TUGAS AKHIR-TM184835

STUDI ANALISIS POTENSI ENERGI SISTEM REGENERATIVE BRAKE DAN KERJA MOTOR LISTRIK PADA TOYOTA CALYA

Randy Martua Nainggolan
02111640000165

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
2022

TUGAS AKHIR-TM184835

STUDI ANALISIS POTENSI ENERGI SISTEM REGENERATIVE BRAKE DAN KERJA MOTOR LISTRIK PADA TOYOTA CALYA

Randy Martua Nainggolan

02111640000165

Dosen Pembimbing

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

195106051978031002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2022

FINAL PROJECT – TM184835

ANALYSIS POTENTIAL ENERGY OF REGENERATIVE BRAKE SYSTEM AND ELECTRIC MOTOR CHARACTERISTIC ON TOYOTA CALYA

Randy Martua Nainggolan
02111640000165

Advisory Lecture
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.
195106051978031002

DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI ANALISIS POTENSI ENERGI SISTEM REGENERATIVE BRAKE DAN KERJA MOTOR LISTRIK PADA TOYOTA CALYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Desain
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Randy Martua Nainggolan
NRP. 02111640000165

Disetujui oleh Pembimbing 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. **Dr. Bambang Sudarmanta, ST.MT**
   NIP. 197301161997021001 **(Penguji)**

SURABAYA
JULI 2022

APPROVAL SHEET

ANALYSIS POTENTIAL ENERGY OF REGENERATIVE BRAKE SYSTEM AND ELECTRIC MOTOR CHARACTERISTIC ON TOYOTA CALYA

FINAL PROJECT
Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree in Mechanical Engineering at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Departement of Mechanical Engineering
Faculty of Industri Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

by: **Randy Martua Nainggolan**
NRP. 02111640000165

Approved by Final Project Examiner Team:

1. **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.**
   NIP. 195106051978031002 **(Advisor)**

2. **Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA.**
   NIP. 196508101991021001 **(Examiner)**

3. **Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT.**
   NIP. 196807061999031004 **(Examiner)**

4. **Dr. Bambang Sudarmanta, ST.MT**
   NIP. 197301161997021001 **(Examiner)**

SURABAYA
JULI 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

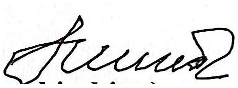
Nama mahasiswa / NRP	:	Randy Martua Nainggolan / 02111640000165
Program studi	:	Teknik Mesin
Dosen Pembimbing / NIP	:	Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D. / 195106051978031002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Studi Analisis Potensi Energi Sistem Regenerative Brake dan Kerja Motor Listrik Pada Toyota Calya" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 12 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195106051978031002

Mahasiswa

Randy Martua Nainggolan
NRP. 02111640000165

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP	: Randy Martua Nainggolan / 02111640000165
Department	: Mechanical Engineering
Advisor / NIP	: Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D. / 195106051978031002

Hereby declare that the Final Project with the title of "Analysis Potential Energy of Regenerative Brake System and Electric Motor Characteristic On Toyota Calya " is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 12 July 2022

Acknowledged Advisor	Student,
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.	Randy Martua Nainggolan
NIP. 195106051978031002	NRP. 02111640000165

STUDI ANALISIS POTENSI ENERGI SISTEM REGENERATIVE BRAKE DAN KERJA MOTOR LISTRIK PADA TOYOTA CALYA

Nama Mahasiswa : Randy Martua Nainggolan
NRP : 02111640000165
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Kebutuhan minyak bumi semakin meningkat, sedangkan persediaan minyak bumi semakin lama semakin menipis. Pada tahun 2016, konsumsi minyak bumi di Indonesia mencapai angka 1.6 juta barrel per hari dan akan semakin meningkat setiap tahunnya. Populasi yang semakin banyak meningkatkan kebutuhan akan kendaraan sehingga hampir semua orang mempunyai kendaraan. Bukan hanya itu, polusi akibat dampak konsumsi minyak bumi yang tinggi sangat merusak lingkungan dan berbahaya bagi tubuh manusia. Beralih ke mobil listrik merupakan salah satu solusi yang baik, mengingat mobil listrik tidak menggunakan minyak bumi dan aman dari polusi. Selain itu penggunaan mobil listrik dinilai lebih efisien dan lebih canggih dibandingkan mobil konvensional yang masih menggunakan bahan bakar fosil. Dalam penggunaannya dalam kota, mobil akan sangat sering melakukan pengereman. Akibatnya energi yang telah diberikan pada sistem penggerak akan terbuang sia sia dan mobil menjadi kurang efisien. Proses *regenerative brake* merupakan sistem yang dapat menyalurkan kembali energi yang terbuang hasil pengereman untuk disimpan kedalam baterai. Sehingga mobil menjadi lebih efisien dalam penggunaan energi nya.

Pada penelitian kali ini mobil toyota calya yang telah dikonversi menjadi mobil listrik akan dianalisis proses unduh energinya. Besarnya nilai, efisiensi dan kontribusi *regenerative* toyota calya akan dihitung dan dianalisa. Selain itu dianlisis berapa besarnya rentang rasio transmisi dan efisiensi dari daerah kerja motor listrik. Menggunakan data dari driving cycle nya, besasrnya total gaya hambat akan dihitung. Gaya hambat yang dihitung antara lain gaya hambat rolling, gaya hambat drag dan gaya hambat inersia. Kemudian menghitung besarnya *RHP* kendaraan dan *RHP regenerative*. Setelah itu menghitung besarnya nilai *regenerative* pengereman, efisiensi dan kontribusinya. Kemudian dihitung berapa besarnya rentang rasio kendaraan dan efisiensi dari daerah kerja motor listriknya.

Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan besarnya energi *regenerative* dari kendaraan pada kondisi perkotaan sebesar 0.35 kWh dan energi *regenerative* pada kondisi jalan tol sebesar 0.273. Besarnya kontribusi regenerative brake yang didapat pada driving cycle kondisi perkotaan adalah sebesar 60% dan kontribusi regenerative brake pada kondisi jalan tol adalah sebesar 42.8 %. Efisiensi regenerative brake pada kondisi perkotaan adalah sebesar 51.8 % dan efisiensi regenerative brake pada kondisi jalan tol adalah sebesar 23.6 %. Rentang ratio transmisi kendaraan pada driving cycle kondisi perkotaan adalah sebesar 0.8 – 4.39 dengan efisiensi daerah kerja motor listrik sebesar 78 – 93% dan pada kondisi jalan tol sebesar 0.75 – 3.98 dengan efisiensi efisiensi daerah kerja motor listrik sebesar 89 – 92%.

Kata kunci: Toyota Calya, regenerative brake, daerah kerja motor, efisiensi motor

ANALYSIS POTENTIAL ENERGY OF REGENERATIVE BRAKE SYSTEM AND ELECTRIC MOTOR CHARACTERISTIC ON TOYOTA CALYA

Student Name : **Randy Martua Nainggolan**
Student Id : **02111640000165**
Departement : **Mechanical Engineering**
Advisory Lecturer : **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D**

ABSTRCT

The need for petroleum increases with the increasing use of oil-fueled vehicles, while the supply of petroleum is getting depleted. In 2016, oil consumption in Indonesia reached 1.6 million barrels per day and will increase every year. The increasing population increases the need for vehicles so that almost everyone owns a vehicle. Not only that, pollution due to the impact of high oil consumption is very damaging to the environment and harmful to the human body. Switching to an electric car is a good solution, considering that electric cars do not use petroleum and are safe from pollution. In addition, the use of electric cars is considered more efficient and more sophisticated than conventional cars that still use fossil fuels. In its use in the city, the car will brake very often. As a result, the energy that has been given to the drive system will be wasted and the car becomes less efficient. The regenerative brake process is a system that can redistribute the wasted energy from braking to be stored in the battery. So that the car becomes more efficient in its energy use.

In this study, the Toyota Calya vehivle which has been converted into an electric car will be analyzed for its energy download process. The value, efficiency and regenerative contribution of the Toyota Calya will be calculated and analyzed. In addition, it is analyzed how large the range of the transmission ratio and the efficiency of the electric motor work area. Using the data from the driving cycle, the total drag will be calculated. The calculated drag includes rolling drag, drag drag and inertial drag. Then calculate the amount of vehicle RHP and regenerative RHP. After that calculate the value of regenerative braking, efficiency and contribution. Then it is calculated how large the range of vehicle ratios and the efficiency of the electric motor work area is.

The result of this research is that the amount of regenerative energy from vehicles in urban conditions is 0.35 kWh and regenerative energy in toll road conditions is 0.273. The contribution of regenerative brakes obtained in the driving cycle in urban conditions is 60% and the contribution of regenerative brakes in toll road conditions is 42.8%. The efficiency of the regenerative brake in urban conditions is 51.8% and the efficiency of the regenerative brake on toll road conditions is 23.6%. The vehicle transmission ratio range on the driving cycle in urban conditions is 0.8 - 4.39 with an electric motor working area efficiency of 78 - 93% and on a toll road condition of 0.75 - 3.98 with an electric motor working area efficiency of 89 - 92%

Kata kunci: Toyota Calya, regenerative brake, motor work area, motor efficiency.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya tugas akhir ini dapat diselesaikan. 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 membantu dalam penyusunan tugas akhir ini. Segala masukan dan bimbingan yang telah Bapak berikan selama ini sangatlah berharga bagi penulis.
2. Bapak Dr. Ir.Agus Sigit Pramono DEA., Bapak Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT., Bapak Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc., dan Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, 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, Yoas Marcelino dan Priskila Anggriani yang telah memberikan banyak dukungan, fasilitas serta penghiburan kepada penulis.
4. Seluruh keluarga Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan penulis kesempatan untuk menimba ilmu.
5. 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.
6. Teman teman kontrakan yang telah memberikan motivasi sekaligus banyak menghabiskan waktu penulis dan
7. 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 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN iii
APPROVAL SHEET iv
PERNYATAAN ORISINALITAS v
ABSTRAK vii
ABSTRCT viii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Manfaat penelitian 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 3
2.1 Penelitian terdahulu 3
2.2 *Regenerative Braking* 7
2.3 Generator 8
2.4 *Engine Control Unit* (ECU) 9
2.5 *Inverter* 10
2.6 Baterai 10
2.7 *Driving Cycle* 12
2.8 Gaya yang berpengaruh pada kendaraan 13
2.9 Energi pengereman dari mesin 16
2.10 Energi kinetik translasi (*energi loses*) 17
2.11 Energi Pengereman dari roda 17
2.12 Kontribusi *Regenerative Brake* 17
2.13 Efisiensi *Regenerative Brake* 18
2.14 *Continuous Variable Transmision* (CVT) 18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 20
3.1 Data dan Spesifikasi Acuan Kendaraan 20
3.2 *Flowchart* Penelitian 21
3.3 Analisis Energi Pada Proses *Regenerative Braking* 22
3.4 Penentuan *Driving Cycle* 23

3.5 *Flowchart* Perhitungan Gaya Hambat 23
3.6 Flowchart Analisis *Ratio* Optimum dan Daerah Kerja Motor Listrik 25
3.7 Perhitungan Gaya Hambat Total 26
3.8 Perhitungan *Road Horse Power* (RHP) 26
3.9 Perhitungan dan Analisis *Energi Losses* berdasarkan *Driving Cycle* 26
3.10 Perhitungan dan Analisis Energi *Regenerative* 27
3.11 Perhitungan Efisiensi *Regenerative* 27
BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN 27
4.1 Analisis Gaya hambat kendaraan 29
4.1.1 Analisis Gaya Hambat Aerodinamis 30
4.1.2 Perhitungan dan Analisis Gaya Hambat *Rolling* 31
4.1.3 Perhitungan dan Analisis Gaya Hambat Inersia 33
4.1.4 Perhitungan dan Analisis Gaya Hambat Total 35
4.2 Perhitungan dan Analisis *Regenerative Brake* Pada *Driving Cycle* 36
4.2.1 *Driving Cycle* 36
4.2.2 *Regenerative Braking* 37
4.3 Menentukan Ratio Optimum Kendaraan Tiap Detik *Driving Cycle* 43
4.4 Menentukan Daerah Kerja Motor Listrik 45
BAB V 47
KESIMPULAN DAN SARAN 47
5.1 Kesimpulan 47
5.2 Saran 47
DAFTAR PUSTAKA 48
LAMPIRAN A 49
BIODATA PENULIS 52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram Konsumsi Minyak di Indonesia 1
Gambar 2. 1 Grafik Energi Regenerative Pengereman 3
Gambar 2. 2 Tabel prosi pengereman aktual dan regenerative 4
Gambar 2. 3 Diagram blok pengereman proses simulasi 4
Gambar 2. 4 Aliran Energi Proses Regenerative (kiri) dan Simulasi Software Regenerative Braking 5
Gambar 2. 5 Grafik Daya Bangkitan Terhadap Kecepatan Kendaraan 5
Gambar 2. 6 Struktur Sistem Regenerative 6
Gambar 2. 7 Distribusi Antara Regenerative Brake dan Hydraulic Brake 6
Gambar 2. 8 Pengaruh Temperatur Terhadap Jarak Tempuh Mobil listrik 7
Gambar 2. 9 Aliran Energi Pada Saat Proses Regenerative Braking 8
Gambar 2. 10 Konstruksi Generator DC 9
Gambar 2. 11 Engine Control Unit tipe MS 6.1 10
Gambar 2. 12 Inverter Mobil Energizer 1100 Watts 10
Gambar 2. 13 Driving Cycle WHVC 13
Gambar 2. 14 Gaya yang bekerja pada kendaraan 14
Gambar 2. 15 Koefisien rolling resistence (fo dan fs) akibat pengaruh tekanan ban 16
Gambar 2. 16 Kondisi Underdrive dan Overdrive pada CVT 18
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian 22
Gambar 3. 2 Aliran energi Proses Regenerative 22
Gambar 3. 3 Flowchart Perhitungan Nilai Gaya Hambat 24
Gambar 3. 4 FlowChart Analisis Ratio Optimum dan Daerah Kerja Motor Listrik 25
Gambar 4. 1 Grafik driving cycle kondisi perkotaan 29
Gambar 4. 2 Grafik Driving Cycle Kondisi Jalan Tol 30
Gambar 4. 3 Grafik Gaya Hambat Aerodinamis Kondisi Perkotaan 31
Gambar 4. 4 Grafik Gaya Hambat Aerodinamis Kondisi Jalan Tol 31
Gambar 4. 5 Grafik Gaya Hambat Rolling Kondisi Perkotaan 32
Gambar 4. 6 Grafik Gaya Hambat Rolling Kondisi Jalan Tol .... Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 7 Grafik Gaya Hambat Inersia Kondisi Perkotaan 34
Gambar 4. 8 Grafik Gaya Hambat Inersia Kondisi Jalan Tol 34
Gambar 4. 9 Grafik Gaya Hambat Total Kondisi Perkotaan 35
Gambar 4. 10 Grafik Gaya Hambat Total Kondisi Jalan Tol 36
Gambar 4. 11 Grafik Energi Loses Kondisi Perkotaan 38
Gambar 4. 12 Grafik Energi Loses Kondisi Jalan Tol 38
Gambar 4. 13 Grafik RHP Kendaraan Kondisi Perkotaan 39
Gambar 4. 14 Grafik RHP Kendaraan Kondisi Jalan Tol 40
Gambar 4. 15 Grafik Energi Regeneratvive Kondisi Perkotaan 41
Gambar 4. 16 Grafik Energi Regenerative Kondisi Jalan Tol 42
Gambar 4. 17 Grafik Ratio Optimum Kendaraan Kondisi Perkotaan 44
Gambar 4. 18 Grafik Ratio Optimum Kendaraan pada Kondisi Jalan tol 44
Gambar 4. 19 Grafik Daerah Kerja Motor Listrik Kondisi Perkotaan 45
Gambar 4. 20 Grafik Daerah Kerja Motor Listrik Kondisi Jalan Tol 46

DAFTAR TABEL

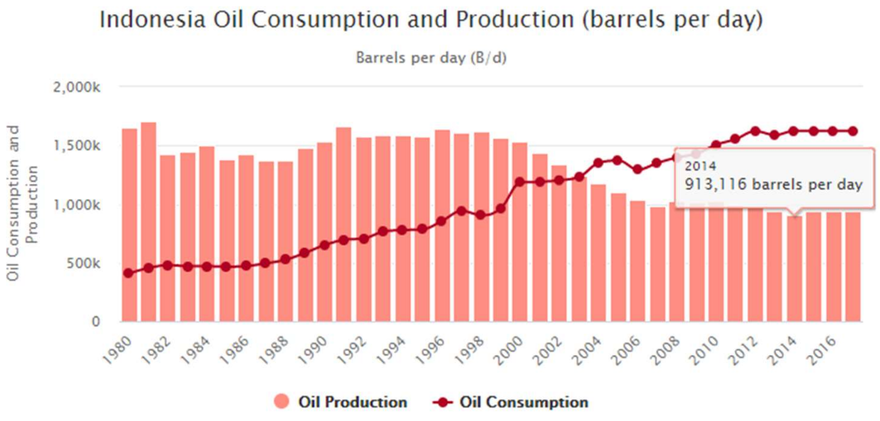
Tabel 3. 1 Spesifikasi Calya Listrik 20

BAB I
PENDAHULUAN

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

1.1 Latar belakang

Perkembangan otomotif dunia pada abad 20 berkembang sangat pesat. Kendaraan berbahan bakar fosil merupakan kendaraan yang paling umum beroperasi di jalan. Kendaraan jenis ini telah banyak digunakan untuk kepentingan umum. Tidak heran banyaknya kendaraan tiap tahun meningkat sangat tinggi dikarenakan kebutuhan dan populasi manusia yang semakin tinggi pula. Pada gambar 1.1 dibawah dapat dilihat konsumsi bahan bakar fosil di indonesia pada tahun 2014 berjumlah 1.3 juta barel per hari dan pada tahun 2016 meningkat menjadi 1.6 juta barel per hari (BP statistical, 2016). Disamping itu efek polusi yang ditimbulkan oleh kendaraan berbahan bakar fosil ini sangat berbahaya. Polusi yang disebabkan kendaraan merdampak negatif bagi makhluk hidup sekitar dan juga berbahaya bagi lingkungan. Pemanasan global merupakan permasalahan yang paling umum dan setiap tahun semakin berbahaya dikarenakan polusi yang disebabkan manusia tidak kunjung berhenti.



Gambar 1. 1 Diagram Konsumsi Minyak di Indonesia

Salah satu solusi mengurangi efek polusi yang disebabkan kendaraan berbahan bakar fosil ini yaitu beralih kepada kendaraan dengan pendorong listrik. Selain tidak menyebabkan efek beracun, kendaraan listrik merupakan kendaraan masa depan yang lebih canggih dan memiliki efisiensi penggunaan energi yang lebih baik dibandingkan kendaraan fosil. Energi yang didapat dan digunakan oleh kendaraan berbahan bakar fosil ketersediannya semakin hari semakin menipis. Kendaraan diharapkan dapat menghemat penggunaan energi dalam proses berjalan nya dikarenakan energi merupakan sumber terbatas. Mobil listrik di desain agar memiliki efisiensi energi yang tinggi dan tenaga yang sebanding bahkan jauh lebih tinggi dari mobil berbahan bakar fosil atau mobil pembakaran dalam. Salah satu desain mobil listrik yang tidak dimiliki oleh mobil dengan pembakaran dalam adalah sistem unduh energi atau *regenerative brake*. Sistem unduh energi ini merupakan sistem yang dapat menghemat penggunaan energi pada suatu kendaraan

dikarenakan adanya pengereman pada kendaraan. Energi yang terbuang pada proses tersebut dapat dimanfaatkan dan digunakan kembali untuk menjalankan mobil. Energi tersebut disimpan didalam baterai dan sewaktu waktu dapat digunakan kembali.

