maksimal kendaraannya, karena itu akan memberi beban yang lebih berat pada kendaraan, dikarenakan putaran motor yang juga akan semakin tinggi jika daya yang dikeluarkan akan semakin besar.

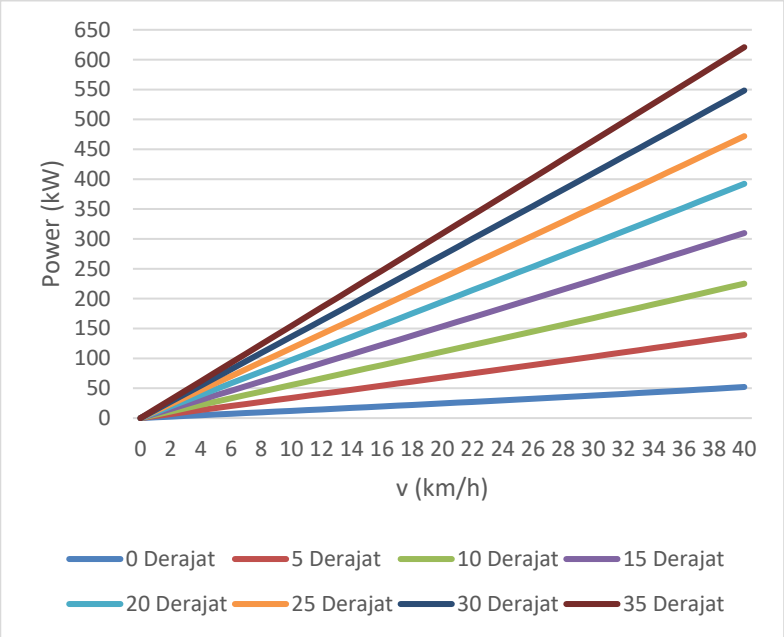
Pada kebanyakan kendaraan hybrid yang sudah ada, seperti Toyota Prius, Toyota CH-R, Nissan X-Trail Hybrid, dan kendaraan lain yang sudah menggunakan teknologi hybrid, motor listrik hanya akan bekerja pada kondisi kecepatan mencapai titik maksimal di kisaran 40 km/jam hingga 50 km/jam tergantung dari perancang dan spesifikasi motornya. Maka dari itu, pada penelitian kali ini, motor listrik akan dirancang bekerja hingga pada kecepatan maksimal kendaraan 40 km/jam. Berikut adalah contoh perhitungan daya yang dibutuhkan oleh motor listrik untuk menggerakkan kendaraan hingga mencapai 40 km/jam, dengan asumsi kendaraan melaju pada kondisi datar atau tidak ada ketinggian jalan tertentu.

$$P_{motor} = \frac{RHP}{Edt}$$

$$P_{motor} = \frac{46.86265051}{0.9}$$

$$P_{motor} = 52.07\ kW \cong 50\ kW$$

Dengan menggunakan excel, akan didapatkan distribusi daya yang dibutuhkan oleh motor sebagai berikut.



Gambar 4.9 Power Motor

Dari gambar 4.9 diatas, menunjukkan bahwa daya yang dikeluarkan oleh motor untuk mencapai kecepatan 40 km/jam adalah sebesar 52. 07 kW, atau bisa dikatakan 50 kW. Kemudian, dengan daya sebesar 50 kW, dapat dilakukan *plotting* dan perhitungan untuk penyesuaian daya yang akan dikeluarkan oleh motor, apakah mampu menggerakkan kendaraan atau tidak. Dan setelah dilakukan perhitungan untuk kondisi jalan menanjak dengan sudut ketinggian tertentu, didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 4.1 Perbandingan Daya Motor dan Kecepatan

Sudut	Daya Motor (kW)	Kecepatan (km/jam)
0	52. 07	45
5	50.88	15
10	49.82	9
15	45.89	6
20	48.56	5
25	46.82	4
30	54.46	4
35	46.28	3

Dari tabel 4.1 diatas, menunjukkan bahwa dengan power motor sebesar 50 kW, mampu menggerakkan kendaraan hingga sudut tanjakan 35 derajat, walaupun hanya 3 km/jam. Namun untuk kondisi ideal, kendaraan mampu bergerak dan nantinya jika power kurang, mesin diesel akan membantu menggerakkan kendaraan.

4.3 Analisis Pemilihan Motor Listrik

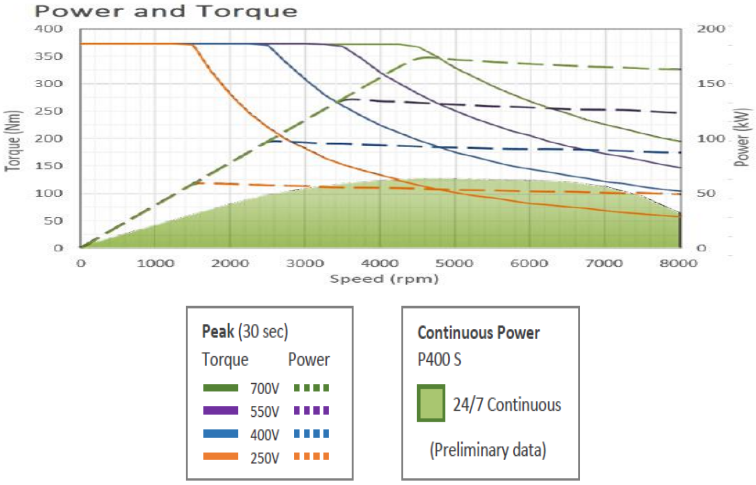
Setelah melakukan perhitungan gaya hambat dan daya jalan pada kendaraan, juga daya yang dibutuhkan oleh motor listrik, akan dicari motor yang sesuai dengan kebutuhan tersebut diatas, maka dari itu dilakukan survey untuk mencari motor yang sesuai, dan didapatkanlah motor YASA P400 R Series dan memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Mechanical		Electrical	
Casing Diameter	305 mm	Peak Torque @450 A	up to 370 Nm
Mounting 8x Ø8.3	294 mm PCD	Continuous Torque	up to 200 Nm
Axial length	106.7 mm	Peak Power @700V	160 kW
Dry Mass	28.2 kg	Continuous Power	up to 60 kW
Stator Cooling	Oil	Maximum Speed	8000 rpm

Gambar 4.10 Motor YASA P400 R Series
Sumber: (YASA Limited, 2020)

Pada gambar 4.10 diatas merupakan gambar motor listrik YASA P400 R Series dan spesifikasi motor listrik YASA P400 R Series. Motor listrik YASA P400 R Series ini sudah sesuai dikarenakan sudah bisa memenuhi kebutuhan daya dari kendaraan truk Hino Dutro 130 HD X Power sebagai objek penelitian. Motor listrik YASA P400 R Series memiliki *continuous power* atau kekuatan daya yang mampu dikeluarkan secara terus menerus sebesar 20 kW sampai 100 kW, dan memiliki *peak power* atau kekuatan daya terbesar yang mampu dikeluarkan sebesar 160 kW. Motor listrik YASA P400 R Series juga memiliki torsi yang besar, yakni mencapai 370 Nm, juga dikarenakan karena memang motor listrik ini juga dirancang untuk kendaraan di medan *offroad*, dimana hal ini sesuai dengan perancangan truk hybrid kali ini.

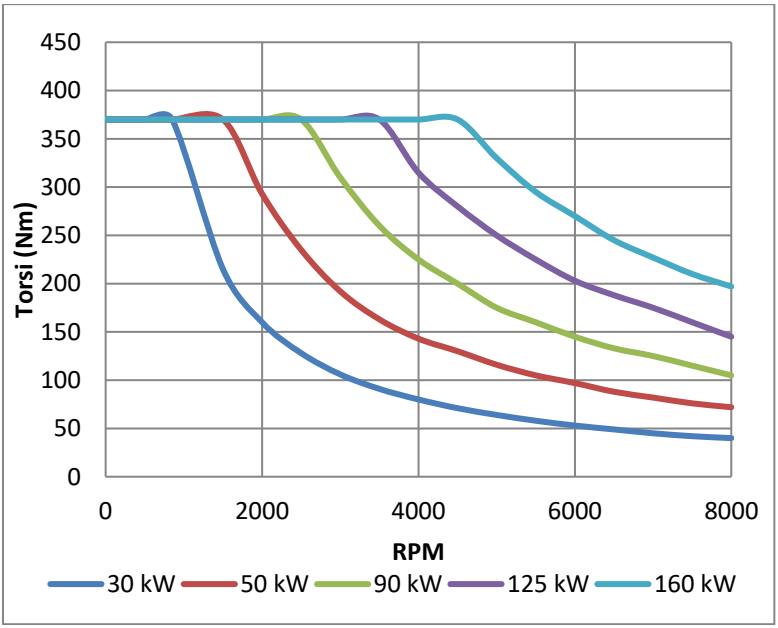
Motor listrik YASA P400 R Series ini dipilih juga dikarenakan motor listrik ini juga bisa berfungsi sebagai generator, dimana pada perancangan truk hybrid kali ini juga menerapkan *regenerative brake* yang membutuhkan generator sebagai komponen utamanya. Motor listrik YASA P400 R Series ini juga merupakan motor listrik dengan ukuran terkecil dan teringan pada kelasnya, dimana ukuran motor listrik YASA P400 R Series ini hanya berdiameter 305 mm dengan lebar 106.7 mm, dan beratnya hanya 28kg. Berikut ini adalah grafik torsi dan daya yang dihasilkan oleh motor YASA P400 R Series.



Gambar 4.11 Torsi dan Daya Motor YASA P400 R Series
Sumber: (YASA Limited, 2020)

Dari gambar 4.11, terlihat bagaimana karakteristik torsi dan daya yang dikeluarkan motor listrik YASA P400 R Series. Dari grafik diatas, terlihat bahwa karakteristik torsi dan daya yang dihasilkan sudah sesuai dengan teori yang ada menurut gambar 2.10, dimana torsi dari motor listrik,sejak dari rpm terendahnya sudah memberikan torsi maksimal, dalam hal ini sebesar 370 Nm sesuai dengan spesifikasi motor listrik YASA P400 R Series, kemudian setelah mencapai *base speed* dari motor, torsi akan turun secara hiperbolik seiring bertambahnya putaran motor listrik.

Sedangkan untuk daya yang dikeluarkan oleh motor, akan meningkat secara konstan pada rpm awal hingga mencapai *base speed* dari motor listrik, kemudian akan konstan hingga mencapai rpm maksimum motor listrik, yaitu 8000 rpm. Pada motor listrik YASA P400 R Series juga bisa menggunakan beberapa voltase, dimana semakin besar voltase yang diberikan maka semakin besar juga daya yang bisa dihasilkan. Pada voltase 250V bisa menghasilkan daya sekitar 50 kW, kemudian pada voltase 400V bisa menghasilkan daya sekitar 90 kW, pada voltase 550V bisa menghasilkan daya sekitar 120 kW dan pada voltase 700V bisa menghasilkan daya mencapai 160 kW atau daya maksimum dari motor sesuai spesifikasi diatas. Kemudian dengan memplotting data torsi berbanding dengan putaran motor disesuaikan dengan grafik pada gambar 4.11, maka didapatkan grafik berikut.



Gambar 4.12 Grafik Torsi vs RPM Motor YASA P400 R Series

Berdasarkan grafik torsi motor listrik YASA P400 R Series diatas dapat dilihat untuk torsi yang dihasilkan saat daya motor sekitar 50 kW, yaitu memiliki *base speed* di angka 1500 rpm, voltase sebesar 250V, memiliki torsi maksimum sebesar 370 Nm serta torsi minimum sebesar 75 Nm.

4.4 Analisis Pemilihan Mesin Diesel

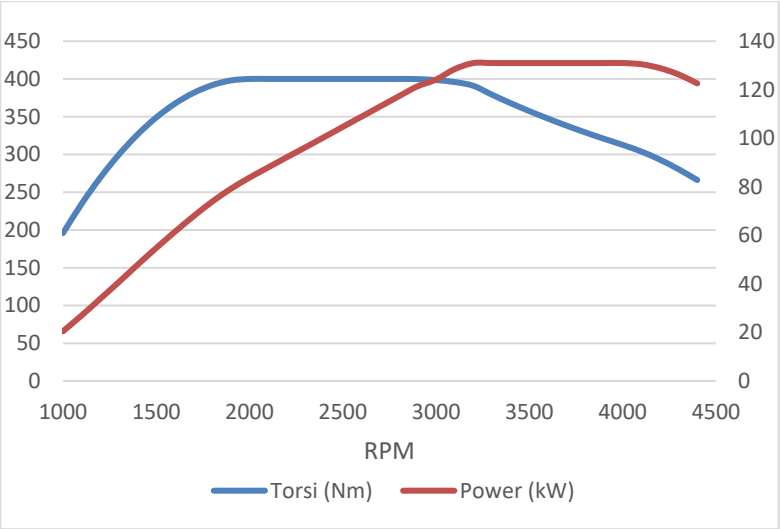
Mesin diesel yang digunakan pada penelitian ini akan diganti dengan menggunakan mesin diesel yang memiliki kapasitas mesin lebih kecil daripada aslinya yang dimiliki oleh kendaraan, karena beban dari mesin akan digantikan sebagian oleh motor listrik. Kemudian dengan mempertimbangkan kendaraan akan digunakan pada perkebunan kelapa sawit, maka akan dipilih mesin diesel dari kendaraan yang mampu menggunakan bahan bakar minyak dari kelapa sawit atau campuran. Dari berbagai pencarian yang penulis lakukan pada katalog kendaraan, maka didapatkan mesin yang akan digunakan adalah mesin dari kendaraan diesel Mitsubishi Pajero Sport 2.5 DI-D MT 4x4, yang memiliki kapasitas mesin 2477cc produksi negara Indonesia yang sudah banyak digunakan di pasaran.

