

TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISA PENGGUNAAN *REGENERATIVE
BRAKE* PADA KENDARAAN *PLUG-IN HYBRID
(PHEV)***

MUSLICH AFFANDI
NRP 02111340000065

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISA PENGGUNAAN *REGENERATIVE BRAKE* PADA KENDARAAN *PLUG-IN HYBRID (PHEV)*

MUSLICH AFFANDI
NRP 0211134000065

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - TM 141585

ANALYSIS OF THE USE OF REGENERATIVE BRAKE IN PLUG-IN HYBRID VEHICLE (PHEV)

**MUSLICH AFFANDI
NRP 0211134000065**

**Advisory Lecturer
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020**

**ANALISA PENGGUNAAN REGENERATIVE BRAKE
PADA KENDARAAN PLUG-IN HYBRID (PHEV)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Muslich Affandi
NRP. 02111340000065

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir.

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D (Pembimbing)
NIP. 195106051978031002
2. Alief Wikarta, ST, M.Sc, Eng., Ph.D (Penguji I)
NIP. 198202102006041002
3. Agus Sigit Pramono, Ir, Dr. DEA (Penguji II)
NIP. 196508101991021001
4. Ir. Yusuf Kaelani M.Sc.E (Penguji III)
NIP. 196511031990021001

SURABAYA

JANUARY, 2020

ANALISA PENGGUNAAN *REGENERATIVE BRAKE* PADA KENDARAAN *PLUG-IN HYBRID (PHEV)*

Nama Mahasiswa : Muslich Affandi
NRP : 0211134000065
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc.,
Ph.D,

ABSTRAK

Kendaraan merupakan alat yang sangat penting dalam mobilitas masyarakat. Seiring meningkatnya jumlah penduduk, jumlah produksi kendaraanpun semakin meningkat. Sebagai gambaran, penjualan mobil pada 2017 mencapai 1,079 juta unit, naik hampir 150 persen dalam 10 tahun atau rata-rata 10 persen per tahun. Pada kurun yang sama, penjualan motor naik 33 persen, atau 3,3 persen per tahun. Namun meningkatnya produksi kendaraan tidak sejalan dengan ketersediaan bahan bakar minyak. Persediaan bahan bakar minyak didunia semakin menurun. Berdasarkan data dari BPPT, hampir sampai di batas sejak 1991, ditunjukkan bahwa produksi minyak Indonesia terus menurun. Pada 2018, pemerintah menargetkan produksi minyak sekitar 800 ribu barel per hari. Namun, hingga akhir Juli, data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa rata-rata produksi minyak masih di kisaran 773 ribu barel. Jumlah produksi ini jauh di bawah tahun 2017 yang masih di angka 949 ribu barel per hari. Jika penggunaan bahan bakar minyak tidak dikurangi, maka dalam beberapa tahun kedepan cadangan bahan bakar akan habis. Maka dari itu perlu alternatif energi lain yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan. Salah satunya adalah kendaraan hybrid. Keunggulan kendaraan hybrid dibandingkan dengan kendaraan konvensional adalah kendaraan hybrid lebih ramah lingkungan, karena selama penggunaannya, mobil hybrid

menggunakan energi listrik dan akan menggunakan engine saat dibutuhkan tenaga yang lebih besar. Umumnya kendaraan hybrid ditunjang dengan sistem regenerative brake. Sistem regenerative brake ini berguna untuk mengembalikan energi kinetik yang terbuang selama proses pengereman dan disimpan untuk digunakan kembali. Adanya sistem regenerative brake ini bertujuan untuk meningkatkan jarak tempuh kendaraan

Penelitian ini menganalisa penggunaan regenerative brake pada Kendaraan Plug-In Hybrid (PHEV) Toyota Prius. Mensimulasikan model pengereman regenerative brake pada software MatlabSimulink. Simulasi diawali dengan memodelkan gaya-gaya yang mempengaruhi perlambatan kendaraan sehingga didapat gaya pengereman. Dari gaya pengereman akhirnya didapat torsi pengereman dan dari torsi pengereman didapat daya pengereman. Daya pengereman yang akhirnya masuk ke generator untuk dikonversikan menjadi energi listrik dan disimpan pada baterai.

Dari penelitian besar efisiensi pada driving cycle I, II(Urban), III, IV(Highway) berturut turut adalah 76.27%; 60.37%; 57.55%; dan 19.72%. Kemudian besar kontribusi energy regenerative brake terhadap roadload horse power pada keempat driving cycle berturut-turut adalah 40%, 13.45%, 26.03% dan 5.2%

Kata kunci : Regenerative Brake, simulasi Matlab-Simulink, Energi Bangkitan

ANALYSIS OF THE USE OF REGENERATIVE BRAKE IN HYBRID PLUG-IN VEHICLE (PHEV)

Name : Muslich Affandi
NRP : 0211134000065
Major : Mechanical Engineering
Supervisor : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc., Ph.D,

ABSTRACT

The vehicle is a very important tool in community mobility. As the population is increasing, the number of vehicle production has also increased. As an illustration, car sales in 2017 reached 1.079 million units, up almost 150 percent in 10 years or an average of 10 percent per year. In the same period, motorcycle sales rose 33 percent, or 3.3 percent per year. But the increase in vehicle production is not in line with the availability of fuel oil. Inventories of fuel oil in the world are declining. Based on data from BPPT, it has almost reached the limit since 1991, showing that Indonesia's oil production continues to decline. In 2018, the government is targeting oil production of around 800 thousand barrels per day. However, until the end of July, data from the Ministry of Energy and Mineral Resources shows that the average oil production is still in the range of 773 thousand barrels. This amount of production is far below 2017 which is still 949 thousand barrels per day. If the use of fuel oil is not reduced, then in the next few years fuel reserves will be exhausted. Therefore another alternative energy is needed to drive the vehicle. One of them is a hybrid vehicle. The advantages of hybrid vehicles compared to conventional vehicles are hybrid vehicles are more environmentally friendly, because during their use, hybrid cars use electricity and will use the engine when more power is needed. Generally hybrid vehicles are supported with a regenerative brake system. This regenerative brake system is useful to restore

kinetic energy that is wasted during the braking process and stored for reuse. The existence of this regenerative brake system aims to increase vehicle mileage.

This study analyzes the use of regenerative brakes on Toyota Prius Plug-In Hybrid (PHEV) vehicles. Simulates the regenerative brake braking model in Matlab Simulink software. The simulation begins by modeling the forces that affect the vehicle slowdown so that braking force is obtained. From the braking force, finally the braking torque is obtained and the braking torque is the braking power. Braking power that finally enters the generator to be converted into electrical energy and stored in the battery.

From the research on driving cycle I, the available braking energy was 0.3722 kWh, regenerative energy absorbed was 0.2839 kWh and efficiency was 76.37%. In driving cycle II, the available braking energy is 1,217 kWh, regenerative energy absorbed is 0.7348 kWh and efficiency is 60.37%.

Keywords: Regenerative Brake, Matlab-Simulink simulation

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan penuh syukur penulis mengucapkan terima kasih atas segala kenikmatan yang telah diberikah Allah SWT sehingga tugas akhir dengan judul “Analisa Penggunaan *Regenerative Brake* Pada Kendaraan *Plug-In Hybrid (PHEV)*” dapat selesai sesuai dengan harapan penulis. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini, antara lain:

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra MSc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam memberikan masukan dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Mahmudi dan Ibu Siti Munawaroh selaku kedua orang tua saya, Muhajir Anshori dan Siti Hidayatunnisak selaku kakak-kakak saya serta seluruh keluarga besar di rumah yang selalu memberikan dukungan, doa dan segalanya kepada saya.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Eng,Sc., Ph.D selaku ketua Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Ibu Vivien Suphandani, ST, ME, PhD. selaku dosen wali saya terimakasih atas semua bantuan dan saran-saran yang telah diberikan.
5. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Mesin yang telah ramah kepada saya selama menempuh pendidikan di kampus yang tercinta.
6. Keluarga besar M56 selaku angkatan saya yang paling saya banggakan.
7. Kakak-kakak dan adik-adik saya dikampus yang saya cintai terimakasih atas segala ilmu dan kenangannya.
8. Keluarga Laboratorium Desain Otomotif atas bantuannya.

Akhir kata penulis berharap tugas akhir ini dapat berguna untuk semuanya. Saya meminta maaf apabila dalam tugas akhir ini masih ditemui banyak kesalahan. Kritik dan saran yang membangun penulis harapkan agar dapat memperbaiki diri kembali.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2 Perumusan masalah	2
1.3 Tujuan penelitian	2
1.4. Batasan masalah	3
1.5. Manfaat penelitian	3
BAB II	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Kendaraan Hybrid	6
2.2.2 Jenis Hybrid Electric Vehicle	7
2.2.3 Mode Operasi Dasar	12
2.2.4 Plug-In Electric Hybrid (PHEV)	13
2.2.5 Dinamika Kendaraan	14
2.2.6 Driving Cycle	17
2.2.7 Regenerative Braking	20
2.2.8 Komponen Kendaraan	22
BAB III	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.1.1 Data Kendaraan	29
3.1.2 Penentuan Driving Cycle	30

3.2	Konfigurasi Drivetrain Prius <i>Plug-In</i>	31
3.3	Diagram Alir Perhitungan	32
3.3.1	Diagram Alir Analisa Energi Pengereman yang Tersedia	32
3.3.2	Simulasi Model Kendaraan dengan Karakteristik <i>Driving Cycle</i>	33
3.3.3	Diagram Alir Mencari Efisiensi Sistem <i>Regenerative Brake</i>	37
4.1	Data Hasil Uji Jalan Kendaraan	39
4.2	Penentuan <i>Driving Cycle</i>	39
4.3	Contoh Perhitungan	43
4.3.1	Contoh Perhitungan Gaya Hambat Aerodinamis	43
4.3.2	Contoh Perhitungan Koefisien Gaya Hambat Rolling (Fr)	44
4.3.3	Contoh Perhitungan Gaya Hambat inersia	45
4.3.4	Contoh perhitungan Road Load Horse Power(RHP)	45
4.4	Analisa Energi Regeneratif pada tiap <i>Driving Cycle</i>	46
4.4.1.	Analisa Energi Regeneratif pada tiap <i>Driving Cycle I</i>	46
4.4.2.	Analisa Energi Regeneratif pada <i>Driving Cycle II</i>	48
4.4.3	Analisa Energi Regeneratif pada <i>Driving Cycle III</i>	50
4.4.4.	Analisa Energi Regeneratif pada tiap <i>Driving Cycle IV</i>	53

4.5.1. Analisa Kontribusi Regenerative Energi terhadap RHP pada driving cycle 1.....	60
4.5.2. Analisa Kontribusi Regenerative Energi terhadap RHP pada driving cycle 2.....	62
4.5.3. Analisa Kontribusi Regenerative Energi terhadap RHP pada driving cycle 3.....	63
4.5.4. Analisa Kontribusi Regenerative Energi terhadap RHP pada driving cycle 4.....	65
4.6. Rekap Moda kendaraan	66
BAB V	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Energi bangkitan pada porsi regenerative brake 0,03g.....	5
Gambar 2. 2 Hybrid Seri.....	8
Gambar 2. 3 Hybrid Parallel.....	10
Gambar 2. 4 Kendaraan Hybrid tipe Seri-Parallel.....	11
Gambar 2. 5 Toyota Prius PHEV 2017.....	14
Gambar 2. 6 Gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan.....	14
Gambar 2. 7 Driving cycle WLTC Class 3.....	19
Gambar 2. 8 Proses regenerative braking.....	21
Gambar 2. 9 Skema Toyota Hybrid System.....	22
Gambar 2. 10 Karakteristik mesin gasoline.....	23
Gambar 2. 11 Karakteristik motor listrik.....	24
Gambar 2. 12 Toyota's Power Control Unit.....	25
Gambar 2. 13 Baterai.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3. 2 Drivetrain Toyota Prius Plug-In.....	31
Gambar 3. 3 Diagram Alir Mencari Energi Bangkitan.....	32
Gambar 3. 4 Blok Simulink gabungan.....	33
Gambar 3. 5 Blok Simulink gaya perlambatan.....	34
Gambar 3. 6 Blok simulink gaya hambat drag.....	34
Gambar 3. 7 Blok Simulink Gaya Hambat Rolling.....	34
Gambar 3. 8 Blok Simulink Gaya pengereman.....	35
Gambar 3. 9 Blok Simulink Torsi Pengereman.....	35
Gambar 3. 10 Blok Simulink Putaran Motor.....	36
Gambar 3. 11 Blok Simulink Daya Pengereman.....	36
Gambar 3. 12 Blok Simulink Energi Bangkitan.....	36

Gambar 3. 13 Diagram Alir Mencari Efisiensi Sistem

Regenerative Brake	37
Gambar 4. 1 Driving Cycle 1	40
Gambar 4. 2 Driving Cycle 2	41
Gambar 4. 3 Driving Cycle 3	42
Gambar 4. 4 Driving Cycle 4	43
Gambar 4. 5 Luas Frontal Kendaraan.....	44
Gambar 4. 6 Energi Pengereman yang tersedia pada Driving Cycle I	46
Gambar 4. 7 Energi regenerative yang diserap pada Driving Cycle I	46
Gambar 4. 8 Energi Pengereman yang tersedia pada Driving Cycle II.....	48
Gambar 4. 9 Energi regenerative yang diserap pada Driving Cycle II	49
Gambar 4. 10 Energi Pengereman yang tersedia pada Driving Cycle III.....	50
Gambar 4. 11 Energi regenerative yang diserap pada Driving Cycle III.....	51
Gambar 4. 12 Energi Pengereman yang tersedia pada Driving Cycle III.....	53
Gambar 4. 13 Energi regenerative yang diserap pada Driving Cycle IV	53
Gambar 4. 14 Road Load Horsepower kendaraan pada DC I	60
Gambar 4. 15 Daya regenerative yang diserap pada Driving Cycle I	61
Gambar 4. 16 Road Load Horsepower kendaraan pada DC II	62
Gambar 4. 17 Daya regenerative yang diserap pada Driving Cycle II	62
Gambar 4. 18 Road Load Horsepower kendaraan pada DC III.....	63

Gambar 4. 19 Daya regenerative yang diserap pada Driving Cycle III.....	64
Gambar 4. 20 Road Load Horsepower kendaraan pada DC IV ..	65
Gambar 4. 21 Daya regenerative yang diserap pada Driving Cycle IV.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Rolling Resistance.....	17
Tabel 2. 2 Data Driving Cycle WLTP Class 3	19
Tabel 3. 1 Data Kendaraan	29
Tabel 4. 1 Contoh hasil data logger dari uji jalan kendaraan	39
Tabel 4. 2 Parameter Driving Cycle 1	39
Tabel 4. 3 Parameter Driving Cycle 2.....	40
Tabel 4. 4 Parameter Driving Cycle 3.....	41
Tabel 4. 5 Parameter Driving Cycle 4.....	42
Tabel 4. 6 Rekap Driving Cycle I.....	66
Tabel 4. 7 Rekap Driving Cycle II	67
Tabel 4. 8 Rekap Driving Cycle III.....	67
Tabel 4. 9 Rekap Driving Cycle IV.....	67

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Kendaraan konvensional yang menggunakan mesin pembakaran dalam telah terbukti memiliki keandalan dan jarak tempuh yang baik dengan mengkonversi bahan bakar yang cukup tinggi tetapi juga memiliki efek negatif seperti pemborosan bahan bakar dan polusi udara. Sedangkan pada kendaraan listrik yang menggunakan battery memiliki beberapa keuntungan seperti efisiensi energi yang tinggi dan tidak menyebabkan polusi udara, tetapi keandalannya terutama pada jarak tempuh jauh lebih rendah daripada kendaraan konvensional yang menggunakan mesin pembakaran dalam. *Hybrid Electric Vehicle* merupakan solusi dari beberapa permasalahan yang telah disebutkan sebelumnya, kendaraan ini adalah penggabungan dari kedua kendaraan diatas yang menggunakan dua sumber tenaga sehingga memiliki dua keunggulan dari kendaraan mesin pembakaran dalam dan kendaraan listrik

Hybrid Electric Vehicle beroperasi dengan menggunakan dua sumber tenaga, yang pertama berasal dari mesin pembakaran dalam yang berbahan bakar bensin ataupun solar dan sumber tenaga yang kedua berasal dari battery beserta motor listrik sebagai penggeraknya. Penggunaan kedua sumber tenaga tersebut dapat menghemat bahan bakar dalam jumlah yang berarti, karena pada menghemat bahan bakar dalam jumlah yang berarti, karena pada *hybrid Electrical Vehicle* hanya membutuhkan mesin pembakaran dalam yang berkapasitas relative kecil ditambah dengan kemampuan *regenerative braking* yang dapat menyuplai kembali energi kedalam baterai untuk digunakan sebagai sumber energi bagi

motor listrik. Selain itu, keandalan yang sebelumnya menjadi suatu masalah bagi pengembangan *Electric vehicle* dapat teratasi karena pemasangan mesin pembakaran dalam dapat dipertahankan walaupun tidak sebesar kendaraan konvensional pada umumnya

Salah satu keunggulan dari *hybrid Electrical Vehicle* adalah fitur *Regenerative Braking* adalah proses pengereman oleh sistem pengereman elektrik yang mengakibatkan kendaraan mengalami penurunan kecepatan dan kemudian menyerap energi kinetik yang mengalir pada kendaraan tersebut, lalu dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator.