Pada penelitian kali ini, mobil toyota calya yang sebelumnya telah di konversi dari kendaraan berbahan bakar dalam menjadi kendaraan listrik akan dipasang sistem *regenerative brake*. Proses desain dan perhitungan menjadi perhatian dalam penelitian ini. Dengan pemanfaatan sistem unduh energi pada mobil ini diharpkan dapat meminimalisir penggunaan energi nya sehingga mobil menjadi kendaraan yang lebih efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam tugas ini, dirumuskan beberapa permasalahan yaitu sebagai berikut:

1. Berapa besar nilai energi regeneraif dari pengereman mobil Toyota calya
2. Berapa efisiensi regenerative yang didapat dari hasil pengereman mobil Toyota calya
3. Berapa kontribusi regenerative braking dari hasil pengereman mobil toyoya calya
4. Berapa rentang *ratio* kendaraan dan efisiensi kerja motor listrik

1.3 Batasan masalah

1. Kendaraan yang digunakan merupakan Toyoya Calya konvensional yang telah dimodifikasi menjadi mobil listrik
2. Tidak membahas sistem kontrol lebih lanjut
3. Kendaraan dianalisis pada jalan datar dan daerah perkotaan dan tol
4. Tidak membahas konstruksi pada cvt

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan besar nilai energi *regeneratif* dari pengereman mobil Toyota calya
2. Mendapatkan efisiensi *regenerative* yang didapat dari hasil pengereman mobil Toyota calya
3. Mendapatkan nilai kontribusi *regenerative* braking dari hasil pengereman mobil toyoya calya
4. Mendapatkan rentang *ratio* optimum kendaraan dan efisiensi daerah kerja motor listik

1.5 Manfaat penelitian

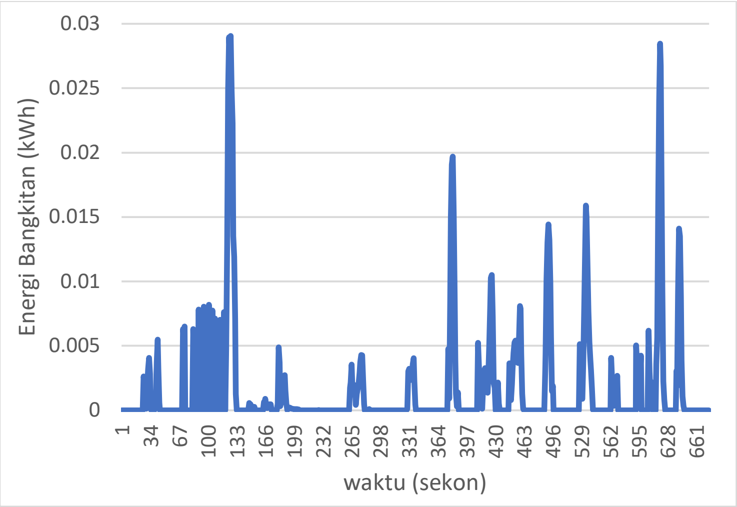
1 Memberikan refrensi penelitian lebih lanjut mengenai sistem regenerative brake pada Toyota Calya BEV

2 Membantu pengembangan sistem regenerative mobil perkotaan yang memanfaatkan motor listrik sebagai penggerak utama

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian terdahulu

Penelitian terdahulu yang relevan dalam mengerjakan Tugas akhir ini adalah tugas akhir mengenai analisa penggunaan regenerative pada mobil listrik adalah tugas akhir yang dilakukan oleh Valentino Joseph Budiono dengan judul "Analisis Rasio dan Tingkat Transmisi, Sistem Tenaga dan *Regenerative Baking* Pada Truk Hybrid Untuk Mengangkut Hasil Perkebunan Kelapa Sawit". Pada penelitian ini, penulis merancang rasio dan tingkat transmisi dari kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power pada kondisi moda hybrid, karakteristik sistem tenaga dari moda berkendara kendaraan Hino Dutro 130 HD X Power dan efisiensi serta kontribusi *regenerative* dari pengereman kendaraan.



Gambar 2. 1 Grafik Energi *Regenerative* Pengereman
Sumber (Valentino, 2020)

Pada gambar 2.1 dapat dilihat grafik energi pengereman *regenerative*, peneliti mendapatkan energi bangkitan yang dihasilkan kendaraan pada detik tertentu mengikuti driving cycle nya. Pada grafik dapat dilihat energi *regenerative* terbesar yaitu sebesar 0.029049 kWh berada pada detik ke-128. Peneliti juga melakukan analisa ratio dan tingkatan transmisi serta pemilihan motor listrik dan pemilihan mesin diesel.Selain itu juga dilakukan analisa karakteristik traksi dari berbagai mode berkendara, yaitu mode *Pure electric*, *pure engine*, dan *hybrid traction*.

Kemudian terdapat penelitian berikutnya berjudul "Analisa Gaya, Porsi, Kontribusi dan Efisiensi Sistem Rem Regeneratif pada Ezzy ITS II" oleh Ariesto Christoper pada tahun 2020. Penelitian ini membahas tentang mendapatkan porsi pengereman mekanis dan besarnya kontribusi serta efisiensi rem *regenerative*. Didapatkan hasil penelitian yaitu rem regenerative kendaraan bekerja penuh pada rentang j/g 0 – 0.8 untuk gear pertama. Besarnya efisiensi rem *regenerative* untuk driving cyle prius sebesar 38.82 % dan driving cycle WLTP sebesar 30.36%. Efisiensi sistem rem regeneratif yang didapatkan 67,94% untuk Driving cycle Prius dan 58,94% untuk *driving cycle* WLTP. Adapun besarnya prosi pengereman aktual dan regenerative aktual dapat dilihat pada tabel dibawah. Dapat dilihat besarnya porsi pengereman pada j/g 0 – 0.8 terhadap besarnya nilai pengereman pada roda depan dan roda belakang. Gaya maksimum pengereman aktual diperoleh pada nilai j/g 0.8 yaitu sebesar 0.3 untuk roda belakang dan 0.5 untuk roda depan.

Pada pengereman regenerative, gaya maksimum pengereman juga berada pada j/g 0.8 yaitu sebesar 0.5 pada roda depan.

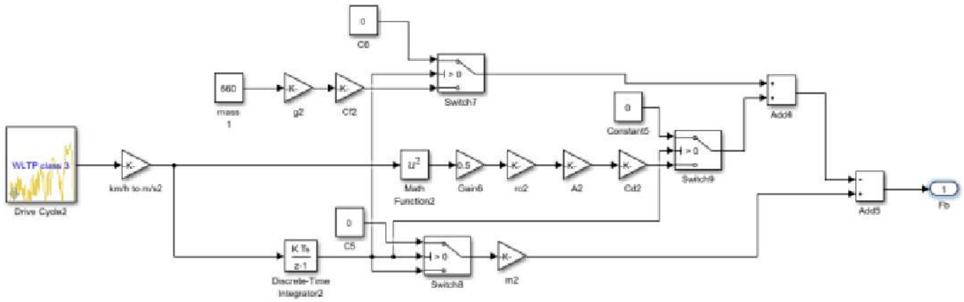
Porsi Pengereman Aktual dan Regeneratif Aktual

Pengereman aktual			Pengereman regeneratif aktual			
j/g	F_{br}/W	F_{bf}/W	F_{bf}/W mek 1	F_{bf}/W reg 1	F_{bf}/W mek 2	F_{bf}/W reg 2
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,04	0,06	0	0,06	0	0,04
0,2	0,07	0,13	0	0,13	0	0,07
0,3	0,11	0,19	0	0,19	0,02	0,09
0,4	0,15	0,25	0	0,25	0,05	0,09
0,5	0,19	0,32	0	0,32	0,09	0,09
0,6	0,22	0,38	0	0,38	0,13	0,09
0,7	0,26	0,44	0	0,44	0,17	0,09
0,8	0,30	0,50	0	0,50	0,20	0,09

Gambar 2. 2 Tabel prosi pengereman aktual dan regenerative

Sumber : (Ariesto, 2020)

Penelitian berikutnya berjudul "Analisa Penggunaan Regenerative Brake pada Mobil Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik" oleh Pradipta Bintang pada tahun 2018. Peneliti melakukan desain porsi pengereman kendaraan meliputi porsi pengereman mekanik pada roda depan dan belakang dan porsi pengereman regenerative pada roda depan. Kemudian peneliti melakukan simulasi pada simulink untuk mendapatkan besarnya energi bangkitan dari sistem *regenerative brake* dan besarnya energi pengereman yang tersedia. Dapat dilihat pada gambar merupakan blok diagram dari gaya pengereman dalam proses simulasi pada software. Hasil yang didapatkan yaitu sistem regenerative brake mampu menyerap 1,738 kWh dengan efisiensi 51,74 % pada porsi pengereman regeneratif 0,1247 serta pengereman mekanis depan 0,6758 dan belakang tidak ada pada koefisien gesek jalan 0,8

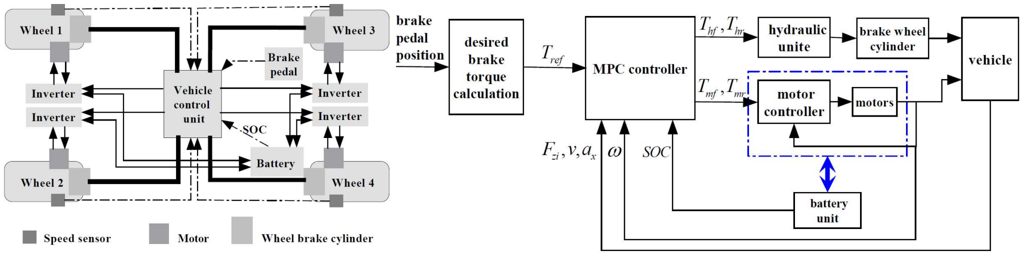


Gambar 2. 3 Diagram blok pengereman proses simulasi

Sumber : (Pradipta, 2018)

Peneltian lainnya yang digunakan yaitu berjudul "A regenerative braking control strategy for electric vehicle with four in-wheel motors" oleh Wei Xu pada tahun 2012. Pada penelitian ini dilakukan penelitian tentang bagaimana sistem kontrol yang digunakan untuk proses *regenerative braking* pada kendaraan listrik yang menggunakan *four in wheel motor*. Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa proses simulasi menggunakan software simulink/mathlab dan AMESim untuk mendapatkan kontrol penggunaan *regenerative brake* yang efektif untuk mendapatkan pemulihan energi. Dapat dilihat pada gambar 2.4 sebelah kiri merupakan bagan sistem pengereman

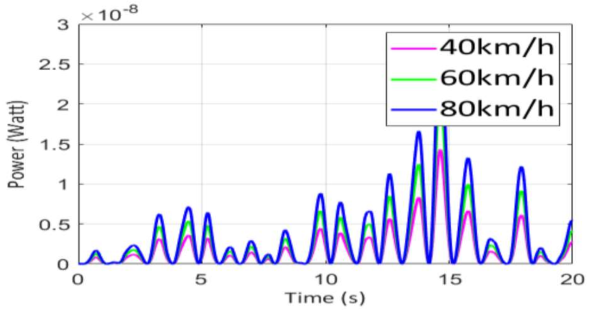
hybrid dimana motor ditempatkan pada keempat roda penggerak pada kendaraan. Pada gambar 2.4 sebelah kanan dapat lihat struktur sistem kontrol untuk *regenerative brake* yang nantinya akan digunakan pada proses simulasi software Mathlab dan AMESim. Dari proses regenerative, dengan menggunakan konsep permodelan software, didapatkan besarnya efisiensi *energy recorvery* yaitu sebesar 17.2%.



Gambar 2. 4 Aliran Energi Proses R*egenerative* (kiri) dan Simulasi Software *Regenerative* Braking

Sumber : (WeiXu, 2012)

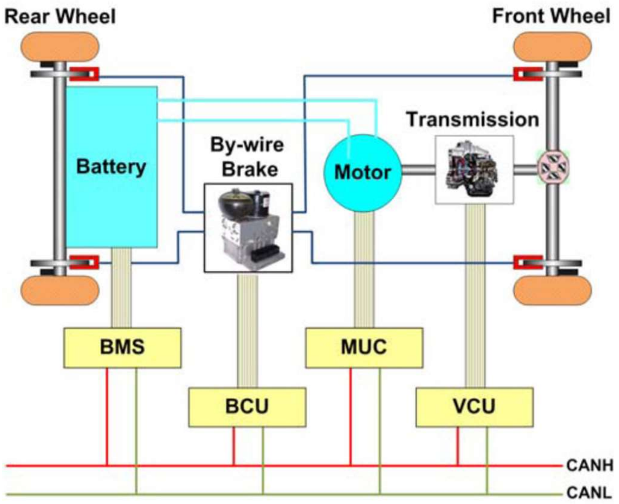
Penelitian lain yang digunakan berjudul "Pemodelan dan Analisis Karakteristik Dinamis Regenerative Swing Arm pada Scooter" oleh Pradhana Rizki pada tahun 2021. Metode yang digunakan pada penelitian yaitu menggunakan simulasi menggunakan Mathlab/Simulink untuk mendapatkan besarnya daya bangkitan pada sistem Regenerative Shock Absorber, dimana pemanfaatan energi yang terbuang berasal dari suspensi belakang sepeda motor yang nantinya akan dialirkan menuju generator dan menghasilkan daya listrik. Variasi pertama menggunakan kecepatan 40, 60 dan 80 km/jam dan variasi kedua menggunakan input sinusoidal dengan amplitudo 10 cm. Dapat dilihat pada gambar 2.5 merupakan grafik besarnya daya bangkitan dari variasi kecepatan 40, 60 dan 80 km/jam. Variasi kecepatan 80 km/jam mempunyai rata rata daya bangkitan lebih besar dibandingkan dengan variasi kecepatan 40 dan 60 km/jam.



Gambar 2. 5 Grafik Daya Bangkitan Terhadap Kecepatan Kendaraan

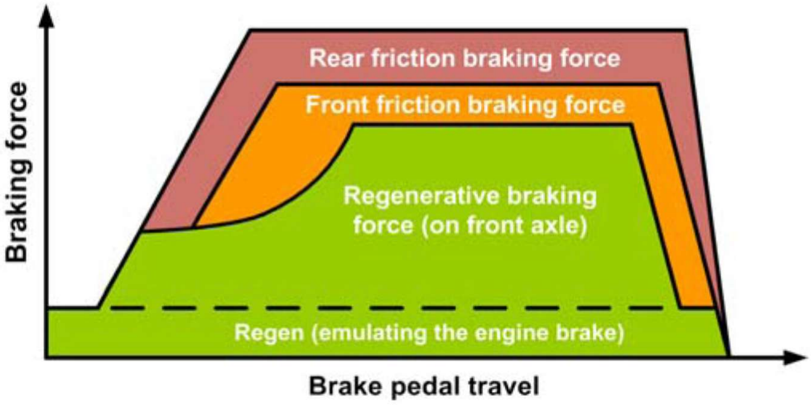
Sumber : (Rizki, 2021)

Penelitian lainnya yang juga relevan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Chen Lv pada tahun 2014 yang berjudul *Regenerative Braking Control Algorithm for an Electrified Vehicle Equipped with a By-Wire Brake System*. Penelitian ini meneliti tentang bagaimana alogiritma yang digunakan dalam proses *regenerative* pada kendaraan dengan penggerak utama motor listrik.



Gambar 2. 6 Struktur Sistem Regenerative
Sumber : (Chen Lv. 2014)

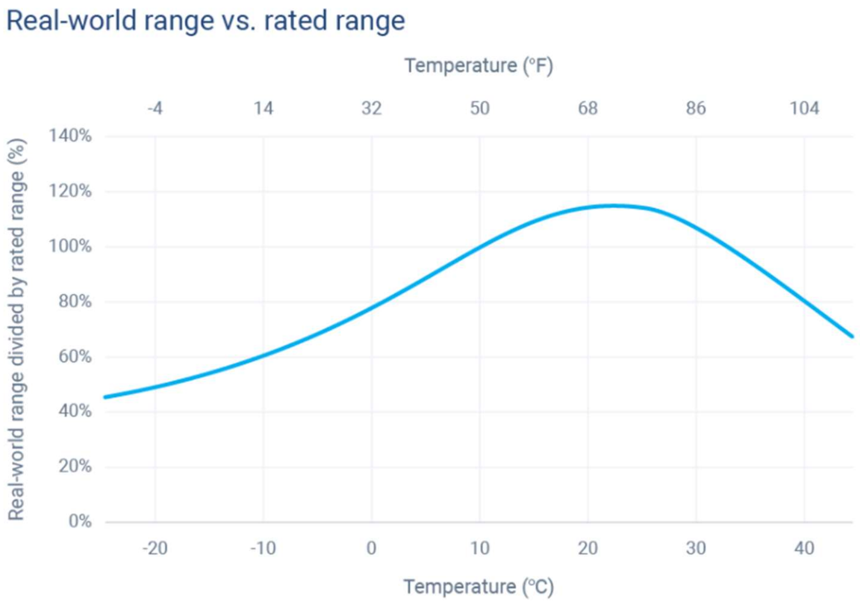
Pada gambar 2.6 dapat dilihat keseluruhan struktur regenerative braking pada mobil listrik. Terlihat baterai yang merupakan suplai daya pada motor untuk menggerakkan kendaraan dikontrol oleh *Battery management system* (*BMS*) . Kemudian transmisi yang merupakan sistem pengatur rasio kecepatan yang mana nantinya digunakan untuk menggerakkan roda depan, dikontrol oleh *Vehicle Control Unit* (*VCU*). Sistem penggerak mobil sendiri yang merupakan motor listrik dikontrol oleh *Motor Unit Control* (*MUC*) dan mengatur motor agar berubah menjadi generator saat melakukan regenerative braking sehingga perlambatan yang ditangkap oleh generator menjadi daya masukan kedalam baterai. Sistem By-wire Brake yang terhubung dengan roda depan dan belakang berguna untuk pengereman pada roda depan maupun belakang dan dikontrol oleh *Brake Control Unit* (*BCU*).



Gambar 2. 7 Distribusi Antara Regenerative Brake dan Hydraulic Brake
Sumber : (Chen Lv, 2014)

Porsi pengereman kendaraan listrik berupa grafik panjangnya pedal rem saat penginjakan vs gaya rem yang diberikan dapat dilihat pada gambar 2.7 diatas. Saat pedal rem belum diinjak, sistem *regenerative* seperti *engine brake* yang terdapat pada mesin konvensional terlihat sudah bekerja dalam porsi gaya yang kecil. Hingga penginjakan pedal rem memasuki 5 – 10% , gaya rem regenerative pada ban depan mulai bekerja bersamaan dengan gaya *regenerative* yang menyerupai engine brake. Hal ini dikarenakan *eneirgi loses* hasil pengereman pada ban depan masuk dari satu

poros dari transmisi menuju motor penggerak yang diubah menjadi generator oleh karena itu proses *regenerative* hanya ditangkap pada pengereman ban depan. Memasuki persentase penginjakan pedal gas 10 - 90 % gaya rem hidrolik pada ban depan mulai bekerja dan 10 – 100% pada ban belakang, hal ini dikarenakan gaya pengereman yang semakin besar dibutuhkan kendaraan sehingga tidak cukup hanya *regenerative braking* yang bekerja . (Chen Lv, 2014)



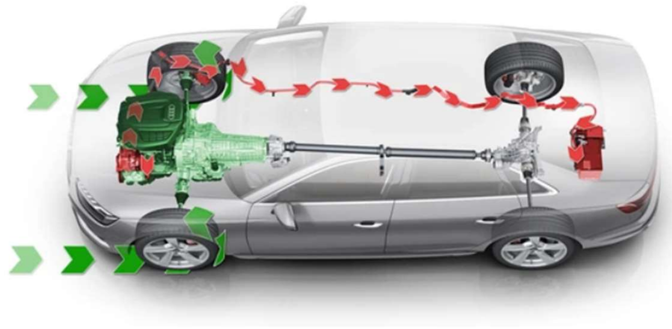
Gambar 2. 8 Pengaruh Temperatur Terhadap Jarak Tempuh Mobil listrik
Sumber : (Reccurentauto, 2020)

Penelitian lainnya yang behubungan dengan tugas akhir ini adalah pengaruh temperatur pada kendaraan listrik yaitu penelitian yang dilakukan oleh Liz Najman pada tahun 2019 dengan judul "*How Temperature Affects EV Range*". Pada gambar 2.8 dapat terlihat grafik temperatur terhadap jarak tempuh mobil listrik secara umum. Mobil listrik secara umum mempunyai jarak tempuh normal saat kondisi luar bersuhu 10 derajat *celcius* dan terus meningkat sampai 120% saat suhu mencapai 23 derajat *celcius*, tetapi akan mengalami penurunan sampai 70% jika kondisi luar bersuhu 43 derajat *celcius*. Hal ini dikarenakan pada temperatur tinggi, resistansi internal pada baterai meningkat. Temperatur tinggi meningkatkan *effective force* yang menggerakkan ion litium dari satu simpul baterai ke simpul lainnya, menyebabkan tekanan fisik dan kerusakan pada ujung penerima. Hal ini dapat menurunkan daya yang tersedia dan mengurangi jarak tempuh pada mobil listrik. Begitu juga dengan kondisi yang terlalu dingin yaitu suhu udara luar mencapai -20 derajat celcius. Jarak tempuh mobil yang seharusnya dapat turun sampai 40% dari kondisi biasanya. Hal ini dikarenakan pada kondisi dingin, reaksi kimia yang ada didalam baterai berjalan dengan lambat sehingga mempengaruhi proses menyimpan dan melepaskan energi. (Liz Najman, 2020)