Di Indonesia sendiri, bahan bakar yang digunakan, khususnya bahan bakar diesel sudah menggunakan campuran nabati yaitu dari pengolahan kelapa sawit ke bahan bakar solar sudah mencapai B20. Campuran B20 sendiri adalah campuran bahan bakar diesel yang terdiri dari campuran solar (*cetane number* 48) dengan biodiesel atau kelapa sawit 20 sesuai SK Dirjen Migas nomor 27 tahun 2016. Indonesia sendiri sudah akan merencanakan akan meningkatkan kualitas bahan kelapa sawit yang akan digunakan sebagai campuran bahan bakar diesel, hingga tahun 2020 ditargetkan mencapai standar B30 di seluruh daerah.

Mesin kendaraan ini dipilih karena memiliki performa yang cukup besar, sesuai tabel dan gambar dibawah ini.

Tabel 4.2 Spesifikasi Mesin Mitsubishi Pajero Sport
Sumber : (Automobile, 2020)

Mitsubishi Pajero Sport 2.5 DI-D MT 4x4	
Kapasitas Mesin (cc)	2477
Torsi Maks (Nm)	400
Power Maks (kW)	131
Rpm Maks	4400
Rpm saat Torsi Maks	2000 – 2800
Rpm saat Power Maks	3200 - 4000
Top Speed (km/jam)	179
Dimensi (pxlxt) (mm)	4695 x 1815 x 1840
Massa Kosong (kg)	2045
GCWR/GVWR(kg)	2710
Penggerak, Transmisi	AWD 4x4, MT
Gearbox Ratio 1	4.31
Gearbox Ratio 2	2.33
Gearbox Ratio 3	1.44
Gearbox Ratio 4	1
Gearbox Ratio 5	0.79
Final Drive Ratio	3.92



Gambar 4.13 Grafik Performa *Engine* Mitsubishi Pajero Sport

Sumber : (Automobile, 2020)

Dari tabel dan gambar diatas, dapat terlihat mesin dari Pajero memiliki tenaga yang jauh lebih besar jika dibandingkan mesin Hino Dutro 130 HD X-Power, dimana mesin Pajero memiliki torsi maksimum sebesar 400 Nm pada rpm mesin 2000 hingga 2800 dan daya maksimum sebesar 131 kW pada rpm antara 3200 hingga 4000. Maka dari itu, mesin ini dianggap cocok untuk menggantikan mesin asli dari kendaraan ini, karena disamping memiliki kapasitas mesin yang lebih kecil, tetapi memiliki performa yang lebih besar.

4.5 Analisis Rasio dan Tingkat Transmisi

Sistem transmisi dalam otomotif adalah sistem yang berfungsi untuk mengkonversi torsi dan kecepatan (putaran) dari mesin atau motor listrik menjadi torsi dan kecepatan yang berbeda-beda untuk diteruskan ke penggerak akhir (*final drive ratio*). Konversi ini akan mengubah kecepatan putar yang tinggi pada mesin atau motor listrik menjadi lebih rendah, tetapi lebih

bertenaga atau sebaliknya. Pada sub bab ini akan dibahas mengenai pemilihan dari rasio dan tingkat transmisi yang akan digunakan pada kendaraan truk hybrid seri ini.

Berdasarkan pemilihan mesin diesel yang sudah dilakukan, akan digunakan mesin diesel dari Mitsubishi Pajero Sport, dimana mesin tersebut memiliki rasio gigi sebanyak 5 tingkat sesuai tabel 4.2 diatas. Maka untuk rasio transmisi yang digunakan dalam penelitian ini akan disamakan dengan transmisi yang ada, dengan menyesuaikan tenaga yang ada pada motor listrik sebagai sumber penggerak akhir dari kendaraan. Dengan menggunakan perhitungan dari excel, dapat dianalisis kecepatan maksimum dari tiap tingkat transmisi kendaraan.

- Gigi 1

$$V\ maks = \frac{\pi \times r_w \times N_{maks}}{30 \times It \times Ig}$$

Dimana : r_w = 0.408
Nmaks = 8000
It = 4.31
Ig = 6.833

$$V\ maks = \frac{3.14 \times 0.408 \times 8000}{30 \times 4.31 \times 6.833}$$

$$V\ maks = 41.76\ km/jam$$

- *Gigi 2*

$$V\ maks = \frac{\pi \times r_w \times N_{maks}}{30 \times It \times Ig}$$

Dimana : r_w = 0.408
Nmaks = 8000
It = 2.33
Ig = 6.833

$$V\ maks = \frac{3.14 \times 0.408 \times 8000}{30 \times 2.33 \times 6.833}$$

$$V\ maks = 77.25\ km/jam$$

- *Gigi 3*

$$V\ maks = \frac{\pi \times r_w \times N_{maks}}{30 \times It \times Ig}$$

Dimana : r_w = 0.408
Nmaks = 8000
It = 1.44
Ig = 6.833

$$V\ maks = \frac{3.14 \times 0.408 \times 8000}{30 \times 1.44 \times 6.833}$$

$$V\ maks = 125\ km/jam$$

Dari perhitungan kecepatan maksimum yg bisa dicapai dari setiap tingkat transmisi, kecepatan maksimum dari transmisi 3 sudah mencapai 124 km/jam, maka rasio dan tingkat transmisi yang akan digunakan hanyalah 3 tingkat saja dari kendaraan, untuk mengurangi *losses* dan memaksimalkan tenaga dari motor, baterai dan dari mesin yang ada.

4.6 Analisis Karakteristik Traksi Kendaraan

Pada subbab ini berisikan tentang analisis karakteristik traksi sudah didapatkan pada setiap moda berkendara.

4.6.1 Karakteristik Traksi Moda *Pure Electric Traction*

Pada subbab ini berisikan tentang perhitungan dan analisis kecepatan yang dihasilkan kendaraan berdasarkan gaya dorong kendaraan. Hasil akhir akan didapatkan grafik karakteristik traksi pada setiap tingkatan transmisi.

4.6.1.1 Analisis Kecepatan Maksimum Kendaraan Moda *Pure Electric Traction*

Kecepatan yang dihasilkan pada moda berkendara *pure electric* adalah sama dengan yang dihasilkan dari perhitungan transmisi, yakni pada transmisi 1 mencapai kecepatan 41 km/jam,

transmisi 2 mencapai kecepatan 77 km/jam dan transmisi 3 mencapai kecepatan 125 km/jam.

4.6.1.2 Analisis Ft Maksimum dan Ft Minimum Moda *Pure Electric Traction*

Tahap selanjutnya untuk menentukan karakteristik traksi, yang harus dilakukan adalah melakukan perhitungan Ft maksimum dan Ft minimum dari tingkatan transmisi. Berikut adalah perhitungan mencari gaya traksi kendaraan.

- *Gigi 1*

Ft Maksimum

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times Tm_{maks}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tm_{maks} = 370
It = 4.31
Ig = 6.833

$$Ft\ maks = \frac{4.31 \times 6.833 \times 370}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ maks = 25639.02376\ N$$

Ft Minimum

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times Tm_{min}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tm_{min} = 75
It = 4.31
Ig = 6.833

$$Ft\ min = \frac{4.31 \times 6.833 \times 75}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ min = 5197.099412\ N$$

- *Gigi 2*

Ft Maksimum

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times Tm_{maks}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tm_{maks} = 370
It = 2.33
Ig = 6.833

$$Ft\ maks = \frac{2.33 \times 6.833 \times 370}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ maks = 13860.53953\ N$$

Ft Minimum

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times Tm_{min}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tm_{min} = 75
It = 2.33
Ig = 6.833

$$Ft\ min = \frac{2.33 \times 6.833 \times 75}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ min = 2809.568824\ N$$

- *Gigi 3*

Ft Maksimum

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times Tm_{maks}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tm_{maks} = 370
It = 1.44
Ig = 6.833

$$Ft\ maks = \frac{1.44 \times 6.833 \times 370}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ maks = 8566.170353\ N$$

Ft Minimum

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times Tm_{min}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tm_{min} = 75
It = 1.44
Ig = 6.833

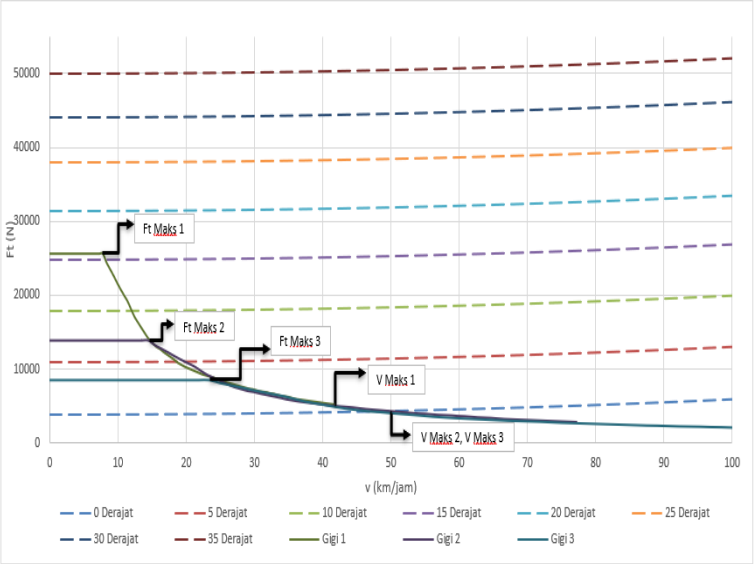
$$Ft\ min = \frac{1.44 \times 6.833 \times 75}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ min = 1736.385882\ N$$

Dari perhitungan Ft maksimum dan Ft minimum motor listrik dengan daya 50 kW, torsi maksimum 370 Nm dan torsi minimum 75 Nm, didapatkan bahwa gaya traksi maksimum yang bisa diberikan motor listrik pada transmisi 1 adalah sebesar 25639.02376 N dan gaya traksi minimum adalah sebesar 5197.099412 N. Kemudian, gaya traksi maksimum yang bisa diberikan motor listrik pada transmisi 2 adalah sebesar 13860.53953 N dan gaya traksi minimum adalah sebesar 2809.568824 N. Dan gaya traksi maksimum yang bisa diberikan motor listrik pada transmisi 3 adalah sebesar 8566.170353 N dan gaya traksi minimum adalah sebesar 1736.385882 N.

4.6.1.3 Pembahasan Grafik Karakteristik Traksi Moda *Pure Electric Traction*

Berdasarkan perhitungan kecepatan maks, Ft maks dan Ft min dari moda berkendara *pure electric* diatas, maka bisa dilakukan *plotting* grafik karakteristik traksi pada moda berkendara *pure* electric dengan 3 tingkat transmisi.



Gambar 4.14 Grafik Karakteristik Traksi Moda *Pure Electric*

Dari gambar 4.14 diatas, dapat terlihat bahwa transmisi 1 hanya mampu memberikan gaya dorong untuk melawan gaya hambat tanjakan maksimal 15 derajat, dengan kecepatan maksimum sekitar 8 km/jam, kemudian untuk melewati gaya hambat tanjakan 10 derajat dengan kecepatan maksimum 12 km/jam, kemudian untuk melewati gaya hambat tanjakan 5 derajat dengan kecepatan maksimum 18 km/jam, dan memiliki kecepatan maksimum sebesar 41 km/jam ketika mencapai putaran maksimum. Gaya traksi maksimum pada transmisi 1 bernilai sebesar 25639.02376 N dan gaya traksi minimum adalah sebesar 5197.099412 N.

Kemudian untuk transmisi 2, mampu memberikan gaya dorong untuk melawan gaya hambat maksimum 5 derajat, dengan kecepatan maksimum adalah 20 km/jam, dan memiliki kecepatan maksimum pada jalan datar mencapai 50 km/jam. Gaya traksi maksimum yang bisa diberikan motor listrik pada transmisi 2

adalah sebesar 13860.53953 N dan gaya traksi minimum adalah sebesar 2809.568824 N. Sedangkan pada transmisi 3, hanya mampu melawan gaya hambat pada jalan datar saja, dengan kecepatan maksimum mencapai 50 km/jam.

Moda berkendara *pure electric* ini memiliki efisiensi yang cukup tinggi, karena selain tidak mengeluarkan emisi gas buang, moda berkendara ini memiliki torsi dan kecepatan yang cukup baik untuk menunjang kebutuhan kendaraan. Efisiensi moda ini adalah sama dengan kendaraan listrik, karena energi yang dihasilkan dari baterai langsung menuju motor dan menggerakkan transmisi dan kendaraan. Namun pada moda berkendara ini, kendaraan hanya bisa mencapai tanjakan setinggi 15 derajat, dan kecepatan maksimum 50 km/jam, karena motor yang tidak terlalu besar, dan untuk memaksimalkan penggabungan tenaga dari mesin pada moda *hybrid traction*, maka moda berkendara ini sudah dianggap mumpuni untuk melewati gaya hambat tertentu dengan murni penggerak motor listrik.

4.6.2 Karakteristik Traksi Moda *Pure Engine Traction*

Pada subbab ini berisikan tentang perhitungan dan analisis kecepatan maksimum, gaya traksi maksimum, gaya traksi minimum, dan pembahasan grafik karakteristik traksi yang sudah didapatkan pada moda *pure engine traction*.