1.2 Perumusan masalah

1. Berapakan besar energi yang bisa dibangkitkan pada satu siklus *driving cycle* ?
2. Bagaimana perbandingan energi bangkitan *regenerative brake* saat mode motor listrik dan mode *hybrid* ?
3. Berapakah besar efisiensi sistem *regenerative brake* ?
4. Berapakah kontribusi energy *regenerative brake* terhadap *Road Load Horse Power* kendaraan ?

1.3 Tujuan penelitian

2. Berapakan besar energi yang bisa dibangkitkan pada satu siklus *driving cycle* ?
3. Bagaimana perbandingan energi bangkitan *regenerative brake* saat mode motor listrik dan mode *hybrid* ?
4. Berapakah besar efisiensi sistem *regenerative brake* ?

1.4. Batasan masalah

1. Parameter kendaraan menggunakan spesifikasi kendaraan Toyota Prius PHEV
2. *Driving cycle* yang digunakan adalah *driving cycle* hasil pengujian lapangan pada kegiatan Comprehensive Study & Research on Electrified *Vehicle* oleh dosen jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya
3. Analisa dan perhitungan tidak mencakup system transmisi kendaraan
4. Analisa dan perhitungan tidak mencakup controller dan actuator
5. Tidak ada loses dari torsi, daya dan energi yang mengalir pada generator.

1.5. Manfaat penelitian

Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini adalah:

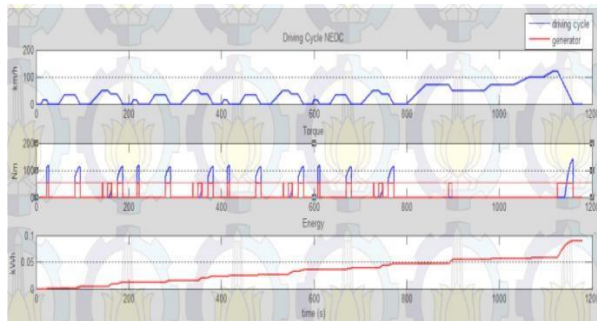
1. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dalam dunia otomotif
2. Penelitian pada tugas akhir ini dapat menjadu referensi untuk membuat rancangan system *regenerative braking* yang lebih baik lagi
3. Penelitian pda tugas akhir ini dapat menjadi dasar untuk mengembangkan *hybrid Electric vehicle* buatan dalam negeri

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penggunaan *regenerative brake* sebelumnya telah diteliti oleh Gito Wijaya pada tahun 2014 dengan tugas akhir berjudul “Analisa Gaya Pengereman dan Energi yang Dibangkitkan dengan Porsi *Regenerative Braking*”. Pada tugas akhir ini dicari porsi *regenerative braking* yang cocok pada kendaraan GEA *passenger car*. Penelitian dilakukan berdasarkan *driving cycle NEDC* dan disimulasikan pada *software Matlab-Simulink*.



Gambar 2. 1 Energi bangkitan pada porsi *regenerative brake* 0,03g

Hasilnya dalam satu siklus *driving cycle NEDC*, daya yang mampu dibangkitkan sebesar 2666 Watt dengan nilai energi bangkitan 0,08924 kWh dengan porsi *regenerative brake* sebesar 0,03 g yang didesain beroperasi pada awal proses pengereman dan terletak pada roda bagian depan. Selain itu dari penelitian ini didapatkan juga porsi pengereman mekanik pada roda bagian depan 0,65 g dengan torsi pengereman minimum sebesar 1111,04136Nm, sedangkan pada roda bagian belakang

sebesar 0,22 g dengan torsi pengereman minimum sebesar 376,0447Nm.

Penelitian lain adalah tugas akhir oleh Pradipta Bintang Perdana pada tahun 2018 dengan tugas akhir berjudul “Analisa Penggunaan *Regenerative Brake* pada Mobil Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik”. Pada tugas akhir ini dibahas bagaimana menentukan besar gaya dan porsi rem mekanis serta *regenerative braking* pada mobil multiguna pedesaan pada mobil Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik, serta menghitung energi bangkitan yang bisa ditangkap dan disimpan oleh baterai. Penelitian dilakukan berdasarkan *driving cycle WLTP class 1* dan disimulasikan pada *software Matlab-Simulink*.

Hasilnya, porsi *regenerative braking* pada mobil multiguna pedesaan bertenaga listrik bervariasi sesuai dengan koefisien gesek jalan antara 0,0776 pada koefisien gesek jalan 0,5 hingga 0,1241 pada koefisien gesek jalan 0,8. Porsi pengereman mekanis pada roda depan juga bervariasi mengikuti koefisien gesek jalan. Sementara porsi pengereman mekanis pada roda belakang tidak diperlukan. Energi bangkitan yang mampu dibangkitkan sistem *regenerative brake* dan disimpan pada baterai dalam satu siklus *driving cycle WLTP* kelas 1 adalah sebesar 1,738 kWh pada koefisien gesek jalan 0,8. Efisiensi sistem *regenerative brake* yang dirancang pada mobil multiguna pedesaan bertenaga listrik ini sebesar 51,74%

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kendaraan *Hybrid*

Kendaraan yang memiliki dua atau lebih sumber daya disebut dengan kendaraan *hybrid*. Kendaraan *hybrid* merupakan penggabungan dari keunggulan kendaraan yang menggunakan mesin pembakaran dalam dan kendaraan listrik, agar dihasilkan kendaraan yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan. Mesin bensin menyediakan sebagian besar daya

kendaraan, dan motor listrik memberikan daya tambahan saat diperlukan pada awal dijalankannya kendaraan serta untuk memberikan daya tambahan saat mempercepat kendaraan. Ini memungkinkan mesin pembakaran internal yang lebih kecil dan lebih efisien untuk digunakan dan dioperasikan di dekat kisaran efisiensi optimalnya. Tenaga listrik untuk motor listrik dihasilkan tidak hanya dari mesin tetapi juga dari pengereman regeneratif yang mengubah energi yang terbuang dari pengereman menjadi listrik dan menyimpannya dalam baterai

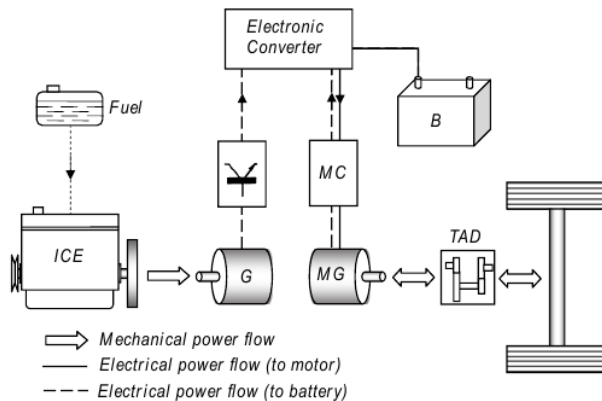
2.2.2 Jenis *Hybrid Electric Vehicle*

Kendaraan listrik hibrida (HEV) adalah kendaraan yang dilengkapi dengan mesin pembakaran internal dan listrik motor. Kendaraan hibrida dapat dirancang dalam berbagai jenis, beragam teknologi mulai dari itu menggunakan mesin pembakaran internal sebagai tenaga penggerak utama dan yang menggunakan motor listrik sebagai tenaga utama sumber mengemudi. Hal ini membuatnya sulit untuk mengelompokkan kendaraan hibrid ke dalam satu kategori dan ada kemungkinan bahwa kendaraan hibrid yang lebih beragam akan dikembangkan di masa depan, sebagai teknologi hibrida yang lebih maju.

2.2.2.1 *Series Hybrid*

Dalam kendaraan hibrida seri, motor listrik bertanggung jawab untuk mendorong kendaraan. Listrik yang diperlukan energi pada dasarnya dihasilkan oleh generator yang digerakkan secara mekanis oleh mesin IC. Jadi, dalam tipe ini dari sistem *hybrid*, sumber energi utama masih merupakan bahan bakar fosil yang digunakan oleh mesin IC lalu diubah menjadi energi listrik yang disimpan dalam kemasan baterai atau secara langsung menggerakkan listrik motor yang

menggerakkan kendaraan. Ini berarti bahwa dalam kendaraan hibrid jenis ini, mesin IC yang dipasang tidak tidak menggerakkan kendaraan secara langsung atau secara mekanis. Tenaga mekanik dari mesin (ICE) menggerakkan generator dan hasilnya arus listrik diperbaiki, melalui konverter elektronik kemudian digunakan untuk mengisi daya baterai atau menggerakkan motor listrik yang juga dapat berfungsi sebagai generator. Motor dikendalikan oleh tenaga perangkat elektronik yang disebut dengan pengontrol motor. Tenaga mekanis yang dihasilkan oleh motor biasanya menggerakkan kendaraan melalui perangkat penguat torsi yang terpasang pada roda misalnya transmisi, gigi reduksi atau *final drive*.



Gambar 2. 2 *Hybrid Seri*

Dapat dikatakan bahwa konversi tenaga mesin IC menjadi tenaga listrik dan kemudian kembali ke tenaga mekanik akan menghasilkan lebih banyak daya yang hilang dibandingkan dengan kendaraan konvensional dengan mesin serupa. Ini secara umum benar, namun, ada dua alasan yang mungkin membuat seri hibrida lebih efisien daripada kendaraan

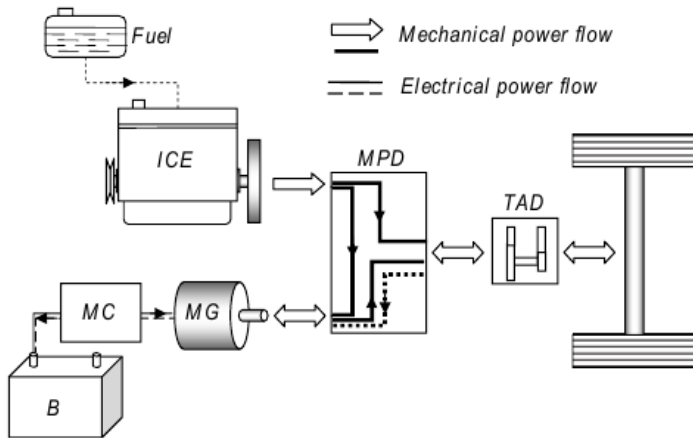
konvensional. Salah satunya adalah kekuatan regeneratif yang diperoleh dari kendaraan, energi kinetik atau potensial (mis. kekuatan pengereman atau gravitasi). Manfaat lain dari seri *hybrid* kendaraan adalah kemandirian operasi mesin pada beban dan kecepatan kendaraan sesaat yang memungkinkan mesin bekerja di bawah kondisi yang paling efisien. Namun, kelemahan dari seri *hybrid* kendaraan adalah motor listrik besarnya yang merupakan satu-satunya sumber daya traktif. Daya regeneratif diperoleh dari daya listrik yang dihasilkan oleh MG ketika digerakkan oleh roda selama perjalanan pengereman atau menurun. MG bertindak sebagai generator, dan arus listrik (putus-putus) diserap oleh baterai jika belum terisi penuh. Ini dua arah

2.2.2.2 Hibrida Paralel

Tipe hibrid paralel menggunakan dua aliran daya mekanis yang berbeda untuk mendorong kendaraan. Kekuatan mekanik salah satu dari dua sumber dapat menggerakkan roda secara individual atau kedua sumber dapat bekerja secara bersamaan dan paralel. Koneksi dari dua kekuatan mekanik dilakukan dalam MPD, yaitu perangkat distribusi yang mengontrol pemisahan kerja dengan cara yang berbeda. Tenaga mekanis dari mesin dapat sepenuhnya disuplai ke mengemudi roda atau pada saat yang sama ke MG (dalam mode generator). Output mekanis dari MG (di motor mode) sendiri, dapat dikirim ke roda atau dapat ditambahkan ke output ICE. Dalam mode regeneratif, tombol tenaga mekanik dari roda menggerakkan MG (dalam mode generator) dan energi listrik dipasok ke baterai. Dengan kata lain, dalam sistem *hybrid* paralel, sistem mekanis harus menggabungkan perangkat yang menggabungkan daya dan skema regenerasi sehingga kendaraan dapat didorong oleh kombinasi apa saja dari dua

sumber dan agar baterai dapat diisi ulang oleh mesin atau oleh energi kinetik kendaraan.

Satu keuntungan dari tata letak *hybrid* paralel adalah kehilangan konversi energi yang lebih rendah karena, tidak seperti konfigurasi seri, tenaga mesin langsung ditransfer ke roda penggerak. Namun, koneksi langsung engine ke roda juga dapat dianggap sebagai kerugian karena operasi mesin sementara terkait dalam kondisi kerja yang tidak efisien. Selain itu, koneksi langsung engine ke roda penggerak membutuhkan transmisi yang tidak ada dalam seri case. Dalam hal komponen listrik, dalam hal ini, hanya satu MG yang digunakan sedangkan dalam konfigurasi seri ada generator tambahan

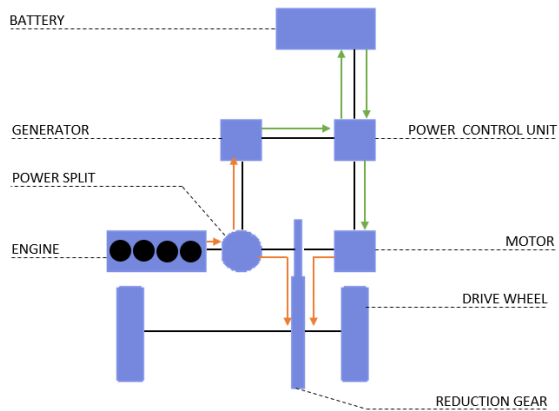


Gambar 2.3 *Hybrid Parallel*

2.2.2.3 Hibrid Seri-Paralel

Konfigurasi hibrid seri-paralel (SPH) adalah tata letak yang paling umum di mana manfaat keduanya tata letak seri dan

paralel diintegrasikan ke dalam sistem gabungan. Dalam SPH kendaraan harus bisa bekerja dalam mode seri dan paralel. Dalam mode seri, traksi dihasilkan oleh motor listrik dan tenaga mesin hanya digunakan untuk mengisi ulang baterai. Untuk alasan ini, generator harus disertakan desain. Dalam mode paralel, mesin IC dan motor listrik dapat bekerja secara mandiri atau bersama-sama. Selain itu, mesin IC dapat berkontribusi daya traktif serta mengisi ulang baterai. Kombinasi ini



memanfaatkan rentang efisiensi motor listrik pada rentang

Gambar 2. 4 Kendaraan *Hybrid* tipe Seri-Paralel

kecepatan rendah kendaraan, dan mesin IC bekerja di rentang kecepatan gerak kendaraan yang lebih tinggi. Berbagai tata letak dapat ditemukan untuk konfigurasi HSP tergantung pada kekuatan mekanik sistem porsi (MPD) yang terlibat. Distributor tenaga mekanik dapat digunakan untuk menggabungkan kekuatan mekanis ICE dan MG serta pemisahan daya untuk penggunaan generator. Atau, MPD dapat digunakan antara ICE dan generator, sambil menghubungkan motor langsung ke

driveline. Perangkat amplifikasi torsi (TAD) seperti transmisi atau reduksi gigi dapat ditempatkan sebelum atau sesudah MPD.