2.2 *Regenerative Braking*

Proses berjalannya suatu kendaraan tidak lepas dari pengereman dan setiap pengereman dari kendaraan maka sejumlah energi akan 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 listrik adalah untuk mendapatkan kembali sebanyak mungkin energi pengereman

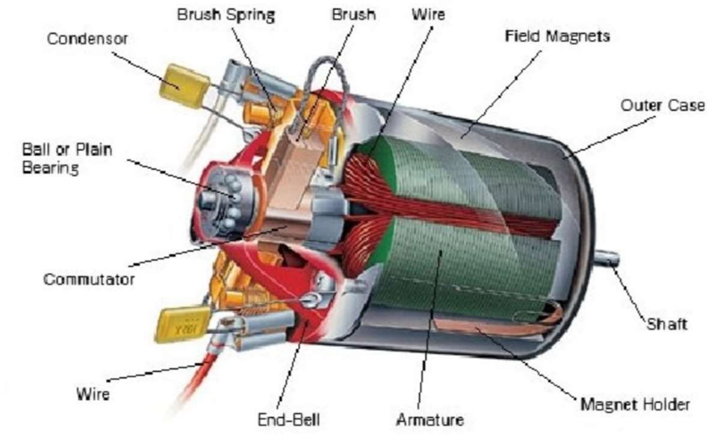
yang biasanya terbuang. Aliran energi dalam mobil pada saat proses *regenerative braking* dapat dilihat pada gambar 2.9. Desain *regenerative braking* atau rem *regeneratif* akan mengacu kepada analisis kebiasaan pengereman dan karakteristik kendaraan seperti kecepatan kendaraan, energi pengereman, penurunan 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. 9 Aliran Energi Pada Saat Proses *Regenerative Braking*
Sumber : (Artikel Teknologi, 2020)

2.3 Generator

Generator merupakan alat untuk mengkonversi suatu 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. Konstruksi dari generator DC dapat dilihat pada gambar 2.10. 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. 10 Konstruksi *Generator* DC
Sumber : (Bradwadya, 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 (Wahyu, 2014)

2.4 *Engine Control Unit* (ECU)

Engine Control Unit (ECU) adalah alat kontrol elektronik yang berfungsi mengendalikan serangkaian atau seperangkat elektronik. Contoh dari ECU tipe MS 6.1 dapat dilihat pada gambar 2.11. Alat ini didesain untuk mengatur kinerja dari sebuah sistem di mobil agar bekerja maksimal. Mulai dari sistem pengereman, suspensi, transisi, keamanan, dan lainnya. Pada dasarnya, ECU adalah pusat dari kontrol kinerja kendaraan. ECU akan menerima input data dari sensor-sensor yang ada di dalam kendaraan. Sebut saja speed sensor, knock sensor, dan masih banyak sensor lainnya. ECU akan mengkalkulasikan informasi yang diperoleh dari berbagai sensor tersebut. Contohnya pada mesin sistem injeksi yang memiliki sensor MAF (mass air flow).

Gambar 2. 11 *Engine Control Unit* tipe MS 6.1
Sumber : (Boshc motorsport, 2015)

Sensor ini akan mengirimkan sinyal ke ECU dengan nilai tertentu. Besar kecil nilai tegangan akan menginformasikan berapa massa udara yang melewati sensor. Melalui sensor inilah ECU akan mengetahui massa udara yang akan masuk ke mesin.

2.5 *Inverter*

Inverter adalah suatu perangkat elektronik yang mengubah listrik yang berasal dari sumber DC (*Direct Current*) menjadi AC (*Alternating Current*). Salah satu contoh *inverter* yaitu *Inverter* mobil energizer 1100 Watts dapat dilihat pada gambar 2.12 Perubahan ini kemudian menjadikan suatu perangkat atau alat elektronik dapat kita gunakan. *Inverter* memiliki fungsi yang sama pada mobil hybrid atau EV. Daya DC, dari baterai mobil diumpankan ke lilitan primer *transformator* dalam rumah inverter. Melalui sakelar elektronik (umumnya satu set transistor semikonduktor), arah aliran arus secara terus menerus dan teratur terbalik (muatan listrik bergerak ke lilitan primer, kemudian secara tiba-tiba berbalik dan mengalir kembali). Arus masuk / keluar listrik menghasilkan arus AC pada rangkaian lilitan sekunder *transformator*. Pada akhirnya, listrik arus bolak-balik tersebut menyediakan daya untuk beban AC. (Yulis, 2019)

Gambar 2. 12 *Inverter* Mobil *Energizer* 1100 Watts
Sumber : (Energizer, 2016)

2.6 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.

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 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)

$$Pd = nL(V - Vd)kw \tag{2. 1}$$

$$Vd = IR \tag{2. 2}$$

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

$$Eb = n.Ih.(V - Vd)(Wh) \tag{2. 3}$$

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)

$$Tk = \frac{Eb\ (Watt.hour)}{Pk\ (Watt)} \tag{2. 4}$$

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

Untuk kendaraan dengan kecepatan konstan :

$$\mathrm{V}k = (fr.W + 0{,}5.\rho.Cd.Af.Vk^2)Vk \qquad (2.\ 5)$$

Untuk kendaraan dengan kecepatan Vk dan percepatan a :

$$\mathrm{V}k = (fr.W + 0{,}5.\rho.Cd.Af.Vk^2 + M.a)Vk \qquad (2.\ 6)$$

Dimana W adalah berat kendaraan dan M adalah massa kendaraan.

Pemilihan jenis baterai yang digunakan untuk kendaraan 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

$$Q = \frac{Energi\ Tersedia}{Voltase} \qquad (2.\ 7)$$

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

2.7 *Driving Cycle*

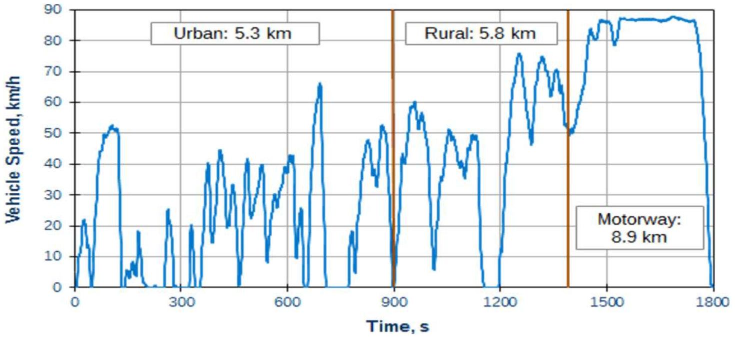
Driving cycle adalah kumpulan data kecepatan kendaraan dan pemilihan rasio gigi sebagai fungsi waktu yang mengindikasikan suatu perilaku berkendara. Daur berkendara suatu kendaraan dapat dibandingkan berdasarakan informasi statistik kendaraan. Selain data kecepatan kendaraan (v) terhadap waktu pada daur 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



Gambar 2. 13 *Driving Cycle* WHVC

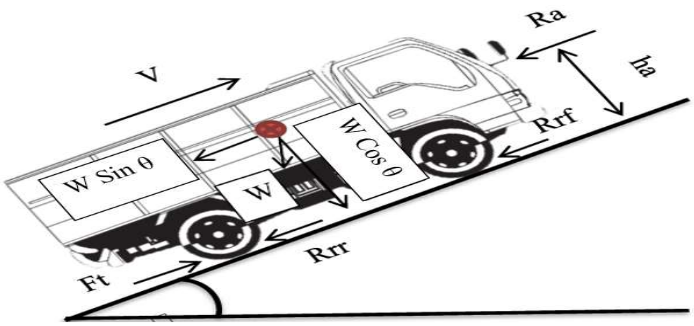
Dapat dilihat pada gambar 2.13 merupakan grafik *Driving Cycle* WHVC. Durasi tes WHVC adalah 1800 detik. Tes ini mencakup tiga segmen, yang mewakili mengemudi perkotaan, pedesaan dan jalan raya. 900 detik pertama mewakili berkendara perkotaan dengan kecepatan rata-rata 21,3 km / jam dan kecepatan maksimum 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. 14 Gaya yang bekerja 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

$$F_t = Fd + Frr + Fg + Fi \quad (2.8)$$

Dengan : Fd = gaya hambat *drag* (N)

Frr = gaya hambat *rolling* (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)

$$F_i = m \times a \quad (2.\ 9)$$

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 :

$$F_d = 0.5 \times \rho \times A_f \times C_D \times V^2 \quad (2.10)$$

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

Gaya drag dipengaruhi oleh koefisien drag kendaraan itu, dimana CD merupakan koefisien hambatan aerodinamik yang dipengaruhi oleh faktor bentuk dan kehalusan permukaan kendaraan. Koefisien *drag* (CD) dari sebuah kendaraan dapat dianggap sebagai beban aero terhadap gerakan maju. Semakin besar nilai CD maka semakin besar pula hambatan aerodinamiknya. Bentuk bodi kendaraan yang mempunyai nilai CD 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 :

$$F_{rr} = f_R \times W Cos\alpha \quad (2.11)$$

Dengan : f_R = koefisien *rolling*
W = gaya berat kendaraan (N)
Cosα = sudut kemiringan jalan raya

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

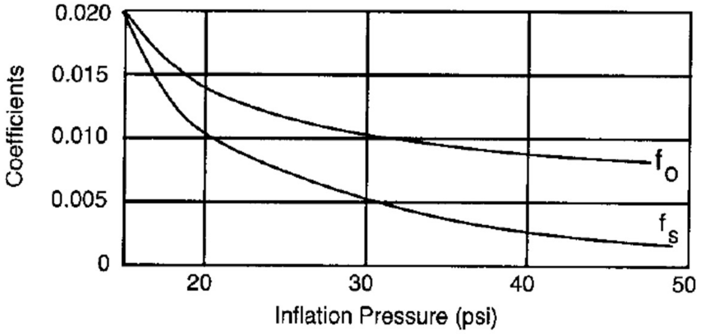
$$F_{rr} = f_R \times W \quad (2.11)$$

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

$$\mathrm{f_R} = \mathrm{C_K}.\mathrm{C_A}.\mathrm{C_J}(\mathrm{f_o} + \mathrm{f_s}\left(\frac{\mathrm{V}}{100}\right)) \quad (2.12)$$

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

Koefisien fo dan fs merupakan koefisien hambatan *rolling* yang dipengaruhi oleh besar tekanan ban. Nilai dari fo dan fs dapat dicari melalui gambar 2.15 sebagai berikut:



Gambar 2. 15 Koefisien *rolling resistence* (fo dan fs) akibat pengaruh tekanan ban
Sumber : (Sutantra, 2016)

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

$$F_G = W.\sin\theta \qquad (2.13)$$

2.9 Energi pengereman dari mesin

Energi pengereman dari mesin merupakan energi yang dikeluarkan oleh mesin, 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 dibawah. Nilai total RHP *regenerative* yang sudah didapatkan akan dikalikan dengan efisiensi pada setiap komponen, yang dilewati oleh daya tersebut, yaitu generator, inverter dan baterai itu sendiri.

$$\text{Energi Reg.} = \frac{RHP_{reg.}}{3600} \times Efg \times Efi \times Efb \qquad (2.14)$$

Dimana : Efg = Efisiensi *Generator*

Efi = Efisiensi *Inverter*

Efb = Efisiensi Baterai

2.10 Energi kinetik translasi (*energi loses*)

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

$$Ek_{Translasi} = \frac{1}{2} \times Km \times m \times (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.15)$$

Dimana : m = *massa* kendaraan (kg)

v1 = kecepatan awal kendaraan (m/s)

v2 = kecepatan akhir kendaraan (m/s)

Km = koefisien massa rotasi

Nilai dari Km adalah dirumuskan sebagai berikut

$$Km = 1.04 + 0.0025 \times (it \times ig)^2 \quad (2.16)$$

2.11 Energi Pengereman dari roda

Energi pengereman dari roda didapat dengan mencari nilai dari RHP *regenerative* 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 *regenerative* dikali dengan efisiensi setiap komponen yang dilewati, yaitu transmisi, motor, inverter dan baterai, dan akan didapatkan nilai energi bangkitan dengan satuan kWh. Energi *regenerative* kendaraan dicari menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Energi Reg.} = \frac{RHP_{reg}}{3600} \times Edt \times Efm \times Efi \times Efb \quad (2.17)$$

Dimana : Edt = efisiensi transmisi/drivetrain

Efm = efisiensi motor/generator

Efi = efisiensi *inverter*

Efb = efisiensi baterai

2.12 Kontribusi *Regenerative Brake*

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

$$\text{Kontribusi Reg.} Brake = \frac{RHP\ Reg.Total}{RHP\ Total} \times 100\% \quad (2.18)$$

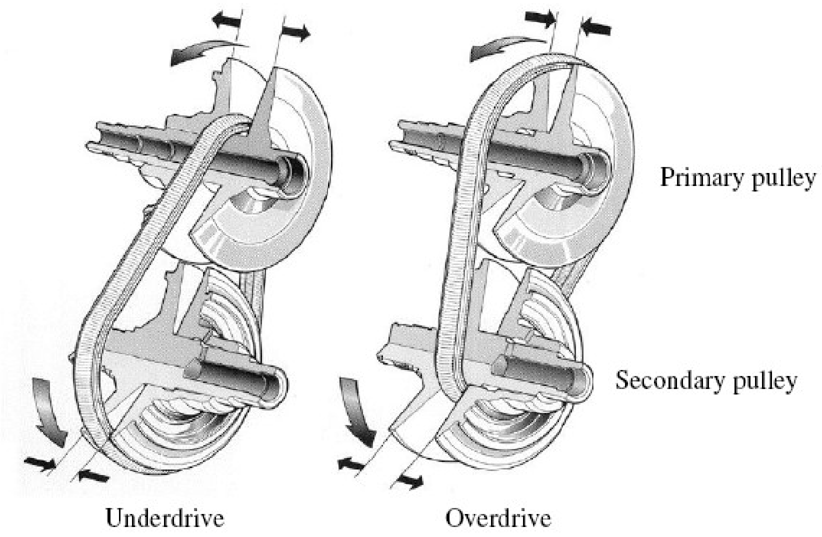
2.13 Efisiensi *Regenerative Brake*

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.

$$\text{Efisiensi Reg. Brake} = \frac{Energi\ Reg.Total}{Ek_{Translasi}} \times 100\% \quad (2.19)$$

2.14 *Continuous Variable Transmision* (CVT)

Continuously Variable Transmission merupakn sistrem transmisi otomatis dimana perubahan rasio transmisi dapat berubah ubah secara kontinu. Berbeda dengan transmisi manual, CVT memiliki efisiensi yang lebih baik dan kerja yang lebih halus. CVT menggunakan dua buah pulley yaitu pulley penggerak (driver pulley) dan pulley yang digerakkan (driven pulley) yang mana kedua buah pulley dihubungkan dengan V belt. Dapat dilihat pada gambar 2.16 merupakan kondisi pulley pada CVT pada saat *underdrive* dan *overdrive.* Untuk memperoleh kecepatan rendah (*underdrive*), didapatkan dengan memperkecil diameter pulley penggerak dan memperbesar diameter pulley yang digerakkan. Sedangkan untuk memperoleh kecepatan tinggi (*overdrive*), diperoleh dengan memperbesar diameter pulley penggerak dan memperkecil diameter pulley yang digerakkan.



Gambar 2. 16 Kondisi Underdrive dan Overdrive pada CVT
Sumber : (Putra Kalang, 2018)

Dalam penggunaanya sistem CVT ini lebih unggul daripada transmisi manual karena tidak perlu untuk mengganti gigi dalam penggunaannya sehingga pada saat bergerak dan berhenti jauh lebih halus. Halus dalam pergerakkan karena pada sistem ini tidak terjadi kehilangan gaya saat

pemindahan gigi, dan mempunyai akselerasi sangat cepat. Akan tetapi CVT memiliki percepatan yang lebih kecil dibandinkan dengan transmisi manual, sehingga kurang cocok jika digunakan untuk kendaraan mode *sport* walaupun kebutuhan traksi kendaraan tetap dapat terpenuhi dengan baik. (Putra , 2018)

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian ini akan dijelaskan mengenai *flowchart* dari penelitian yang ingin dilakukan, mulai dari studi literatur sampai analisa energi bangkitan dan rasio optimum serta efisiensi kerja motor listrik yang akan digunakan pada Toyota Calya.

3.1 Data dan Spesifikasi Acuan Kendaraan

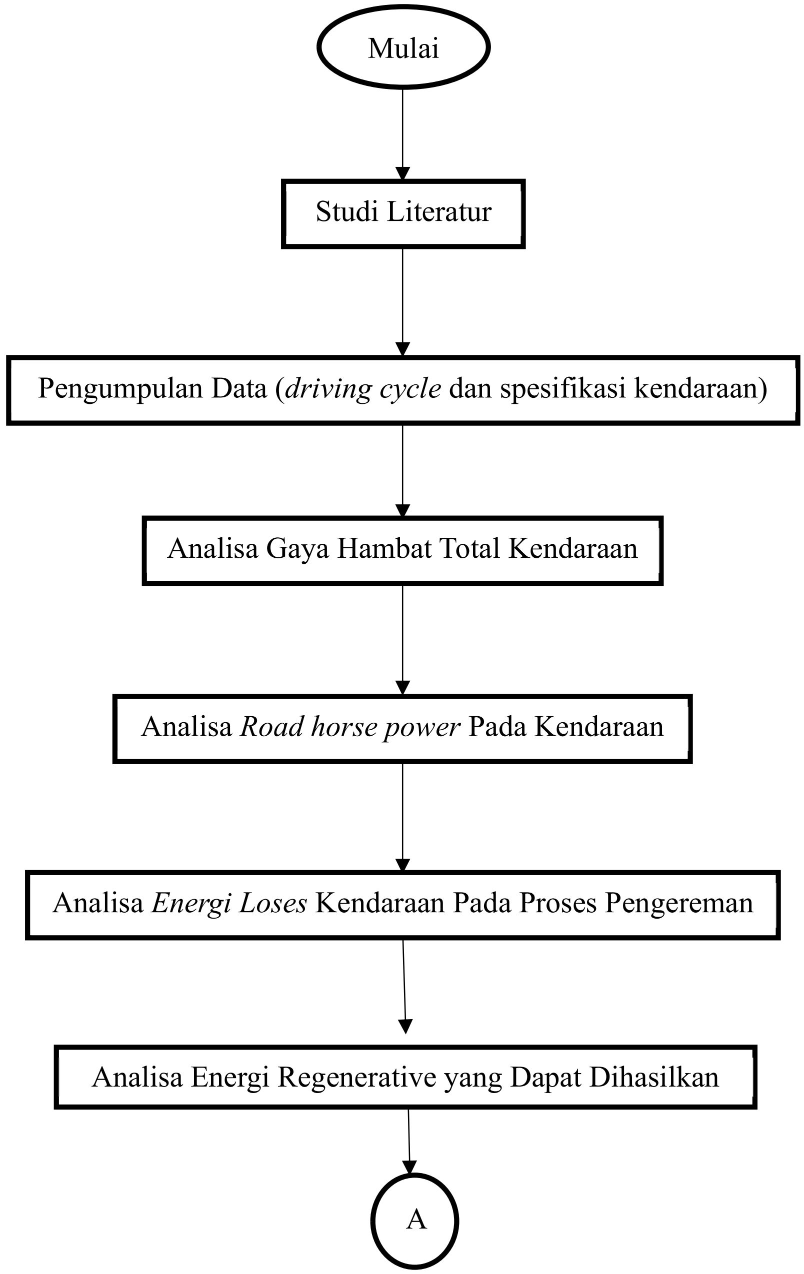
Mobil yang digunakan dalam penelitian ini adalah Toyota Calya yang sebelumnya sudah dikonversi menjadi mobil bertenaga listrik. Mobil listrik ini lebih dikembangkan dalam penggunaannya didalam kota sehingga perancangan sistem *regenerative* pada mobil ini sangat penting. Spesifikasi mobil yang digunakan sebagai acuan perhitungan penelitian adalah sebagai berikut