4.6.2.1 Analisis Kecepatan Maksimum Moda *Pure Engine Traction*

Kecepatan yang dihasilkan pada moda berkendara *pure engine* adalah sama dengan yang dihasilkan dari perhitungan transmisi, yakni pada transmisi 1 mencapai kecepatan 41 km/jam, transmisi 2 mencapai kecepatan 77 km/jam dan transmisi 3 mencapai kecepatan 125 km/jam. Kecepatan yang dihasilkan pada moda ini adalah sama dengan moda *pure electric* karena tenaga yang dihasilkan dari mesin hanya akan memutar motor listrik untuk kemudian menjalankan kendaraan, maka dari itu kecepatan

maksimum yang dihasilkan adalah sama, karena sumber penggerak akhir dari kendaraan adalah motor listrik.

4.6.2.2 Analisis Ft Maksimum dan Ft Minimum Moda *Pure Engine Traction*

Tahap selanjutnya untuk menentukan karakteristik traksi, yang harus dilakukan adalah melakukan perhitungan Ft maksimum dan Ft minimum dari tingkatan transmisi. Berikut adalah perhitungan mencari gaya traksi kendaraan.

- *Gigi 1*

Ft Maksimum

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times Te_{maks}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Te_{maks} = 400
It = 4.31
Ig = 6.833

$$Ft\ maks = \frac{4.31 \times 6.833 \times 400}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ maks = 27717.86353\ N$$

Ft Minimum

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times Te_{min}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Te_{min} = 195.9
It = 4.31
Ig = 6.833

$$Ft\ min = \frac{4.31 \times 6.833 \times 195.9}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ min = 13574.82366\ N$$

- *Gigi 2*

Ft Maksimum

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times Te_{maks}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Te_{maks} = 400
It = 2.33
Ig = 6.833

$$Ft\ maks = \frac{2.33 \times 6.833 \times 400}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ maks = 14984.36706\ \ N$$

Ft Minimum

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times Te_{min}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Te_{min} = 195.9
It = 2.33
Ig = 6.833

$$Ft\ min = \frac{2.33 \times 6.833 \times 195.9}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ min = 9260.724706\ N$$

- *Gigi 3*

Ft Maksimum

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times Te_{maks}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Te_{maks} = 400
It = 1.44
Ig = 6.833

$$Ft\ maks = \frac{1.44 \times 6.833 \times 400}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ maks = 8681.929412\ \ N$$

Ft Minimum

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times Te_{min}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Te_{min} = 195.9
It = 1.44
Ig = 6.833

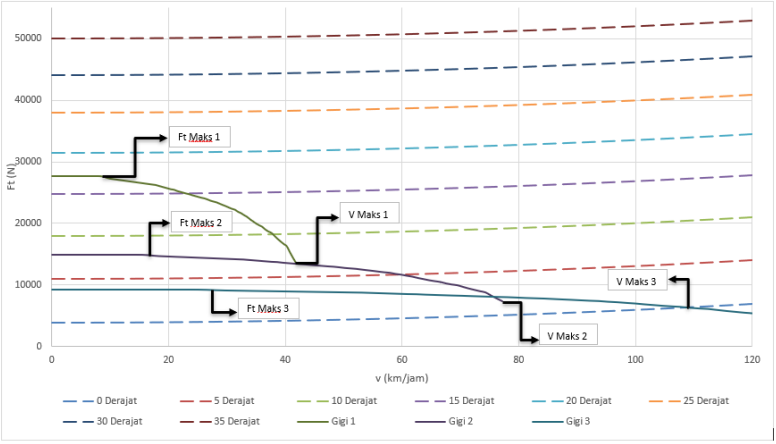
$$Ft\ min = \frac{1.44 \times 6.833 \times 195.9}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ min = 4535.439925\ N$$

Dari perhitungan Ft maksimum dan Ft minimum moda berkendara *pure engine traction* dengan torsi maksimum 400 Nm dan torsi minimum 195.9 Nm, didapatkan bahwa gaya traksi maksimum yang bisa diberikan pada transmisi 1 adalah sebesar 27717.86353 N dan gaya traksi minimum adalah sebesar 13574.82366 N. Untuk transmisi 2 mampu memberikan gaya traksi maksimum sebesar 14984.36706 N, dan gaya traksi minimum sebesar 9260.724706 N. Sedangkan untuk transmisi 3 mampu memberikan gaya traksi maksimum sebesar 8681.929412 N, dan gaya traksi minimum sebesar 4535.439925 N.

4.6.2.3 Pembahasan Grafik Karakteristik Traksi Moda *Pure Engine Traction*

Berdasarkan perhitungan kecepatan maks, Ft maks dan Ft min dari moda berkendara *pure engine traction* diatas, maka bisa dilakukan *plotting* grafik karakteristik traksi pada setiap tingkat transmisi sebagai berikut.



Gambar 4.15 Karakteristik Traksi Moda *Pure Engine Traction*

Dari gambar diatas, dapat terlihat grafik karakteristik traksi dari moda *pure engine* traction. Transmisi 1 mampu melawan gaya hambat pada sudut tanjak maksimal 15 derajat dengan kecepatan maksimal 21 km/jam, kemudian pada sudut tanjakan 10 derajat pada kecepatan 38 km/jam, dan memiliki kecepatan maksimum sebesar 42 km/jam. Gaya traksi maksimum yang dihasilkan transmisi 1 adalah sebesar 27717.86353 N, dan gaya traksi minimum sebesar 13574.82366 N.

Transmisi 2 pada moda berkendara *pure engine traction* mampu melawan gaya hambat pada tanjakan 5 derajat, dengan kecepatan maksimum mencapai 60 km/jam, dan memiliki kecepatan maksimum akhir mencapai 77 km/jam. Gaya traksi maksimum yang dihasilkan transmisi 2 adalah sebesar 14984.36706 N, dan gaya traksi minimum sebesar 9260.724706 N.

Transmisi 3 hanya mampu melawan gaya hambat pada jalan datar, dengan kecepatan maksimum mencapai 110 km/jam, dengan gaya traksi maksimum sebesar 8681.929412 N dan gaya traksi minimum sebesar 4535.439925 N.

Karakteristik moda *pure engine* diatas tidak cukup efisien jika digunakan, karena engine bekerja pada kondisi tidak optimum, sehingga tidak ada perbedaan dengan kendaraan motor pembakaran dalam biasa. Maka dari itu efisiensi yang dihasilkan pada moda berkendara ini juga rendah, tidak sebaik moda berkendara *pure electric*. Energi yang dihasilkan oleh mesin, akan digunakan terlebih dahulu untuk memutar generator, kemudian baru digunakan untuk memutar motor dan menjalankan kendaraan, sehingga efisiensi komponen yang dilewati cukup banyak dan mengurangi tenaga yang dihasilkan mesin. Jadi, moda berkendara ini bisa digunakan, namun tidak disarankan untuk diterapkan pada kendaraan ini, karena memiliki efisiensi yang rendah.

4.6.3 Karakteristik Traksi Moda *Hybrid Traction*

Pada subbab ini berisikan tentang perhitungan dan analisis kecepatan maksimum, gaya traksi maksimum, gaya traksi minimum, dan pembahasan grafik karakteristik traksi yang sudah didapatkan pada moda *hybrid traction*.

4.6.3.1 Analisis Kecepatan Maksimum Moda *Hybrid Traction*

Kecepatan yang dihasilkan pada moda berkendara *hybrid traction* adalah sama dengan yang dihasilkan dari perhitungan transmisi, yakni pada transmisi 1 mencapai kecepatan 41 km/jam, transmisi 2 mencapai kecepatan 77 km/jam dan transmisi 3 mencapai kecepatan 125 km/jam. Kecepatan yang dihasilkan pada moda ini adalah sama dengan moda *pure electric* karena tenaga yang dihasilkan dari mesin dan baterai hanya akan memutar motor listrik untuk kemudian menjalankan kendaraan, maka dari itu kecepatan maksimum yang dihasilkan adalah sama, karena sumber penggerak akhir dari kendaraan adalah motor listrik. Kecepatan bernilai sama karena torsi berpengaruh terhadap percepatan dan gaya dorong kendaraan, bukan terhadap kecepatan, maka gaya dorong atau Ft yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan moda berkendara sebelumnya, karena tenaga yang ada dari baterai digabungkan dengan tenaga yang ada pada mesin.

4.6.3.2 Analisis Ft Maksimum dan Ft Minimum Moda *Hybrid Traction*

Tahap selanjutnya untuk menentukan karakteristik traksi, yang harus dilakukan adalah melakukan perhitungan Ft maksimum dan Ft minimum dari tingkatan transmisi. Untuk moda berkendara *hybrid traction*, torsi yang ada dari mesin dan dari motor akan dijumlahkan sehingga tenaga yang dihasilkan dari moda berkendara ini akan lebih besar jika dibandingkan dengan 2 moda sebelumnya. Berikut adalah perhitungan mencari gaya traksi kendaraan.

- *Gigi 1*

Ft Maksimum

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times Tk_{maks}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tk_{maks} = 770
It = 4.31
Ig = 6.833

$$Ft\ maks = \frac{4.31 \times 6.833 \times 770}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ maks = 53356.88729\ N$$

Ft Minimum

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times Tk_{min}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tk_{min} = 270.9
It = 4.31
Ig = 6.833

$$Ft\ min = \frac{4.31 \times 6.833 \times 270.9}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ min = 18771.92308\ N$$

- *Gigi 2*

Ft Maksimum

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times Tk_{maks}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tk_{maks} = 770
It = 2.33
Ig = 6.833

$$Ft\ maks = \frac{2.33 \times 6.833 \times 770}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ maks = 28844.90659\ \ N$$

Ft Minimum

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times Tk_{min}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tk_{min} = 270.9
It = 2.33
Ig = 6.833

$$Ft\ min = \frac{2.33 \times 6.833 \times 270.9}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ min = 10148.16259\ N$$

- *Gigi 3*

Ft Maksimum

$$Ft\ maks = \frac{It \times Ig \times Tk_{maks}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tk_{maks} = 770
It = 1.44
Ig = 6.833

$$Ft\ maks = \frac{1.44 \times 6.833 \times 770}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ maks = 17826.89506\ \ N$$

Ft Minimum

$$Ft\ min = \frac{It \times Ig \times Tk_{min}}{r_w} \times Eff_m$$

Dimana : r_w = 0.408
Tk_{min} = 270.9
It = 1.44
Ig = 6.833

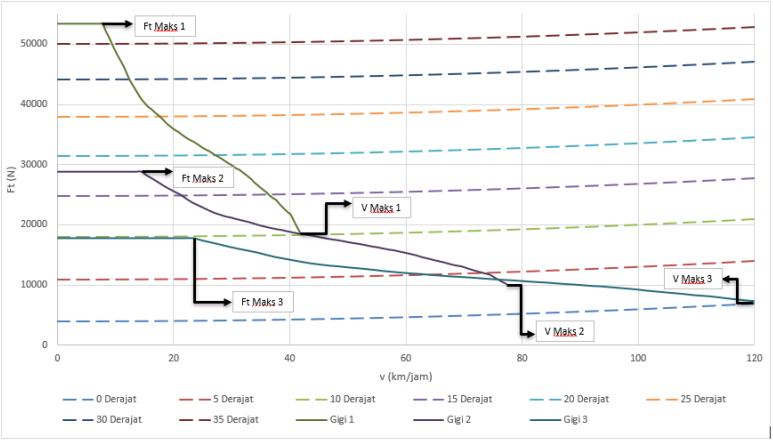
$$Ft\ min = \frac{1.44 \times 6.833 \times 270.9}{0.408} \times 0.96$$

$$Ft\ min = 6271.825807\ N$$

Dari perhitungan Ft maksimum dan Ft minimum moda berkendara *pure engine traction* dengan torsi maksimum 400 Nm dan torsi minimum 195.9 Nm, didapatkan bahwa gaya traksi maksimum yang bisa diberikan pada transmisi 1 adalah sebesar 53356.88729 N dan gaya traksi minimum adalah sebesar 18771.92308 N. Untuk transmisi 2 mampu memberikan gaya traksi maksimum sebesar 28844.90659 N, dan gaya traksi minimum sebesar 10148.16259 N. Sedangkan untuk transmisi 3 mampu memberikan gaya traksi maksimum sebesar 17826.89506 N, dan gaya traksi minimum sebesar 6271.825807 N.

4.6.3.3 Pembahasan Grafik Karakteristik Traksi Moda *Hybrid Traction*

Berdasarkan perhitungan kecepatan maks, Ft maks dan Ft min dari moda berkendara *hybrid traction* diatas, maka bisa dilakukan *plotting* grafik karakteristik traksi pada setiap tingkat transmisi sebagai berikut.



Gambar 4.16 Grafik Karakteristik Traksi Moda *Hybrid Traction*

Dari grafik diatas, dapat terlihat karakteristik traksi moda berkendara *hybrid traction*. Pada transmisi 1 mampu memberikan gaya dorong yang cukup besar untuk menanjak hingga di sudut 35 derajat, dengan kecepatan maks mencapai 10 km/jam, kemudian pada sudut 30 derajat dengan kecepatan sebesar 13 km/jam, kemudian pada sudut 25 derajat dengan kecepatan sebesar 18 km/jam, kemudian pada sudut 20 derajat dengan kecepatan sebesar 27 km/jam, kemudian pada sudut 15 derajat dengan kecepatan sebesar 36 km/jam dan memiliki kecepatan maksimum 41 km/jam pada putaran maksimum. Gaya traksi maksimum yang bisa diberikan pada transmisi 1 adalah sebesar 53356.88729 N dan gaya traksi minimum adalah sebesar 18771.92308 N.