2.2.3 Mode Operasi Dasar

Baik kendaraan listrik hibrida seri dan paralel menyediakan beberapa mode operasi tergantung pada ketersediaan sumber daya. Filosofi utama dalam menggunakan berbagai mode operasi adalah untuk menjaga penggunaan energi serendah mungkin. Oleh karena itu tujuannya adalah penggunaan yang optimal dari ketiga sumber energi (bahan bakar fosil, baterai dan energi mekanik kendaraan). Biasanya saat kendaraan sedang dimulai, ICE dimatikan dan energi listrik bertindak sebagai sumber penggerak. ICE mengambil alih kerja kendaraan pada kecepatan jelajah dan selama akselerasi berat atau ketika daya tambahan dibutuhkan, energi listrik juga digunakan untuk mendorong kendaraan. Ketika kendaraan berhenti selama lebih dari periode tertentu, saat itu ICE dimatikan secara otomatis sehingga energi tidak terbuang sia sia. Dalam kasus ini, baterai terus menyalakan daya sistem aksesori, seperti AC dan listrik di dalam kendaraan. Mode operasi dasar dapat dicantumkan sebagai berikut:

1. Mode ICE Murni (khusus Engine): Dalam mode ini, ICE menghasilkan tenaga penuh untuk menggerakkan kendaraan dan tidak ada daya yang digunakan dari baterai.
2. Mode murni listrik (Khusus listrik): Dalam mode ini, ICE tidak menghasilkan daya (dimatikan) dan daya penuh untuk gerak kendaraan diambil dari baterai.
3. Mode *hybrid*: Kekuatan untuk gerakan kendaraan dalam mode ini diambil secara bersamaan dari ICE dan baterai.

4. ICE plus mode pengisian: Dalam mode operasi ini, ICE tidak hanya menghasilkan daya untuk kendaraan gerak, tetapi juga untuk mengisi ulang baterai.

5. Mode regenerasi: Energi kinetik kendaraan selama pengereman (atau energi potensial selama gerakan menurun) dapat digunakan untuk memutar motor listrik dan menghasilkan listrik. Menggunakan energi dari roda untuk memutar motor memperlambat kendaraan ke bawah. Energi ini diproduksi ketika baterai dapat menerimanya dan disimpan untuk digunakan nanti dalam mode listrik atau hibrida. Dalam mode ini, ICE mati dan baterai diisi oleh MG dalam mode generatornya.

6. Mode pengisian daya: Ada beberapa kasus ketika kendaraan macet dan tidak ada daya yang digunakan untuk gerakannya. Dalam keadaan ini jika baterai perlu diisi ulang, maka ICE dihidupkan untuk menghidupkan generator dan daya baterai diisi.

7. Mode pengisian daya *hybrid*: Dalam hal ini baterai memerlukan lebih banyak energi pengisian daya daripada yang tersedia melalui regenerasi dan unit generator ICE juga akan berkontribusi untuk menghasilkan listrik selama pengereman.

2.2.4 *Plug-In Electric Hybrid (PHEV)*

Kendaraan listrik (EV), yang menggunakan baterai sebagai satu-satunya sumber energi, harus terhubung ke jaringan listrik untuk mengisi ulang baterai mereka. HEV bergantung pada energi dari bahan bakar fosil dan baterainya dibebankan oleh generator yang digerakkan oleh ICE. Kendaraan hibrida yang juga dapat menerima daya listrik dari jaringan untuk mengisi baterainya disebut 'kendaraan listrik hibrida *Plug-In*' atau singkatnya PHEV. Ukuran baterai menentukan kisaran kendaraan yang dapat dicapai dalam mode

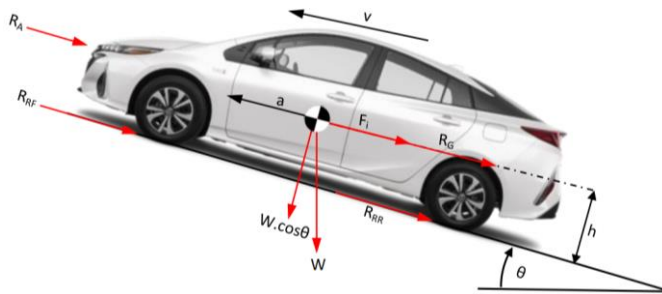
listrik. Oleh karena itu, PHEV membutuhkan kemasan baterai yang lebih besar bila dibandingkan dengan HEV lain untuk meningkatkan jangkauan kerja baterai mereka. Selain meningkatkan kapasitas baterai, modifikasi pengontrol kendaraan dan sistem manajemen energi juga diperlukan. Selain itu, karena biaya listrik yang lebih rendah pada malam hari, pengisian ulang baterai di malam hari akan menguntungkan tidak hanya bagi pemilik kendaraan, tetapi juga bagi penyedia listrik.



Gambar 2. 5 Toyota Prius PHEV 2017

2.2.5 Dinamika Kendaraan

Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah kendaraan yang sedang melaju pada sebuah permukaan dengan sudut tanjok tertentu dapat dijabarkan dalam gambar 2.6 berikut,



Gambar 2. 6 Gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan

Gaya dorong kendaraan (F_t) adalah gaya yang dihasilkan oleh sumber daya kendaraan pada poros penggerak. Berdasarkan pada gambar 2.6, sesuai dengan tujuannya agar dapat memenuhi *driver demand*, gaya dorong kendaraan harus lebih besar daripada gaya hambatnya. Gaya dorong (F_t) dibagi menjadi dua yaitu F_f (gaya dorong pada roda depan) dan F_r (gaya dorong pada roda belakang). Sedangkan gaya hambat adalah gaya yang menghambat laju dari kendaraan, diantaranya yaitu drag force, *rolling resistance* serta gaya hambat kendaraan akibat sudut tanjak.

2.2.5.1 Gaya Hambat Aerodinamis (*Drag Force*)

Gaya hambat yang dialami oleh kendaraan yang sedang melaju akibat adanya aliran udara dalam arah horizontal dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan disebut dengan gaya hambat aerodinamis (*drag force*). Pada dasarnya, terdapat beberapa jenis gaya hambat angin (*drag force*) pada kendaraan yaitu gaya hambat bentuk, hambatan pusaran, hambatan tonjolan, serta hambatan aliran dalam. Namun pada kenyataannya, hanya hambatan bentuk dan hambatan pusar yang paling besar pengaruhnya terhadap gaya hambat secara keseluruhan. Dengan demikian besarnya gaya hambat aerodinamis (*drag force*) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_d A_f V_a^2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

- R_a = gaya hambatan aerodinamis (N)
- ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
- C_d = koefisien *drag*
- A_f = luas frontal kendaraan (m^2)
- V_a = kecepatan relatif angin terhadap kendaraan (m/s)

Pada umumnya, dalam proses produksi dari modal badan kendaraan selalu memperhatikan dua aspek penting, yaitu aspek estetik serta juga aspek desain yang berkaitan dengan koefisien hambat aerodinamis (C_d) dari kendaraan. Toyota Prius PHV keluaran tahun 2017 sendiri memiliki koefisien hambat aerodinamis (C_d) sebesar 0,25.

2.2.5.2 Rolling Resistance Force

Gaya hambat ini bekerja diantara roda kendaraan dan lintasan yang dilalui oleh kendaraan tersebut. Terdapat hubungan linear antara *rolling force* (F_r) dan berat kendaraan (W), yang dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$F_r = f_r \cdot W \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

F_r = Gaya *Rolling* (N)

f_r = koefisien hambat rolling

W = berat total (N)

Dimana koefisien hambatan rolling (f_r) memiliki nilai yang berbeda-beda tergantung lintasan yang dilalui kendaraan.

2.2.5.3 Grading Resistance Force

Gaya hambat initerjadi pada saat kendaraan melalui lintasan yang menanjak atau menurun, nilainya berhubungan dengan sudut kemiringan lintasan tersebut, dapat dilihat pada persamaan berikut ini

$$F_g = m \cdot g \cdot \sin\theta \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana pada penelitian ini diasumsikan kendaraan melaju pada lintasan yang datar atau θ bernilai 0, sehingga $\sin \theta$ bernilai 0 pula.

Tabel 2. 1 Koeffisien *Rolling Ressistance*

Road surface	Rolling resistance coefficient f_R
<i>Firm road surface</i>	
Smooth tarmac road	0.010
Smooth concrete road	0.011
Rough, good concrete surface	0.014
Good stone paving	0.020
Bad, worn road surface	0.035
<i>Unmade road surface</i>	
Very good earth tracks	0.045
Bad earth tracks	0.160
Tracked tractor on acre soil	0.070–0.120
Clamp wheels on acre soil	0.140–0.240
Loose sand	0.150–0.300

2.2.5.4 Acceleration Force

Gaya hambat percepatan (F_a) terjadi pada saat kendaraan mengalami proses acceleration ataupun pada saat kendaraan tersebut mengalami pengereman yang disebabkan oleh gaya inersia. Massa kendaraan (m) dan *acceleration* atau *deceleration* (a) menjadi faktor yang menentukan nilai *acceleration force*, seperti pada persamaan berikut ini.

$$F_a = m \cdot a \dots \dots \dots (2.4)$$

2.2.6 Driving Cycle

Driving Cycle adalah sekumpulan data yang menggambarkan hubungan antara kecepatan dan waktu berkendara. *Driving Cycle* biasa digunakan untuk memprediksi performa kendaraan dan konsumsi bahan bakar. Sebenarnya

banyak *driving cycle* yang sering digunakan pada penelitian seperti NEDC buatan Eropa, JC08 buatan Jepang, FTP 72/75 buatan Amerika, serta yang paling baru WLTP yang dibuat oleh para ahli dari Uni Eropa, Jepang, dan India dengan berdasar pada UNECE World Forum for Harmonization of *Vehicle Regulations Worldwide harmonized Light Vehicles Test Procedure* (WLTP) adalah *driving cycle* paling terbaru yang dirilis pada bulan Oktober 2015. WLTP menggantikan posisi NEDC yang dahulu sering digunakan. *Driving Cycle* WLTP memiliki keuntungan antara lain lebih sesuai dengan keadaan mengemudi sebenarnya, lebih banyak macam situasi dalam mengemudi, jarak yang lebih panjang, rata-rata kecepatan dan kecepatan maksimal yang lebih tinggi, rata-rata tenaga dan tenaga maksimal yang lebih tinggi, serta akselerasi dan deselerasi yang lebih dinamis dan representatif.

Prosedur uji memberikan panduan yang ketat mengenai kondisi uji dinamometer dan beban jalan (*motion resistance*), perpindahan gigi, berat mobil total (dengan memasukkan peralatan opsional, kargo dan penumpang), kualitas bahan bakar, suhu lingkungan, dan pemilihan dan tekanan ban.

Tiga siklus uji WLTC yang berbeda diterapkan, tergantung pada kelas kendaraan yang didefinisikan oleh rasio bobot daya PW_r dalam kW / Tonne (daya mesin / berat):

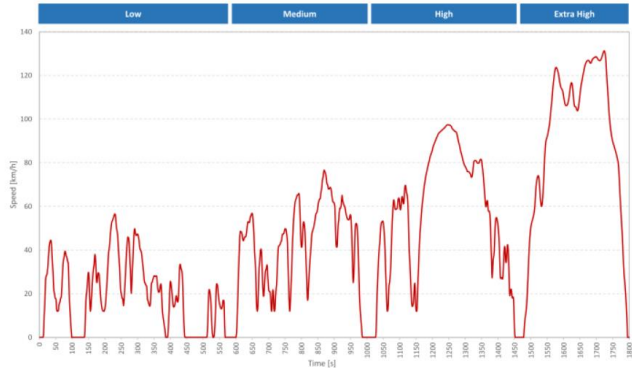
Kelas 1 - kendaraan berdaya rendah dengan $PW_r \leq 22$;

Kelas 2 - kendaraan dengan $22 < PW_r \leq 34$;

Kelas 3 - kendaraan berdaya tinggi dengan $PW_r > 34$;

Di setiap kelas, ada beberapa tes mengemudi yang dirancang untuk mewakili operasi kendaraan dunia nyata di jalan perkotaan dan ekstra perkotaan, jalan raya, dan jalan bebas hambatan. Durasi setiap bagian tetap di antara kelas, namun kurva percepatan dan kecepatan dibentuk secara

berbeda. Urutan tes selanjutnya dibatasi oleh kecepatan kendaraan maksimum (V_{max}).



Gambar 2. 7 *Driving cycle WLTC Class 3*

Tabel 2. 2 *Data Driving Cycle WLTP Class 3*

	Low	Medium	High	Extra high	Total
Duration, s	589	433	455	323	1800
Stop duration, s	150	49	31	8	235
Distance, m	3095	4756	7162	8254	23266
% of stops	26.5%	11.1%	6.8%	2.2%	13.4%
Maximum speed, km/h	56.5	76.6	97.4	131.3	
Average speed without stops, km/h	25.3	44.5	60.7	94.0	53.5
Average speed with stops, km/h	18.9	39.4	56.5	91.7	46.5
Minimum acceleration, m/s^2	-1.5	-1.5	-1.5	-1.44	
Maximum acceleration, m/s^2	1.611	1.611	1.666	1.055	

Driving Cycle Class 1 ini meliputi beberapa perlambatan dan percepatan dengan percepatan maksimal

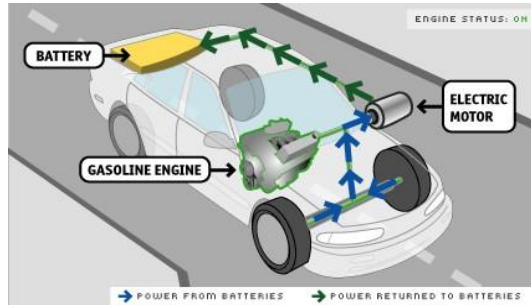
sebesar $0,8 \text{ m/s}^2$ dan perlambatan maksimal sebesar 1 m/s^2 . Percepatan yang terjadi pada satu siklus *driving cycle ini* sebanyak 16 kali dan perlambatan yang terjadi sebanyak 12 kali dengan pengereman penuh sebanyak 6 kali.

2.2.7 Regenerative Braking

Salah satu hukum alam yang sangat penting untuk dipahami adalah bahwa apa pun yang bergerak atau bekerja adalah bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan. Namun hanya dapat dipindahkan dari satu titik ke titik lain, atau diubah dari satu bentuk energi ke yang lain. Ini adalah hukum kritis untuk dipertimbangkan ketika mencoba memahami efisiensi kendaraan penggerak listrik. Mesin pembakaran internal adalah mesin yang sangat digemari tetapi sangat tidak efisien (artinya banyak energi yang terbuang sia-sia). Meskipun ada beberapa kehilangan energi dengan penggerak listrik, jumlahnya sangat rendah jika kendaraan dirancang dengan benar. Salah satu kunci efisiensi keseluruhan dari kendaraan penggerak listrik disebut pengereman regeneratif

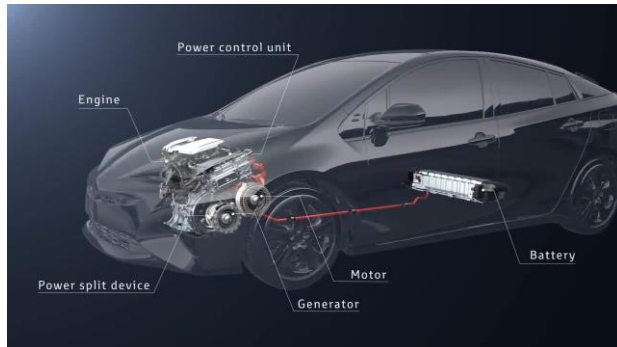
Saat suatu kendaraan melakukan proses pengereman maka akan selalu adasejumlah energi yang hilang dari kendaraan tersebut. Ketika kendaraan berjalan dengan kondisi fluktuatif secara terus menerus maka akan lebih banyak lagi energi yang hilang akibat proses pengereman yang berulang-ulang. Desain pengereman yang harus dipenuhi pada kendaraan *hybrid* adalah untuk mendapatkan kembali sebanyak mungkin energi pengereman yang biasanya terbuang. Desain *regenerative braking* akan mengacu kepada Analisa kebiasaan pengereman dan karakteristik kendaraan seperti kecepatan kendaraan, energi pengereman, penurunan kecepatan dan juga *driving cycle*. Proses energi kinetic yang berasal dari roda kendaraan saat melakukan perlambatan, energi kinetic tersebut

yang akan dikonversikan menjadi suatu daya dan ditampung di dalam baterai.



