



TUGAS AKHIR – TM184835

EVALUASI SISTEM MANAJEMEN ENERGI PADA TOYOTA PRIUS PLUG-IN HYBRID

DANAR YAZID PERMANA
0211134000048

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Bambang Sudarmanta, ST.MT.

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



TUGAS AKHIR – TM184835

**EVALUASI SISTEM MANAJEMEN ENERGI PADA
TOYOTA PRIUS PLUG-IN HYBRID**

**DANAR YAZID PERMANA
NRP. 0211134000048**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr.BAMBANG SUDARMANTA, ST., MT.**

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



FINAL PROJECT – TM184835

**EVALUATION OF ENERGY MANAGEMENT
SYSTEMS ON TOYOTA PRIUS PLUG-IN HYBRID**

**DANAR YAZID PERMANA
NRP. 0211134000048**

**Academic Advisor
Dr.BAMBANG SUDARMANTA, ST., MT.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND
SYSTEMS ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020**

**EVALUASI SISTEM MANAJEMEN ENERGI
PADA TOYOTA PRIUS PLUG-IN HYBRID**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DANAR YAZID PERMANA

NRP. 0211134000048

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT (Pembimbing)
NIP. 197301161997021001
2. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng, Sc (Penguji I)
NIP. 196604021989031002
3. Ary Bachtiar K.P., ST, MT, PhD (Penguji II)
NIP. 197105241997021001
4. Is Bunyamin Suryo, ST, M.Sc (Penguji III)
NIP. 198208192012121003

SURABAYA

JANUARI, 2020

EVALUASI SISTEM MANAJEMEN ENERGI PADA TOYOTA PRIUS PLUG-IN *HYBRID*

Nama : Dinar Yazid Permana
NRP : 0211134000048
Jurusan : Teknik Mesin
Pembimbing : Dr. Bambang Sudarmanta, S.T.,M. T.

ABSTRAK

Perkembangan pada dunia otomotif saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat. Berbagai teknologi ditemukan dengan tujuan untuk mencari kondisi yang lebih baik. Masalah utama dalam perkembangan dunia otomotif adalah dalam performansi mesin dan ketersediaan bahan bakar. Dimana teknologi mesin kini berkembang ke arah performansi yang tinggi dan emisi yang rendah, sedangkan teknologi bahan bakar menuju ke arah bahan bakar listrik yang ramah lingkungan, maka dari itu perpaduan keduanya adalah dengan pemakaian kendaraan *hybrid* yang menggunakan penggerak motor bakar dan motor listrik.

Penelitian terhadap mobil *Toyota Prius Plug-in hybrid* yang menggunakan *hybrid* jenis seri-paralel ini dilakukan dengan pengujian jalan dengan standarisasi *driving cycle* yang ada terdiri dari UDDS, FTP 75, dan HWFET yang telah ditentukan yang bertujuan untuk mengetahui *engine power*, *electric power*, konsumsi bahan bakar dan konsumsi baterai melalui SOC (*state of charge*) dengan menggunakan data yang diperoleh dari pengujian jalan yang tercatat oleh *data logger*, sehingga perlu dilakukan evaluasi sistem manajemen energi pada kendaraan *hybrid*.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa perubahan SOC (*state of charge*) mode *hybrid* terkecil didapatkan pada *driving cycle* UDDS yaitu sebesar 3.76 %, untuk mode *electric* pada *driving cycle* UDDS yaitu sebesar 22.69 %. Untuk *Energy Flow* pada mode *hybrid* presentase *discharging* terkecil didapatkan pada

driving cycle UDDS sebesar 45.54 %, presentase *charging* terbesar pada *driving cycle* UDDS sebesar 22.19 %, dan untuk presentase *regenerating* terbesar pada *driving cycle* HWFET yaitu sebesar 35.13 %. Sedangkan *Energy Flow* pada mode *electric* presentase *discharging* terkecil pada *driving cycle* UDDS sebesar 80.57 %, dan untuk presentase *regenerating* terbesar pada *driving cycle* FTP 75 yaitu sebesar 82.77 %. Sedangkan untuk konsumsi bahan bakar terkecil pada *driving cycle* UDDS yaitu sebesar 0.0088476 L.

Kata kunci : Motor Bakar, Motor Listrik, Manajemen Energi, Hybrid Seri-Paralel, Toyota Prius Plug-in hybrid, driving cycle.