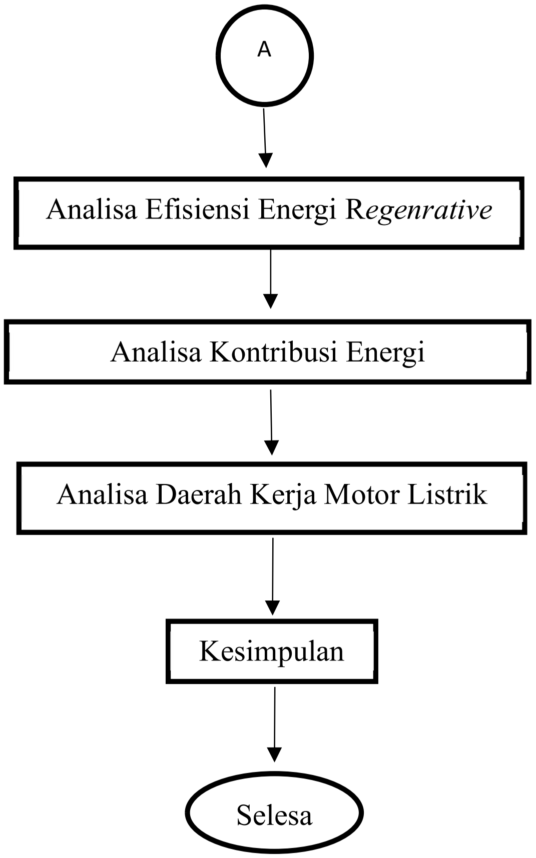
Tabel 3. 1 Spesifikasi Calya Listrik

Spesifikasi Calya				
massa kosong	1100 kg		v max	51 m/s
massa beban	490 kg		wheelbase	2.525 m
massa total	1590 kg		Height	1.6 m
W kendaraan	15597.9 N		radius roda	0.28 m
Af	2.21 m^2		fo	0.01
Tekanan ban	36 psi		fs	0.004
Cd	0.51		Tm	100 Nm
Pmax	30 kW		Drive train eff	0.83

3.2 *Flowchart* Penelitian

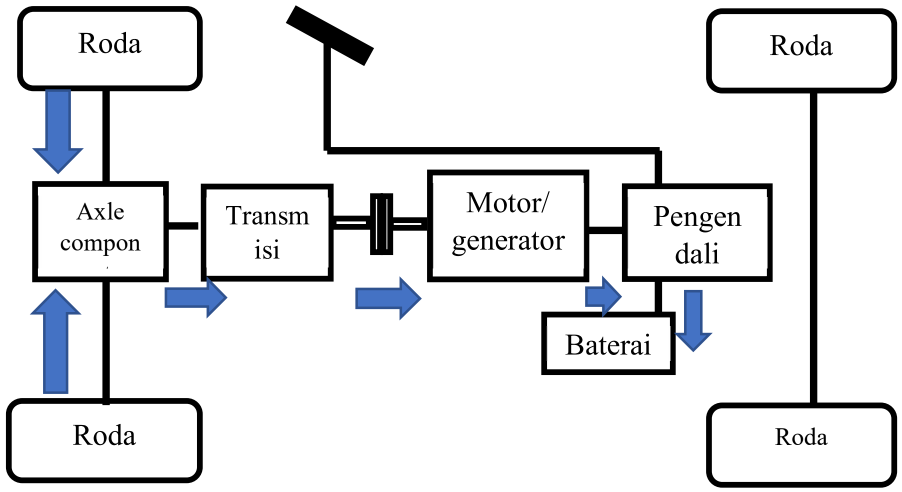
Flowchart yang digunakan pada penelitian ini adalah





Gambar 3. 1 ***Flowchart*** **Penelitian**

3.3 Analisis Energi Pada Proses *Regenerative Braking*



Gambar 3. 2 Aliran Energi Proses ***Regenerative***

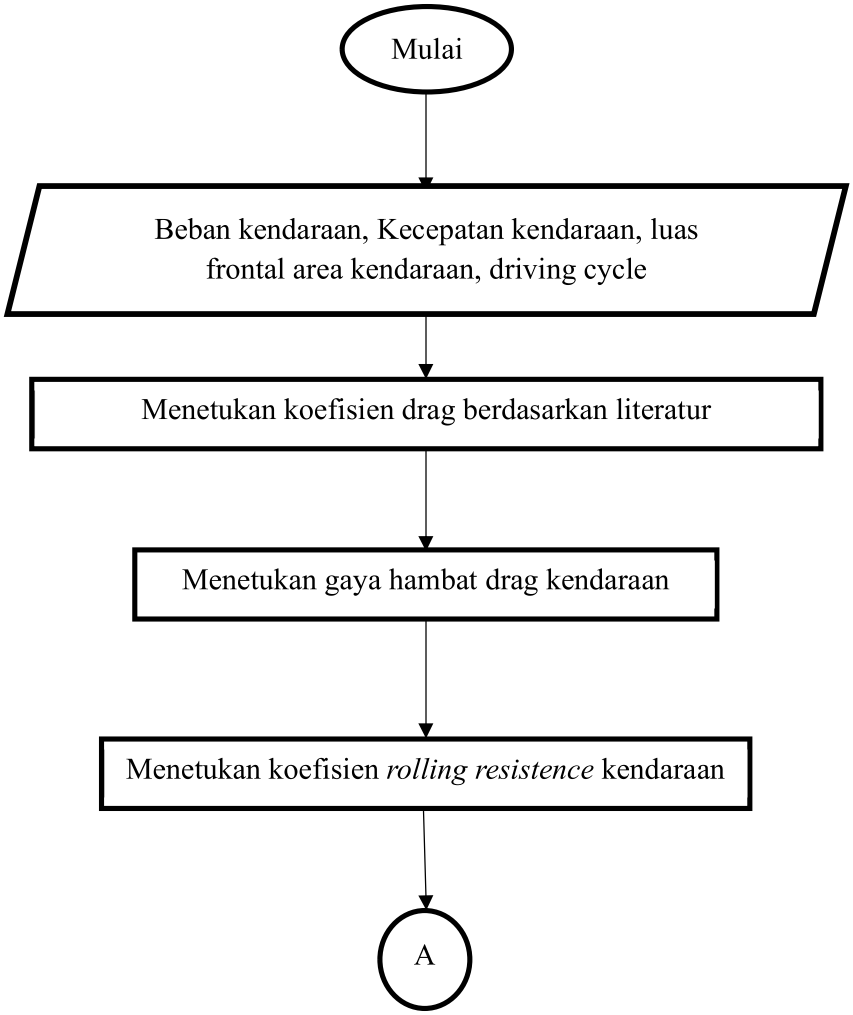
Regenerative brake merupakan pemanfaatan energi yang didapat dari hasil pengereman kendaraan menjadi energi listrik yang dapat digunakan kembali untuk proses berjalan mobil. Aliran energi dari proses *regenerative* brake dapat dilihat pada gambar 3.2. Energi yang hilang pada poros roda saat pengereman ditangkap oleh motor generator yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik yang dapat disimpan didalam baterai. Perhitungan nilai energi pada regenerative brake didapat dari perhitungan gaya hambat total, perhitungan nilai *road horse power*, dan perhitungan nilai energi kinetik pada proses pengereman. Kemudian besarnya nilai energi *regenerative* dan *efisiensinya* dapat dihitung

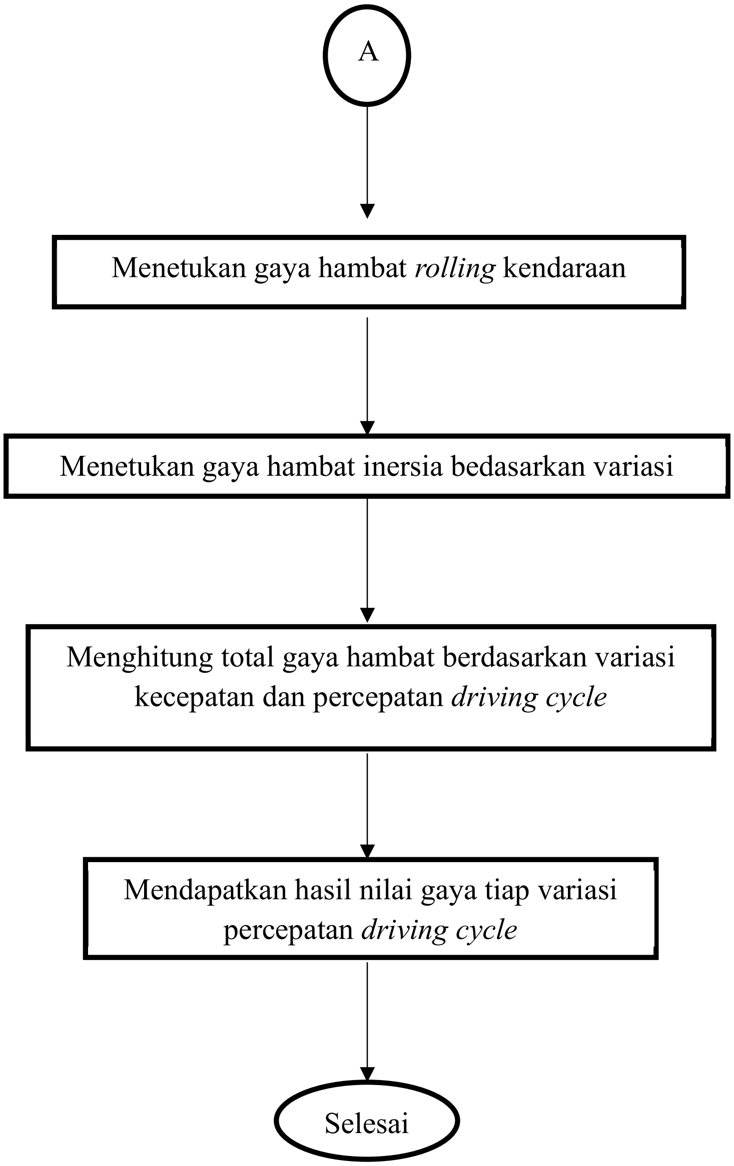
3.4 Penentuan *Driving Cycle*

Perhitungan berdasarkan data uji jalan Toyota calya BEV yang didapatkan dari PUI SKO ITS, pencarian data spesifikasi kendaraan, jenis motor, baterai dan generator

3.5 *Flowchart* Perhitungan Gaya Hambat

Pada subbab ini berisi tentang *flowchart* perhitungan dari gaya hambat pada masing masing kecepatan

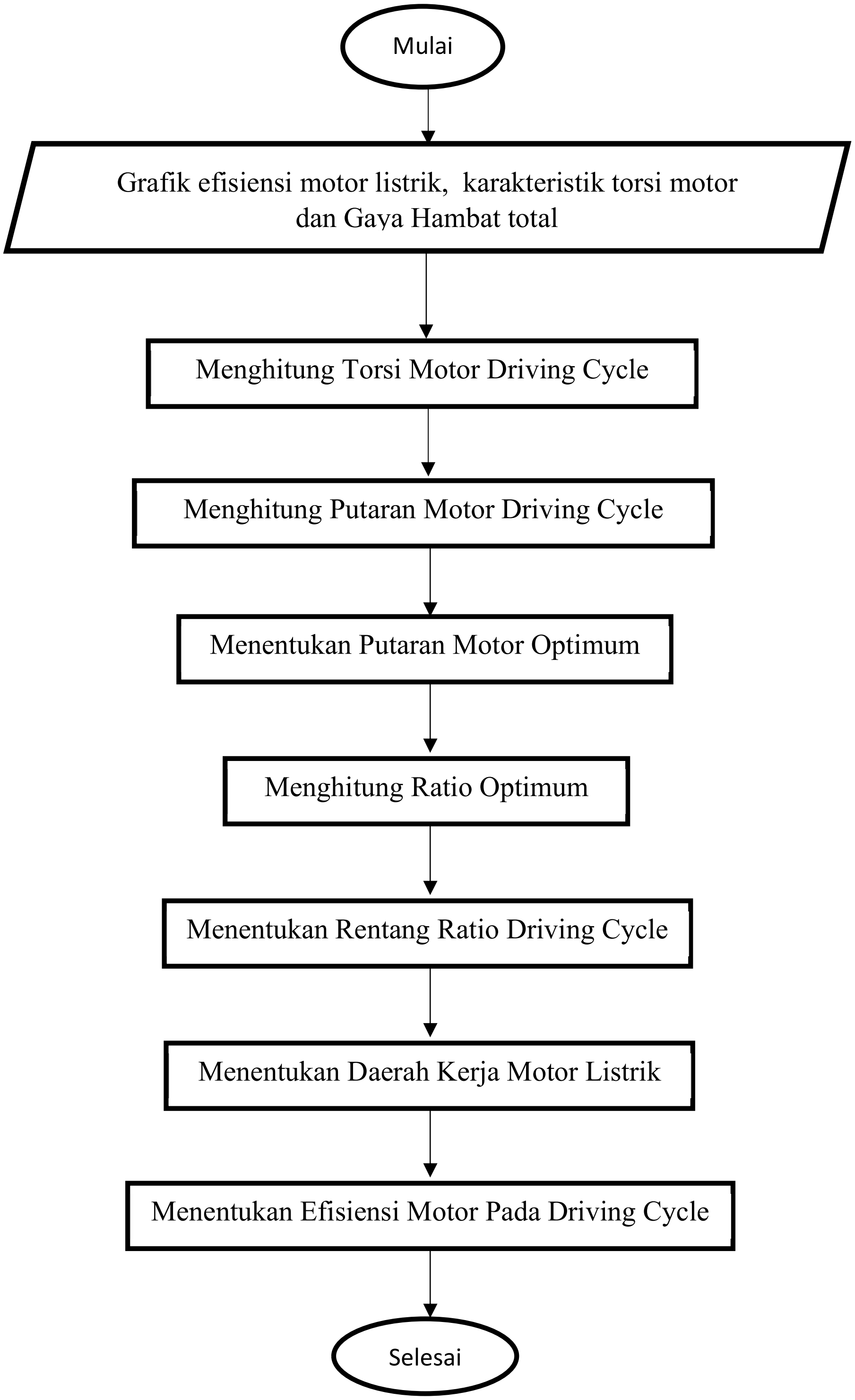




Gambar 3. 3 *Flowchart* Perhitungan Nilai Gaya Hambat

Perhitungan gaya hambat berguna untuk mengetahui besarnya gaya hambat yang bekerja pada tiap detik driving cycle. Dengan mengetahui besarnya gaya hambat *driving cycle*, dapat dihitung besarnya kebutuhan torsi dan power kendaraan. Kemudian dengna mengetahui kebutuhan torsi dan power tiap detik driving cycle, perhitungan *regenerative brake* dapat dilakukan dan dapat dianalisa pada masing masing detik nya.

3.6 Flowchart Analisis *Ratio* Optimum dan Daerah Kerja Motor Listrik



Gambar 3. 4 Flowchart Analisis Ratio Optimum dan Daerah Kerja Motor Listrik

Perhitungan ratio optimum dilakukan pada penelitian guna mengetahui rentang *ratio* yang digunakan untuk mendesain cvt . Pada penelitian tidak dilakukan konstruksi pembuatan cvt, hanya saja untuk mencari rentang rasio sehingga berguna untuk penelitian kedepannya. Kemudian berdasarkan driving cycle, dapat diketahui efisiensi daerah kerja motor listrik yang dipakai. Sehingga mengetahui rentang efisiensi kerja motor yang dapat bekerja pada kondisi driving cycle perkotaan ataupun jalan tol

3.7 Perhitungan Gaya Hambat Total

Perhitungan gaya hambat meliputi gaya hambat *rolling* (Fr), gaya hambat aerodinamis (Fd), gaya hambat tanjak (Fg) dan hambat inersia kendaraan (Fi)

$$F_d = 0.5 \times \rho \times A_f \times C_D \times V^2 \tag{3.1}$$

$$\mathrm{F_R} = \mathrm{C_K.C_A.C_J}\left(\mathrm{f_o} + \mathrm{f_s}\left(\frac{\mathrm{V}}{100}\right)^{2.5}\right) \tag{3.2}$$

$$\mathrm{F_G} = \mathrm{W.sin\theta} \tag{3.3}$$

$$\mathrm{F_i} = \mathrm{m}.\frac{v_{i+1} - v_i}{t_{i+1} - t_i} \tag{3.4}$$

3.8 Perhitungan *Road Horse Power* (RHP)

Ketika kendaraan melaju dengan kecepatan tertentu maka kendaraan membutuhkan daya untuk dapat menggerakkan kendaraan tersebut, daya yang digunakan untuk melawan menggerakan roda kendaraan disebut rhp

$$RHP = \frac{(Fd + Fr + Fi + Fg) \times V}{1000} \tag{3.5}$$

3.9 Perhitungan dan Analisis Energi Losses berdasarkan Driving Cycle

Besarnya energi loses akibat pengereman dapat dihitung dengan mengetahui besarnya massa , koefisien rotasi dan kecepatan awal dan akhir kendaraan

$$Ek_{Translasi} = 0.5 \times m \times Km \times (v1^2 - v2^2) \tag{3.6}$$

$$Km = 1.04 + 0.0025 \times (it \times ig)^2 \tag{3.7}$$

3.10 Perhitungan dan Analisis Energi *Regenerative*

$$Energi\ Bangkitan = \frac{(Fd + Fr + Fi + Fg) \times V}{3600\ \times 1000} \quad (3.8)$$

3.11 Perhitungan Efisiensi *Regenerative*

Besarnya efisiensi regenerative brake merupakan perbandingan antara energi yang dapat dibangkitkan dengan energi kinetik pengereman

$$\text{Efisiensi Reg. Brake} = \frac{Energi\ Reg.Total}{Ek_{Translasi}} \times 100\% \quad (3.9)$$

3.12 Perhitungan Torsi dan Daya Motor

Besarnya torsi yang keluar dari motor (Tm) dan daya yang dikeluarkan motor (Pm) tiap detik driving cycle dapat dihitung menggunakan rumus berikut

$$\text{Tm} = \text{Ftotal} \times R$$

$$\text{Pm} = \frac{RHP}{Efisiensi\ drive\ train}$$

$$\text{Putaran Motor} = \frac{Pm \times 6300}{Torsi\ Motor}$$

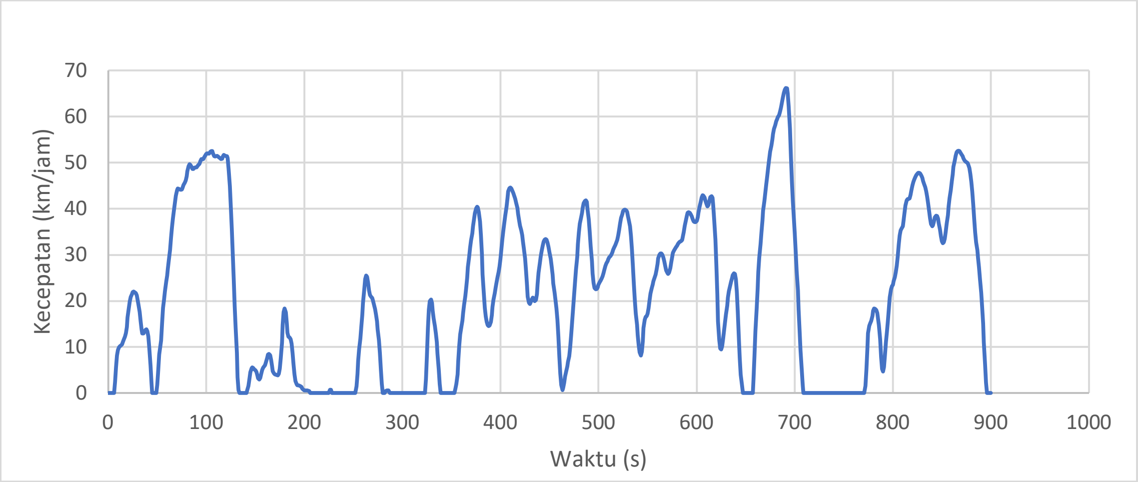
$$Ratio\ \text{ideal} = \frac{3.14\ \times r\ \times putaran\ motor}{30\ \times 4.25\ \times V}$$

BAB IV
PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab Perhitungan dan pembahasan ini akan dibahas mengenai perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada mobil listrik toyota Calya, besarnya energi *regenerative*, efisiensi *regenerative* dan kontribusi *regenerative* yang bisa di tangkap serta daerah kerja motor listrik yang digunakan.