Gambar 2. 8 Proses *regenerative braking*

Sistem *regenerative braking* pada kendaraan *hybrid* tipe parallel pada umumnya hampir sama dengan system pengereman pada kendaraan terbagi menjadi system pengereman mekanik dan system pengereman elektrik, dimana system pengereman elektriknya diletakkan langsung pada roda penggerak. Sama seperti pada kendaraan konvensional, system pengereman mekanik pada kendaraan *hybrid* juga menggunakan master cylinder dan booster, memiliki *brake caliper* dan *brake disc*, pada sebagian tipe kendaraan *hybrid* juga ada yang dilengkapi *ABS controller and actuator* dan besar gaya pengereman yang dihasilkan dikontrol oleh pengemudi kendaraan tersebut. Pada dihasilkan dikontrol oleh pengemudi kendaraan tersebut. Pada system pengereman elektrik, motor listrik langsung mendistribusikan torsi pengereman ke bagian roda penggerak yang dikontrol oleh suatu controller pada kendaraan yang besarnya tergantung dari kecepatan kendaraan dan posisi pedal pengereman dipengaruhi oleh kecepatan dan perlambatan kendaraan yang menjadi nilai acuan controller pada motor listrik dalam system pengereman elektrik



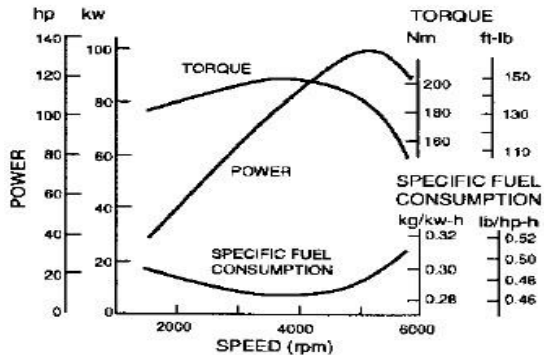
Gambar 2. 9 Skema Toyota *Hybrid System*

2.2.8 Komponen Kendaraan

2.2.8.1 Karakteristik Motor Pembakaran Dalam

Pada kendaraan hibrid selain menggunakan motor listrik, sumber tenaga juga dapat disediakan oleh motor pembakaran dalam. Motor pembakaran dalam/ mesin torak memiliki karakteristik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Pada gambar 2.6 dapat dilihat terdapat tiga parameter utama untuk menentukan performa mesin, yaitu : torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik. Mesin torak memiliki karakteristik torsi yang meningkat seiring bertambahnya kecepatan putaran mesin dan menurun pada putaran tertentu. Penurunan torsi pada putaran tinggi diakibatkan oleh pembakaran yang tidak sempurna. Hal ini disebabkan pada putaran tinggi, waktu untuk memasukan bahan bakar ke ruang bakar semakin berkurang, sehingga jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar berkurang. Selain itu gas buang dari proses pembakaran sebelumnya belum sepenuhnya keluar dari

ruang bakar dan tercampur ke proses pembakaran. (Sutantra, 2015)



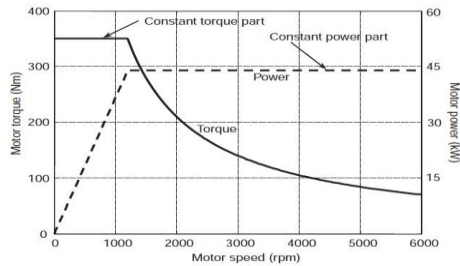
Gambar 2. 10 Karakteristik mesin gasoline

Sumber : (Gillespie, n.d.)

2.2.8.2 Karakteristik Motor Listrik

Salah satu sumber penggerak pada kendaraan hibrid adalah motor listrik. Motor listrik pada kendaraan hibrid dapat digerakan oleh tenaga tenaga baterai maupun oleh tenaga mesin sesuai dengan kontruksi yang dipakai pada kendaraan. Pada umumnya, motor listrik memiliki karakteristik tenaga dan torsi yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Berdasarkan gambar 2.5 dapat dilihat bahwa tenaga yang dihasilkan oleh motor listrik meningkat secara linear dari putaran awal hingga ke putaran dasar (*base speed*). Dan ketika motor listrik mencapai kecepatan dasar, tenaga yang dihasilkan akan konstak hingga motor mencapai kecepatan maksimumnya. Sedangkan torsi yang dihasilkan oleh motor listrik mencapai torsi maksimum dan konstan dari putaran awal hingga putaran dasar. Ketika mencapai putaran dasar, nilai torsi akan menurun seiring bertambahnya kecepatan putaran motor.

Salah satu parameter penting dalam motor listrik adalah rasio antara kecepatan maksimum dan kecepatan dasar motor (x). Faktor kecepatan (x) dapat menentukan kualitas dari motor listrik. Semakin besar nilai x , semakin besar nilai torsi maksimum yang dapat dihasilkan motor, sehingga gaya dorong maksimum pada roda juga akan bertambah. (Sutantra, 2015)

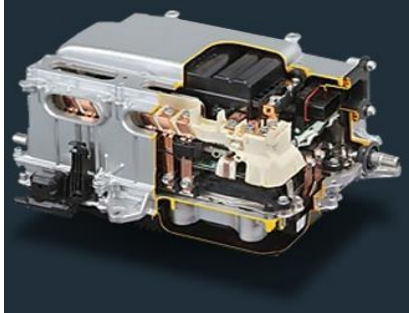


Gambar 2. 11 Karakteristik motor listrik

Sumber : (Mashadi & Crolla, 2012)

2.2.8.3 Power Control Unit (PCU)

PCU adalah ‘Electronic Control Unit’. Kendaraan modern menggunakan berbagai macam PCU yang bekerja sama atau independen untuk menawarkan, mengontrol dan memonitor banyak fungsi dan kinerja secara keseluruhan. Tujuan utama dari PCU adalah mengelola mesin kendaraan Anda melalui pengendalian, tidak terbatas pada: bahan bakar untuk campuran udara, kecepatan idle, waktu pengapian, rev limiter, suhu air pendingin, Variabel cam timing (VVT) dan lain-lain. Pada kendaraan dengan sistem *regenerative brake*, PCU juga berfungsi untuk mengatur fungsi *hybrid motor-generator*.



Gambar 2. 12 Toyota's Power Control Unit

2.2.8.4 Battery

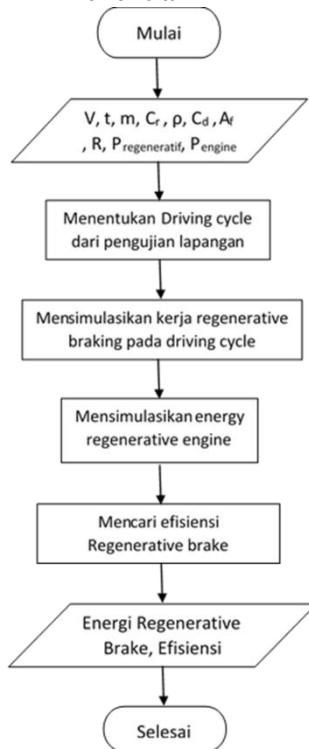
Baterai (Battery) adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi Listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat Elektronik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahapan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan. Pertama melakukan studi mengenai *regenerative brake*. Selanjutnya mencari data yang mendukung penelitian hingga akhirnya didapat hasil yang mampu menjawab perumusan masalah. Penjelasan mengenai prosedur penelitian digambarkan pada suatu flowchart penelitian.

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah melakukan studi literatur tentang *regenerative brake* pada kendaraan. Pengumpulan materi dapat dilakukan dari berbagai sumber antara lain penelitian terdahulu, *text book*, jurnal penelitian, *hand book*, dan penelusuran di internet.

Tahapan selanjutnya yaitu menentukan konsep masalah. Materi yang didapatkan dari studi literatur selanjutnya dirumuskan menjadi poin-poin permasalahan. Hasil dari tahapan ini berupa perumusan masalah yang terdapat pada bagian pendahuluan

Tahapan ketiga adalah mengumpulkan data-data yang mendukung penelitian. Data yang diperlukan berkaitan dengan mobil Prius PHEV antara lain dimensi kendaraan. Selanjutnya didapatkan data dari hasil pengujian lapangan Mobil Prius oleh tim pengujian ITS.

Tahapan keempat membuat *driving cycle* yang dari data pengujian lapangan. Seperti yang dibahas di dasar teori, *driving cycle* adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara kecepatan kendaraan dan waktu berkendara. Di buat dua *driving cycle* yaitu *driving cycle* saat berpengerak motor listrik dan *Driving cycle* saat kendaraan dalam mode hybrid. *Driving cycle* ini nantinya di masukkan ke software simulasi sebagai input.

Tahap kelima adalah mensimulasikan energy *regenerative* yang didapatkan dari pengereman. Simulasi dibuat pada software Simulink. Rumus – rumus atau formula untuk mendapatkan energy *regenerative* di modelkan ke blok-blok Simulink.

Tahap keenam adalah menganalisa seberapa besar potensi energi yang dapat dibangkitkan oleh sistem *regenerative brake* dan besar efisiensi penyerapan..

3.1.1 Data Kendaraan

Pada tahap ini dikumpulkan data-data yang diperlukan untuk dimasukkan persamaan. Data berupa dimensi kendaraan dan menghitung gaya yang bekerja pada kendaraan Toyota Prius 2017 PHEV.

Tabel 3. 1 Data Kendaraan

Dimensi	
Panjang	4645 mm
Lebar	1760 mm
Tinggi	1470 mm
Jarak sumbu roda	2700 mm
Berat	
Massa kendaraan	1550 kg
Massa 1 orang penumpang	75 kg
Massa total (m)	1700 kg
Berat total (W)	16660 N
Aerodinamika	
Massa jenis udara (ρ)	1.23 kg/m
Koefisien drag (Cd)	0.25
Gravitasi (g)	9.8 m/s ²
Engine	
Modal	2ZR-FXE
Tipe	4 silinder segaris (in-line cylinders)
Kapasitas daya maksimum	72 kW @ 5200 rpm
Torsi Maksimum	142 Nm @ 3600 rpm
Daya maksimum MG1	22.5 kW
Daya maksimum MG2	53 kW

Transmisi	
Tipe	Planetary gear system dengan e-CVT
Differential gear ratio (:1)	3.218
Roda	
Tipe	195/65 R15 (Radial)
Diameter	0.381

3.1.2 Penentuan *Driving Cycle*

Pemilihan *driving cycle* didasarkan pada parameter WLTC *Class 3b* ($PMR \geq 34$ W/kg) sesuai dengan standar klasifikasi kendaraan berdasarkan rasio daya kendaraan dengan berat kendaraan sesuai persamaan.

$$Pmr = \frac{P}{m} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana daya (P) dengan satuan kW dan m (kg) dengan satuan ton. Dari spesifikasi kendaraan yang digunakan yaitu mobil Toyota Prius PHEV dengan daya motor yang digunakan sebesar 72 kW dan berat total kendaraan sebesar 1700 kg, sehingga didapat nilai Pmr sebesar :

$$PMR = \frac{72}{1.7} \\ = 42,35$$

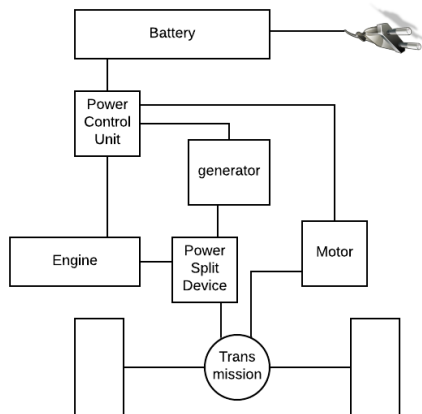
Berdasarkan hasil pengujian jalan kendaraar dari mobil Toyota Prius PHV 2017 yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukan pemiliban *driving cycle* yang akan digunakan dalam analisis. Pemilihan *driving cycle* didasarkan pada parameter WLTC *Class 3b* dengan beberapa penyesuaian seperti di bawah ini:

1. *Driving Cycle I* (Low 3b) rute dalam kota (Urban) dengan SOC (>10%), serta kecepatan maksimum

- $\pm 56,5$ km/h, kecepatan rata-rata $\pm 18,9$ km/h, durasi > 589 s
2. Driving Cycle II. (Extra High 3b) rute jalur bebas hambatan (Highway) dengan SO C ($>10\%$) serta kecepatan maksimum >120 km/h, kecepatan rata-rata > 92 km/h, durasi > 323 s.
 3. Driving cycle III (Low 3b) rute dalam kota (Urban) dengan SOC (0-10%), serta kecepatan maksimum $\pm 56,5$ km/h, kecepatan rata-rata $\pm 18,9$ km/h, durasi > 589 s
 4. Driving Cycle IV (Extra High 3h) rute jalur bebas hambatan (Highway) dengan SOC (0-10%) serta kecepatan >120 km/h, kecepatan rata-rata ± 92 km/h, durasi >323 s.

3.2 Konfigurasi Drivetrain Prius *Plug-In*

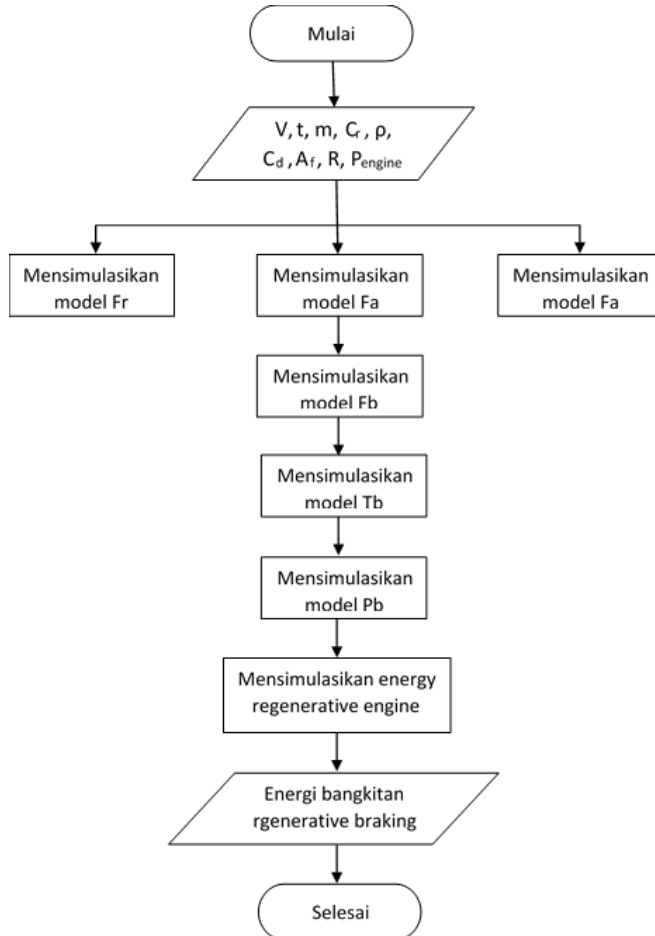
Berikut adalah konsep pemodelan drivetrain dari Toyota Prius *Plug-In* untuk memberikan gambaran bagaimana aliran daya pada Toyota Prius *Plug-In*



Gambar 3. 2 Drivetrain Toyota Prius *Plug-In*

3.3 Diagram Alir Perhitungan

3.3.1 Diagram Alir Analisa Energi Pengereman yang Tersedia

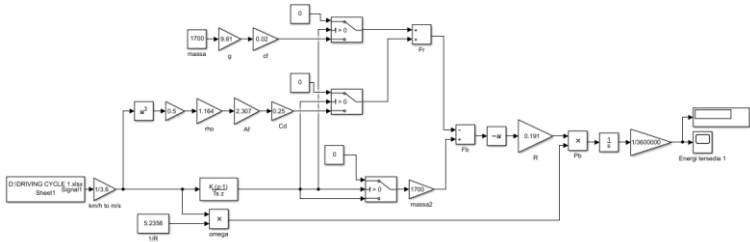


Gambar 3. 3 Diagram Alir Mencari Energi Bangkitan

Energi bangkitan *regenerative brake* didapat dengan mensimulasikan model dinamik kendaraan dengan menggunakan software Matlab-Simulink menggunakan *input driving cycle* dari data hasil uji lapangan. Agar menghasilkan *output* energi bangkitan, pemodelan disusun sesuai dengan flowchart perhitungan energi bangkitan.