Kemudian untuk transmisi 2 mampu memberi gaya dorong untuk menanjak pada sudut 15 derajat dengan kecepatan maksimum 22 km/jam, kemudian pada sudut 10 derajat dengan kecepatan maksimum 42 km/jam, kemudian pada sudut tanjakan 5 derajat dengan kecepatan maksimum 73 km/jam, dan kecepatan maksimum 77 km/jam pada putaran maksimum. Gaya traksi

maksimum yang mampu diberikan pada transmisi 2 adalah sebesar 28844.90659 N, dan gaya traksi minimum sebesar 10148.16259 N.

Kemudian untuk transmisi 3 mampu memberi gaya dorong untuk melawan gaya hambat pada sudut 5 derajat, dengan kecepatan maksimum mencapai 63 km/jam dan memiliki kecepatan maksimum sebesar 120 km/jam pada putaran maksimumnya. Gaya traksi maksimum yang mampu diberikan pada transmisi 3 adalah sebesar 17826.89506 N, dan gaya traksi minimum sebesar 6271.825807 N.

Dari grafik diatas dapat terlihat gaya dorong yang diberikan kendaraan jauh lebih besar jika dibandingkan pada moda *pure electric* ataupun moda *pure engine*. Hal ini karena mesin kendaraan akan mengeluarkan tenaga juga, yang akan digabungkan dengan tenaga dari motor listrik, yang kemudian akan menghasilkan gaya dorong yang lebih besar dari 2 moda berkendara sebelumnya. Pada moda berkendara hybrid, mesin bisa diatur untuk bekerja hanya pada kondisi optimum nya. Kondisi optimum pada mesin adalah pada saat mesin mengeluarkan torsi mendekati maksimum hingga maksimum. Pada saat ini, tenaga yang dikeluarkan mesin mencapai titik paling baik, sehingga sangat berguna untuk membantu menggerakkan kendaraan untuk mencapai kecepatan dan sudut tanjakan tertentu. Moda berkendara ini hanya akan digunakan ketika kendaraan membutuhkan tenaga besar untuk melawan gaya hambat pada sudut tanjakan dan membutuhkan kecepatan tertentu, sehingga penggunaannya pun juga tidak sesering moda berkendara *pure electric*.

4.7 Analisis Karakteristik Power Kendaraan

Pada saat kendaraan melaju, maka akan dibutuhkan power atau daya yang akan dikeluarkan kendaraan agar dapat melaju pada kondisi dan kecepatan tertentu. Dalam mencari karakteristik power kendaraan, dipengaruhi oleh gaya traksi Ft dan kecepatan kendaraan berdasarkan putaran dan torsi dari mesin dan motor. Pada sub bab ini akan dibahas mengenai karakteristik power pada moda berkendara kendaraan.

4.7.1 Karakteristik Power Moda *Pure Electric Traction*

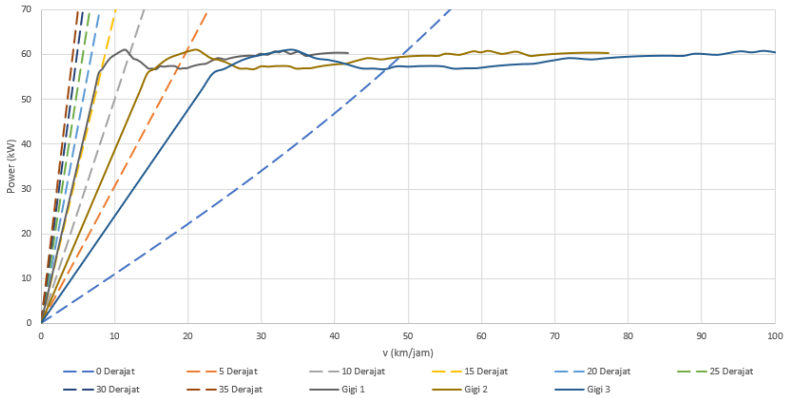
Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perhitungan dan analisis karakteristik power pada motor listrik. Berikut adalah contoh perhitungan power pada motor, pada putaran maksimum 8000 dan torsi 75 Nm.

$$P = Ft \times V$$

$$P = \frac{5197.099412}{1000}\ kN \times \frac{41.76114074}{3.6}\ m/s$$

$$P = 60.288\ kW$$

Dari contoh perhitungan diatas, dapat dilakukan perhitungan pada excel untuk mendapatkan data power dari moda berkendara *pure electric* pada setiap rpm dari minimum hingga maksimum, dan pada torsi minimum hingga maksimum. Berikut adalah grafik karakteristik power dari moda berkendara *pure electric*.



Gambar 4.17 Karakteristik Power Moda *Pure Electric*

Dari grafik diatas menunjukkan karakteristik power dari moda berkendara *pure electric*. Pada transmisi 1, power yang dihasilkan hanya mampu melawan power yg dibutuhkan pada sudut tanjakan maksimal 15 derajat, dan memiliki *trendline* naik secara linear dari rpm 0 atau minimum, hingga mencapai kecepatan *base* nya, yaitu rpm 1500, akan menghasilkan kecepatan sekitar 9

km/jam. Kemudian power akan bergerak cenderung konstan seiring bertambahnya putaran dari motor, hingga mencapai power pada rpm maksimum sebesar 60.288 kW. Power maksimum yang bisa dihasilkan dari moda berkendara ini adalah sebesar 60.77 pada rpm 6300 dan kecepatan sekitar 32.88 km/jam.

Pada transmisi 2, power yang dihasilkan memiliki karakteristik *trendline* yang sama dengan power yang dihasilkan pada transmisi 1. Power maksimum yang dihasilkan pada transmisi 2 hanya mampu memenuhi kebutuhan power pada jalan menanjak 5 derajat, dengan kecepatan maksimum 50 km/jam, dengan power yang dihasilkan dalah 59.56 kW. Begitu pula dengan karakteristik power transmisi 3 memiliki karakteristik *trendline* yang sama dengan power transmisi sebelumnya, dengan mampu memenuhi power yang dibutuhkan pada jalan datar saja, dengan kecepatan maksimum 50 km/jam dan power sebesar 57.2 kW.

4.7.2 Karakteristik Power Moda *Pure Engine Traction*

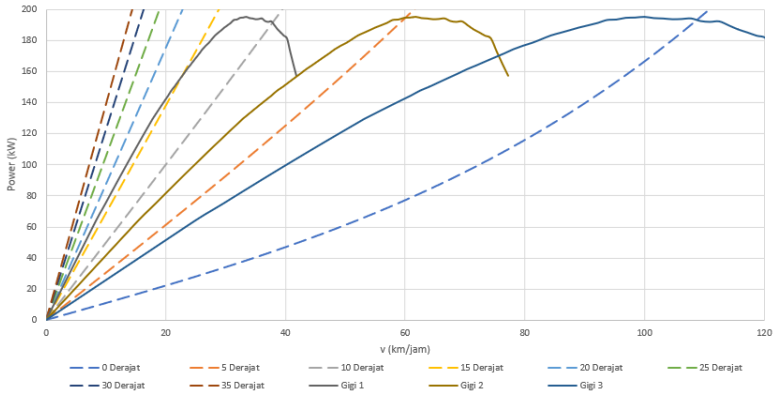
Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perhitungan dan analisis karakteristik power pada moda berkendara *pure engine traction*. Berikut adalah contoh perhitungan power pada mesin, pada putaran 1500 dan torsi 400 Nm.

$$P = Ft \times V$$

$$P = \frac{27717.86353}{1000} kN \times \frac{7.83021389}{3.6} m/s$$

$$P = 60.288\ kW$$

Dari contoh perhitungan diatas, dapat dilakukan perhitungan pada excel untuk mendapatkan data power dari moda berkendara *pure engine traction* pada setiap rpm dari minimum hingga maksimum, pada torsi minimum hingga maksimum dan pada setiap tingkatan transmisi. Berikut adalah grafik karakteristik power yang dihasilkan.



Gambar 4.18 Karakteristik Power Moda *Pure Engine*

Dari grafik diatas menunjukkan karakteristik power dari moda berkendara *pure engine traction*, dimana power dari yang dihasilkan akan terus meningkat seiring bertambahnya putaran mesin dan kecepatan kendaraan, dan akan mencapai titik maksimum tertentu, baru kemudian akan turun hingga putaran maksimum. Pada transmisi 1, power yang dihasilkan hanya mampu melawan power yg dibutuhkan pada sudut tanjakan maksimal 15 derajat, dan mampu mencapai kecepatan maksimum 41 km/jam. Power maksimum yang bisa dicapai pada moda berkendara ini mencapai 195.4 kW.

Pada transmisi 2, power yang dihasilkan hanya mampu melawan power yg dibutuhkan pada sudut tanjakan maksimal 5 derajat, dan mampu mencapai kecepatan maksimum 77 km/jam. Power maksimum yang bisa dicapai pada transmisi 2 mencapai 195.4 kW. Pada transmisi 3, power yang dihasilkan hanya mampu melawan power yang dibutuhkan pada jalan datar, dengan kecepatan maksimum 110 km/jam dan power maksimum 192.2 kW.

4.7.3 Karakteristik Power Moda *Hybrid Traction*

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perhitungan dan analisis karakteristik power pada moda berkendara *hybrid traction*.

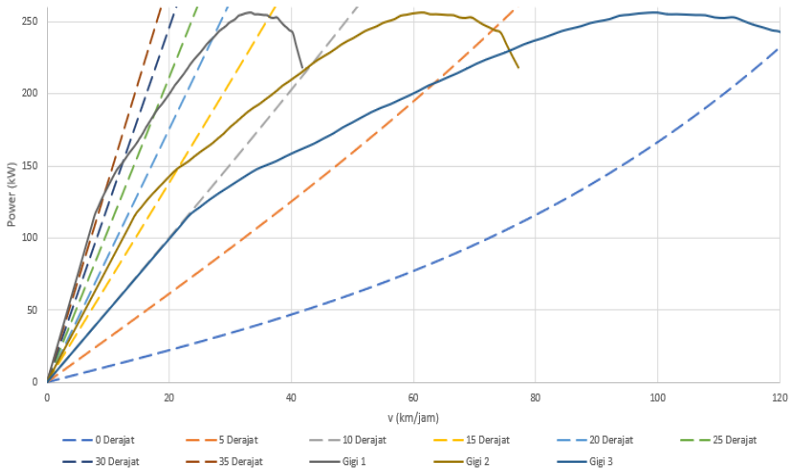
Berikut adalah contoh perhitungan power pada mesin, pada putaran 1500 dan torsi 770 Nm.

$$P = Ft \times V$$

$$P = \frac{53356.88729}{1000} kN \times \frac{7.83021389}{3.6} m/s$$

$$P = 116.0544\ kW$$

Dari contoh perhitungan diatas, dapat dilakukan perhitungan pada excel untuk mendapatkan data power dari moda berkendara *hybrid traction* pada setiap rpm dari minimum hingga maksimum, pada torsi minimum hingga maksimum dan pada setiap tingkatan transmisi. Berikut adalah grafik karakteristik power yang dihasilkan.



Gambar 4.19 Karakteristik Power Moda *Hybrid Traction*

Dari grafik diatas menunjukkan karakteristik power dari moda berkendara *hybrid traction*, dimana power dari yang dihasilkan akan terus meningkat seiring bertambahnya putaran mesin dan kecepatan kendaraan, dan akan mencapai titik maksimum tertentu, baru kemudian akan turun hingga putaran

maksimum. Pada transmisi 1, power yang dihasilkan mampu melawan power yg dibutuhkan pada sudut tanjakan maksimal 35 derajat, dan mampu mencapai kecepatan maksimum 41 km/jam. Power maksimum yang bisa dicapai pada moda berkendara ini mencapai 255.87 kW.

Pada transmisi 2, power yang dihasilkan hanya mampu melawan power yg dibutuhkan pada sudut tanjakan maksimal 15 derajat, dan mampu mencapai kecepatan maksimum 77 km/jam. Power maksimum yang bisa dicapai pada moda berkendara ini mencapai 255.87 kW. Pada transmisi 3, power yang dihasilkan hanya mampu melawan power yang dibutuhkan pada sudut tanjakan mencapai 10 derajat, dengan kecepatan maksimum 120 km/jam dan power maksimum 255.87 kW.

Pada moda berkendara *hybrid charging* ini, power yang diberikan cenderung terlalu besar dibandingkan kebutuhan nyata kendaraa, dan ini digunakan untuk melawan sudut tanjakan atau kecepatan tertentu, dan karena power yang diberikan terlalu besar, secara tidak langsung maka efisiensi dari moda berkendara ini juga tidak terlalu baik, karena tenaga yang diberikan terlalu berlebihan, maka hanya digunakan dalam momen dan kondisi tertentu saja.

4.8 Analisis *Regenerative Brake* pada *Driving Cycle*

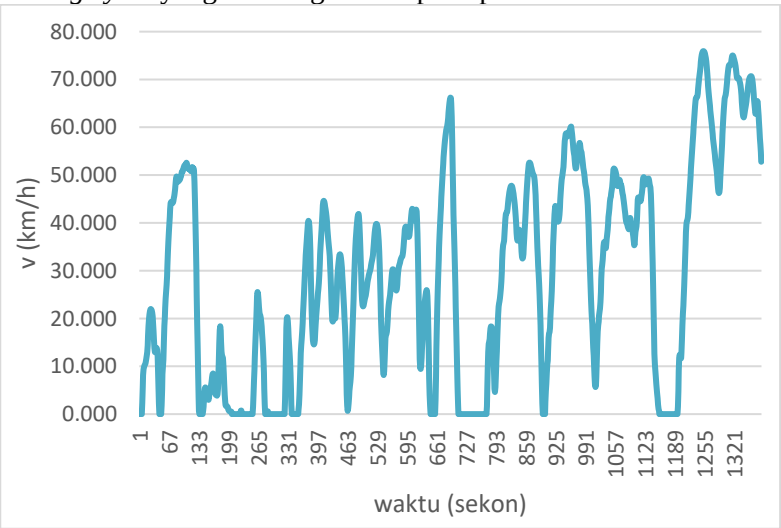
Pada sub bab ini akan dibahas mengenai penggunaan *regenerative brake* yang akan diaplikasikan pada truk hybrid ini, yaitu perhitungan energi terbuang pada kendaraan, energi yang mampu dimanfaatkan pada setiap moda hybrid dan efisiensi dari *regenerative brake* ini pada setiap moda hybrid.