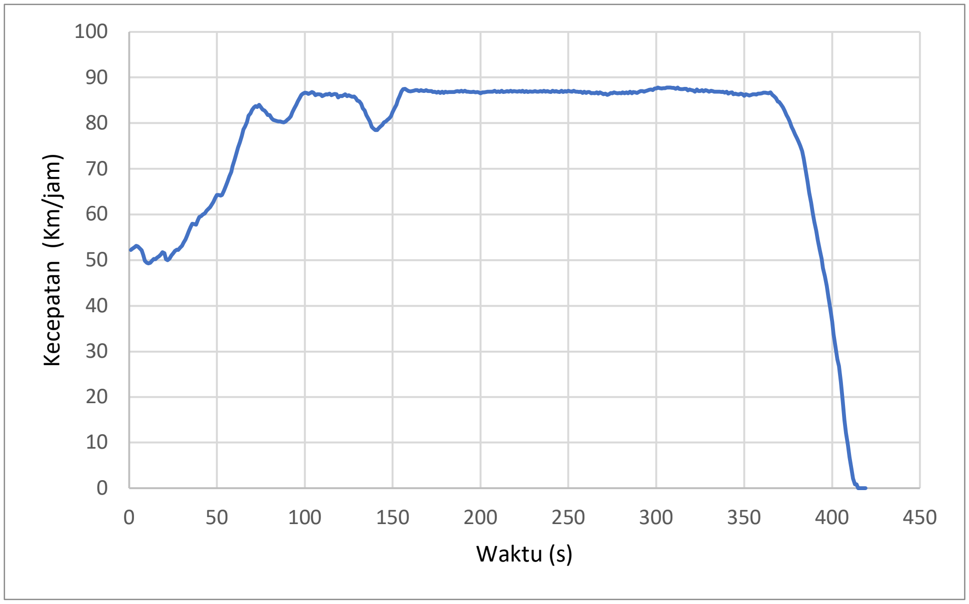
4.1 Analisis Gaya hambat kendaraan

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 mobil ini.



Gambar 4. 1 Grafik *driving cycle* kondisi perkotaan

Pada gambar 4.1 diatas dapat dilihat grafik driving cycle yang diambil dari WHVC , mewakili karakteristik jalan utama dari mobil calya pada daerah perkotaan. Selain itu pada penelitian juga digunakan *driving cycle* whvc pada jalan tol yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah sebagai pembanding besarnya nilai dari pengereman, kontribusi dan efisiensi dari *regenerative*



Gambar 4. 2 Grafik *Driving Cycle* Kondisi Jalan Tol

4.1.1 Analisis 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 berlawanan dengan arah kecepatan kendaraan. Dari persamaan 2.10 dapat dilihat gaya hambat aerodinamis dipengaruhi oleh luasan *frontal* kendaraan (Af), coefisien drag (Cd), dan kecepatan kendaraan.

Berdasarkan persamaan 2.10 dapat dihitung besarnya nilai gaya hambat aerodinamis pada detik ke 30 driving cycle dengan kecepatan 5.67 m/s yaitu sebagai berikut

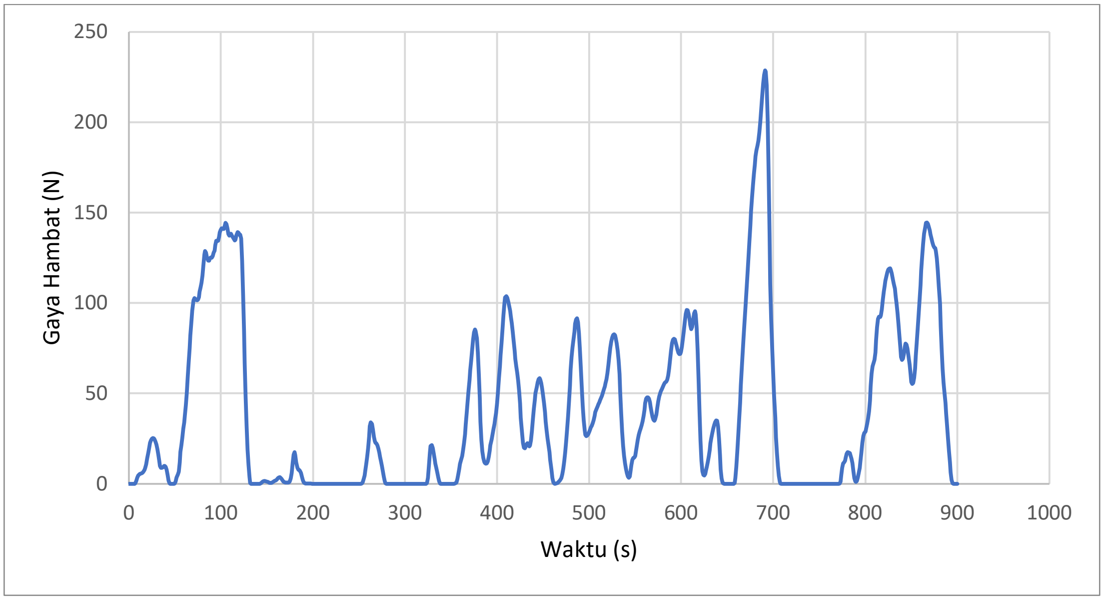
$$F_d = 0.5 \times \rho \times A_f \times C_D \times V^2$$

$$F_d = 0.5 \times 1.2 \frac{kg}{m^3} \times 2.21\ m^2 \times 0.51 \times (5.67\ m/s)^2$$

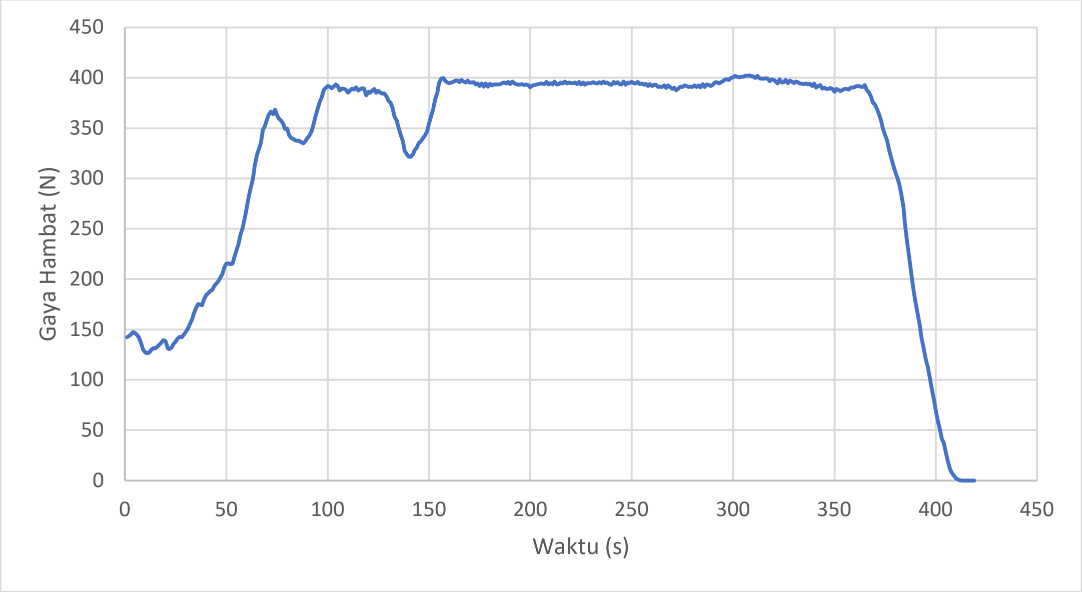
$$F_d = 21.741\ N$$

Kemudian dengan menggunakan excel didapatkan grafik besarnya gaya hambat pada *driving cycle* kondisi perkotaan yang dapat dilihat pada gambar 4.3 dan gaya hambat pada *driving cycle* kondisi jalan tol pada gambar 4.4 dibawah.

Dapat dilihat pada gambar 4.3 merupakan grafik gaya hambat aerodinamis pada kondisi perkotaan. Jika dibandingkan dengan grafik *driving cycle* pada gambar, grafik gaya hambat aerodinamis terlihat mirip dengan grafik *driving cycle*. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin bertambah kecepatan, maka gaya hambat aerodinamis akan semakin besar juga. Terlihat pada titik 25 hingga 100, kecepatan kendaraan meningkat begitu juga pada grafik gaya hambat aerodinamis. Gaya hambat terbesar berada pada detik ke 693 dengan kecepatan 18.05 m/s yaitu sebesar 220 N .Kemudian gaya hambat terkecil berada pada detik 6 dengan kecepatan 0 m/s yaitu sebesar 0 N.



Gambar 4. 3 Grafik Gaya Hambat Aerodinamis Kondisi Perkotaan



Gambar 4. 4 Grafik Gaya Hambat *Aerodinamis* Kondisi Jalan Tol

Dapat dilihat pada gambar 4.4 merupakan grafik gaya hambat aerdinamis kondisi jalan tol. Gaya hambatan terbesar terletak pada detik ke 307 dengan kecepatan 24.37 m/s sebesar 401.885 N. Kemudian gaya hambat aerodinamis terkecil terdapat pada detik ke 414 dengan kecepatan 0.24 m/s yaitu sebesar 0.4 N. Jika dibandingkan dengan gambar 4.2, grafik gaya hambat aerodinamis pada kondisi jalan tol terlihat mirip. Hal ini juga dikarenakan besarnya gaya hambat aerodinamis berbanding lurus dengan kecepatan kendaraan, sehingga gaya hambat akan meningkat jika kecepatan meningkat begitu juga sebaliknya.

4.1.2 Perhitungan dan Analisis Gaya Hambat *Rolling*

Gaya hambat *rolling* atau *rolling resistance* merupakan gaya hambat akibat gesekan roda dengan permukaan jalan raya akibat adanya defleksi pada roda yang berputar, yang arahnya

berlawanan dengan arah gerak kendaraan. Gaya hambat *rolling* dipengaruhi oleh koefisien *rolling* dimana kondisi ban, kondisi jalan dan percepatan pada kendaraan juga berpengaruh seperti pada persamaan 2.12. Dalam menghitung besarnya koefisien rolling, nilai Ck dianggap 1 karena ban menggunakan kembangan. Nilai Ca bernilai 1 karena kendaraan mengalami percepatan. Nilai Cj bernilai 1 dikarenakan kendaraan berjalan di atas aspal. Dengan data tekanan ban yang dapat dilihat pada tabel 3.1, besarnya nilai dari f_o dan f_s adalah 0.01 dan 0.004. Kemudian dihitung besar koefisien gaya hambat rolling pada titik ke 20 dengan kecepatan 14.3 m/s yaitu sebagai berikut

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

$$f_R = 1.1.1(0.01 + 0.004 \left(\frac{14.3}{100}\right)^{2.5})$$

$$f_R = 0.01$$

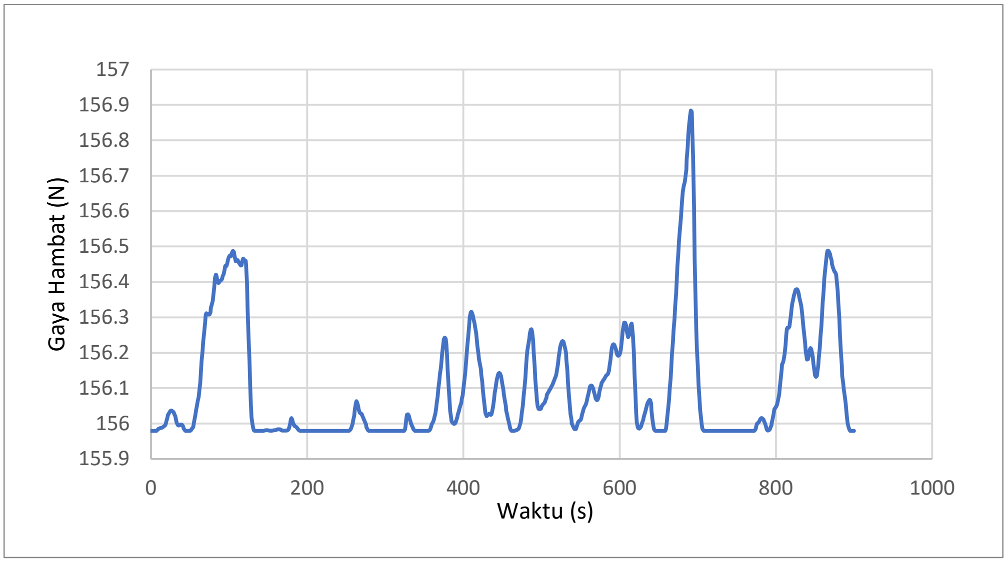
Berikut merupakan contoh perhitungan gaya hambat rolling pada titik ke 20 dengan kecepatan 14.3 m/s

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

$$F_{rr} = 0.01 \times 15597.9(Cos0)$$

$$F_{rr} = 156.46\ N$$

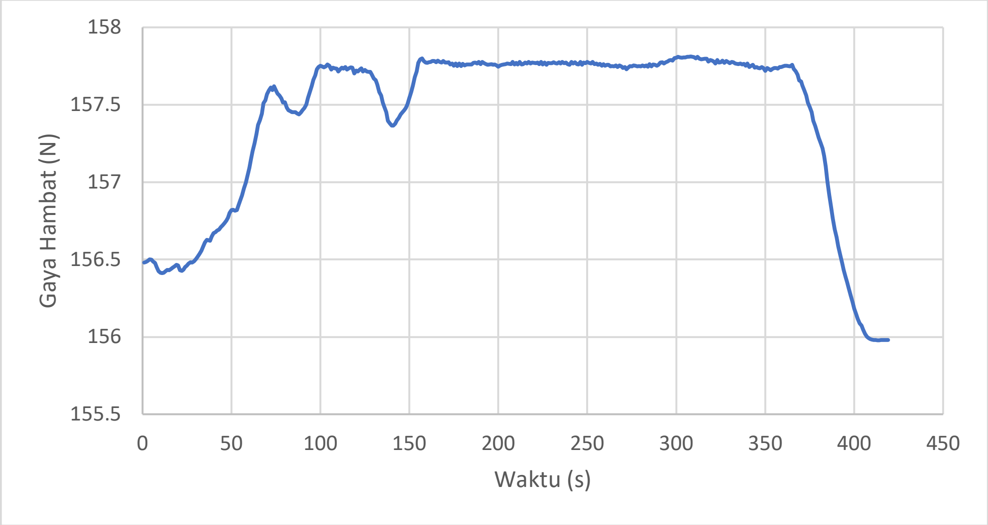
Kemudian dengan menggunakan excel disusun grafik gaya hambat *rolling* kondisi perkotaan yang dapat dilihat pada gambar 4.5 dan grafik gaya hambat *rolling* kondisi jalan tol pada gambar 4.6 dibawah



Gambar 4. 5 Grafik Gaya Hambat Rolling Kondisi Perkotaan

Dari gambar 4.5 diatas terlihat gaya hambat terbesar berada pada detik ke 693 dengan kecepatan 18.08 m/s yaitu sebesar 156.87 N dan gaya hambat terkecil berada pada detik ke 0

dengan kecepatan 0 m/s yaitu sebesar 155.97 . Jika dibandingkan dengan grafik *driving cycle* maka bentuknya terlihat mirip. Hal ini dikarenakan kecepatan kendaraan sebanding dengan besarnya nilai hambatan dimana semakin besar kecepatan maka gaya hambat *rolling* semakin besar juga. Sehingga saat grafik *driving cyle* turun, maka grafik hambatan juga ikut turun. Begitu juga saat mengalami kenaikan maka grafik gaya hambat akan mengalami kenaikan. Selain itu besarnya gaya hambat rolling juga dipengaruhi oleh besarnya berat kendaraan. Karena berat kendaraan berbanding lurus dengan perhitungan gaya hambat rolling, sehingga semakin berat kendaraan maka gaya hambat rolling nya juga semakin besar.



Gambar 4. 6 Gaya Hambat Rolling Kondisi Jalan Tol

Dari gambar 4.6 diatas terlihat gaya hambat terbesar berada pada detik ke 307 dengan kecepatan 24.37 m/s dan gaya hambat terkecil pada detik ke 414 dengan kecepatan 0.24 m/s yaitu sebesar 0 N. Grafik gaya hambat rolling pada kondisi jalan tol terlihat mirip dengan grafik *driving cycle* kondisi jalan tol pada gambar 4.2 . Hal ini dikarenakan kecepatan kendaraan berbanding lurus dengan besarnya nilai hambatan sehigga grafik gaya hambat terlihat sama dengan grafik *driving cycle*. Besarnya Gaya Hambat Rolling pada kondisi jalan tol , perbedaanya tidak terlalu signifikan dibandingkan pada kondisi perkotaan.

4.1.3 Perhitungan dan Analisis Gaya Hambat Inersia

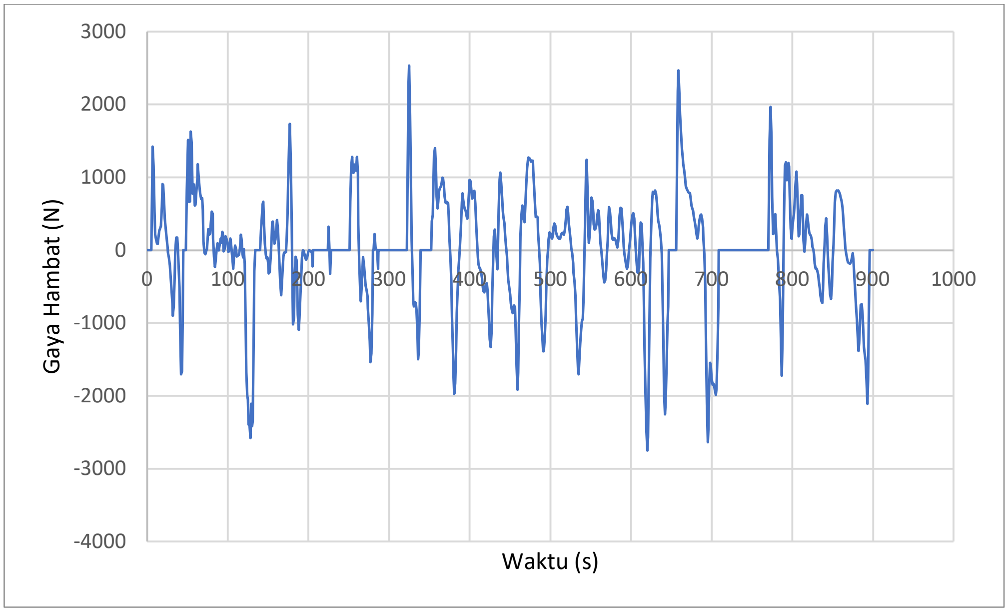
Gaya hambat Inersia adalah gaya hambat yang terdapat pada kendaraan akibat dari percepatan atau perlambatan dari kendaraan tersebut. Semakin besar masa kendaraan dan selisih kecepatan dari satu titik ke titik berikutnya, maka akan semakin besar juga gaya hambat Inersia nya. Perhitungan gaya hambat inersia pada titik 20 menuju titik 21 dengan kecepatan masing masing titik yaitu 4.55 dan 5.111 m/s adalah sebagai berikut

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

$$\mathrm{F_i} = 1590.\frac{(5.111 - 4.55)}{6 - 5}$$

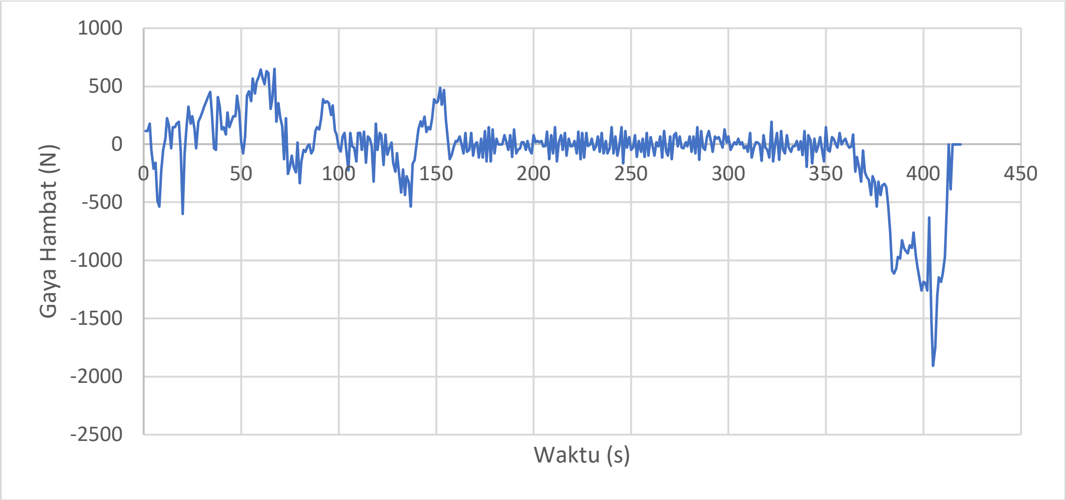
$$\mathrm{F_i} = 892.17\ \mathrm{N}$$

Kemudian dengan menggunakan excel, disusun grafik gaya hambat inersia yang dapat dilihat pada gambar dibawah



Gambar 4. 7 Grafik Gaya Hambat Inersia Kondisi Perkotaan

Terlihat pada grafik diatas besarnya gaya hambat inersia berubah ubah pada setiap detik driving cycle. Gaya hambat inersia dari titik 0 hingga 900 besarnya tidak hanya positif tetapi juga negatif. Hal ini dikarenakan pada saat kendaraan mengalami peningkatan kecepatan dari titik satu ke titik berikutnya, kendaraan dianggap mengalami percepatan dan selisih kecepatannya bernilai positif. Hal ini menyebabkan besarnya gaya hambat inersia bernilai positif. Lain halnya jika kendaraan mengalami perlambatan dan selisih kecepatannya bernilai negatif. Hal ini menyebabkan besaran gaya hambat inersia benilai negatif. Pada grafik, gaya hambat inersia terbesar berada pada titik 325 sebesar 2535.16 N, dimana pada detik tersebut kendaranaan mengalami percepatan tertinggi yaitu sebesar 1.594 m/s^2. Gaya hambat terkecil berada pada titik 620 dimana pada detik tersebut kendaraan mengalami perlambatan tertinggi yaitu sebesar 1.731 m/s^2



Gambar 4. 8 Grafik Gaya Hambat Inersia Kondisi Jalan Tol

Pada gambar 4.8 terlihat grafik gaya hambat inersia pada kondisi jalan tol. Terlihat pada grafik diatas besarnya gaya hambat inersia terbesar terdapat pada detik ke 63 dengan kecepatan 21.05 m/s yaitu sebesar 613.91 N. Hal ini dikarenakan pada detik tersebut terjadi akselerasi tertinggi pada kendaraan dimana kendaraan mengalami percepatan tertinggi yaitu sebesar 0.68 m/s^2 . Kemudian gaya hambat terkecil terdapat pada detik ke 405 dengan kecepatan 6.48 m/s yaitu sebesar -1908 N. Hal ini dikarenakan kendaraan mengalami perlambatan tertinggi yaitu sebesar -1.084 m/s^2.