3.3.2 Simulasi Model Kendaraan dengan Karakteristik *Driving Cycle*

Model yang akan disimulasikan sebagai berikut :



Gambar 3. 4 Blok Simulink gabungan

Sesuai analisa dinamika kendaraan saat melakukan perlambatan pada bidang datar, gaya-gaya yang bekerja sesuai persamaan :

$$F_b + F_D + F_r = m a$$

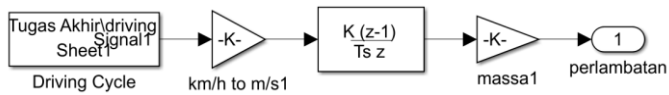
$$F_b = (m \cdot a) - (F_D + F_r) \dots \dots \dots (3.2)$$

▪ **Gaya Perlambatan**

Gaya perlambatan terjadi akibat adanya massa kendaraan yang terkena efek kendaraan sesuai persamaan :

$$F a = m a \dots \dots \dots (3.3)$$

$$a = \frac{dv}{dt} \dots \dots \dots (3.4)$$



Gambar 3. 5 Blok Simulink gaya perlambatan

- **Gaya hambat Drag**

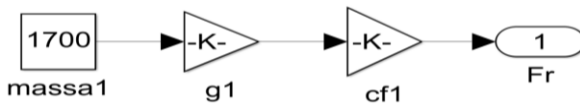
Gaya hambat drag dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan sesuai persamaan 2.12.



Gambar 3. 6 Blok simulink gaya hambat drag

- **Gaya Hambat Rolling**

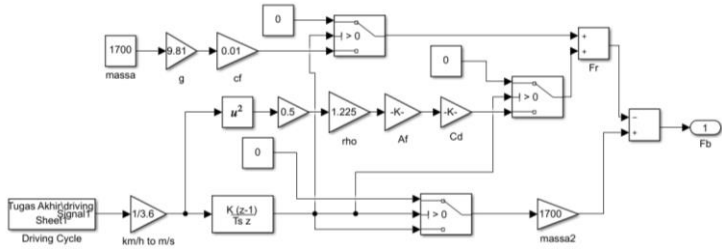
Gaya hambat *rolling* adalah gaya yang terjadi pada ban akibat gesekan dengan jalan dengan persamaan 2.13.



Gambar 3. 7 Blok Simulink Gaya Hambat Rolling

- **Gaya pengereman kendaraan**

Mengikuti persamaan 3.5 gaya pengereman kendaraan dimodelkan seperti berikut :

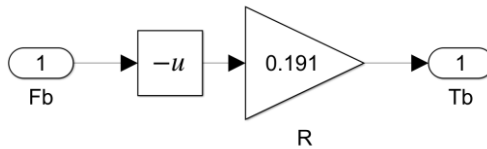


Gambar 3. 8 Blok Simulink Gaya pengereman

Blok gaya pengereman yang digunakan pada simulasi juga ditambah blok *switch* dengan aturan saat nilai percepatan (a) lebih besar dari 0 maka nilai F_B sama dengan 0 dan ketika nilai a kurang dari 0 maka nilai F_B merupakan hasil dari blok gaya pengereman diatas. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan hanya gaya pengereman saja yang disimulasikan, tidak termasuk gaya traksi kendaraan.

▪ **Torsi Pengereman**

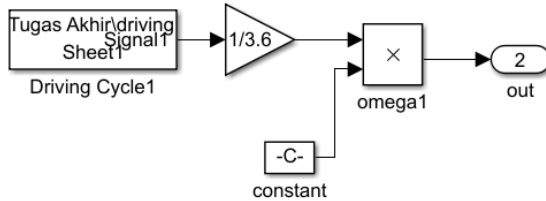
Torsi pengereman didapat dari nilai F_b dikalikan dengan jari-jari dinamis roda dengan persamaan 2.19.



Gambar 3. 9 Blok Simulink Torsi Pengereman

▪ **Putaran Motor**

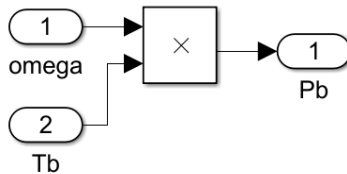
Putaran motor (ω) didapat dari persamaan 2.21.



Gambar 3. 10 Blok Simulink Putaran Motor

- **Daya Pengereman**

Nilai daya pengereman berasal dari torsi pengereman dikalikan omega dengan persamaan 2.18

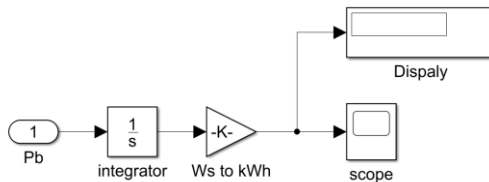


Gambar 3. 11 Blok Simulink Daya Pengereman

- **Energi yang Tersedia**

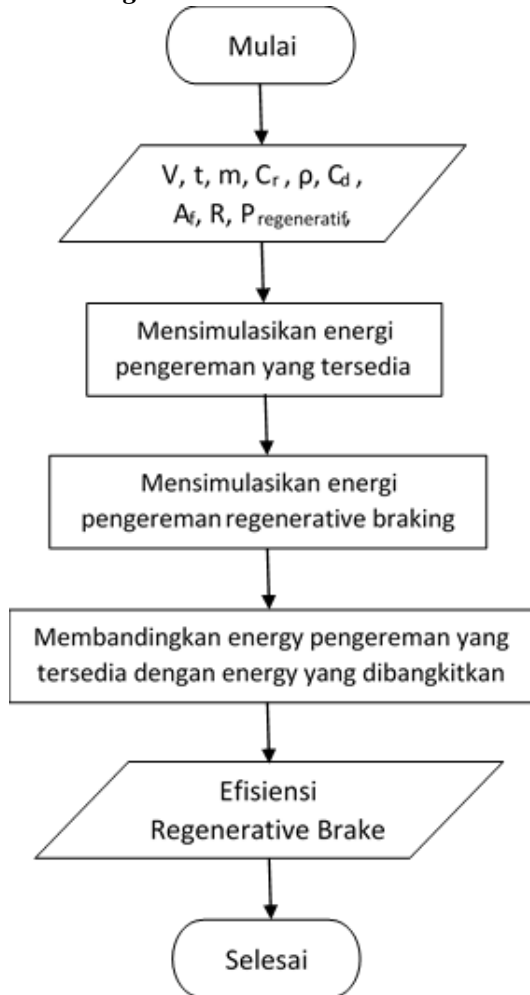
Energi yang tersedia didapatkan dengan mengintegrasikan daya pengereman dengan persamaan :

$$E = \int P_b dt \dots\dots\dots(3.5)$$



Gambar 3. 12 Blok Simulink Energi Bangkitan

3.3.3 Diagram Alir Mencari Efisiensi Sistem *Regenerative Brake*



Gambar 3. 13 Diagram Alir Mencari Efisiensi Sistem Regenerative Brake

Untuk mengetahui berapa besar efisiensi pengereman perlu dibandingkan energi pengereman yang tersedia dengan energi yang diterima generator. Energi pengereman yang tersedia adalah energi yang dibutuhkan sistem pengereman untuk melakukan perlambatan pada kendaraan. Energi pengereman yang tersedia didapat dari simulasi sistem pengereman total dengan *software* Matlab-Simulink. Selanjutnya energi yang didapat dari simulasi pengereman total dibandingkan dengan energi generator yang didapat dari hasil simulasi pada Simulink-Matlab. Nantinya didapatkan persentase berapa energi yang masuk generator dan dapat dimanfaatkan kembali.

Energi bangkitan *regenerative brake* didapat dengan mensimulasikan model dinamik kendaraan dengan menggunakan *software* Matlab-Simulink menggunakan *input driving cycle* dari uji lapangan. Agar menghasilkan *output* energi bangkitan, pemodelan disusun sesuai dengan flowchart perhitungan energi bangkitan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Uji Jalan Kendaraan

Berikut ini disajikan contoh data hasil uji jalan kendaraan yang didapatkan menggunakan data logger yang dipasang pada kendaraan;

Tabel 4. 1 Contoh hasil data logger dari uji jalan kendaraan

Time	V_k [km/h]	Acc. Pedal	P_k [kW]	Vehicle Mode	Fuel Coms.	P_{reg} [kW]	P_e [kW]	Pac [kW]	SOC Ratio	W [rpm]	Pen [kW]
12/19/18 15:35	0	0	0.25	1	0	0	0.19	0	39.45	0	0
12/19/18 15:35	0	0	0.99	1	0	0	1.45	0.5	39.45	0	0
12/19/18 15:35	0	0	0.47	1	0	0	1.02	0.2	39.45	-1	0

4.2 Penentuan *Driving Cycle*

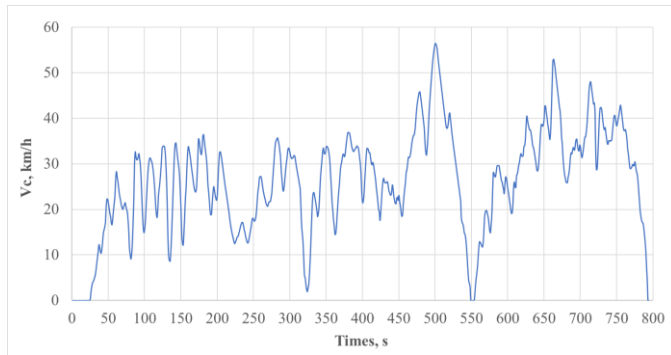
Berdasarkan nilai PMR pada sub bab 3.1.2, maka *driving cycle* yang digunakan mengikuti parameter WLTC clas 3b. Berdasarkan parameter WLTC class 3b, kemudian dipilih 4 *driving cycle* berikut ini untuk digunakan dalam analisis. *Driving cycle* ini diambil dari data hasil pengujian lapangan mobil Toyota Prius.

Tabel 4. 2 Parameter *Driving Cycle* 1

Parameter	Nilai	Satuan
Kecepatan Maksimum	53.5	km/h
Kecepatan rata-rata	26.5	km/h
Durasi	794.0	s

Driving cycle yang pertama ini merupakan *driving cycle* dimana kendaraan murni berpengergerak elektrik. Moda murni berpengergerak elektrik ini bekerja pada Toyota Prius

PHEV saat kendaraan mulai menyala hingga kendaraan melaju dalam kecepatan rendah. Seperti yang terlihat pada table 4.1 kecepatan maksimum kendaraan bernilai 53.5 km/h dan dengan kecepatan rata-rata 26.5 km/h serta durasi 793 detik



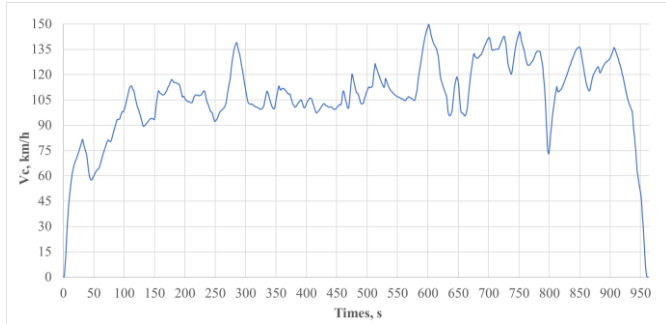
Gambar 4. 1 Driving Cycle 1

Tabel 4. 3 Parameter Driving Cycle 2

Parameter	Nilai	Satuan
Kecepatan Maksimum	149.7	km/h
Kecepatan rata-rata	107.2	km/h
Durasi	962.0	s

Sedangkan pada *driving cycle* yang kedua kendaraan melaju dengan penggerak elektrik dan *engine* atau bisa disebut dengan Mode *hybrid*. Mode *hybrid* ini bekerja pada Toyota Prius PHEV saat kendaraan mulai melaju dengan kecepatan yang relative tinggi karena kendaraan melaju pada jalan bebas hambatan (Highway). Seperti yang terlihat pada table 4.2 kecepatan maksimum kendaraan bernilai 149.7 km/h dan

dengan kecepatan rata-rata 107.2 km/h serta dengan durasi 962 detik

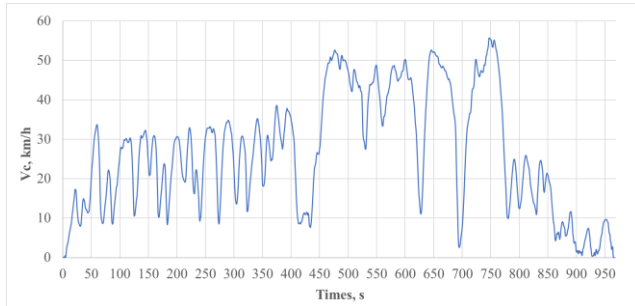


Gambar 4. 2 Driving Cycle 2

Tabel 4. 4 Parameter Driving Cycle 3

Parameter	Nilai	Satuan
Kecepatan Maksimum	55.69	km/h
Kecepatan rata-rata	26.62	km/h
Durasi	966.0	s

Pada *driving cycle* yang ketiga kendaraan melaju dengan penggerak elektrik dan *engine* atau bisa disebut dengan Mode *hybrid*. Pada Mode *hybrid* ini Toyota Prius PHEV melaju dengan kecepatan yang relative rendah karena kendaraan berkendaraan didalam kota (Urban). Seperti yang terlihat pada table 4.3 kecepatan maksimum kendaraan bernilai 55.69 km/h dan dengan kecepatan rata-rata 26.62 km/h serta dengan durasi 966 detik

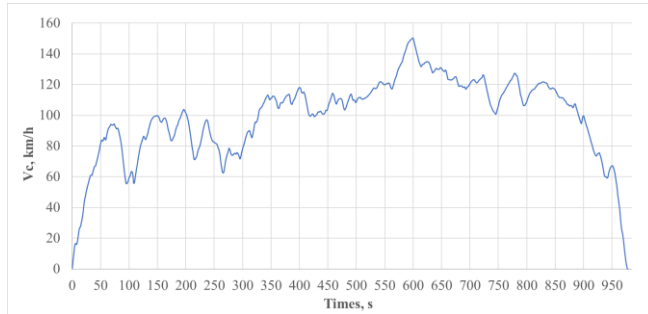


Gambar 4. 3 Driving Cycle 3

Tabel 4. 5 Parameter Driving Cycle 4

Parameter	Nilai	Satuan
Kecepatan Maksimum	150.41	km/h
Kecepatan rata-rata	99.25	km/h
Durasi	976.0	s

Sedangkan pada *driving cycle* yang keempat kendaraan melaju dengan penggerak elektrik dan *engine* atau bisa disebut dengan Mode *hybrid*. Pada mode *hybrid* ini Toyota Prius PHEV melaju dengan kecepatan yang relative tinggi karena kendaraan melaju pada jalan bebas hambatan (Highway). Seperti yang terlihat pada table 4.2 kecepatan maksimum kendaraan bernilai 149.7 km/h dan dengan kecepatan rata-rata 107.2 km/h serta dengan durasi 962 detik

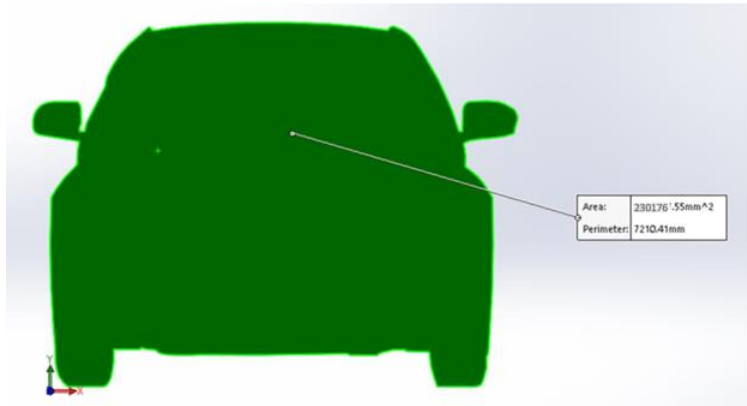


Gambar 4. 4 Driving Cycle 4

4.3 Contoh Perhitungan

4.3.1 Contoh Perhitungan Gaya Hambat Aerodinamis

Berdasarkan persamaan 2.1 maka diperlukan beberapa variable untuk mendapatkan gaya hambat aerodinamis dari kendaraan. Variable luas frontal kendaraan (A_f) dihitung menggunakan software SolidWorks sebesar 2.307 m^2 , ditunjukkan pada gambar 4.3. Kemudian, variable koefisien drag (C_d) dari kendaraan yang digunakan berasal dari brosur resmi Toyota didapatkan sebesar 0.25. Variable kecepatan kendaraan bervariasi tiap detiknya berdasarkan *driving cycle* yang digunakan dan massa jenis udara yang digunakan sebesar 1.164 kg/m^3 .