4.8.1 *Driving Cycle*

Driving cycle yang dipilih pada penelitian kali ini adalah *driving cycle World Harmonized Vehicle Cycle* (WHVC). *Driving cycle* ini dipilih karena hasil dari *driving cycle* WHVC ini terkadang digunakan untuk membandingkan masing-masing kendaraan dan tingkat emisi dari mesin untuk tujuan penelitian. Selain itu, *driving cycle* ini juga dirancang untuk menguji kendaraan besar dan berat (*Heavy Duty)*, dan pada penelitian ini

menggunakan objek truk dimana truk yang digunakan merupakan kendaraan *heavy duty*, maka dari itu *driving cycle* ini sangat cocok untuk digunakan pada penelitian ini.

Driving cycle ini sendiri memiliki 3 segmen pengujian, yaitu pada jalanan perkotaan, pedesaan dan jalan tol (*highway)*. Namun karena penelitian ini ditujukan untuk penggunaan di perkebunan kelapa sawit, maka penggunaan *driving cycle* untuk segmen jalan tol tidak digunakan, dan hanya menggunakan segmen perkotaan dan pedesaan, karena tidak memungkinkan untuk melaju dengan kecepatan tinggi dan konstan seperti di jalan tol, dan kecepatan yang dihasilkan pada perkotaan dan pedesaan memiliki rata-rata kecepatan yang tidak terlalu besar. Berikut ini adalah *driving cycle* yang akan digunakan pada penelitian ini.

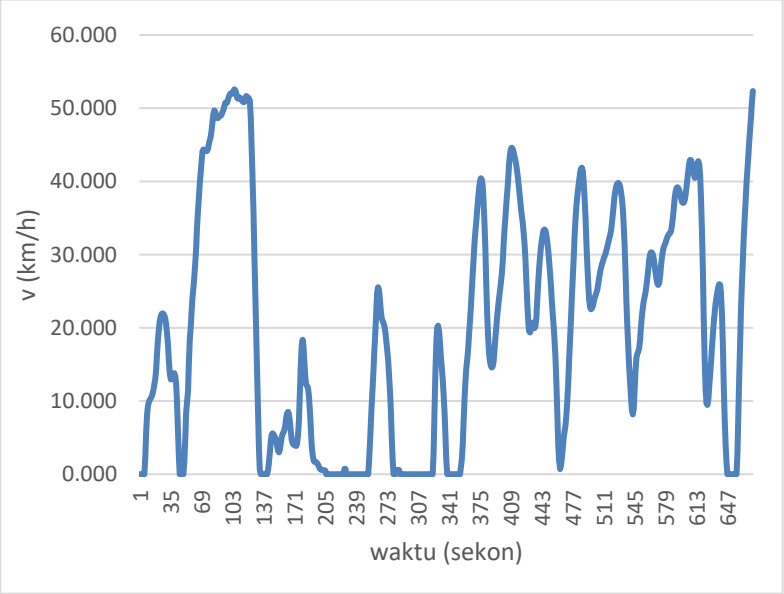


Gambar 4.20 *Driving Cycle* WHVC

Untuk segmen pertama, yaitu segmen jalanan perkotaan, dimulai dari detik ke-0 hingga detik ke-900, dengan jarak tempuh sejauh 5.3 km. Kemudian dilanjutkan untuk segmen jalanan pedesaan, dari detik ke-901 hingga detik ke-1381, dengan jarak tempuh sejauh 5.8 km.

4.8.2 Moda *Regenerative Braking*

Pada sub bab ini, akan dibahas mengenai perhitungan energi terbuang akibat pengereman, perhitungan energi bangkitan dan perhitungan efisiensi dari *regenerative brake* berdasarkan *driving cycle* dan moda hybrid *regenerative braking*. Moda berkendara ini bisa dicapai dengan kondisi kendaraan berjalan hanya dengan motor listrik dan tenaga dari baterai saja, maka bisa diasumsikan adalah sama dengan kondisi moda berkendara *pure electric traction*. Karena moda *pure electric* tidak menggunakan mesin sebagai penggerak, maka energi yang mampu dimanfaatkan hanya berasal dari RHP kendaraan yang tidak terpakai saat terjadi pengereman. Kemudian, karena kecepatan maksimum yang bisa dicapai oleh motor listrik hanya mencapai sekitar 50 km/jam, *driving cycle* yang digunakan dibatasi hingga detik ke-675, karena kecepatan maksimum yang bisa dicapai masih mencapai 52 km/jam. Berikut *driving cycle* yang digunakan.



Gambar 4.21 *Driving Cycle* WHVC pada Moda *Pure Electric*

4.8.2.1 Perhitungan dan Analisis Energi *Losses* berdasarkan *Driving Cycle* Moda *Regenerative Braking*

Untuk menghitung energi losses akibat pengereman, dapat dihitung dengan persamaan berikut, dengan mengambil contoh kecepatan pada detik ke-31 dengan kecepatan 19.24 km/jam menuju detik ke-32 dengan kecepatan 17.57 km/jam.

$$Ek_{Translasi} = 0.5 \times m \times Km \times (v1^2 - v2^2)$$

Dimana : m = 8250 kg

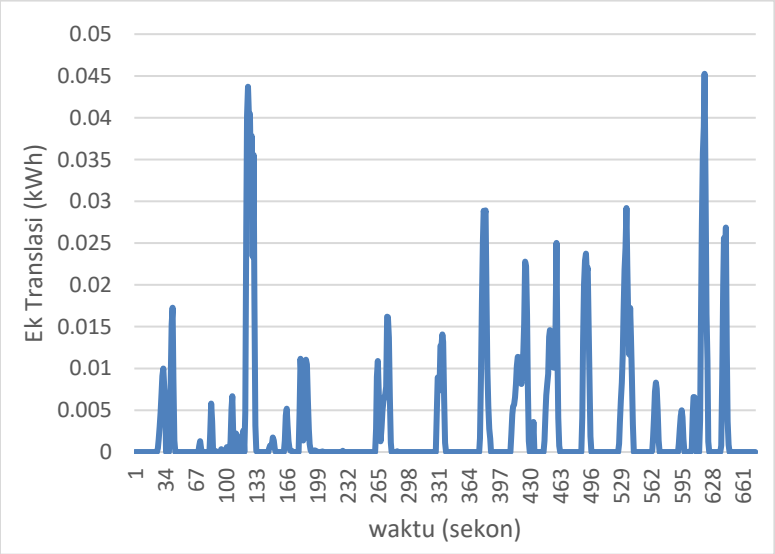
Km = 1.67368

$$Ek_{Translasi} = 0.5 \times 8250 \times 1.67368 \times (\left(\frac{19.24}{3.6}\right)^2 - (\frac{17.57}{3.6})^2)$$

$$Ek_{Translasi} = 32747.29581\ J$$

$$Ek_{Translasi} = 0.009096471\ kWh$$

Kemudian, dengan menggunakan excel, akan didapatkan grafik energi kinetik yang terbuang selama pengereman sebagai berikut.



Gambar 4.22 Energi *Losses* Pengereman Moda *Regenerative Braking*

Dari gambar 4.22 diatas, dapat terlihat grafik memiliki nilai tertinggi pada titik pengereman detik ke-622, yaitu memiliki nilai energi *losses* pengereman sebesar 0.045255538 kWh. Total energi *losses* pengereman yang tersedia dari detik ke-0 hingga detik ke-675 adalah sebesar 2.152849561 kWh.

4.8.2.2 Perhitungan dan Analisis Energi Bangkitan *Regenerative Brake* Moda *Regenerative Braking*

Energi bangkitan dari pengereman ini didapatkan dengan mengurangi RHP yang ada, kemudian selisih tersebut yang bisa ditangkap oleh generator, untuk kemudian dijadikan sumber tenaga tambahan kendaraan. Berikut ini perhitungan untuk energi bangkitan pengereman yang bisa didapatkan oleh kendaraan, diambil contoh pada detik ke-31 dengan kecepatan 19.24 km/jam menuju detik ke-32 dengan kecepatan 17.57 km/jam.

$$RHP = \frac{(Fd + Fr + Fi + Fg) \times V}{1000}$$

Dimana : Fd = 62.01970684
Fr = 1623.563911
Fg = 0
Fi = -3287.083333 = 3287.083333
V = 19.24 km/jam = 5.34 m/s

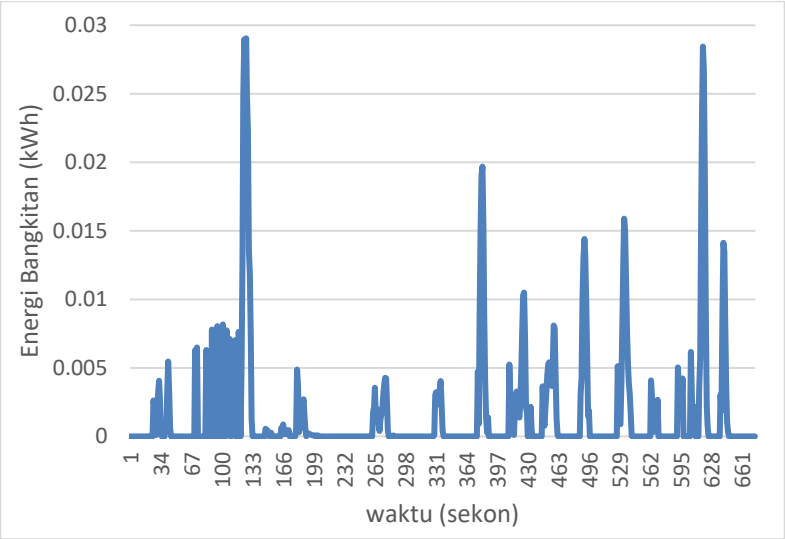
$$RHP = \frac{(62.01970684 + 1623.56391 + 3287.083 + 0) \times 5.34}{1000}$$

$$RHP = 11.445\ kW$$

Kemudian, untuk mencari energi bangkitan dari kendaraan, akan dibagi dengan 3600 untuk mengubah satuan menjadi kWh.

$$Energi\ Bangkitan = \frac{11.445}{3600} = 0.003179202\ kWh$$

Kemudian dengan menggunakan excel, akan didapatkan grafik energi bangkitan pada setiap pengereman kendaraan, sebagai berikut.



Gambar 4.23 Energi Regeneratif Pengereman Moda *Regenerative Braking*

Dari grafik diatas, dapat terlihat bahwa nilai energi regeneratif terbesar bernilai 0.029049 kWh, dan berada pada detik ke-128. Total nilai energi regeneratif adalah sebesar 1.108 kWh. Kemudian, nilai tersebut akan dikalikan dengan efisiensi komponen kendaraan yang dilewati, yaitu transmisi, motor dan *inverter*, sebagai berikut.

$$Energi\ Reg.Total = Energi\ Reg. \times Edt \times Efm \times Efi \times Efb$$

Dimana : Edt = 0.9
Efm = 0.96
Efi = 0.95
Efb = 0.95

$$Energi\ Reg.Total = 1.108 \times 0.9 \times 0.96 \times 0.95 \times 0.95$$

$$Energi\ Regeneratif\ Total = 0.864 \text{ kWh}$$

4.8.2.3 Perhitungan dan Analisis RHP Kendaraan dari *Driving Cycle*

Perhitungan RHP untuk mengetahui kontribusi dari rem regeneratif dari kendaraan sesuai *driving cycle* WHVC yang digunakan. Untuk perhitungan RHP adalah sama dengan perhitungan RHP renegeratif, sebagai contoh pada detik ke-20 dengan kecepatan 16.38 km/jam.