EVALUATION OF ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS ON TOYOTA PRIUS PLUG-IN HYBRID

Name : Danar Yazid Permana
NRP : 0211134000048
Departement : Teknik Mesin
Advisor : Dr. Bambang Sudarmanta, S.T.,M. T.

ABSTRACT

Developments in the automotive world are currently experiencing very rapid development. Various technologies are found with the aim of finding better conditions. The main problem in the development of the automotive world is in engine performance and fuel availability. Where engine technology is now developing towards high performance and low emissions, while fuel technology is heading towards environmentally friendly electric fuel, therefore the combination of the two is with the use of hybrid vehicles that use combustion motors and electric motors.

Research on the Toyota Prius plug-in hybrid car that uses a parallel-series hybrid type is carried out by road testing with existing driving cycle standards consisting of UDDS, FTP 75, and predetermined HWFETs that aim to determine engine power, electric power, consumption fuel and battery consumption through SOC (state of charge) using data obtained from road tests recorded by the data logger, so it is necessary to evaluate the energy management system on hybrid vehicles.

From this study it was found that the smallest change in SOC (state of charge) hybrid mode was found in the UDDS driving cycle which was 3.76%, for electric mode in the UDDS driving cycle which was 22.69%. For Energy Flow in hybrid mode the smallest percentage of discharging is found in the UDDS driving cycle of 45.54%, the largest percentage of charging in the UDDS driving cycle is 22.19%, and for the largest regenerating

percentage in the HWFET driving cycle is 35.13%. Whereas Energy Flow in electric mode percentage was the smallest discharging in the driving cycle UDDS by 80.57%, and for the largest percentage of regenerating in the driving cycle FTP 75 which was 82.77%. As for the smallest fuel consumption in the driving cycle UDDS that is equal to 0.0088476 L.

Keywords: *Combustion Motors, Electric Motors, Energy Management, Parallel-Series Hybrids, Toyota Prius Plug-in hybrid, driving cycle.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan petunjuk sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Tak lupa sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW. Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Keluarga penulis, terutama kedua orang tua penulis **Bapak Sulasmono S.E A.k, Ibu Farida Almeijani Sarastri M.Pd** dan adik **Dyah Audita Satuti** serta keluarga penulis atas segala kasih sayang, dukungan, dan doa yang selalu dipanjatkan untuk penulis.
2. Bapak **Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT.**, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah mencurahkan ilmu, perhatian, waktu, tenaga, bimbingan, kesabaran dalam 1 tahun pengerjaan Tugas Akhir ini dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc**, Bapak **Ary Bachtiar K.P, ST, MT, PhD** dan **Bapak Is Bunyamin Suryo, ST. MSc** selaku dosen penguji seminar proposal dan sidang Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu, saran, dan masukan untuk perbaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak **Alief Wikarta ST, MSc.Eng. PhD.** selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dalam menempuh kerasnya perkuliahan Teknik Mesin ITS ini.
5. Tim Hybrids Cars tugas akhir Bayu Adhi Saputro Iqbal Samudra Abiyan yang telah menemani dalam proses pengerjaan tugas akhir ini
6. Teman-teman penghuni kost Lab. Pembakaran Sistem Energi yang setia menemani dan membantu selama proses penyelesaian tugas akhir.
7. Teman-teman M56 yang telah menemani masa perkuliahan penulis semangat kawan kita pasti bisa lulus dengan baik.

8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan perkuliahan S1 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Kendaraan Konvensional	7
2.2 Kendaraan Elektrik.....	7
2.3 Kendaraan <i>Hybrid</i>	8
2.3.1 <i>Hybrid</i> seri.....	9
2.3.2 <i>Hybrid</i> Paralel.....	10
2.3.3 <i>Hybrid</i> Seri-Paralel.....	11
2.3.4 Kendaraan PHEV (Plug-in <i>Hybrid</i> Vehicle)	13
2.3.5 Manajemen Energi Pada Kendaraan <i>Hybrid</i>	14
2.4 <i>Driving Cycle</i>	15