Gambar 4. 5 Luas Frontal Kendaraan

Selanjutnya contoh perhitungan dilakukan pada data dari *driving cycle* I untuk detik ke 28 dimana V_k sebesar 4.14 km/h. Massa jenis udara sebesar 1.164 kg/m³. Nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 2.1 sehingga didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{drag}} &= \frac{1}{2} \rho C_d A_f V_a^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1.164 \times 0.25 \times 2.307 \times 1.15 \\
 &= 0.386 \text{ N}
 \end{aligned}$$

4.3.2 Contoh Perhitungan Koefisien Gaya Hambat Rolling (F_r)

Berdasarkan persamaan 2.2 maka diperlukan beberapa variable untuk mendapatkan gaya hambat rolling dari kendaraan. Variabel berat dihitung berdasarkan massa total kendaraan dengan penumpang untuk tiap *driving cycle*, yaitu sebesar 1700 kg. Rolling Coefficient sebesar 0.02 dan percepatan gravitasi sebesar 9.81 m/s². Nilai-nilai tersebut

kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 2.2 sehingga didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Fr &= m \cdot g \cdot C_f \\ &= 1700 \times 9.81 \times 0.02 \\ &= 333.54 \text{ N}\end{aligned}$$

4.3.3 Contoh Perhitungan Gaya Hambat inersia

Gaya hambat inersia dapat diketahui dengan menggunakan persamaan $F = ma$, dimana nilai percepatan kendaraan dapat diketahui menggunakan persamaan $a = \frac{V_t - V_0}{\Delta t}$. Contoh perhitungan dilakukan pada data dari *driving cycle* I untuk detik ke 29 dimana V_k sebesar 1.26 m/s dan kecepatan kendaraan sebelumnya sebesar 1.15 m/s Lalu, berdasarkan jumlah penumpang pada *driving cycle* I yaitu 2 orang maka massa total kendaraan beserta penumpang sebesar 1700 kg. Nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 2.2 sehingga didapatkan nilai sebagai berikut:

- Contoh perhitungan percepatan (a)

$$\begin{aligned}a &= \frac{V_t - V_0}{\Delta t} \\ &= \frac{1.26 - 1.15}{29 - 28} \\ &= 0.11 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

- Contoh perhitungan Gaya Inersia (F_a)

$$\begin{aligned}F_a &= ma \\ &= 1700 \times 0.11 \\ &= 185.45 \text{ N}\end{aligned}$$

4.3.4. Contoh perhitungan Road Load Horse Power(RHP)

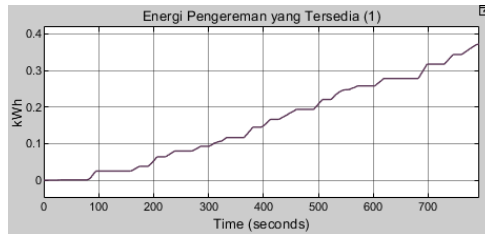
RHP merupakan tenaga yang dibutuhkan kendaraan untuk melawan gaya hambat pada saat kendaraan berjalan.

Maka untuk mendapatkan nilai dari RHP digunakan persamaan $rhp = (\frac{1}{2} \rho C_d A_f V_a^2 + fr \cdot W + m \cdot a)V$. Contoh perhitungan dilakukan pada data dari driving cycle I pada detik ke 30 dimana V_k sebesar 5.07 km/h. Berdasarkan nilai-nilai yang didapatkan dari hasil perhitungan gaya hambat rolling, aerodinamis serta inersia yang telah dilakukan saelumnya maka didapatkan nilai rhp sebagai berikut:

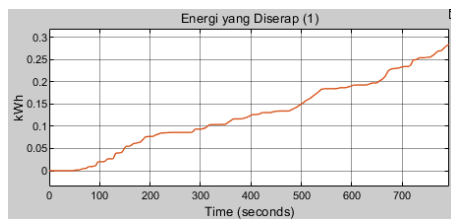
$$\begin{aligned} Rhp &= \{(\frac{1}{2} \times 1.23 \times 0.25 \times 2.307 \times 1.41^2) + (0.02 \times 16677) + \\ &\quad (1700 \times 0.15)\} \\ &= 0.83 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.4. Analisa Energi Regeneratif pada tiap *Driving Cycle*

4.4.1. Analisa Energi Regeneratif pada tiap *Driving Cycle I*



Gambar 4. 6 Energi Pengereman yang tersedia pada Driving Cycle I



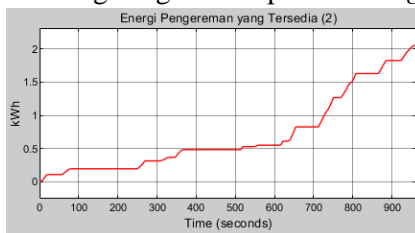
Gambar 4. 7 Energi regenerative yang diserap pada Driving Cycle I

Grafik diatas merupakan grafik *energy regenerative* dengan menggunakan input kecepatan pada *Driving Cycle I* dimana kendaraan murni menggunakan penggerak motor listrik. Pada kendaraan Toyota Prius, saat kendaraan mulai berjalan sampai kendaraan melaju dengan kecepatan rendah, sumber tenaga yang bekerja hanyalah motor listrik, sedangkan engine tidak menyala. Pada kondisi awal berjalan ini hanya motor listrik yang bekerja agar kendaraan tidak perlu menggunakan bahan bakar saat kendaraan mulai berjalan. Selain itu motor listrik juga mampu berakselerasi dengan *smooth*. Gambar 4.6 merupakan grafik besar energy pengereman yang tersedai apabila *driving cycle I* diterapkan. Dan gambar 4.7 merupakan energy Regenerarif actual yang diserap kendaraan yang diambil dari pengujian lapangan Toyota Prius. Dalam siklus *driving cycle*, kendaraan memiliki kecepatan yang naik turun, dimana hal tersebut menunjukkan kendaraan melakukan percepatan atau perlambatan. Dalam penelitian ini yang menjadi fokus adalah saat kendaraan mengalami perlambatan. Sehingga kecepatan kendaraan saat melakukan percepatan tidak akan diperhitungkan dalam simulasi. Dan setelah percepatan kendaraan diambil dan diperhitungkan dengan parameter dinamika kendaraan lainnya maka didapatkan grafik Energi seperti yang terlihat pada gambar diatas.

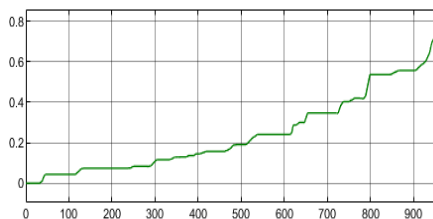
Dari hasil simulasi pada software Simulink, dengan mengintegalkan daya pengereman terhadap waktu maka didapatkan total energy pengereman yang tersedia yaitu sebesar 0.3722 kWh. Besarnya energy pengereman ini tergantung pada banyaknya pengereman yang dilakukan, semakin sering pengemudi melakukan pengereman maka energy juga akan semkain besar. Selain itu, semakin tinggi rata-rata kecepatan dalam *driving cycle* maka energy juga akan semaikn besar. Dari

hasil pengujian lapangan, data power *regenerative* yang terserap dimasukkan ke Simulink untuk dihitung besar total energy *regenerative* yang diserap. Besar total energy *regenerative* yang diserap adalah 0.2839 kWh. Kemudian Besarnya total energy *regenerative* yang diserap ini dibandingkan dengan energy pengereman yang tersedia tadi. Kemudian didapatkan efisiensi pengereman *regenerative*. Setelah dibandingkan besar efisiensi pengereman *regenerative* pada *driving cycle* yang pertama adalah 76.27 %. Energi Regeneratif yang diserap ini selanjutnya disimpan pada Baterai yang nantinya akan berguna sebagai sumber tenaga pada saat kendaraan mulai berjalan dengan penggerak motor listrik, dan juga sumber tenaga saat kendaraan dalam mode *hybrid*, sehingga bisa meningkatkan jarak tempuh kendaraan.

4.4.2. Analisa Energi Regeneratif pada *Driving Cycle II*



Gambar 4. 8 Energi Pengereman yang tersedia pada *Driving Cycle II*



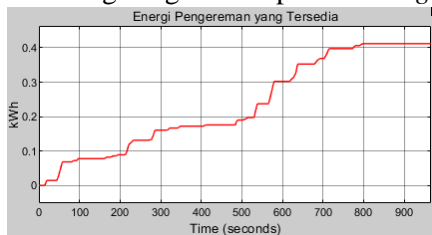
Gambar 4. 9 Energi regenerative yang diserap pada Driving Cycle II

Grafik diatas merupakan grafik energy *regenerative* dengan menggunakan input kecepatan pada *Driving Cycle II* dimana pada siklus berkendara ini kendaraan bergerak dengan berpengerem motor listrik dan engine. Engine akan menyala apabila kendaraan melakukan percepatan untuk mencapai kecepatan tinggi. Pada kondisi berkendara seperti ini, dimana engine dan motor listrik sama-sama bekerja, maka saat pengereman dilakukan maka energy *regenerative* tidak hanya didapat dari putaran motor listrik saja, tapi juga dari putaran engine. Sehingga akan menghasilkan energy *regenerative* yang lebih lebih besar. Gambar 4.8 merupakan grafik besar energy pengereman yang tersedai dengan input kecepatan dari *driving cycle II*. Dan gambar 4.9 merupakan energy Regenerarif actual yang diserap kendaraan yang diambil dari pengujian lapangan Toyota Prius. Dalam siklus *driving cycle*, kendaraan memiliki kecepatan yang naik turun, dimana hal tersebut menunjukkan kendaraan melakukan percepatan atau perlambatan. Dalam penelitian ini yang menjadi fokus adalah saat kendaraan mengalami perlambatan. Sehingga kecepatan kendaraan saat melakukan percepatan tidak akan diperhitungkan dalam simulasi. Dan setelah percepatan kendaraan diambil dan diperhitungkan dengan parameter dinamika kendaraan lainnya maka didapatkan grafik Energi seperti yang terlihat pada gambar diatas.

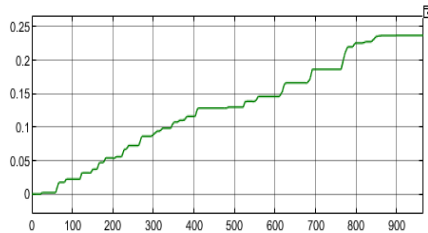
Dari hasil simulasi pada software Simulink, dengan mengintegalkan daya pengereman terhadap waktu maka didapatkan total energy pengereman yang tersedia yaitu sebesar 1.217 kWh. Besarnya energy pengereman ini tergantung pada banyaknya pengereman yang dilakukan, semakin sering

pengemudi melakukan pengereman maka energy juga akan semakin besar. Selain itu, semakin tinggi rata-rata kecepatan dalam *driving cycle* maka energy juga akan semakin besar. Selain itu pada kondisi berkendara *hybrid*, power yang bisa diserap akan cukup besar karena berasal dari putaran motor listrik dan putaran engine. Dari hasil pengujian lapangan, data power *regenerative* yang terserap dimasukkan ke Simulink untuk dihitung besar total energy *regenerative* yang diserap. Besar total energy *regenerative* yang diserap adalah 0.7348 kWh. Kemudian Besarnya total energy *regenerative* yang diserap ini dibandingkan dengan energy pengereman yang tersedia tadi. Kemudian didapatkan efisiensi pengereman *regenerative*. Setelah dibandingkan besar efisiensi pengereman *regenerative* pada *driving cycle* yang pertama adalah 60.37 %. Energi Regeneratif yang diserap ini selanjutnya disimpan pada Baterai yang nantinya akan berguna sebagai sumber tenaga pada saat kendaraan mulai berjalan dengan penggerak motor listrik, dan juga sumber tenaga saat kendaraan dalam mode *hybrid*, sehingga bisa meningkatkan jarak tempuh kendaraan.

4.4.3 Analisa Energi Regeneratif pada *Driving Cycle* III



Gambar 4. 10 Energi Pengereman yang tersedia pada *Driving Cycle* III



Gambar 4. 11 Energi regenerative yang diserap pada Driving Cycle III

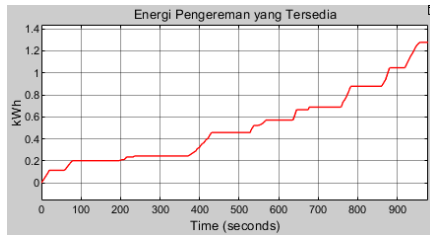
Grafik 4.10 merupakan grafik *energy regenerative* dengan menggunakan input kecepatan pada *Driving Cycle 3*. Pada kondisi berkendara seperti ini, dimana engine dan motor listrik sama-sama bekerja, maka saat pengereman dilakukan maka *energy regenerative* tidak hanya didapat dari putaran motor listrik saja, tapi juga dari putaran engine. Pada moda berkendara ini *energy regenerative* yang dihasilkan akan lebih lebih besar dibandingkan hanya dengan berpengerem motor listrik. Dikarenakan kecepatan kendaraan yang tinggi sehingga *energy kinetiknya* jua tinggi dan *energy regenerative* dihasilkan dari motor listrik dan engine. Gambar 4.10 merupakan grafik besar *energy pengereman* yang tersedia dengan input kecepatan dari *driving cycle 3*. Dan gambar 4.11 merupakan *energy Regenerarif actual* yang diserap kendaraan yang diambil dari pengujian lapangan Toyota Prius. Dalam siklus *driving cycle*, kendaraan memiliki kecepatan yang fluktuatif, dimana hal tersebut menunjukkan kendaraan melakukan percepatan atau perlambatan. Dalam penelitian ini yang menjadi fokus adalah saat kendaraan mengalami perlambatan. Sehingga kecepatan kendaraan saat melakukan percepatan tidak akan diperhitungkan dalam simulasi. Dan setelah perlambatan kendaraan diambil dan diperhitungkan dengan parameter

dinamika kendaraan lainnya maka didapatkan grafik Energi seperti yang terlihat pada gambar diatas.

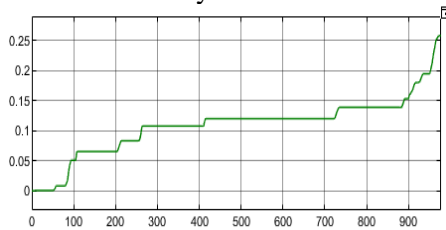
Dari hasil simulasi pada software Simulink, dengan mengintegrasikan daya pengereman terhadap waktu maka didapatkan total energy pengereman yang tersedia yaitu sebesar 0.412 kWh. Besarnya energy pengereman ini tergantung pada banyaknya pengereman yang dilakukan, semakin sering pengemudi melakukan pengereman maka energy juga akan semakin besar. Selain itu, semakin tinggi kecepatan dalam *driving cycle* maka energy juga akan semakin besar. Selain itu pada kondisi berkendara *hybrid*, power yang bisa diserap akan cukup besar karena berasal dari putaran motor listrik dan putaran engine. Dari hasil pengujian lapangan, data power *regenerative* yang terserap dimasukkan ke Simulink untuk dihitung besar total energy *regenerative* yang diserap. Besar total energy *regenerative* yang diserap adalah 0.2371 kWh. Besarnya energy regenerative pada *driving cycle* 3 ini terbilang kecil jika dibandingkan dengan *driving cycle* 2 yang juga dalam mode *hybrid*. Ini dikarenakan pada *driving cycle* 3 ini, kendaraan berada dari daerah perkotaan, sehingga kecepatan yang dilakukan juga rendah. Dikarenakan kecepatannya yang rendah, kendaraan berada pada mode *hybrid* memiliki waktu yang relative kecil. selanjutnya besarnya total energy *regenerative* yang diserap ini dibandingkan dengan energy pengereman yang tersedia tadi. Kemudian didapatkan efisiensi pengereman *regenerative*. Setelah dibandingkan besar efisiensi pengereman *regenerative* pada *driving cycle* yang ketiga adalah 57.55 %. Energi Regeneratif yang diserap ini selanjutnya disimpan pada Baterai yang nantinya akan berguna sebagai sumber tenaga pada saat kendaraan mulai berjalan dengan penggerak motor listrik, dan juga sumber tenaga saat kendaraan

dalam mode *hybrid*, sehingga bisa meningkatkan jarak tempuh kendaraan.