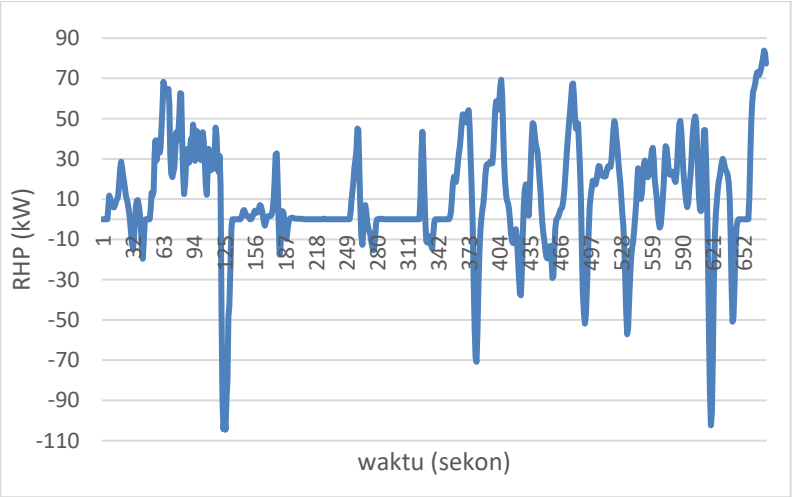
$$RHP = \frac{(Fd + Fr + Fi + Fg) \times V}{1000}$$

Dimana : Fd = 44.95182915
Fr = 1621.389699
Fg = 0
Fi = 4629.166667
V = 16.38 km/jam = 4.55 m/s

$$RHP = \frac{(44.9518291 + 1621.38969 + 4629.1667 + 0) \times 4.55}{1000}$$

$$RHP = 28.645\ kW$$

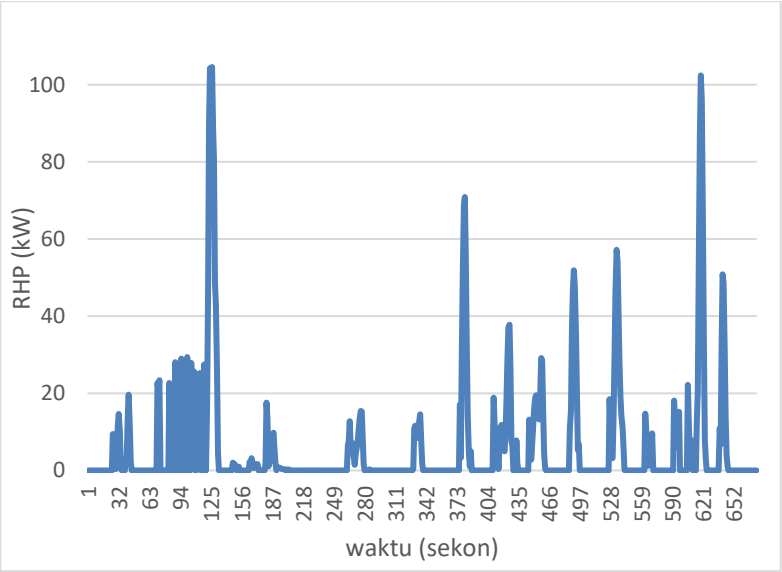
Dengan menggunakan excel, akan didapatkan grafik RHP dari kendaraan sesuai *driving cycle* WHVC, sebagai berikut.



Gambar 4.24 RHP Total Kendaraan Moda *Regenerative Braking*

Dari grafik diatas, dapat terlihat kendaraan banyak melakukan percepatan dan perlambatan. Nilai RHP tertinggi berada pada detik ke-673, dengan nilai RHP sebesar 83.83 kW, dan nilai RHP terendah berada pada detik ke-124 dengan nilai RHP sebesar -104.57 kW. Total RHP dari *driving cycle* WHVC moda *pure electric* ini adalah sebesar 7278.836274 kW.

Dengan menggunakan rumus yang sama, akan didapatkan nilai RHP regeneratif, dengan berpatokan pada nilai dari Fi atau gaya inersia kendaraan bernilai negatif, yang adalah kendaraan melakukan perlambatan, dan didapatkan grafik sebagai berikut.



Gambar 4.25 RHP Regeneratif Total Kendaraan Moda *Regenerative Braking*

Dari grafik diatas, dapat terlihat nilai RHP regeneratif tertinggi berada pada detik ke-124 dengan nilai RHP sebesar 104.57 kW. Total nilai RHP regeneratif dari *driving cycle* WHVC moda *pure electric* ini adalah sebesar 3989.033457 kW.

4.8.2.4 Perhitungan dan Analisis Kontribusi *Regenerative Brake* Moda *Regenerative Braking*

Kontribusi dari *regenerative brake* didapatkan dengan membagi nilai dari RHP regeneratif dengan RHP total dari kendaraan, sebagai berikut.

$$\text{Kontribusi Regenerative Brake} = \frac{RHP\ Regeneratif}{RHP\ Total} \times 100\%$$

$$\text{Kontribusi Regenerative Brake} = \frac{3989.033457}{7278.836274} \times 100\%$$

$$\text{Kontribusi Regenerative Brake} = 54.803\ \%$$

Dari perhitungan diatas, nilai dari kontribusi rem regeneratif terhadap kendaraan adalah sebesar 54.803%.

4.8.2.5 Perhitungan dan Analisis Efisiensi *Regenerative Brake* Moda *Regenerative Braking*

Efisiensi dari *regenerative brake* didapatkan dengan membagi nilai dari energi regeneratif dengan Ek translasi, dan akan didapatkan nilai dari efisiensi regenerative brake.

$$\text{Efisiensi Regenerative Brake} = \frac{Energi\ Regeneratif}{Ek_{Translasi}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Regenerative Brake} = \frac{0.864}{2.153} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Regenerative Brake} = 40.134\ \%$$

Dari perhitungan, maka didapatkan efisiensi dari *regenerative brake* adalah sebesar 40.134 %.

4.8.3 Moda *Hybrid Charging*

Pada sub bab ini, akan dibahas mengenai perhitungan energi terbuang akibat pengereman, perhitungan energi bangkitan dan perhitungan efisiensi dari *regenerative brake* berdasarkan *driving cycle* dan moda hybrid *hybrid charging*. Moda *hybrid charging* menggunakan gabungan mesin dan motor listrik sebagai penggerak, maka energi yang mampu dimanfaatkan berasal dari RHP kendaraan yang tidak terpakai saat terjadi pengereman dan dari putaran mesin yang menghasilkan energi kinetik yang tidak terpakai saat kendaraan melaju.

4.8.3.1 Perhitungan dan Analisis Energi *Losses* berdasarkan *Driving Cycle* Moda *Hybrid Charging*

Untuk menghitung energi losses akibat pengereman, dapat dihitung dengan persamaan berikut, dengan mengambil contoh

kecepatan pada detik ke-31 dengan kecepatan 19.24 km/jam menuju detik ke-32 dengan kecepatan 17.57 km/jam.

$$Ek_{Translasi} = 0.5 \times m \times Km \times (v1^2 - v2^2)$$

Dimana : m = 8250 kg

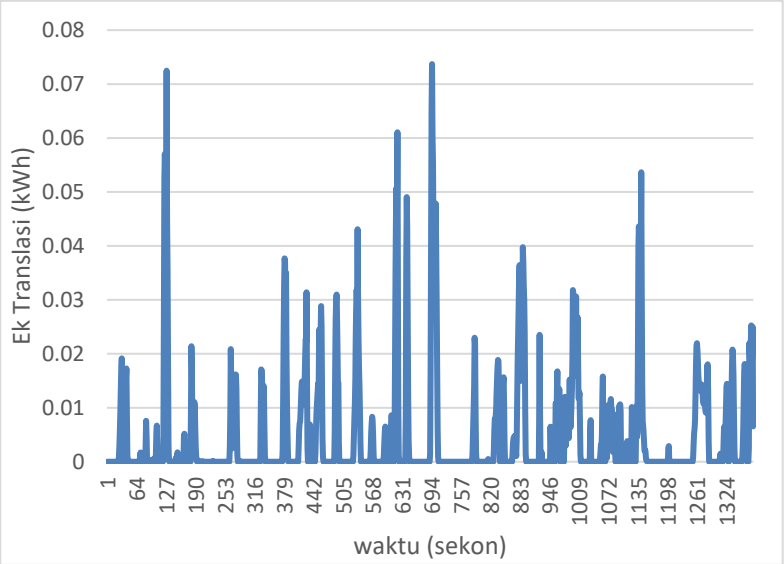
Km = 3.20829

$$Ek_{Translasi} = 0.5 \times 8250 \times 3.20829 \times (\left(\frac{19.24}{3.6}\right)^2 - (\frac{17.57}{3.6})^2)$$

$$Ek_{Translasi} = 62773.28747\ J$$

$$Ek_{Translasi} = 0.017437024\ kWh$$

Kemudian, dengan menggunakan excel, akan didapatkan grafik energi kinetik yang terbuang selama pengereman sebagai berikut.



Gambar 4.26 Energi *Losses* Pengereman Moda *Hybrid Charging*

Dari gambar 4.27 diatas, dapat terlihat grafik memiliki nilai tertinggi pada titik pengereman detik ke-697, yaitu memiliki nilai energi *losses* pengereman sebesar 0.073698 kWh. Total energi *losses* pengereman yang tersedia dari detik ke-0 hingga detik ke-1381 adalah sebesar 6.631224372 kWh.

4.8.3.2 Perhitungan dan Analisis Energi Bangkitan *Regenerative Brake* Moda *Hybrid Charging*

Energi bangkitan dari moda ini bisa didapatkan dari hasil pengereman pada roda, dan dari putaran mesin yang tidak digunakan untuk menjalankan kendaraan. Energi regeneratif dari roda dan dari putaran mesin nilainya adalah sama, karena energi yang dihasilkan berasal dari RHP kendaraan yang bisa dikonversi menjadi energi tambahan untuk baterai. Perbedaan energi disini adalah dari komponen kendaraan yang dilewati oleh daya tersebut, sehingga nilai yang tersimpan pada baterai tidak akan sama.

Energi bangkitan dari pengereman pada roda ini didapatkan dengan mengurangi RHP yang ada, kemudian selisih tersebut yang bisa ditangkap oleh generator, untuk kemudian dijadikan sumber tenaga tambahan kendaraan. Berikut ini perhitungan untuk energi bangkitan pengereman yang bisa didapatkan oleh kendaraan, diambil contoh pada detik ke-31 dengan kecepatan 19.24 km/jam menuju detik ke-32 dengan kecepatan 17.57 km/jam.

$$RHP = \frac{(Fd + Fr + Fi + Fg) \times V}{1000}$$

Dimana : Fd = 62.01970684
Fr = 1623.563911
Fg = 0
Fi = -3287.083333 = 3287.083333
V = 19.24 km/jam = 5.34 m/s

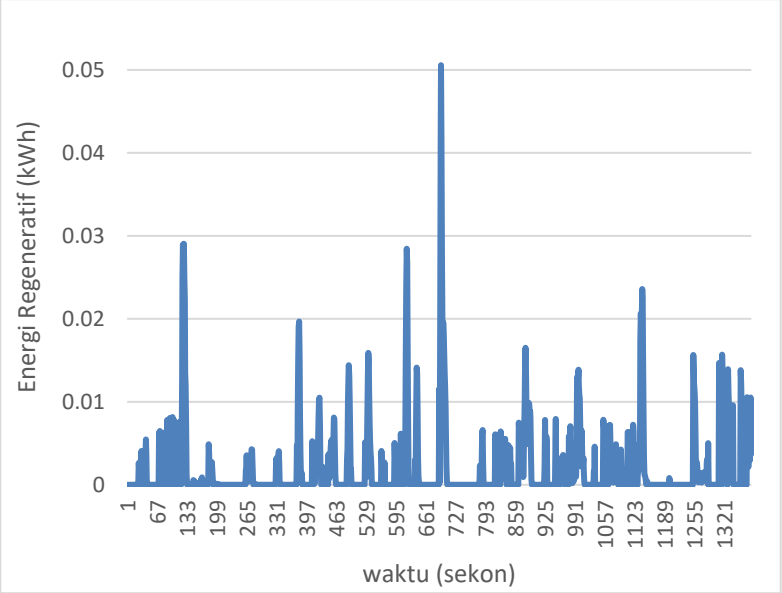
$$RHP = \frac{(62.0197068 + 1623.56391 + 3287.0833 + 0) \times 5.34}{1000}$$

$$RHP = 11.445\ kW$$

Kemudian, untuk mencari energi bangkitan dari kendaraan, akan dibagi dengan 3600 untuk mengubah satuan menjadi kWh.

$$Energi\ Bangkitan = \frac{15.78365}{3600} = 0.003179202\ kWh$$

Kemudian dengan menggunakan excel, akan didapatkan grafik energi bangkitan pada setiap pengereman kendaraan, sebagai berikut.



Gambar 4.27 Energi Regeneratif Pengereman Moda *Hybrid Charging*

Dari grafik diatas, dapat terlihat bahwa nilai energi regeneratif terbesar bernilai 0.050571976 kWh, dan berada pada detik ke-695. Total nilai energi regeneratif adalah sebesar 2.731622363 kWh. Kemudian, nilai tersebut akan dikalikan dengan efisiensi komponen kendaraan yang dilewati, yaitu transmisi, motor dan *inverter*, sebagai berikut.

$$Energi\ Reg.Total = Energi\ Reg. \times Edt \times Efm \times Efi \times Efb$$

Dimana : Edt = 0.9
Efm = 0.96
Efi = 0.95
Efb = 0.95

$$Energi\ Reg.Total = 2.73162236 \times 0.9 \times 0.96 \times 0.95 \times 0.95$$

$$Energi\ Regeneratif\ Total = 2.130009854 \text{ kWh}$$

Untuk menghitung energi yang bisa ditangkap dari mesin, daya yang dihasilkan adalah sama dengan daya regeneratif yang didapatkan dari roda, perbedaannya adalah, karena aliran daya dari mesin hanya melewati generator dan inverter, maka tidak perlu dikalikan dengan efisiensi transmisi.

$$Energi\ Reg.Total = Energi\ Reg. \times Efm \times Efi \times Efb$$

Dimana : Efm = 0.96
Efb = 0.95
Efi = 0.95

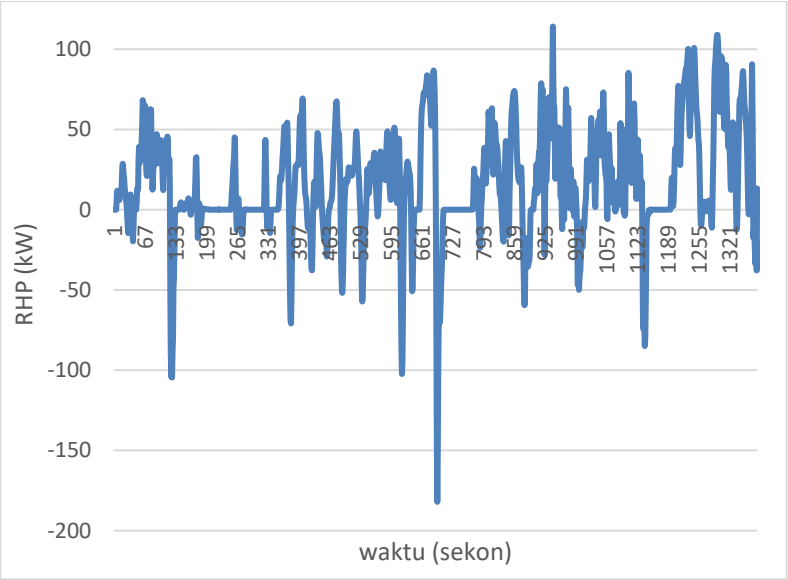
$$Energi\ Reg.Total = 2.731622363 \times 0.96 \times 0.95 \times 0.95$$

$$Energi\ Regeneratif\ Total = 2.366677616 \text{ kWh}$$

Maka dari itu, dengan menjumlahkan energi pengereman dari mesin dan roda, energi regeneratif yang bisa dimanfaatkan adalah sebesar 4.49668747 kWh.