4.1.4 Perhitungan dan Analisis Gaya Hambat Total

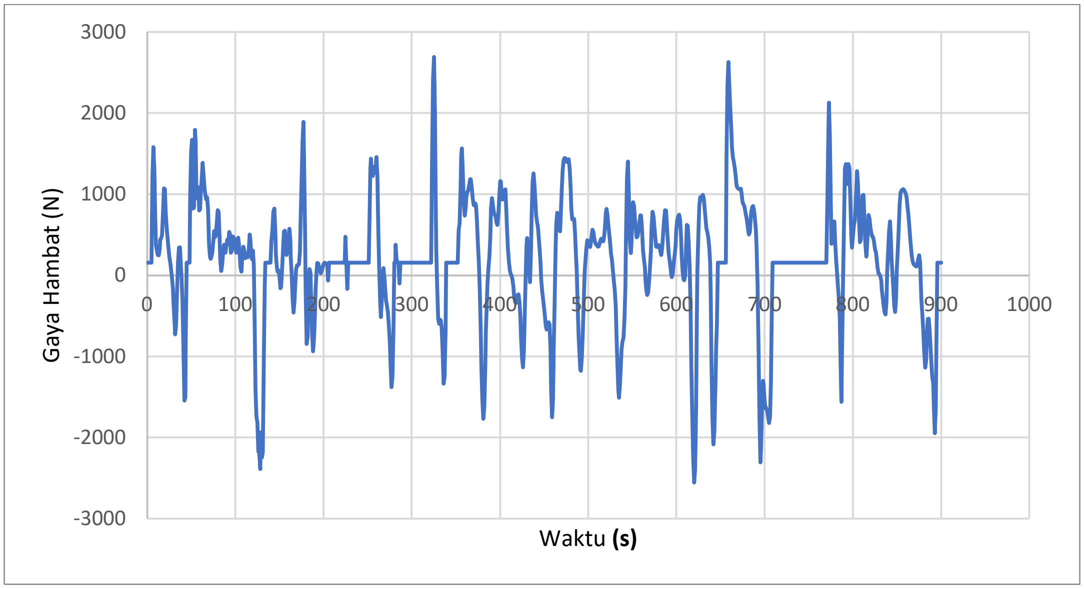
Gaya hambat total merupakan gaya gaya hambat yang bepengaruh pada kendaraan. Gaya gaya hambat yang berpengaruh pada kendaraan yaitu gaya hambat aerodinamis, gaya hambat *rolling resistance*, gaya hambat inersia dan gaya hambat tanjak.Gaya hambat tanjak kendaraan bernilai nol karena penggunaan kendaraan didalam kota dan jalan yang dilalui kebanyakan jalan datar. Total Gaya hambat tersebut menjadi kebutuhan traksi kendaraan pada kecepatan tertentu. Contoh perhitungan gaya hambat total pada titik 19 dengan kecepatan 3.908 m/s adalah sebagai berikut.

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

$$\mathrm{F_t} = 10.71 + 156 + 0 + 905.42$$

$$\mathrm{F_t} = 1072.21\ N$$

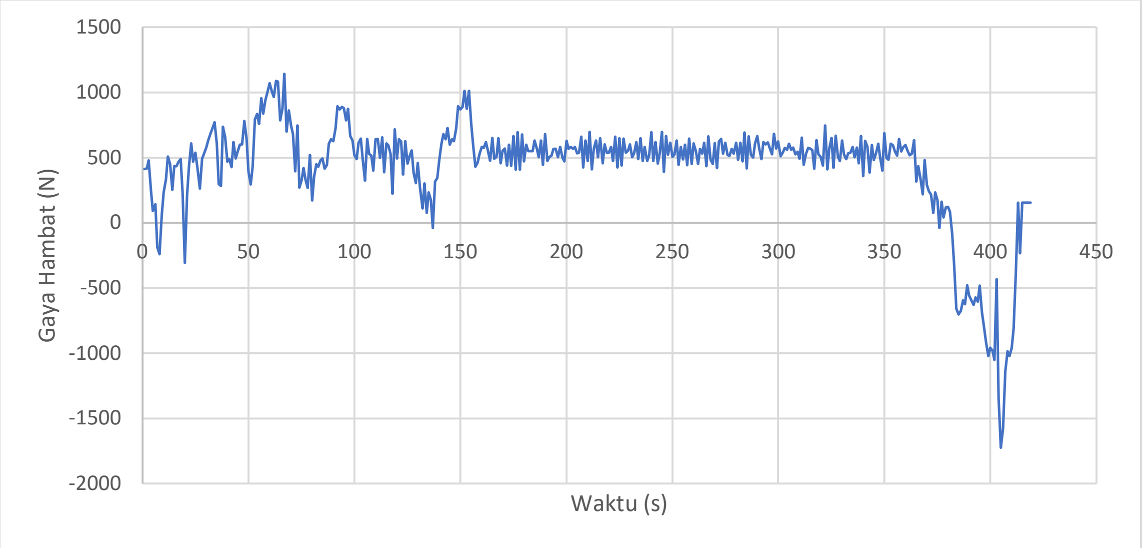
Kemudian dengan menggunakan excel disusun grafik gaya hambat total yang dapat dilihat pada gambar dibawah



Gambar 4. 9 Grafik Gaya Hambat Total Kondisi Perkotaan

Pada grafik diatas dapat terlihat gaya hambat total yang dihitung dari kecepatan di titik 0 hingga 900. Besarnya gaya hambat pada grafik diatas naik turun di setiap titik, hal ini dikarenakan adanya pengaruh faktor faktor gaya hambat yang telah dijelaskan diatas terutama besarnya kecepatan dan perlambatan pada kendaraan. Besarnya kecepatan atau perlambatan pada kendaraan berpengaruh pada besarnya nilai gaya hambat inersia, yang mana gaya hambat inersia ini

berpengaruh besar pada besarnya gaya hambat total kendaraan. Dapat dilihat pada gambar, gaya hambat total terbesar berada pada detik ke 325 dengan kecepatan 2.261 yaitu sebesar 2694 N



Gambar 4. 10 Grafik Gaya Hambat Total Kondisi Jalan Tol

Pada gambar 4.10 diatas dapat dilihat grafik gaya hambat total kondisi jalan tol, dimana gaya hambat terbesar berada pada detik ke 67 dengan kecepatan 22.27 m/s sebesar 1142.31 N . Gaya hambat terbesar berada pada detik ini dikarenakan kecepatan dan perlambatan yang tinggi dibandingkan detik lain pada driving cyle. Perlambatan yang tinggi menyebabkan gaya hambat inersia yang tinggi dan gaya hambat lainnya seperti gaya hambat aerodinamis dan gaya hambat rolling menjadi tinggi sehingga total dari gaya hambat yang bekerja pada kendaraan semakin tinggi. Gaya hambat total terkecil terdapat pada detik ke 405 dengan kecepatan 6.48 m/s yaitu sebsar -1723.55. Gaya hambat bernilai negatif dikarenakan besarnya perlambatan pada detik ini merupakan yang paling besar dibandingkan detik lain pada *driving cycle*. Gaya hambat inersia bernilai negatif dan nilainya paling kecil dibandingkan gaya hambat aerodinamis dan *rolling* sehingga besar gaya hambat total bernilai negatif.

4.2 Perhitungan dan Analisis *Regenerative Brake* Pada *Driving Cycle*

Pada sub bab ini akan dibahas tentang penggunaan *regenerative brake* pada mobil calya yaitu meliputi perhitungan energi yang terbuang akibat pengereman kendaraan, besarnya energi yang dapat dimanfaatkan dan efisiensi dari *regenerative brake*.

4.2.1 *Driving Cycle*

Perhitungan *regenerative brake* didasari pada siklus mengendarai yang merupakan besarnya kecepatan yang terukur tiap waktu pada rentang waktu tertentu. *Driving cylce* ini merupakan karakteristik mengendarai dari kendaraan. *Driving Cylce* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *driving cylce World Harmonized Vechicle Cycle* untuk jalan kota dan sebagai pembanding dalam penelitian digunakan *driving cycle* kondisi jalan tol.

Grafik *driving* cycle yang digunakan pada daerah perkotaan dapat dilihat pada gambar 4.1 dan untuk kondisi jalan tol dapat dilihat pada gambar 4.2 . Siklus mengendarai kendaraan diwakili dari detik pertama hingga detik ke – 900 pada kondisi perkotaan dan detik pertama hingga 419 pada kondisi jalan tol dimana diperoleh kecepatan dimasing titik.

4.2.2 *Regenerative Braking*

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perhitungan *regenerative* yaitu meliputi perhitungan energi yang terbuang akibat pengereman, kontribusi dan efisiensi *regeneratiive* brake.

4.2.2.1 Perhitungan dan Analisis Energi *Loses* berdasarkan *Driving Cycle*

Pada saat kendaraan melaju pada kecepatan tertentu, dibutuhkan pengereman untuk mengurangi kecepatan. Daya yang diberikan motor untuk memutar roda kendaraan pada kecepatan tertentu akan terbuang akibat pengereman . Daya yang terbuang pada kendaraan yaitu berupa panas dikarenakan terdapatnya gesekan pada roda, dimana gesekan ini yang berguna untuk melakukan pengereman sehingga kendaraan dapat berhenti pada kecepatan tertentu. Gesekan yang berupa energi panas ini kemudian dihitung menggunakan rumus 2.15. Energi yang hilang dari kendaraan berada pada bagian poros penggerak sehingga disebut juga energi kinetik translasi. Besarnya energi kinetik translasi dipengaruhi oleh besarnya masa kendaraan (m), kecepatan kendaraan dari titik awal ke titik akhir(v_1 dan v_2) dan koefisien masa rotasi (Km). Besarnya nilai koefisien masa rotasi dapat dihitung dengan rumus 2.16, dimana besarnya ratio transimisi (it) dan rasio gardan (ig) berbanding lurus dengan besarnya nilai koefisien masa rotasi. Contoh perhitungan untuk mendapatkan besar nilai koefisien masa rotasi pada detik ke – 31 dengan kecepatan 5.34 m/s adalah sebagai berikut

$$Km = 1.04 + 0.0025 \times (it \times ig)^2$$

$$Km = 1.04 + 0.0025 \times (1.79 \times 5.07)^2$$

$$Km = 1.2465$$

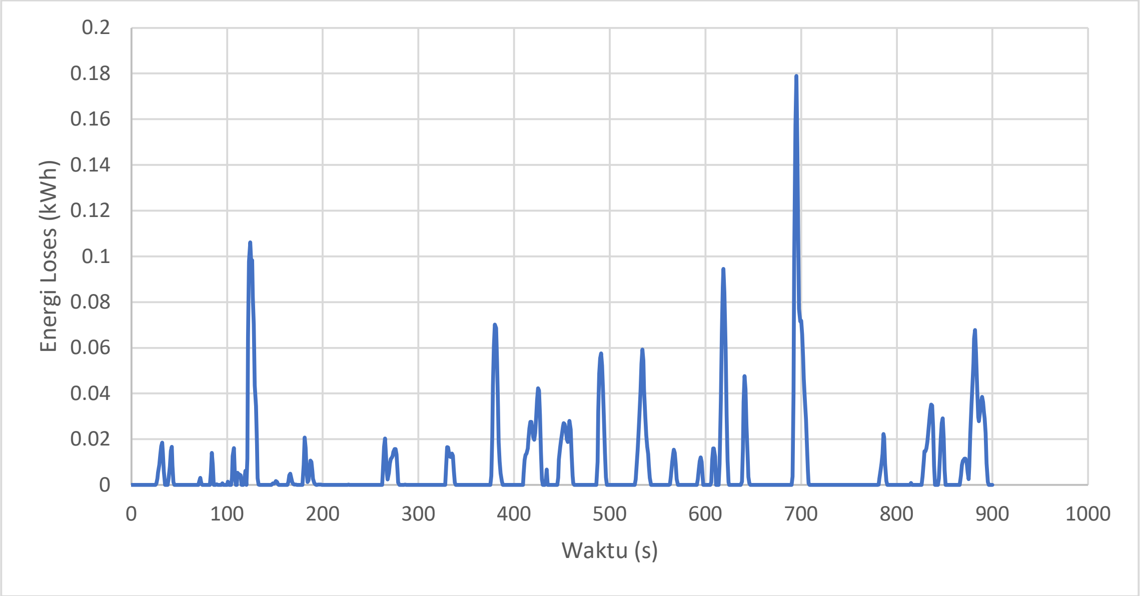
Setelah mendapatan nilai koefisien massa rotasi, dihitunglah besarnya energi yang hilang pada titik ke – 31 hingga titik ke – 32 dengan kecepatan titik ke – 32 sebesar 4.8 m/s . Contoh perhitungan besarnya energi yang hilang adalah sebagai berikut

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

$$Ek_{Translasi} = \frac{1}{2} \times 1.2465 \times 1590 \times (5.34^2 - 4.8^2)$$

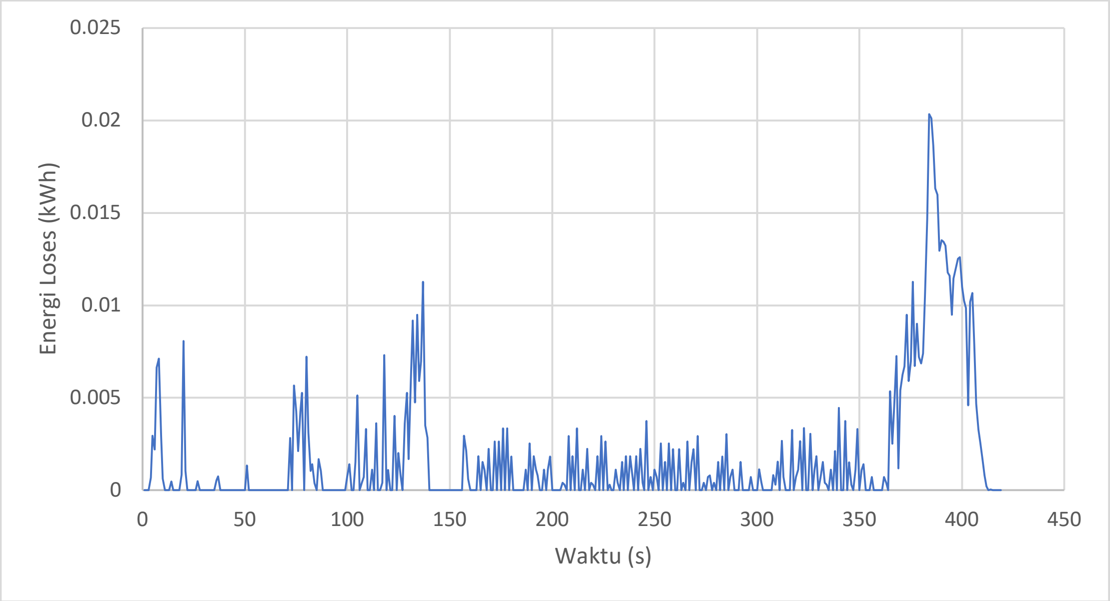
$$Ek_{Translasi} = 60921\,J = 0.0169\,kWh$$

Dengan menggunakan excel, disusun grafik besanya energi yang hilang akibat pengereman dapat dilihat pada gambat dibawah



Gambar 4. 11 Grafik Energi *Loses* Kondisi Perkotaan

Terlihat pada grafik diatas besarnya energi yang hilang meningkat di beberapa titik kecepatan . Jika dibandingkan dengan titik yang rendah lainnya, titik kecepatan pada detik ke – 695 memiliki energi *loses* yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan pada titik tersebut kendaraan mengalami perlambatan yang cukup tinggi sehingga besarnya nilai dari energi kinetik translasi juga semakin tinggi. Berbeda hal nya dengan perlambatan pada titik ke 182 dimana besarnya perlambatan lebih kecil sehingga energi yang hilang akibat pengereman juga semakin kecil.



Gambar 4. 12 Grafik Energi *Loses* Kondisi Jalan Tol

Terlihat pada gambar 4.12, *energi loses* terbesar kondisi jalan tol terdapat pada detik ke 385 dengan kecepatan 19.35 m/s yaitu sebesar 0.02 kWh. Kehilangan energi pada detik 385 lebih besar dibandingkan detik lain dikarenakan perlambatan yang terjadi lebih tinggi dibandingkan detik lain dengan nilai perlambatan sebesar 0.44 m/s^2. Sedangkan *energi loses* terkecil terdapat pada detik ke 3, 54, 97 dan detik lainnya yaitu sebesar nol. Energi loses pada detik ini bernilai nol

dikarenakan kendaraan tidak mengalami perlambatan atau pengereman. Besarnya *energi loses* pada kondisi perkotaan lebih besar dibandingkan pada kondisi jalan tol, dikarenakan pada perkotaan lebih dominan dilakukan pengereman dibandingkan jalan tol.