4.4.4. Analisa Energi Regeneratif pada tiap *Driving Cycle IV*



Gambar 4. 12 Energi Pengereman yang tersedia pada Driving Cycle III



Gambar 4. 13 Energi regeneratif yang diserap pada Driving Cycle IV

Grafik 4.12 merupakan grafik *energy regenerative* dengan menggunakan input kecepatan pada *Driving Cycle 4*. Pada kondisi berkendara seperti ini, dimana engine dan motor listrik sama-sama bekerja, maka saat pengereman dilakukan maka *energy regenerative* tidak hanya didapat dari putaran motor listrik saja, tapi juga dari putaran engine. Pada moda berkendara ini *energy regenerative* yang dihasilkan akan lebih lebih besar dibandingkan hanya dengan berpengerak motor listrik. Dikarenakan kecepatan kendaraan yang tinggi sehingga *energy kinetik*nya jua tinggi dan *energy regenerative* dihasilkan

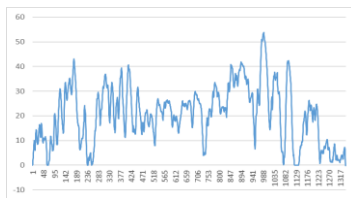
dari motor listrik dan engine. Gambar 4.12 merupakan grafik besar energy pengereman yang tersedia dengan input kecepatan dari *driving cycle* 4. Dan gambar 4.13 merupakan energy Regenerarif actual yang diserap kendaraan yang diambil dari pengujian lapangan Toyota Prius. Dalam siklus *driving cycle*, kendaraan memiliki kecepatan yang fluktuatif, dimana hal tersebut menunjukkan kendaraan melakukan percepatan atau perlambatan. Dalam penelitian ini yang menjadi fokus adalah saat kendaraan mengalami perlambatan. Sehingga kecepatan kendaraan saat melakukan percepatan tidak akan diperhitungkan dalam simulasi. Dan setelah perlambatan kendaraan diambil dan diperhitungkan dengan parameter dinamika kendaraan lainnya maka didapatkan grafik Energi seperti yang terlihat pada gambar diatas.

Dari hasil simulasi pada software Simulink, dengan mengintegalkan daya pengereman terhadap waktu maka didapatkan total energy pengereman yang tersedia yaitu sebesar 1.311 kWh. Besarnya energy pengereman ini tergantung pada banyaknya pengereman yang dilakukan, semakin sering pengemudi melakukan pengereman maka energy juga akan semkain besar. Selain itu, semakin tinggi kecepatan dalam *driving cycle* maka energy juga akan semaiKn besar. Selain itu pada kondisi berkendara *hybrid*, power yang bisa diserap akan cukup besar karena berasal dari putaran motor listrik dan putaran engine. Dari hasil pengujian lapangan, data power *regenerative* yang terserap dimasukkan ke Simulink untuk dihitung besar total energy *regenerative* yang diserap. Besar total energy *regenerative* yang diserap adalah 0.2585 kWh. Kemudian Besarya total energy *regenerative* yang diserap ini dibandingkan dengan energy pengereman yang tersedia tadi. Kemudian didapatkan efisiensi pengereman *regenerative*. Setelah dibandingkan besar efisiensi pengereman *regenerative*

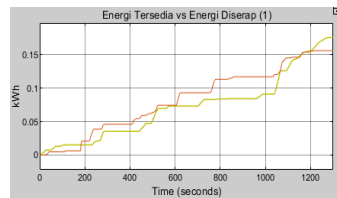
pada *driving cycle* yang keempat adalah 19.72 %. Energi Regeneratif yang diserap ini selanjutnya disimpan pada Baterai yang nantinya akan berguna sebagai sumber tenaga pada saat kendaraan mulai berjalan dengan penggerak motor listrik, dan juga sumber tenaga saat kendaraan dalam mode *hybrid*, sehingga bisa meningkatkan jarak tempuh kendaraan.

4.5 Analisa Energi Bangkitan pada Driving Cycle tambahan

Berikut ini adalah driving cycle yang diambil tidak berdasarkan parameter WLTC. Driving cycle ini diambil 5 hari pengujian dari 22 Oktober 2018 hingga 9 November 2018 dan didapatkan 12 Driving cycle dimana 8 driving cycle pada saat mode hybrid dan sisanya mode elektrik. Setelah disimulasikan pada Simulink maka didapatkan hasil dibawah ini.

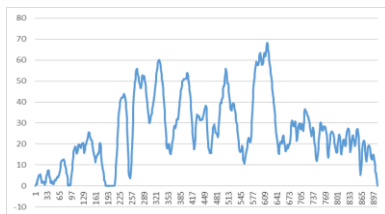


(a)

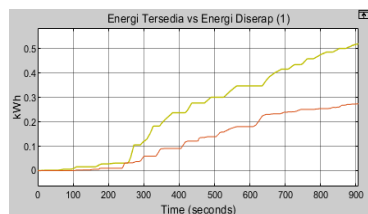


(b)

Gambar 4. 14 Driving Cycle III tanggal 8-11-2018

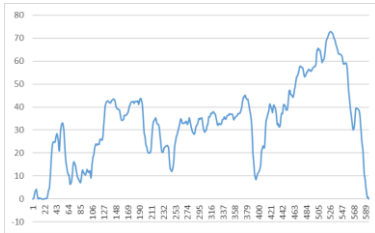


(a)

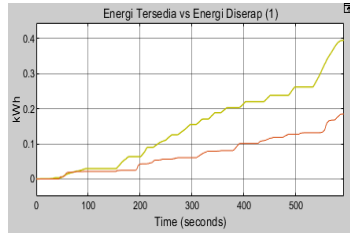


(b)

Gambar 4. 15 Driving Cycle I tanggal 9-11-2018

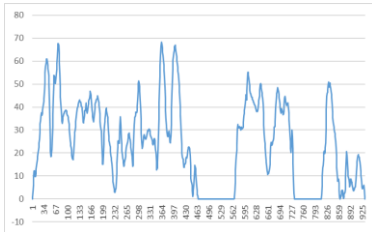


(a)

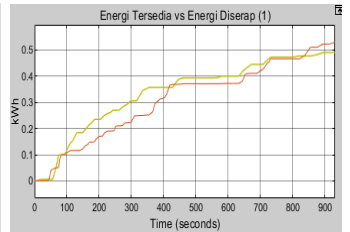


(b)

Gambar 4. 16 Driving Cycle I tanggal 22-10-2018

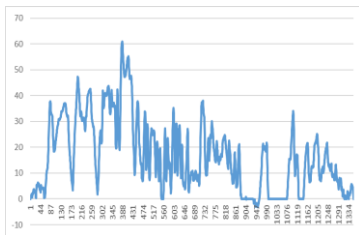


(a)

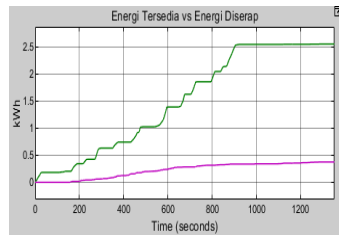


(b)

Gambar 4. 17 Driving Cycle III tanggal 22-10-2018

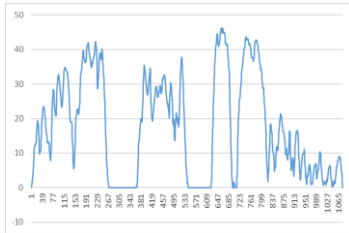


(a)

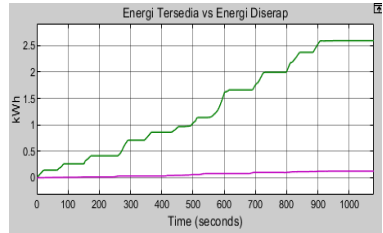


(b)

Gambar 4. 18 Driving Cycle I tanggal 5-11-2018

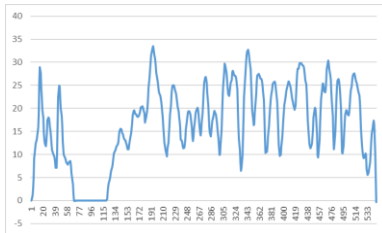


(a)

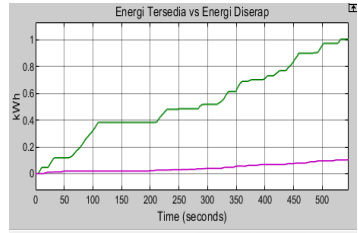


(b)

Gambar 4. 19 Driving Cycle I tanggal 7-11-2018

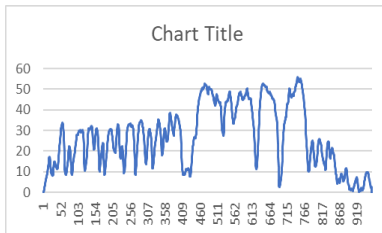


(a)

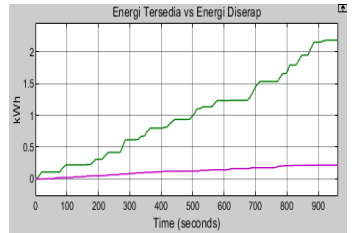


(b)

Gambar 4. 20 Driving Cycle II tanggal 7-11-2018

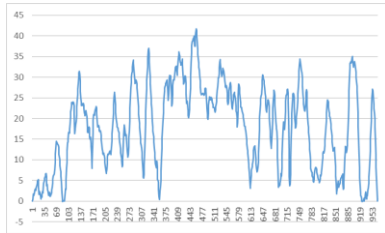


(a)

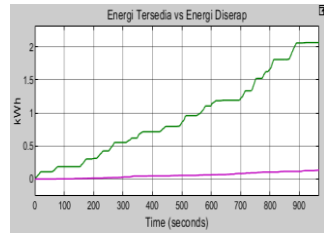


(b)

Gambar 4. 21 Driving Cycle III tanggal 7-11-2018

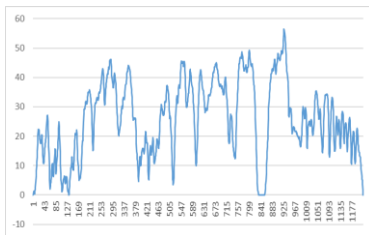


(a)

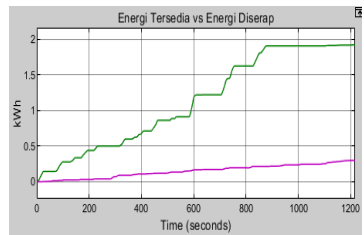


(b)

Gambar 4. 22 Driving Cycle I tanggal 8-11-2018

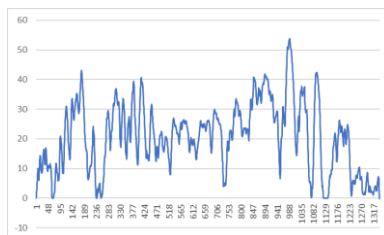


(a)

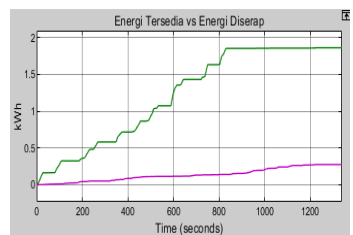


(b)

Gambar 4. 23 Driving Cycle II tanggal 8-11-2018

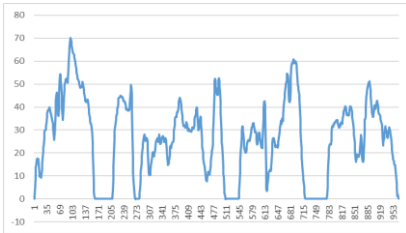


(a)

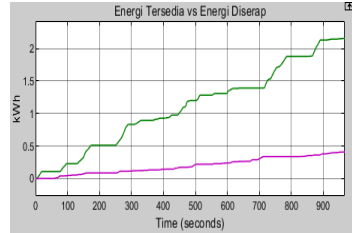


(b)

Gambar 4. 24 Driving Cycle II tanggal 9-11-2018



(a)



(b)

Gambar 4. 25 Driving Cycle II tanggal 22-10-2018

Tabel 4. 6 Tabel ringkasan driving cycle tambahan mode Hybrid

Tanggal	Cycle	Durasi (s)	Energi tersedia (kWh)	Energi aktual (kWh)	Efisiensi (%)
22-10-2018	Cycle II	967	2.154	0.408	18.9415
5-11-2018	Cycle I	1353	2.549	0.3739	14.6685
7-11-2018	Cycle I	1079	2.591	0.1244	4.801235
	Cycle II	546	1.006	0.105	10.43738
	Cycle III	963	2.181	0.2177	9.98166
8-11-2018	Cycle I	967	2.064	0.134	6.492248
	Cycle II	1217	1.926	0.3008	15.61786
9-11-2018	Cycle II	1339	1.863	0.2756	14.79334

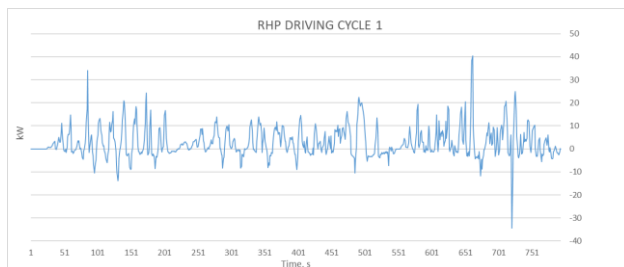
Tabel 4. 7 Tabel ringkasan driving cycle tambahan mode Hybrid

Tanggal	Cycle	Durasi (s)	Energi tersedia (kWh)	Energi aktual (kWh)	Efisiensi (%)
8-11-2018	Cycle III	1300	0.1757	0.1562	88.90154
9-11-2018	Cycle I	907	0.5191	0.2736	52.70661
22-10-2018	Cycle I	593	0.3953	0.1849	46.7746
	Cycle III	931	0.4902	0.5296	-

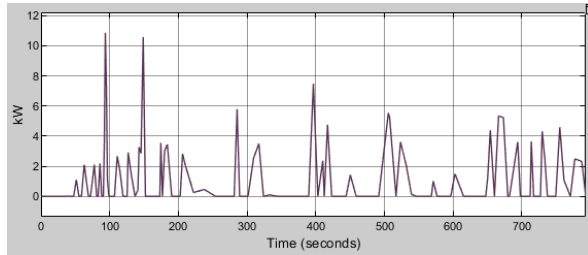
Setelah dihitung besar energy bangkitan dari 12 driving cycle tadi, didapatkan besar energy tersedia, energy regenerative actual dan efisiensi, dimana ketiga yang tertera pada table diatas. Bisa dilihat bahawa besar efisiensi pada mode elektrik lebih besar daripada mode hybrid. Hasil ini sesuai dengan simulasi pada driving cycle yang disesuaikan dengan WLTC. Hal ini dikarenakan mode elektik bekerja pada kecepatan rendah atau pada saat di daerah perkotaan. Dimana pada daerah perkotaan kendaraan akan banyak melakukan pengereman. Sedangkan pada saat kecepatan tinggi atau pada jalan highway, kendaraan akan melakukan sedikit pengereman. Selain itu tingginya kecepatan kendaraan saat berada di jalan bebas hambatan akan menghasilkan torsi yang besar, dimana generator memiliki batas torsi yang bisa dibangkitkan, sehingga tidak semua torsi bisa diconvertmenjadi energy bangkitan

4.5 Analisa Kontribusi Regenerative Energi terhadap RHP

4.5.1. Analisa Kontribusi Regenerative Energi terhadap RHP pada driving cycle 1



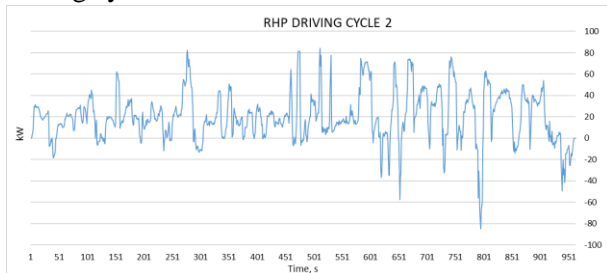
Gambar 4. 26 Road Load Horsepower kendaraan pada DC I



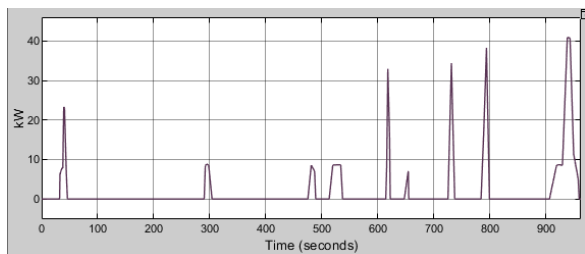
Gambar 4. 27 Daya regenerative yang diserap pada Driving Cycle I

Gambar 4.14 merupakan merupakan kurva road load horsepower dari kendaraan pada saat driving cycle I yang didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan data uji kendaraan yang ada. Kurva rhp tersebut merupakan hasil gaya hambat yaitu gaya rolling gaya aerodinamis dan gaya inersia dikalikan dengan kecepatan kendaraan Terlihat pada gambar bahwa kurva rhp sendaraan fluktuatif sesuai dengan perubahan kecepatan kendaraan. Kemudian dihitung jumlah tenaga rhp kendaraan pada driving cycle I ini dalam bentuk energy yaitu sebesar 0.709 kWh. Gambar 4.14 merupakan kurva energy regeneratif. Kurva menunjukkan besar energy regeneratif yang serap oleh kendaraan saat melakukan perlambatan. Untuk energy regenerative sendiri diapatkan total energy sebesar 0.2839 kWh. Dari bisa kita lihat bahwa presentase energy regeneratif dibandingkan dengan nilai rhp kendaraan pada driving cycle 1 yaitu sebesar 40.04%. Ini menunjukkan bahwa energy regenerative mampu menyumbang jumlah energy yang cukup besar terhadap energy yang dibutuhkan kendaraan yaitu 40% dari dari total rhp kendaraan.