4.8.3.3 Perhitungan dan Analisis RHP Kendaraan dari *Driving Cycle* Moda *Hybrid Charging*

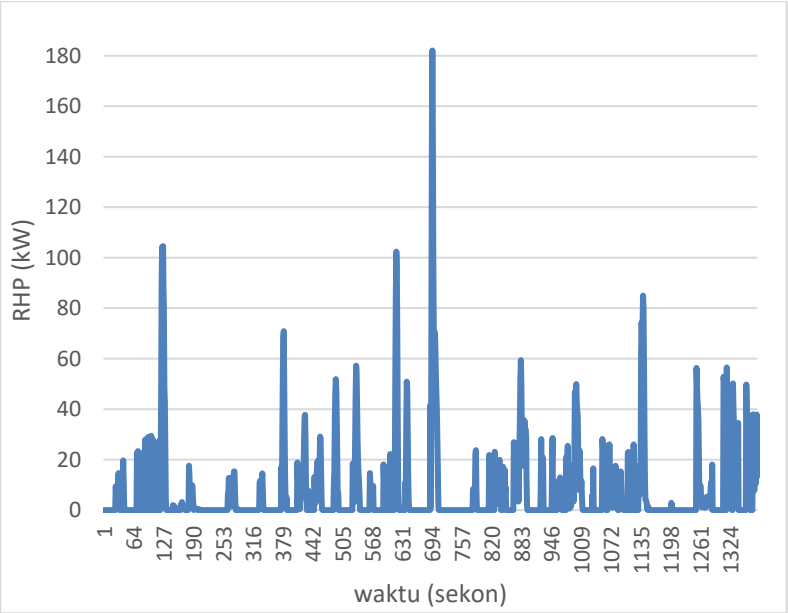
Perhitungan RHP untuk mengetahui kontribusi dari rem regeneratif dari kendaraan sesuai *driving cycle* WHVC yang digunakan. Untuk perhitungan RHP adalah sama dengan perhitungan RHP renegeratif, dan dengan cara yang sama seperti pada perhitungan RHP untuk moda *regenerative braking*, maka akan didapatkan grafik RHP kendaraan untuk moda berkendara *hybrid charging* sebagai berikut.



Gambar 4.28 RHP Total Kendaraan Moda *Hybrid Charging*

Dari grafik diatas, dapat terlihat kendaraan banyak melakukan percepatan dan perlambatan. Nilai RHP tertinggi berada pada detik ke-945, dengan nilai RHP sebesar 114.15 kW, dan nilai RHP terendah berada pada detik ke-697 dengan nilai RHP sebesar -182.059 kW. Total RHP dari *driving cycle* WHVC moda *hybrid charging* ini adalah sebesar 23141.56912 kW.

Dengan menggunakan rumus yang sama, akan didapatkan nilai RHP regeneratif, dengan berpatokan pada nilai dari Fi atau gaya inersia kendaraan bernilai negatif, yang adalah kendaraan melakukan perlambatan, dan didapatkan grafik sebagai berikut.



Gambar 4.29 RHP Regeneratif Total Kendaraan Moda *Hybrid Charging*

Dari grafik diatas, dapat terlihat nilai RHP regeneratif tertinggi berada pada detik ke-697 dengan nilai RHP sebesar 184.059 kW. Total nilai RHP regeneratif dari *driving cycle* WHVC moda *hybrid charging* ini adalah sebesar 9833.840509 kW.

4.8.3.4 Perhitungan dan Analisis Kontribusi *Regenerative Brake* Moda *Hybrid Charging*

Kontribusi dari *regenerative brake* didapatkan dengan membagi nilai dari RHP regeneratif dengan RHP total dari kendaraan, sebagai berikut.

$$\text{Kontribusi Regenerative Brake} = \frac{RHP\ Regeneratif}{RHP\ Total} \times 100\%$$

$$\text{Kontribusi } Regenerative\ Brake = \frac{9833.840509}{23141.56912} \times 100\%$$

$$\text{Kontribusi } Regenerative\ Brake = 42.49\ \%$$

Dari perhitungan diatas, nilai dari kontribusi rem regeneratif terhadap kendaraan adalah sebesar 42.49%.

4.8.3.5 Perhitungan dan Analisis Efisiensi *Regenerative Brake* Moda *Hybrid Charging*

Efisiensi dari *regenerative brake* didapatkan dengan menjumlahkan nilai dari Ek rotasi dengan energi regeneratif yang adalah total energi yang bisa dimanfaatkan oleh kendaraan, kemudian dibagi dengan Ek translasi, dan akan didapatkan nilai dari efisiensi regenerative brake.

$$\text{Efisiensi } Regenerative\ Brake = \frac{Energi\ Pengereman\ dari\ Roda + Energi\ Pengereman\ dari\ Mesin}{Ek_{Translasi}} \times 100\%$$

Dimana : Energi Pengereman dari Mesin = 2.366677616 kWh
Energi Pengereman dari Roda = 2.130009854 kWh
Ek translasi *losses* = 6.631224372 kWh

Total energi regeneratif yang bisa dimanfaatkan adalah sebesar 4.49668747 kWh. Kemudian, efisiensi *regenerative brake* adalah sebagai berikut.

$$\text{Efisiensi } Regenerative\ Brake = \frac{4.49668747}{6.631224372} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi } Regenerative\ Brake = 67.81\ \%$$

Dari perhitungan, maka didapatkan efisiensi dari *regenerative brake* adalah sebesar 67.81 %.

4.9 Analisis Pemilihan Baterai

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perhitungan kapasitas baterai, pemilihan baterai dan perhitungan jumlah baterai yang dibutuhkan.

4.9.1 Perhitungan Kapasitas Baterai

Perhitungan kapasitas baterai didasarkan atas jumlah energi regeneratif terbesar yang bisa dimanfaatkan, yaitu sebesar 4.49668747 kWh. Setelah kita mengetahui besarnya energi pengereman yang dapat ditangkap oleh generator maka kita dapat menghitung nilai kapasitas baterai yang diperlukan (Q) untuk menyimpan energi pengereman dari kendaraan.

$$Q = \frac{Energi\ Tersedia}{Voltase}$$

Dimana : Energi Tersedia = 4.49668747 kWh = 4496.68747 Wh
Voltase = 250 V

$$Q = \frac{4496.68747}{250}$$

$$Q = 17.98\ \text{Ah}$$

Dari perhitungan, maka kapasitas baterai yang harus tersedia minimal dapat menyimpan energi listrik sebesar 17.98 Ah.

4.9.2 Pemilihan Baterai

Setelah nilai kapasitas (Q) total yang diperlukan pada tiap perlambatan diketahui, maka dapat ditentukan spesifikasi baterai yang akan digunakan untuk menyimpan kapasitas tersebut. Spesifikasi baterai yang akan digunakan untuk menyimpan energi hasil pengereman harus dapat memenuhi parameter yang dibutuhkan yaitu berupa kapasitas minimal sebesar 17.98 Ah. Selain harus memiliki kapasitas sesuai kebutuhan, baterai juga harus memiliki dimensi yang tidak terlalu besar dan juga massa yang seminimal mungkin. Maka dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut ditentukan baterai yang digunakan adalah baterai yang berbahan dasar *Lithium-Ion*, seperti yang biasa digunakan pada

kendaraan-kendaraan hybrid pada umumnya. Berikut adalah spesifikasi lengkap dari baterai yang akan digunakan:

Gambar 4.30 Baterai Li-Ion 64V 20Ah
Sumber : (Guangdong Didu New Energy Co., Ltd., 2020)

Tabel 4.3 Spesifikasi Baterai Li-Ion 64V 20Ah

Jenis Baterai	Li Ion Battery for Electric Vehicle
Rated Capacity	20 Ah
Nominal Capacity	64 Volt
Nett Weight	28.8 kg
Dimensi : Panjang	288 mm
Dimensi : Lebar	240 mm
Dimensi : Tinggi	173 mm

Dari spesifikasi baterai diatas, bisa ditentukan jumlah baterai yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$Jumlah\ Baterai = \frac{250\ V}{64\ V}$$

$$Jumlah\ Baterai = 3.9 \cong 4\ Baterai$$

Berdasarkan perhitungan, maka baterai yang dibutuhkan berjumlah 4 buah. Maka dari itu, massa total dari baterai yang akan digunakan adalah sebesar 115.2 kg.

4.10 Ringkasan Pembahasan

Pada sub bab ini berisikan mengenai ringkasan dari perhitungan dan pembahasan yang sudah dilakukan pada bab 4 ini, yaitu sebagai berikut.

1. Motor listrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor listrik YASA P400 R Series, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Mechanical		Electrical	
Casing Diameter	305 mm	Peak Torque @450 A	up to 370 Nm
Mounting 8x Ø8.3	294 mm PCD	Continuous Torque	up to 200 Nm
Axial length	106.7 mm	Peak Power @700V	160 kW
Dry Mass	28.2 kg	Continuous Power	up to 60 kW
Stator Cooling	Oil	Maximum Speed	8000 rpm

Gambar 4.31 Spesifikasi Motor YASA P400 R Series

Untuk mesin diesel yang digunakan sebagai pengganti dari mesin asli dari Hino Dutro 130 HD X-Power adalah mesin diesel yang diambil dari Mitsubishi Pajero Sport DI-D MT 4x4 dari Indonesia, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 4.4 Spesifikasi Mitsubishi Pajero Sport

Mitsubishi Pajero Sport 2.5 DI-D MT 4x4	
Kapasitas Mesin (cc)	2477
Torsi Maks (Nm)	400
Power Maks (kW)	131
Rpm Maks	4400
Rpm saat Torsi Maks	2000 – 2800
Rpm saat Power Maks	3200 - 4000
Top Speed (km/jam)	179
Dimensi (pxlxt) (mm)	4695 x 1815 x 1840
Massa Kosong (kg)	2045
GCWR/GVWR(kg)	2710
Penggerak, Transmisi	AWD 4x4, MT
Gearbox Ratio 1	4.31
Gearbox Ratio 2	2.33
Gearbox Ratio 3	1.44
Gearbox Ratio 4	1
Gearbox Ratio 5	0.79
Final Drive Ratio	3.92

2. Kendaraan truk Hino Dutro 130 HD X-Power menggunakan sistem hybrid seri, dengan rasio dan tingkat transmisi dari milik Mitsubishi Pajero Sport dengan 3 tingkat saja, sebagai berikut.

Tabel 4.5 Rasio Transmisi Kendaraan

Gearbox Ratio 1	4.31
Gearbox Ratio 2	2.33
Gearbox Ratio 3	1.44

3. Karakteristik traksi pada moda berkendara *pure electric traction*, pada transmisi 1 mampu melawan gaya hambat dengan sudut mencapai 15 derajat, dengan kecepatan maksimal adalah 42 km/jam dan gaya traksi maksimum sebesar 25639.02376 N. Kemudian untuk transmisi 2, mampu melawan gaya hambat pada sudut 5 derajat dengan kecepatan maksimum adalah 50 km/jam dan gaya traksi maksimum sebesar 13860.53953 N. Kemudian untuk transmisi 3, hanya mampu melawan gaya hambat pada jalan datar dengan kecepatan maksimum 50 km/jam dan gaya traksi maksimum sebesar 8566.170353 N.
4. Karakteristik traksi pada moda berkendara *pure engine traction*, pada transmisi 1 mampu melawan gaya hambat dengan sudut mencapai 15 derajat, dengan kecepatan maksimal adalah 42 km/jam dan gaya traksi maksimum sebesar 27717.86353 N. Kemudian untuk transmisi 2, mampu melawan gaya hambat pada sudut 5 derajat dengan kecepatan maksimum adalah 77 km/jam dan gaya traksi maksimum sebesar 14984.36706 N. Kemudian untuk transmisi 3, hanya mampu melawan gaya hambat pada jalan datar dengan kecepatan maksimum 110 km/jam dan gaya traksi maksimum sebesar 9260.724706 N.
5. Karakteristik traksi pada moda berkendara *hybrid traction*, pada transmisi 1 mampu melawan gaya hambat dengan sudut mencapai 35 derajat, dengan kecepatan maksimal adalah 42 km/jam dan gaya traksi maksimum sebesar 53356.88729 N. Kemudian untuk transmisi 2, mampu melawan gaya hambat pada sudut 5 derajat dengan kecepatan maksimum adalah 77 km/jam dan gaya traksi

maksimum sebesar 28844.90659 N. Kemudian untuk transmisi 3, hanya mampu melawan gaya hambat pada jalan datar dengan kecepatan maksimum 120 km/jam dan gaya traksi maksimum sebesar 17826.89506 N.