4.2.2.2 Perhitungan dan Analisis RHP Kendaraan dari *Driving Cycle*

Kendaraan yang bergerak memiliki gaya hambat seperti gaya hambat *rolling*, aerodinamis, tanjak, dan inersia. Agar kendaraan dapat bergerak pada kecepatan tertentu, besarnya gaya hambat ini harus bisa dilawan dengan besarnya daya yang bekerja pada motor. Motor memberikan daya tertentu agar kendaraan dapat berjalan sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Daya yang diberikan motor kemudian akan mengalir menuju poros roda, yang kemudian menggerakkan roda kendaraan agar kendaraan dapat bergerak. Besarnya daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan disebut *Road Horse Power* (RHP) dimana besarnya gaya hambat total (Ft) dan kecepatan kendaraan (V) berbanding lurus terhadap besarnya RHP yang dibutuhkan. Contoh perhitungan RHP pada titik ke -20 dengan kecepatan 4.5 m/s adalah sebagai berikut

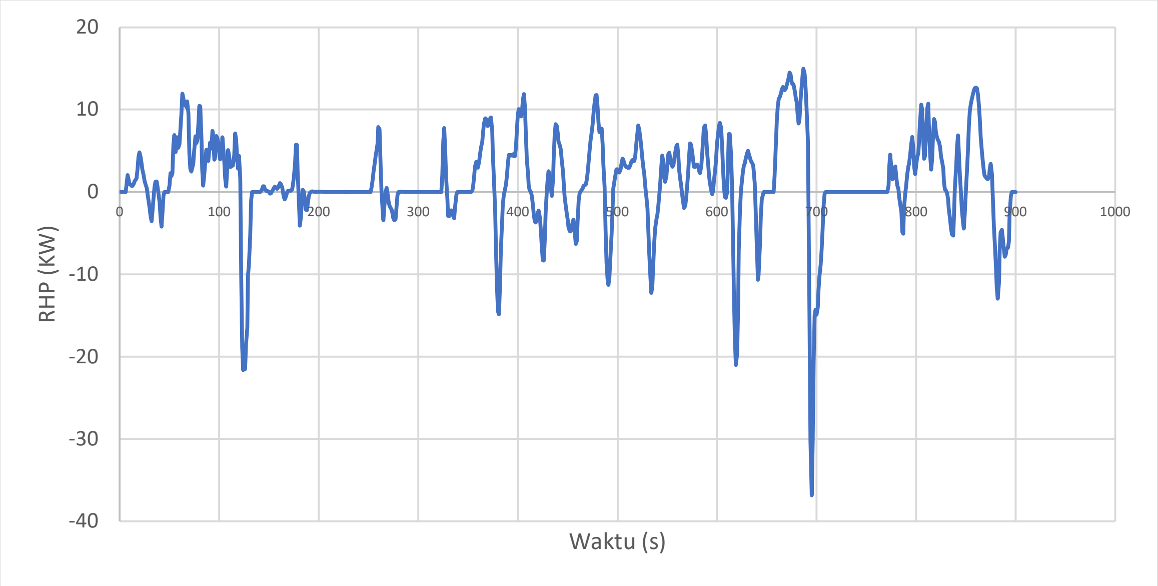
$$RHP = \frac{(Fd + Fr + Fi + Fg) \times V}{1000}$$

Dimana Fd : 14
Fr : 156.06
Fi : 892.16

$$RHP = \frac{(14.002 + 156.06 + 892.16) \times 4.5}{1000}$$

$$RHP = 4.8328\, kW$$

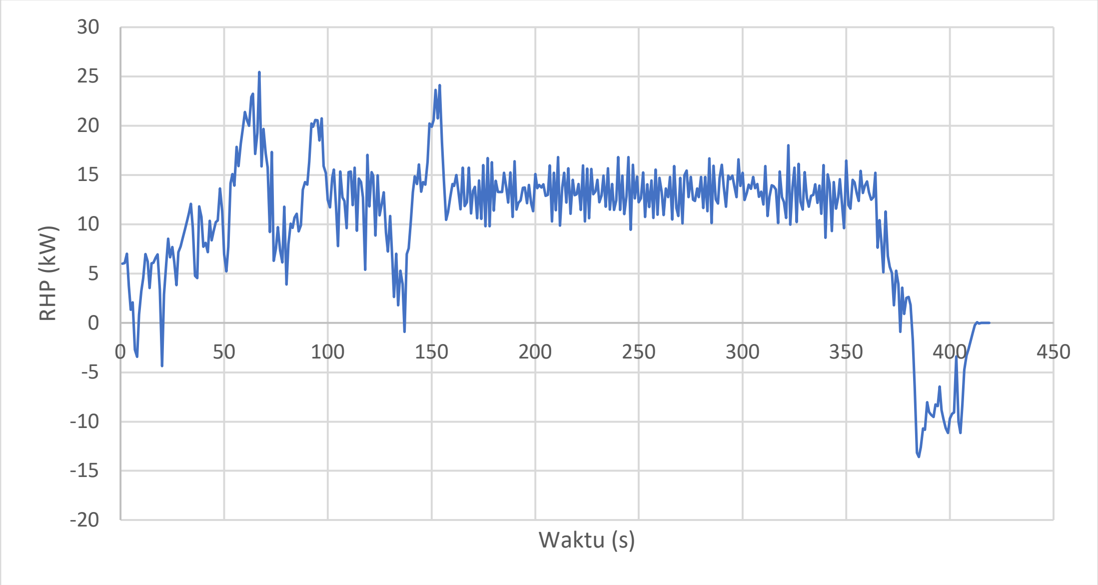
Kemudian dengan menggunakan excel, disusun grafik RHP kendaraan kondisi perkotaan pada gambar 4.13 dan kondisi jalan tol pada gambar 4.14 dibawah,



Gambar 4. 13 Grafik RHP Kendaraan Kondisi Perkotaan

Dari grafik diatas terlihat pengingkatan dan penurunan RHP dari detik ke 0 sampai ke 900. Terlihat pada detik ke 687 memliki besar RHP tertinggi jika dibandingkan dengan detik lainnya. RHP yang tinggi pada detik ke 687 dikarenakan gaya hambat total kendaraan yang besar dan

kecepatan yang tinggi. Semakin besar gaya hambat dan kecepatan kendaraan, maka besarnya kebutuhkan RHP kendaraan juga semkain tinggi. Kemudian jika dilihat pada detik ke 695, kendaraan memiliki RHP negatif dan nilai yang paling kecil. Hal ini dikarenakan besarnya gaya hambat total berjumlah negatif yang mana besar dari gaya hambat inersia yang berjumlah negatif. Gaya hambat inersia pada titik ini berjumlah negatif dikarenakan kecepatan kendaraan dittik tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan kecepatan kendaraan di titik berikutnya, sehingga dapat dikatakan kendaraan mengalami perlambatan atau pengereman.



Gambar 4. 14 Grafik RHP Kendaraan Kondisi Jalan Tol

Pada gambar 4.1 dapat dilihat grafik rhp kendaraan kondisi jalan tol. Rhp kendaraan terbesar berada pada detik ke 67 dengan kecepatan 11 m/s sebesar 25.44 kW dan rhp kendaraan terkecil berada pada detik ke 385 dengan kecepatan 19.35 m/s sebesar -13.6 kW. Kendaraan pada detik ke 67 memiliki gaya hambat total terbesar sehingga memiliki rhp yang tinggi. Pada detik ke 385, kendaraan memiliki gaya hambat total terendah sehingga rhp kendaraan bernilai negatif. Besarnya gaya total pada detik ke 67 didominasi oleh besarnya gaya hambat inersia yang mana gaya hambat inersia pada detik ini bernilai paling besar dibandingkan detik lain dikarenakan kendaraan mengalami percepatan tertinggi. Selain percepatan yang tinggi, kecepatan kendaraan juga berpengaruh terhadap besarnya rhp dari kendaraan. Sebaliknya pada detik ke 385 kendaraan mengalami perlambatan tertinggi sehingga nilainya paling kecil.

4.2.2.3 Perhitungan dan Analisis Energi *Regenerative*

Energi *regenerative* didapat dari pengurangan rhp kendaraan pada detik kecepatan yang mengalami perlambatan. Menghitung energi *regenerative* juga dapat dihitung dengan menghitung besar nya luasan grafik rhp yang mengalami perlambatan. Energi yang didapat dari pengereman ini ditangkap oleh generator melalui poros pada ban, yang kemudian menjadi sumber tenaga tambahan pada kendaraan. Contoh perhitungan mendapatkan besarnya energi *regeneretive* pada detik 122 – 124 dengan menghitung luasan dibawah grafik menggunkan pendekatan *numerical* adalah sebagai berikut

$$luasan\ grafik = \frac{(a+b) \times t}{2}$$

Dimana a = rhp detik ke 122 = 10.56 kW
b = rhp detik ke 124 = 21.662 kW
t = 124 – 122 = 2

$$luasan\ grafik = \frac{(10.56 + 21.662) \times 2}{2}$$

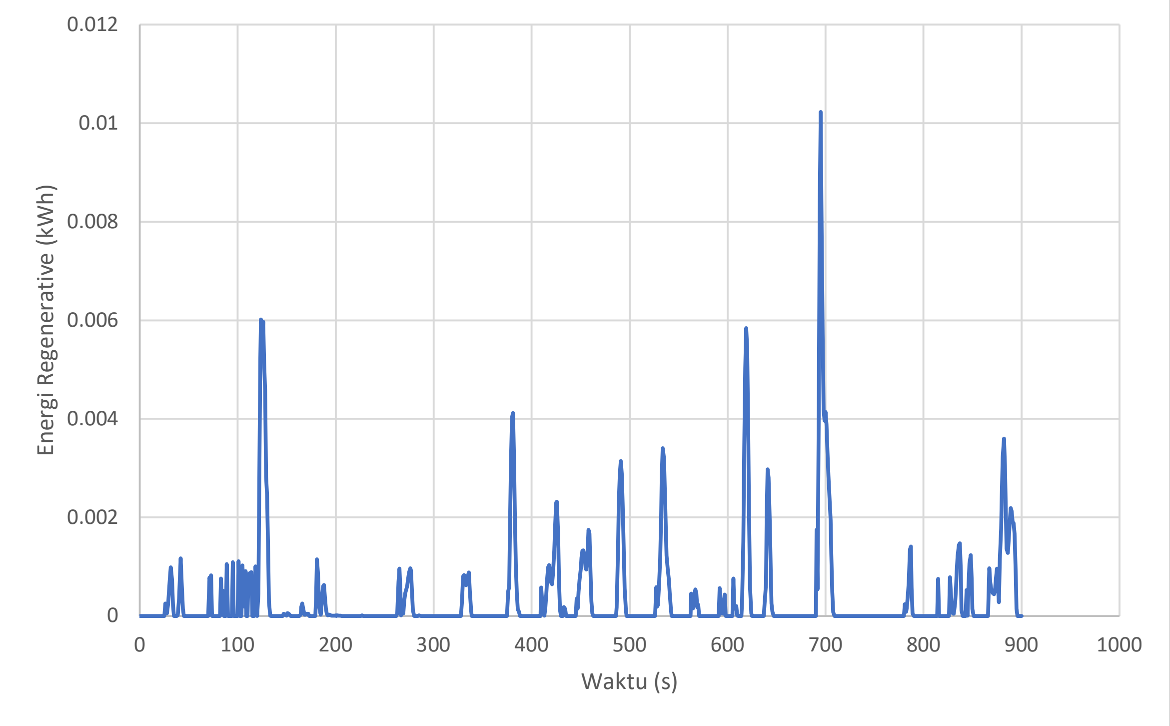
$$luasan\ grafik = 32.222\ kW$$

Untuk mencari besar energi *regenertaive* dari kendaraan yaitu dengan membagi besarnya luasan grafik dengan 3600 untuk mengubah satuan menjadi kWh

$$Energi\ regenerative = \frac{luasan\ grafik}{3600}$$

$$Energi\ regenerative = \frac{32.222}{3600} = 0.0089\ kWh$$

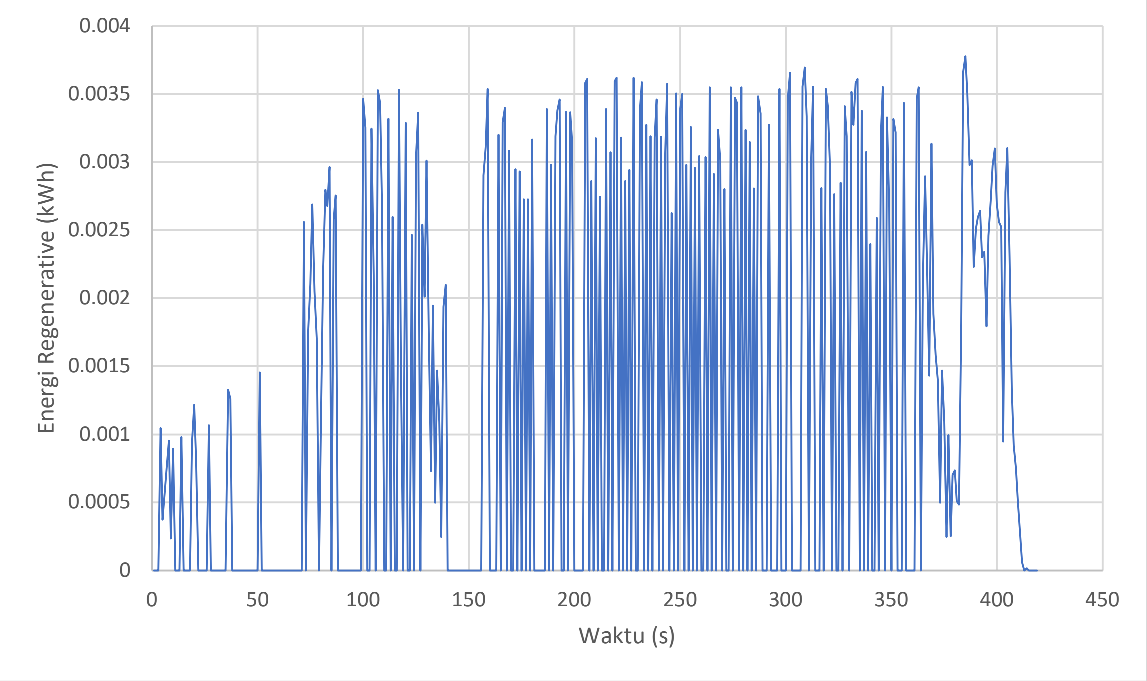
Kemudian dengan menggunakan excel, disusun grafik energi *regenerative* kondisi perkotaan pada gambar 4.15 dan pada kondisi jalan tol pada gambar 4.6 dibawah



Gambar 4. 15 Grafik Energi *Regenerative* Kondisi Perkotaan

Dapat dilihat pada grafik besarnya energi yang dapat disimpan pada setiap detik *driving cyle*. Energi yang dapat dibangkitkan terbesar berada pada detik ke 695 dengan kecepatan 15.95 m/syaitu sebesar 0.01 kWh. Jika dibandingkan dengan detik lainnya, detik ke 695 memiliki besar energi loses tertinggi. Pada detik 695, terjadi perlambatan yang besar yang mana gaya hambat

inersia pada detik ini menjadi tinggi. Hal ini menyebabkan energi yang terbuang akibat perlambatan tersebut dapat dimanfaatkan menjadi energi *regenerative* sehingga nantinya berpotensi menyimpan energi listrik pada baterai.



Gambar 4. 16 Grafik Energi *Regenerative* Kondisi Jalan Tol

Dapat dilihat pada gambar 4.16 merupakan grafik energi *regenerative* pada kondisi jalan tol. Energi *regenerative* terbesar terdapat pada detik ke 385 dengan kecepatan sebesar 19.35 m/s yaitu sebesar 0.03 kWh. Pada detik ini, energi yang dapat dibangkitkan lebih tinggi dibandingkan detik lain dikarenakan energi *loses* kendaraan pada detik ini memiliki nilai tertinggi. Energi *loses* yang tinggi disebabkan oleh banyaknya energi yang terbuang akibat pengereman dimana kendaraan mengalami deselerasi yang tinggi. Pada grafik dapat terlihat energi *regenerative* terendah yaitu berada pada detik ke 3, 18, 53 dan lainnya yaitu bernilai nol. Pada detik ini tidak terdapat pengereman atau deselerasi sehingga tidak ada energi yang dapat dibangkitkan.

4.2.2.4 Perhitungan dan Analisis Kontribusi *Regenerative* Brake

Kontribusi dari *regenerative brake* didapat dengan membagi besarnya nilai rhp regenerative dengan rhp total, degan cara lain yaitu membagi luasan grafik rhp pada saat perlambatan dengan luasan total rhp yang didapat dari driving cycle . Contoh menghitung nilai dari kontribusi *regenerative* brake pada *driving cyle* kondisi perkotaan adalah sebagai berikut

$$Kontribusi\ regenerative = \frac{RHP\ Regenerative}{RHP\ Total}$$

$$Kontribusi\ regenerative = \frac{1264\ kW}{2104.48\ kW}$$

$$Kontribusi\ regenerative = 0.6$$

Besarnya kontribusi *regenerative* pada kondisi perkotaan setelah melakukan perhitungan yaitu sebesar 60%. Sebanyak 2104 kW total rhp yang dibutuhkan kendaraan selama driving cycle , didapat sebanyak 1264 kW yang dapat dibangkitkan. Kemudian dihitung besarnya kontribusi pada driving cycle kondisi jalan tol dan didapat besarnya kontribusi *regenerative* pada kondisi tersebut yaitu sebesar 42.8%. Kontribusi pada kondisi jalan tol lebih sedikit dikarenakan siklus mengendarai di jalan tol lebih sedikit melakukan pengereman sehingga tidak banyak daya yang dapat disimpan. Sedangkan pada kondisi perkotaan, kebiasaan melakukan pengereman menyebabkan sistem *regenerative brake* lebih sering dimanfaatkan dan mempunyai kontribusi yang lebih banyak.

4.2.2.5 Perhitungan dan Analisis Efisiensi *Regenerative Brake*

Setelah melakukan perhitungan kontribusi, maka dihitung besarnya efisiensi *regenerative* brake. Efisiensi *regenerative* brake menunjukkan seberapa efisien energi yang dapat disimpan dari besarnya energi yang terbuang akibat pengereman. Besarnya efisiensi *regenerative* brake dapat dihitung dengan membagi besarnya energi *regenerative* total dengan energi panas yang hilang akibat pengereman pada poros roda penggerak. Contoh perhitungan besarnya efisiensi *regenerative* brake pada kondisi perkotaan dapat dilihat sebagai berikut

$$Efisiensi\ regenerative = \frac{Energi\ regenerative\ total}{Energi\ pengereman\ total}$$

$$Efisiensi\ regenerative = \frac{0.273\ kW}{0.502\ kW}$$

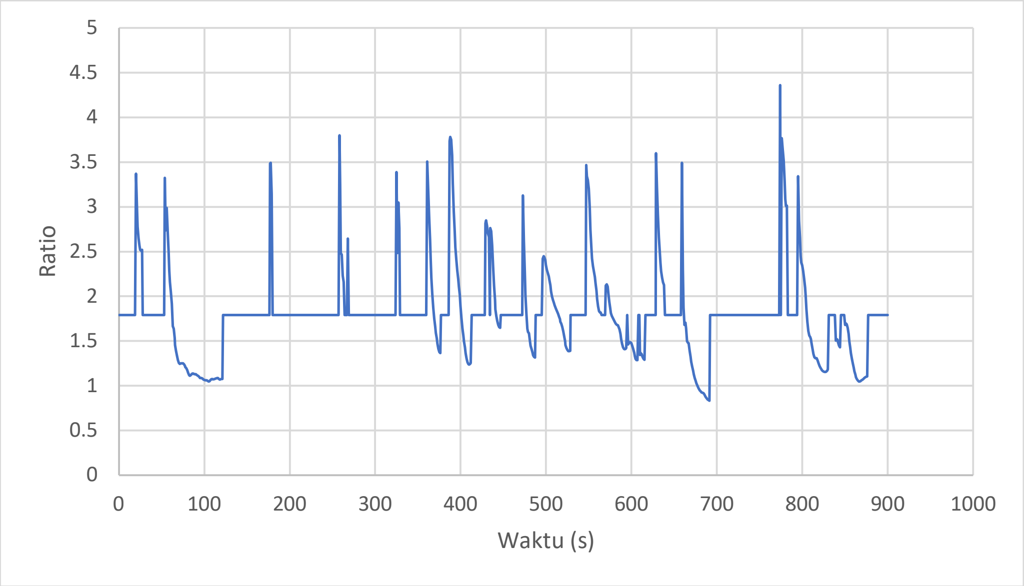
$$Efisiensi\ regenerative = 0.502$$

Setelah dilakukan perhitungan maka didapat besarnya efisiensi *regenerative* pada kondisi perkotaan yaitu sebesar 50.2%. Sedangkan pada kondisi jalan tol, didapat efisiensi *regenerative* yaitu sebesar 35.4 %. Jika dibandingkan, maka efisiensi kondisi perkotaan lebih besar dibandingkan kondisi jalan tol. Efisiensi yang lebih besar ini menjadi salah satu keuntungan dari penggunaan *regenerative* brake pada kendaraan yang sering digunakan pada kondisi jalan perkotaan yang banyak melakukan pengereman.