4.5.2. Analisa Kontribusi Regenerative Energi terhadap RHP pada driving cycle 2



Gambar 4. 28 Road Load Horsepower kendaraan pada DC II

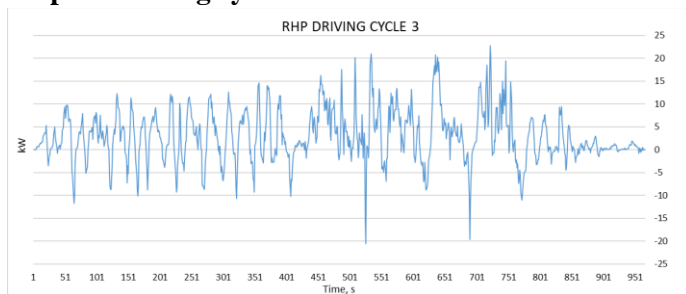


Gambar 4. 29 Daya regenerative yang diserap pada Driving Cycle II

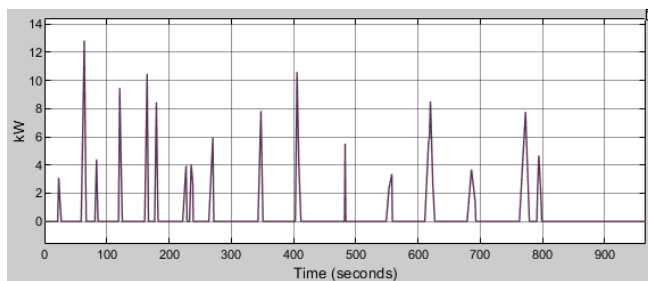
Gambar 4.16 merupakan merupakan kurva road load horsepower dari kendaraan pada saat driving cycle 2 yang didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan data uji kendaraan yang ada. Kurva rhp tersebut merupakan hasil dari gaya hambat yaitu gaya rolling gaya aerodinamis dan gaya inersia dikalikan dengan kecepatan kendaraan Terlihat pada gambar bahwa kurva rhp sendaraan fluktuatif sesuai dengan perubahan kecepatan kendaraan. jumlah tenaga rhp kendaraan pada driving cycle 2 ini diubah dalam bentuk energy dan dihitung totalnya dan hasilnya didapatkan sebesar 5.677 kWh.

Gambar 4.17 merupakan kurva energy regeneratif. Kurva ini menunjukkan besar energy regeneratif yang serap oleh kendaraan saat melakukan perlambatan. Untuk energy regenerative sendiri didapatkan total energinya sebesar 0.7637 kWh. Dari bisa kita lihat bahwa presentase energy regeneratif dibandingkan dengan nilai rhp kendaraan pada driving cycle 2 yaitu sebesar 13.45%. Ini menunjukkan bahwa energy regenerative mampu menyumbang sejumlah energy yang dibutuhkan kendaraan yaitu sekitar 13.45% dari dari total rhp kendaraan.

4.5.3. Analisa Kontribusi Regenerative Energi terhadap RHP pada driving cycle 3



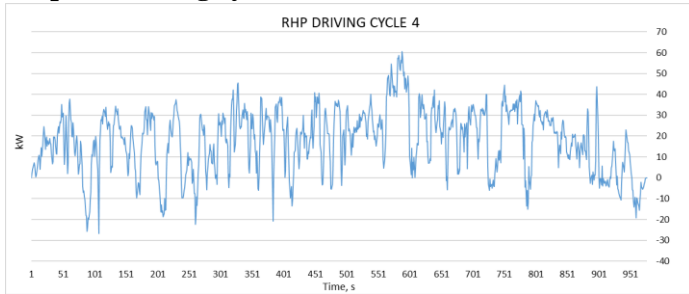
Gambar 4. 30 Road Load Horsepower kendaraan pada DC III



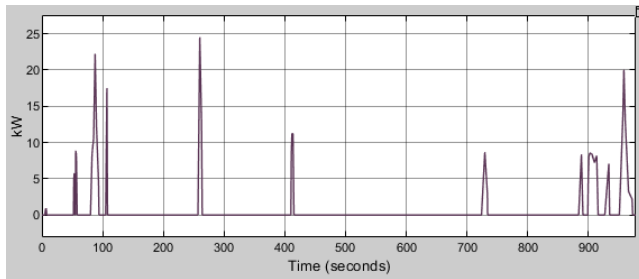
Gambar 4. 31 Daya regenerative yang diserap pada Driving Cycle III

Gambar 4.18 merupakan merupakan kurva road load horsepower dari kendaraan pada saat driving cycle 3 yang didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan data uji kendaraan yang ada. Kurva rhp tersebut merupakan hasil dari gaya hambat yaitu gaya rolling gaya aerodinamis dan gaya inersia dikalikan dengan kecepatan kendaraan Terlihat pada gambar bahwa kurva rhp sendaraan fluktuatif sesuai dengan perubahan kecepatan kendaraan. jumlah tenaga rhp kendaraan pada driving cycle 3 ini diubah dalam bentuk energy dan dihitung totalnya dan hasilnya didapatkan sebesar 0.9107 kWh. Gambar 4.19 merupakan kurva energy regeneratif. Kurva ini menunjukkan besar energy regeneratif yang serap oleh kendaraan saat melakukan perlambatan. Untuk energy regenerative sendiri diapatkan total energinya sebesar 0.2371 kWh. Dari bisa kita lihat bahwa presentase energy regeneratif dibandingkan dengan nilai rhp kendaraan pada driving cycle 3 yaitu sebesar 26.03%. Ini menunjukkan bahwa energy regenerative mampu menyumbang sejumlah energy yang dibutuhkan kendaraan yaitu sekitar 26.03% dari dari total rhp kendaraan.

4.5.4. Analisa Kontribusi Regenerative Energi terhadap RHP pada driving cycle 4



Gambar 4. 32 Road Load Horsepower kendaraan pada DC IV



Gambar 4. 33 Daya regenerative yang diserap pada Driving Cycle IV

Gambar 4.20 merupakan merupakan kurva road load horsepower dari kendaraan pada saat driving cycle 4 yang didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan data uji kendaraan yang ada. Kurva rhp tersebut merupakan hasil dari gaya hambat yaitu gaya rolling gaya aerodinamis dan gaya inersia dikalikan dengan kecepatan kendaraan Terlihat pada gambar bahwa kurva rhp sendaraan fluktuatif sesuai dengan perubahan kecepatan kendaraan. jumlah tenaga rhp kendaraan pada driving cycle 4 ini diubah dalam bentuk energy dan

dihitung totalnya dan hasilnya didapatkan sebesar 4.975 kWh. Gambar 4.21 merupakan kurva energy regeneratif. Kurva ini menunjukkan besar energy regeneratif yang serap oleh kendaraan saat melakukan perlambatan. Untuk energy regenerative sendiri didapatkan total energinya sebesar 0.2585 kWh. Dari bisa kita lihat bahwa presentase energy regeneratif dibandingkan dengan nilai rhp kendaraan pada driving cycle 4 yaitu sebesar 5.2%. Ini menunjukkan bahwa energy regenerative mampu menyumbang sejumlah energy yang dibutuhkan kendaraan yaitu sekitar 5.2% dari dari total rhp kendaraan.

4.6. Rekap Moda kendaraan

Tabel 4. 8 Rekap Driving Cycle I

Moda Operasi	Hasil (s)
Murni Penggerak Mesin	0
Murni Penggerak Listrik	462
Penggerak <i>Hybrid</i> Seri	0
Penggerak <i>Hybrid</i> Paralel	0
Unduh Energi Pengereman (Penggerak Motor)	264
Unduh Energi Pengereman (Penggerak Mesin)	0
Unduh Energi Pengereman dan Energi Kinetik	0

Tabel 4. 9 Rekap Driving Cycle II

Moda Operasi	Hasil (s)
Murni Penggerak Mesin	20
Murni Penggerak Listrik	92
Penggerak <i>Hybrid</i> Seri	4
Penggerak <i>Hybrid</i> Paralel	428
Unduh Energi Pengereman (Penggerak Motor)	109
Unduh Energi Pengereman (Penggerak Mesin)	2
Unduh Energi Pengereman dan Energi Kinetik	135

Tabel 4. 10 Rekap Driving Cycle III

Moda Operasi	Hasil (s)
Murni Penggerak Mesin	1
Murni Penggerak Listrik	479
Penggerak <i>Hybrid</i> Seri	0
Penggerak <i>Hybrid</i> Paralel	19
Unduh Energi Pengereman (Penggerak Motor)	200
Unduh Energi Pengereman (Penggerak Mesin)	1
Unduh Energi Pengereman dan Energi Kinetik	3

Tabel 4. 11 Rekap Driving Cycle IV

Moda Operasi	Hasil (s)
Murni Penggerak Mesin	11
Murni Penggerak Listrik	89
Penggerak <i>Hybrid</i> Seri	0
Penggerak <i>Hybrid</i> Paralel	442
Unduh Energi Pengereman (Penggerak Motor)	125
Unduh Energi Pengereman (Penggerak Mesin)	6
Unduh Energi Pengereman dan Energi Kinetik	51

Tabel diatas merupakan rekap moda pada tiap driving cycle. Pada driving cycle I kendaraan murni berpengerak motor listrik sehingga unduh energy didapatkan hanya dari motor. Sedangkan pada driving cycle II, III dan IV kendaraan dalam moda hybrid sehingga kendaraan melakukan energy tidak hanya dari motor saja tapi juga dari engine saat kendaraan dalam mode Hybrid. Pada driving cycle II, III dan IV kendaraan juga berjalan dengan berpengerak murni engine dan murni motor listrik. Saat mode hybrid, kendaraan bisa bergerak dengan mode hybrid Seri atau hybrid parallel. Hybrid Seri apabila engine bekerja untuk memutar generator sehingga dihasilkan arus listrik yang bisa disimpan ke baterai atau digunakan untuk menggerakan motor listrik. Terlihat dari driving cycle II, III dan IV hanya pada driving cycle II mode hybrid seri berkerja dan pada driving cycle II mode hybrid seri hanya bekerja selama 4 detik. Kemudian hybrid parallel adalah saat dimana engine secara mekanis bekerja bersama dengan motor listrik menggerakan kendaraan. Pada ketiga driving cycle mode hybrid, dan mode hybrid parallel lebih lama bekerja dibanding mode hybrid seri. Pada saat perlambatan kendaraan dilakukan maka kendaraan melakukan unduh enrgi dari energy pengereman. Unduh energy penggerak motor paling besar terjadi pada driving cycle I karena kendaraan murni berpengerak motor. Unduh energy penggerak engine memiliki waktu yang sangat kecil pada driving cycle II, III dan IV, terlihat pada 3 driving cycle tersebut unduh energy penggerak mesin tidak sampai sepuluh detik karena kendaraan menggunakan penggerak murni engine juga dalam waktu yang sedikit. Unduh energy dari motor dan engine paling besar terjadi pada driving cycle II yaitu selama 135 detik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa terhadap analisa penggunaan *Regenerative brake* pada Kendaraan *Plug-In Hybrid (PHEV)* pada program *Simulink* Matlab dapat disimpulkan bahwa:

1. Besar energy pengerememan yang tersedia dan energy regenerative brake yang diserap pada driving cycle I adalah 0.3722 kWh dan 0.2839; pada driving cycle II adalah 1.217 kWh dan 0.7348 kWh, pada driving cycle III adalah 0.412 kWh dan 0.2371 kWh, dan pada driving cycle IV adalah 1.311 kWh dan 0.2585 kWh.
2. Besar efisiensi system regenerative brake pada saat driving pada driving cycle I adalah 76.27 %, driving cycle II, 60.37%; driving cycle II 57.55 % dan driving cycle IV 19.72%.
3. Pada driving I dan III besar energy regneratif yang dihasilkan relative lebih kecil dari pada driving cycle II dan IV karena driving cycle I dan III kendraan berjalan di daerah perkotaan, sehingga kecepatannya rendah dan motor listrik akan cenderung bekerja pada kecepatan rendah, sedangkan pada driving cycle II dan IV melaju di jalan Highway(bebas hambatan).
4. Besarnya kontribusi energy regenerative terhadap road load horse power kendaraan pada driving cycle I adalah 40.04%; driving cycle II 13.45%; driving cycle III 26.03%; dan pada driving cycle IV sebesar 5.2%.

5.2 Saran

Saran yang bisa diajukan setelah pengerjaan tugas akhir kali ini adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat sebaiknya dilakukan juga analisa bagaimana pengaruh Energi regenerative terhadap *state of charge*.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan parameter penekanan pedal gas serta analisis lebih lanjut mengenai hubungan penekanan pedal gas terhadap energy regenerative brake
3. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya generator yang sudah ada dibandingkan dengan generator lain untuk membandingkan besar energi bangkitan pada tiap generator.
4. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan analisa *regenerative brake* dengan mensimulasikan komponen-komponen fisik kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Wijaya, Gito.* 2014. “**Analisa Gaya Pengereman dan Energi yang Dibangkitkan dengan Porsi *Regenerative Brake***”. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] *Perdana Pradipta Bintang,* 2018 “**Analisa Penggunaan *Regenerative Brake* Pada Mobil Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik**”. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] *Sutantra, I Nyoman.* 2015. “**Teknologi Otomotif *Hybrid*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember**”. Surabaya: Guna Widya.
- [4] *Sutantra, I. Nyoman., Sampurno, Bambang.* 2010. “**Teknologi Otomotif Edisi Kedua, Institut Teknologi Sepuluh Nopember**”. Surabaya: Guna Widya.
- [5] *Mashadi, Behrooz., Crolla, David.* 2012. “***Vehicle Powertrain System***”. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd
- [6] *Humas/HMP 2018.* **BPPT: Indonesia Darurat Energi**, <URL: www.bppt.go.id>
- [7] *Martins, Lasb., Dkk,* 2009. “***Regenerative Braking Potential and Energy Simulations for a Plug-In Hybrid Electric Vehicle Under Real Driving Conditions***”. Florida, USA. Proceedings of the ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress & Exposition

[8] *Annonym* 2019. **Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC)**, <URL: www.dieselnet.com>

[9] *Admin* 2017. **Toyota Prius Plug-In Hybrid Brochure**, <URL: www.toyota-europe.com>

[10] *Allen E, Fush*. 2009. **“Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation”**.
United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd

BIODATA PENULIS



Muslich Affandi dilahirkan di Madiun, 26 Juni 1994, merupakan anak dari Mustaqim(Alm) dan Siti Munawaroh. Riwayat pendidikan penulis diawali di TK Dharma Wanita 1 Madiun tahun, selanjutnya SDN 2 Kanigoro Madiun selama 6 tahun, kemudian masuk SMPN 01 Madiun selama 3 tahun, dan SMAN 02 Madiun selama 3 tahun. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis aktif dalam kegiatan organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi, penulis sempat tercatat sebagai staff anggota Sie Dana Usaha Lembaga Dakwah Jurusan Ash-Shaff Teknik Mesin periode 2015/2016 kemudian menjabat sebagai Sekretaris Lembaga Dakwah Jurusan Ash-Shaff Teknik Mesin periode 2016/2017. Penulis juga pernah menjadi anggota LMB ITS Cinta Rebana periode 2014/2015. Selain itu penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan pengembangan kepribadian baik diantaranya LKMM Pra-TD dari BEM FTI-ITS tahun 2013, LKMM TD yang diselenggarakan Himpunan Mahasiswa Mesin ITS pada tahun 2015. Apabila ada keluh kesah mengenai tugas akhir ini atau yang lain bisa menghubungi penulis lewat email: muslichaffan@gmail.com