6. Karakteristik power moda berkendara *pure electric traction*, pada transmisi 1, mampu memenuhi power yang dibutuhkan untuk menanjak pada sudut 15, 10 dan 5 derajat, dengan power maksimum yang dihasilkan adalah sebesar sekitar 60 kW. Pada transmisi 2 mampu memenuhi power yang dibutuhkan untuk menanjak dengan sudut tanjakan 5 derajat, dengan power maksimum yang dihasilkan adalah sebesar sekitar 60 kW. Pada transmisi 3 hanya mampu memenuhi power yang dibutuhkan untuk berjalan pada jalan datar saja, dengan power maksimum 56 kW.
7. Karakteristik power moda berkendara *pure engine traction*, pada transmisi 1, mampu memenuhi power yang dibutuhkan untuk menanjak pada sudut 15, 10 dan 5 derajat, dengan power maksimum yang dihasilkan adalah sebesar sekitar 195 kW. Pada transmisi 2 mampu memenuhi power yang dibutuhkan untuk menanjak dengan sudut tanjakan 5 derajat, dengan power maksimum yang dihasilkan adalah sebesar sekitar 195 kW. Pada transmisi 3 hanya mampu memenuhi power yang dibutuhkan untuk berjalan pada jalan datar saja, dengan power maksimum 192 kW.
8. Karakteristik power moda berkendara *hybrid traction*, pada transmisi 1, mampu memenuhi power yang dibutuhkan untuk menanjak pada sudut 35, 30, 25, 20, 15, 10 dan 5 derajat, dengan power maksimum yang dihasilkan adalah sebesar sekitar 255 kW. Pada transmisi 2 mampu memenuhi power yang dibutuhkan untuk menanjak dengan sudut tanjakan 15, 10 dan 5 derajat, dengan power maksimum yang dihasilkan adalah sebesar sekitar 255 kW. Pada transmisi 3 hanya mampu memenuhi power yang

dibutuhkan untuk menanjak pada sudut tanjakan 10 dan 5 derajat, dengan power maksimum 255 kW.

9. Moda berkendara paling baik adalah *pure electric traction*, karena tidak menggunakan konsumsi bahan bakar, walaupun hanya bisa menanjak hingga sudut tanjakan 15 derajat saja, namun untuk kecepatan yang dihasilkan cukup tinggi, sehingga untuk di jalan perkebunan tidak membutuhkan kecepatan yang terlalu tinggi. Moda berkendara *pure engine traction* tidak terlalu cocok digunakan karena tidak memiliki efisiensi yang baik seperti moda *pure electric traction*, karena mesin bekerja tidak pada titik optimumnya. Moda berkendara *hybrid traction* merupakan gabungan dari tenaga yang diberikan mesin dan baterai, dan hanya digunakan ketika kendaraan membutuhkan tenaga lebih untuk menanjak dan berakselerasi, dan cukup efisien karena mesin bekerja pada kondisi optimumnya.
10. Untuk moda *regenerative braking*, energi pengereman yang terbuang adalah sebesar 2.152849561 kWh dan energi pengereman regeneratif sebesar 0.864024647 kWh. Efisiensi dari *regenerative brake* pada penelitian ini adalah sebesar **40.13%**. RHP total dari moda berkendara ini adalah sebesar 7278.836274 kW dan RHP regeneratif total sebesar 3989.033457 kW, sehingga kontribusi rem regeneratif dari moda berkendara *regenerative braking* ini adalah sebesar **54.803%**.
11. Untuk moda *hybrid* charging, energi pengereman yang terbuang adalah sebesar 6.631224372 kWh, kemudian energi pengereman regeneratif dari roda sebesar 2.130009854 kWh dan energi perlambatan dari mesin yang juga bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi tambahan kendaraan adalah sebesar 2.366677616 kWh. Maka, total energi yang bisa dimanfaatkan adalah sebesar 4.49668747 kWh. Efisiensi dari *regenerative brake* pada penelitian ini adalah sebesar **67.81%**. RHP total dari moda berkendara

ini adalah sebesar 23141.56912 kW dan RHP regeneratif total sebesar 9833.840509 kW, sehingga kontribusi rem regeneratif dari moda berkendara *hybrid charging* ini adalah sebesar **42.49%**.

12. Kapasitas baterai yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan energi terbesar yang bisa dimanfaatkan dari hasil *regenerative brake* dan dibagi dengan voltase dari motor listrik, yaitu minimal sebesar **17.98 Ah**. Dan baterai yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Baterai Li-Ion 64V 20Ah berjumlah 4 buah, dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 4.6 Spesifikasi Baterai Li-Ion 64V 20Ah

Jenis Baterai	Li Ion Battery for Electric Vehicle
Rated Capacity	20 Ah
Nominal Capacity	64 Volt
Nett Weight	28.8 kg
Dimensi : Panjang	288 mm
Dimensi : Lebar	240 mm
Dimensi : Tinggi	173 mm

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

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 untuk perancangan Tugas Akhir kali ini agar kedepannya bisa dilanjutkan dan disempurnakan.

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan dan pembahasan pada bab 4 maka bisa didapatkan kesimpulan tugas akhir sebagai berikut.

1. Rasio dan tingkat transmisi yang digunakan adalah **3 tingkat** dengan rasio pertama **4.31**, rasio kedua **2.33** dan rasio ketiga **1.44**.
2. Sistem tenaga yang digunakan dalam penelitian ini adalah **motor listrik YASA P400 R Series** sebagai penggerak utama dan **mesin diesel Mitsubishi Pajero Sport 2.5 DI-D MT** dan **baterai Li-Ion 64V 20Ah** sebagai sumber tenaga dari kendaraan.
3. Untuk moda *regenerative braking,* efisiensi rem regeneratif mencapai **40.13%** dan kontribusi rem regeneratif sebesar **54.803%**. Untuk moda *hybrid charging*, efisiensi rem regeneratif mencapai **67.81%** dan kontribusi rem regeneratif sebesar **42.49%**.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan analisis lebih lanjut mengenai material yang akan digunakan dalam komposisi rasio transmisi supaya bisa sesuai dengan yang diharapkan

2. Diperlukan analisis mengenai sistem kontrol yang akan mengatur sistem kerja dari moda hybrid
3. Diperlukan analisis lebih lanjut mengenai peletakan mesin diesel yang baru, motor listrik dan baterai yang akan digunakan dalam penelitian kali ini.

DAFTAR PUSTAKA

Akhdanazizan. (2020, Februari 15). *https://akhdanazizan.com*. Retrieved from https://akhdanazizan.com/pengertian-power-inverter/

Artikel Teknologi. (2020, Februari 18). *https://artikel-teknologi.com*. Retrieved from https://artikel-teknologi.com/prinsip-kerja-pengereman-regeneratif/2/

Automobile, C. (2020, Mei 2). *www.automobile-catalog.com*. Retrieved from https://www.automobile-catalog.com/car/2013/2014010/mitsubishi_pajero_sport_2_5_di-d.html

Baradwadya, C. R. (2016). Tugas Akhir. *Analisa Pengaplikasian Sistem 'KERS' pada Bus Transjakarta dengan Sistem Penyimpanan pada Baterai*.

ECOpoint, I. (2020, April 24). *www.dieselnet.com*. Retrieved from https://dieselnet.com/standards/cycles/whvc.php

Ehsani, M., & Gao, Y. (2010). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicle Fundamentals, Theory and Design*. New York: CRC Press.

Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia. (2020, Februari 20). *https://gapki.id/news/3272/*. Retrieved from https://gapki.id/news/3272/industri-sawit-makin-lebih-berkilau-setelah-2020

Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia. (2020, Februari 21). *https://gapki.id/news/3971/*. Retrieved from https://gapki.id/news/3971/perkembangan-mutakhir-industri-minyak-sawit-indonesia

Gillespie, T. D. (n.d.). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers Inc.

Guangdong Didu New Energy Co., Ltd. (2020, Juni 15). *www.alibaba.com*. Retrieved from https://www.alibaba.com/product-detail/60-volt-lithium-battery-64V-20Ah_62082127271.html

Hadi, L. (2019). Tugas Akhir. *Pemetaan Moda Operasi, Aliran Daya dan Analisis Karakteristik Traksi Kendaraan Hybrid Seri-Paralel pada Driving Cycle Tertentu (Studi Kasus Toyota Prius Hybrid)*.

Hasoloan, N. (2019). Tugas Akhir. *Analisis Pengelolaan Energi dan Konsumsi Bahan Bakar pada Kendaraan Hibrid*.

HINO300 Dutro. (2020, Februari 12). *www.hino.co.id*. Retrieved from https://www.hino.co.id/product-detail/1/130-hd-x-power-new

Husain, I. (2005). *Electric and Hybrid Vehicles : Design Fundamentals.* Ohio: Taylor and Francis e-Library.

Mashadi, B., & Crolla, D. (2012). *Vehicle Power Train (1 Edition)*. West Sussex: John Willey and Sons Ltd.

Mehrdad Ehsani, Y. G. (2010). *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicle Fundamentals, Theory and Design*. New York: CRC Press.

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.

Perdana, P. B. (2018). *Analisa Penggunaan Regenerative Brake pada Mobil Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik.* Surabaya: Tugas Akhir.

Prasetyo, D. B. (2017). Tugas Akhir. *Desain dan Analisa Sistem Tenaga dan Transmisi pada Mobil Angkutan Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik*.

Sutantra, I. N. (2015). *Teknologi Otomotif Hybrid.* Surabaya: Widya Guna.

Taymaz, I., & Benli, M. (2014). Emissions and Fuel Economy for a Hybrid Vehicle. In *Fuel*, *115* (pp. 812–817). https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.04.045.

Team, E. (2015). Retrieved Januari 10, 2020, from http://blog.parker.com/series-hybrid-vehicle-electrical-systems-v2

Toyota. (2020, Mei 27). *www.toyota.astra.co.id*. Retrieved from https://www.toyota.astra.co.id/product/camry-hybrid/

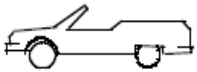
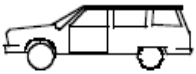
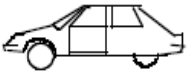
Toyota Motor Asia Pacific Pte Ltd. (2016). Retrieved November 17, 2019, from https://www.toyota-myanmar.com/innovation/environment-technology/hybrid-vehicle/technology-file

YASA Limited. (2020, Maret 17). *www.yasa.com*. Retrieved from https://www.yasa.com/yasa-p400/

Zhang, L. (2012). *New Generations of Electric Vehicles.* China: Hanbin Institute of Technology Shenzhen.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

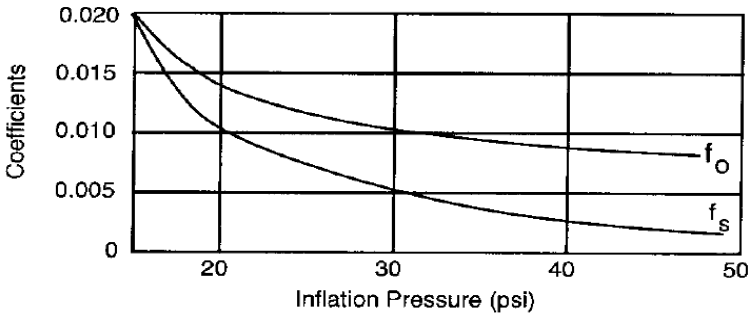
LAMPIRAN A
Gaya Hambat Kendaraan

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

Gambar A.1 Koefisien Drag Kendaraan

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

Gambar A.2 Koefisien Rolling Resistance Kendaraan



Gambar A.3 Pengaruh Tekanan Ban terhadap Jalan

Drivetrain type	*Manual transmission*	*Driveshaft*	*Differensial drive*	*Drive axie*	*Overall efficiency*
Front wheel drive	0,96	Not required	0,097	0,098	0,91
Rear wheel drive	0,96	0,99	0,097	0,098	0,90

Gambar A.4 Efisiensi Drivetrain Kendaraan

LAMPIRAN B
Perhitungan

Perhitungan dari penelitian ini dapat dilihat melalui web berikut :

https://itsacid-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/132232027_staff_integra_its_ac_id/Eo-cFOg0qlJHtB_DSr6WFB4BcruWkRImtGcimioECjVIjw?e=1prtFB

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS

Valentino Joseph Budiono dilahirkan di Surabaya, 8 September 1998 anak pertama yang terlahir dari orang tua bernama Paulus Budiono dan Agatha Anastasia. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDK Kristus Raja Surabaya, SMPK St. Agnes Surabaya, dan SMAN 2 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN 2 Surabaya pada tahun 2016 penulis melanjutkan ke jenjang perkuliahan S1 di Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS pada tahun 2016-2020.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non-akademik selama perkuliahan. Dalam kegiatan non akademik pada tahun pertama, penulis aktif menjadi panitia dari berbagai kegiatan di UKM ITS Badminton Community dan Keluarga Mahasiswa Katolik. Penulis sempat meraih juara 2 pada kompetisi IBC Internal Cup Ganda Putra 2016. Pada tahun kedua dan ketiga, penulis menjadi pengurus inti dari KMK dan juga aktif menjadi pemain inti tim bulutangkis departemen Teknik Mesin. Pada tahun terakhir, penulis mulai fokus pada penelitian tentang truk *hybrid* dan *regenerative braking* yang dibimbing oleh Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.

Penulis mempunyai motto hidup "*Hidup haruslah menjadi berkat untuk orang lain"* yang membuat penulis berusaha untuk selalu optimis dalam memperoleh keinginan serta dapat menjadi berkat untuk orang terdekat. Semua pesan atau informasi yang hendak disampaikan kepada penulis melalui email valent.joseph.98@gmail.com.