4.3 Menentukan Ratio Optimum Kendaraan Tiap Detik *Driving Cycle*

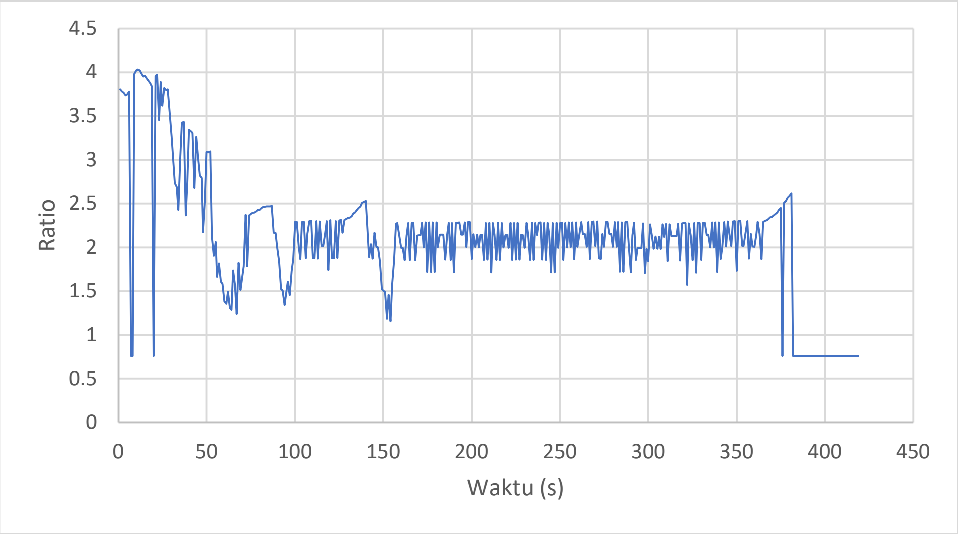
Mobil Toyota Calya yang telah dikonversi menjadi mobil listrik didesain agar mempunyai transmisi dengan jenis CVT. Pada penelitian ini dihitung *besarnya* rasio ideal cvt dengan tujuan untuk mendapatkan rentang besarnya ratio CVT yang nantinya dapat digunakan agar kendaraan dapat berjalan dengan lebih efisien efisien. Dihitung bersarnya torsi yang dikeluarkan dan kecepatan putar motor listrik pada tiap detik *driving cycle* yang dapat dilihat pada rumus 3.11 . Kemudian putaran motor disesuaikan agar mendapatkan torsi yang lebih optimum.

Dengan menggunakan excel didapat grafik besarnya ratio tiap detik *driving cycle* pada kondisi perkotaan dapat dilihat pada gambar 4.17 dan grafik besarnya ratio tiap detik *driving cycle* pada kondisi jalan tol pada gambar 4.18 dibawah



Gambar 4. 17 Grafik *Ratio* Optimum Kendaraan Kondisi Perkotaan

Pada grafik dapat dilihat *ratio* terbesar terdapat pada detik ke 774 dengan kecepatan 2.6 m/s yaitu sebesar 4.359. *Ratio* terkecil terdapat pada detik ke 691 dengan kecepatan 18.394 m/s sebesar 0.83. Pada detik ke 774 kecepatan kendaraan lebih rendah dan tetapi membutuhkan torsi yang lebih besar sehingga ratio transmisi yang dibutuhkan lebih besar . Sedangkan pada detik ke 691 kendaraan membutuhkan kecepatan yang lebih tinggi dan torsi yang lebih rendah sehingga ratio transmisi y.ang didapatkan juga lebih kecil. Setelah menghitung besarnya *ratio* maksimum dan ratio minumum dari *drving cycle*, maka didapat rentang ratio kendaraan selama *driving cycle* adalah 0.83 – 4.359.



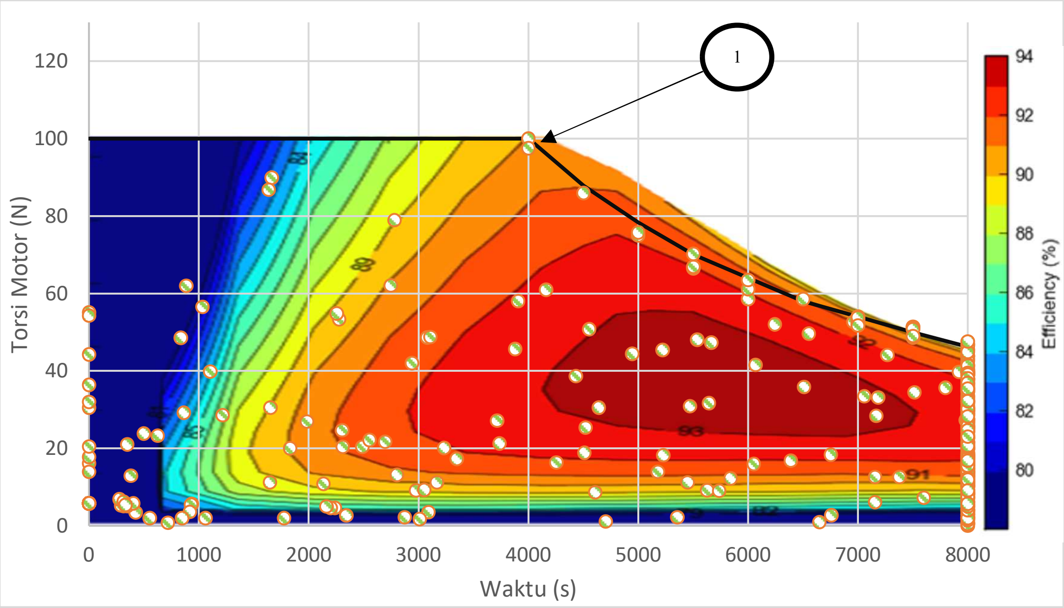
Gambar 4. 18 Grafik *Ratio* Optimum Kendaraan pada Kondisi Jalan tol

Dapat dilihat pada gambar 4.18 diatas, ratio terbesar kendaraan berada pada detik ke 13. Pada detik ini kendaraan berada pada kecepatan 13.58 m/s dengan *ratio* sebesar 3.98. *Ratio* terkecil terdapat pada detik ke 382 dengan kecepatan 20.85 m/s yaitu sebsar 0.759. Kendaraan pada detik ke 382 membutuhkan kecepatan yang lebih besar dan torsi yang lebih kecil sehingga ratio transmisi yang digunakan lebih kecil. Sedangkan pada detik ke 13 kendaraan membutuhkan torsi

yang lebih besar sehingga ratio yang digunakan lebih besar . Pada kondisi jalan tol, didapat besarnya rentang penggunaan *ratio* kendaraan adalah sebesar 0.759 – 3.98

4.4 Menentukan Daerah Kerja Motor Listrik

Setelah mendapatkan besarnya kecepatan putar motor listrik dan torsi yang dikeluarkan motor listrik setiap detik, maka dilakukan plot pada grafik bersamaan dengan graik karakteristik torsi motor dan efisiensi motor listrik. Dapat dilihat pada gambar 4.19 merupakan grafik daerah kerja motor listrik pengunaan perkotaan dan gambar 4.20 untuk penggunaan jalan tol. Daerah kerja motor listrik digunakan untuk mendapatkan besarnya efisiensi motor listrik yang bekerja disetiap detik *driving cyle*. Dengan menentukan daerah kerja motor listrik, didapat besarnya estimasi efisiensi motor listrik pada penggunaan daerah perkotaan dan jalan tol.

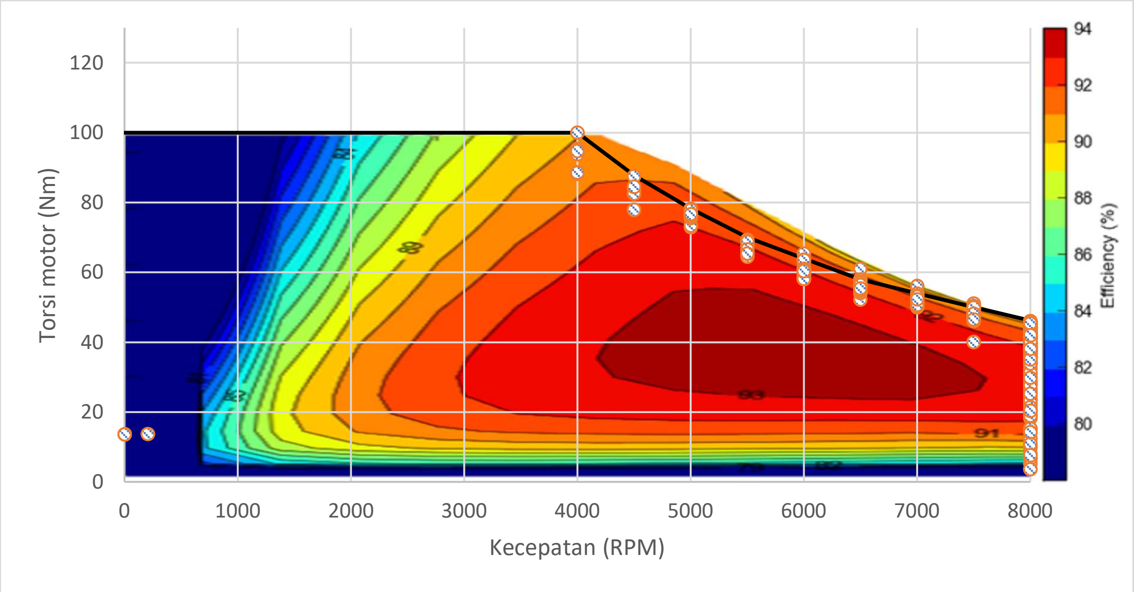


Gambar 4. 19 Grafik Daerah Kerja Motor Listrik Kondisi Perkotaan

Sebagai contoh pada titik 1 pada gambar diatas yang ditunjukkan pada tanda panah, merupakan salah satu titik dimana dianalisis untuk mendapatkan ratio dan putaran optimum. Detik tersebut merupakan kecepatan pada detik ke-659 pada *driving cycle*. Detik ke 659 mempunyai kecepatan 7.9 km/jam dengan torsi motor sebesar 97.53 Nm dan kecepatan putar motor sebesar 4365 rpm sebelum dilakukan optimasi. Berdasarkan karakteristik motor braja yang dapat dilihat di grafik pada gambar 4.19, putaran motor pada kecepatan 4365 rpm hanya memiliki torsi sekitar 90 Nm saja. Hal ini menyebabkan motor yang berputar pada kecepatan 4365 rpm tidak dapat memberikan kerja torsi yang seharusnya sebesar 97.53 N. Agar motor dapat bekerja pada torsi tersebut, maka putaran motor diperkecil hingga mencapai 4000 rpm, dimana pada putaran tersebut motor mempunyai torsi sebesar 100 Nm sehingga motor bekerja secara optimum untuk memenuhi kebutuhan torsi pada detik ke 659 sebesar 97.53 N. Kemudian dengan mengetahui besarnya torsi dan putaran optimum motor listrik, dapat diketahui besarnya ratio optimum kendaraan. Dimana ratio yang sebelumnya sebesar 1.79, kemudian setelah dilakukan optimalisasi berubah menjadi 3.81 agar motor dapat bekerja pada daerah kerja optimumnya.

Pada gambar 4.19 diatas dapat dilihat grafik daerah kerja motor listrik kondisi perkotaan. Diambil detik ke 660 dengan kecepatan 13.49 km/jam dengan putaran 4500 rpm dan torsi sebesar 85.96 Nm. Didapat besarnya ratio transmisi kendaraan adalah sebesar 2.3 dengan efisiensi motor sebesar 91%. Kemudian pada detik 325 dimana terjadi percepatan yang tinggi dan kecepatan pada

detik tersebut adalah 8.14 km/jam. Putaran motor yang bekerja adalah sebesar 4000 rpm dan torsi yang dikeluarkan motor adalah sebesar 100Nm. Ratio transmisi yang didapat sebesar 3.38 dan efisiensi yang bekerja pada motor listrik adalah sebesar 89%. Kemudian dihitung banyaknya siklus yang dioptimasi untuk mendapatkan *ratio* ideal cvt. Setelah dihitung dari total detik *driving cyle* pada perhitungan kondisi perkotaan, didapat yaitu sebanyak 475 detik dari total 900 detik *driving cycle* atau sebesar 52.7% siklus mengendarai dioptimasi untuk mendapatkan kerja motor yang optimum.



Gambar 4. 20 Grafik Daerah Kerja Motor Listrik Kondisi Jalan Tol

Pada gambar 4.20 dapat dilihat grafik daerah kerja motor listrik pada kondisi jalan tol. Diambil detik ke 67 saat kendaraan mengalami percepatan tertinggi yaitu sebesar 0.7184 m/s^2. Kendaraan pada detik 67 mempunyai kecepatan sebesar 80.2 km/jam dimana motor listrik berputar dengan kecepatan 4000 rpm dan torsi yang dikeluarkan motor adalah 100 Nm. Didapat besarnya ratio transmisi kendaraan adalah sebesar 1.238 dan efisiensi sebesar 89%. Kemudian diambil detik ke 308 dengan kecepatan 13.4 km/jam dimana motor listrik berputar dengan kecepatan 8000 rpm dimana motor listrik berputar dengna kecepatan 8000 rpm dan torsi yang dikeluarkan motor adalah sebesar 45.9 Nm. Didapat besarnya ratio kendaraan adalah sebesar 2.26 dan efisiensi motor sebesar 91% . Kemudian dihitung banyaknya siklus yang dioptimasi untuk mendapatkan *ratio* ideal cvt. Setelah dihitung dari total detik *driving cyle* pada perhitungan kondisi jalan tol, didapat yaitu sebanyak 357 detik dari total 419 detik *driving cycle* atau sebesar 85.2% siklus mengendarai dioptimasi untuk mendapatkan kerja motor yang optimum.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab 5 ini berisikan tentang kesimpulan yang diperoleh dari perhitungan dan perancangan Tugas Akhir, selain itu pada bab 5 ini juga berisikan tentang saran 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. Energi *regenerative* total yang didapat pada *driving cycle* kondisi jalan perkotaan yaitu sebesar 0.35 kWh dan pada jalan tol sebesar 0.273 kWh
2. Kontribusi *regenerative brake* yang didapat pada *driving cycle* kondisi perkotaan adalah sebesar 60% dan kontribusi *regenerative brake* pada *driving cycle* kondisi jalan tol adalah sebesar 42.8 %
3. Efisiensi *regenerative* brake pada *driving cycle* kondisi perkotaan adalah sebesar 51.8 % dan efisiensi *regenerative* brake pada *driving cycle* kondisi jalan tol adalah sebesar 23.6 %
4. Rentang ratio transmisi kendaraan pada *driving cycle* kondisi perkotaan adalah sebesar 0.8 – 4.39 dengan efisiensi daerah kerja motor listrik sebesar 78 – 93% dan pada *driving cycle* kondisi jalan tol sebesar 0.75 – 3.98 dengan efisiensi efisiensi daerah kerja motor listrik sebesar 89 – 92%

5.2 Saran

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

1. Diperlukan analisis lebih lanjut mengenai sistem kontrol yang akan mengatur aliran energi pada kendaraan saat melakukan regenerative braking
2. Diperlukan analisis lebih lanjut mengenai sistem motor generator yang digunakan pada kendaraan

DAFTAR PUSTAKA

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

Boyi , X., Huazhong , L., Hailin , W., Jiageng , R., & Nong , Z. (2017). *Enhanced Regenerative Braking Strategies for Electric Vehicles: Dynamic Performance and Potential Analysis*. 10-12.

Budiono, V. J. (2020). Tugas Akhir. Analisis rasio dan tingkat transmisi, sistem tenaga dan *Regenerative Braking* pada truk hybrid untuk mengangkut hasil perkebunan kelapa sawit.Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Mesin, Surabaya.

Chen , L., Ye , Y., & Yutong , L. (2014). *Regenerative Braking Control Algorithm for an Electrified Vehicle Equipped with a By-Wire Brake System*.

Harus, L. G. (2014). P*ower of Regenerative Braking with Kinetic Energy Recovery System* .

Najman, L. (2020). *How Temperature Effect EV Range.* 5-10.

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

Sutantra, I. N. (2018). Analisa Penggunaan *Regenerative Brake* pada Mobil Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik.

Un-Noor, F. (2017). *A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development*.

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)*.

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

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

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

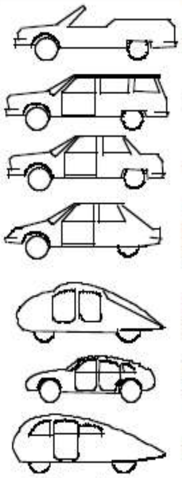
Mashadi, B., & Crolla, D. (2012). *Vehicle Power Train (1 Edition).* West Sussex: John Willey and Sons Ltd.

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

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

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

LAMPIRAN A

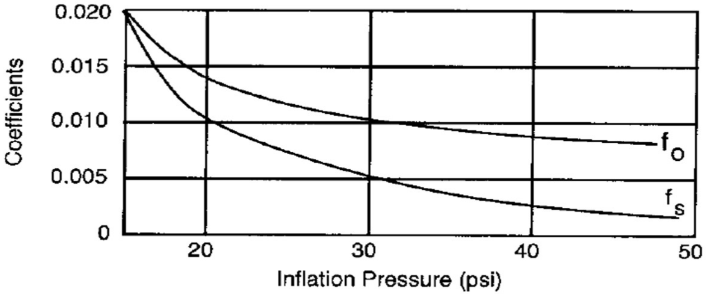


Vehicle Type	Coefficient of Aerodymanic Resistance
Open convertible	0.5–0.7
Van body	0.5–0.7
Ponton body	0.4–0.55
Wedge-shaped body; headlamps and bumpers are integrated into the body, covered underbody, optimized cooling air flow	0.3–0.4
Headlamp and all wheels in body, covered underbody	0.2–0.25
K-shaped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

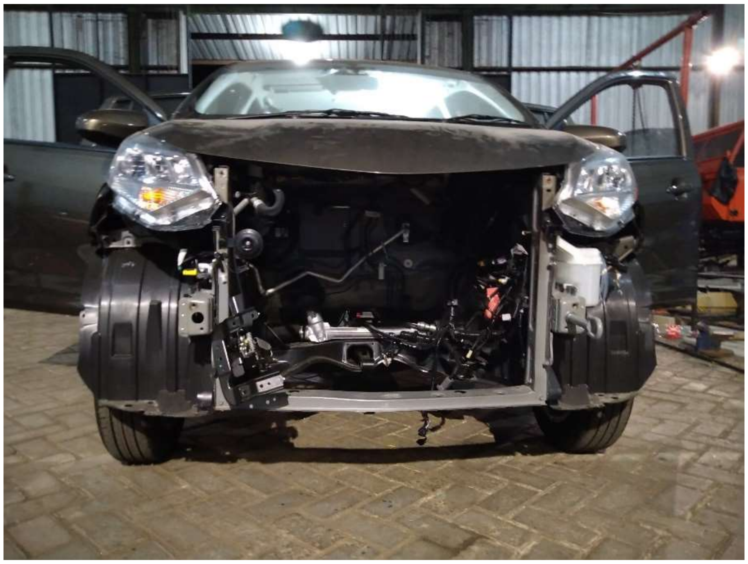
Condition	*Rolling Resistance Coefficient*
Car tires on a concrete or asphalt road	0.013
Car tires on a rolled gravel road	0.02
Tar macadam	0.025
Unpaved road	0.05
Field	0.1 – 0.35
Truck tire on a concrete or asphalt road	0.006 – 0.01
Wheel on iron rail	0.001 – 0.002

Gambar A.2 Koefisien Rolling Resistance Kendaraan



Gambar A.3 Pengaruh Tekanan Ban Terhadap Jalan

Gambar B.1 Tampak Samping Mobil Calya


Gambar B.2 Tampak depan Mobil Calya

Gambar B.3 Pelatakkan Baterai Bagian Belakang Mobil

BIODATA PENULIS

Randy Martua Nainggolan dilahirkan di Pangkalan Berandan , 28 Desember 1998 anak pertama yang terlahir dari orang tua bernama Osdiman Nainggolan dan Kartina Yuliana Panjaitan. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Xaverius 8 Palembang, SMP Xaverius 1 Palembang, dan SMA Xaverius 1 Palembang. Setelah lulus dari SMA Xaverius 1 Palembang pada tahun 2016 penulis melanjutkan ke jenjang perkuliahan S1 di Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS pada tahun 2016-2022.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non-akademik selama perkuliahan. Dalam kegiatan non akademik pada tahun kedua, penulis aktif menjadi panitia dari berbagai kegiatan di UKM ITS Badminton Community. Pada tahun terakhir, penulis mulai fokus pada penelitian tentang *regenerative braking* yang dibimbing oleh Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.

Penulis mempunyai motto hidup "*Di setiap kesulitan pasti ada jalan keluar*" yang membuat penulis berusaha untuk selalu optimis dalam menjalani hidup dan tidak mudah menyerah di setiap tantangan. Semua pesan atau informasi yang hendak disampaikan kepada penulis melalui email randymartua@yahoo.com.