2.5 Persamaan Gerak Pada Kendaraan	18
2.6 Motor Bakar.....	19
2.6.1 Karakteristik Unjuk Kerja Motor Bakar	20
2.6.2 Rugi-rugi Pada Motor Bakar	21
2.6.3 Pembakaran pada Mesin Bensin.....	22
2.6.4 Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah	24
2.7 Motor Elektrik	25
2.7.1 Karakteristik Motor Elektrik	26
2.8 Baterai.....	27
2.9 Power Control Unit.....	28
2.10 <i>Hybrid Synergy Drive (HSD)</i>	29
2.11 <i>Energy Flow</i>	30
2.12 Mode Yang Berada Pada <i>Toyota Prius Plug-in Hybrid</i> ..	31
2.12.1 HV (<i>Hybrid Vehicle</i>) Mode	31
2.12.2 CD (<i>Charge Depleting</i>) Mode	32
2.12.3 CS (<i>Charge Sustaining</i>) Mode	32
2.13 Penelitian Terdahulu.....	32
2.13.1 Penelitian Oleh Ireneusz dkk	32
2.13.2 Penelitian oleh Jiankun Peng dkk	34
BAB III.....	37
METODOLOGI	37
3.1 Metodologi Penelitian	37
3.2 Peralatan Eksperimen	37
3.2.1 Alat Uji	37

3.2.2 Alat Ukur.....	38
3.3 Sistematika Penelitian	39
3.3.1 Skema Penelitian	39
3.3.2 Tahap-tahap Penelitian	39
3.4 Flowchart Penelitian.....	41
BAB IV	43
HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4. 1 Analisa Pengujian Jalan Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> UDDS	43
4.1.1 Analisa <i>Energy flow</i> Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> UDDS	43
4.1.2 Analisa Engine Dan Electric Power Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> UDDS	45
4.1.3 Analisa SOC Ratio Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> UDDS	47
4.1.4 Analisa Fuel Consumption Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> UDDS	48
4.1.5 Analisa <i>Energy flow</i> Mode <i>Electric</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> UDDS	49
4.1.6 Analisa <i>Electric Power</i> Mode <i>Electric</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> UDDS	51
4.1.7 Analisa SOC Ratio Mode <i>Electric</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> UDDS	52
4.1.8 Analisa Perbandingan <i>Energy flow</i> pada Mode <i>hybrid</i> dan Mode elektrik Pada UDDS	53
4.1.9 Analisa Perbandingan SOC ratio pada Mode <i>hybrid</i> dan Mode elektrik Pada UDDS	54

4. 2 Analisa Pengujian Jalan Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> FTP-75	55
4.2.1 Analisa <i>Energy flow</i> Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> FTP 75.....	55
4.2.2 Analisa <i>Engine</i> Dan <i>Electric Power</i> Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> FTP-75.....	57
4.2.3 Analisa SOC Ratio Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> FTP-75	58
4.2.4 Analisa <i>Fuel Consumption</i> Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> FTP-75	60
4.2.5 Analisa <i>Energy flow</i> Mode <i>Electric</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> FTP-75	61
4.2.6 Analisa <i>Electric Power</i> Mode <i>Electric</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> FTP-75	62
4.2.7 Analisa SOC Ratio Mode <i>Electric</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> FTP-75	63
4.2.8 Analisa Perbandingan <i>Energy flow</i> pada Mode <i>hybrid</i> dan Mode elektrik Pada FTP 75	64
4.2.9 Analisa Perbandingan SOC Ratio pada Mode <i>hybrid</i> dan Mode elektrik Pada FTP 75	65
4. 3 Analisa Pengujian Jalan Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> HWFET	67
4.3.1 Analisa <i>Energy flow</i> Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> HWFET.....	67
4.3.2 Analisa <i>Engine</i> Dan <i>Electric Power</i> Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> HWFET	69
4.3.3 Analisa SOC Ratio Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> HWFET.....	70

4.3.4 Analisa <i>Fuel Consumption</i> Mode <i>Hybrid</i> Pada Kondisi <i>Driving cycle</i> HWFET.....	72
4. 4 Analisa Perbandingan <i>Energy flow</i> Mode <i>Hybrid</i> Pada Tiga <i>Driving cycle</i> (UDDS,FTP 75, Dan HWFET).....	73
4. 5 Analisa Perbandingan <i>Energy flow</i> Mode <i>Electric</i> Pada Dua <i>Driving cycle</i> (UDDS Dan FTP 75)	75
4. 6 Analisa Perbandingan SOC Ratio Mode <i>Hybrid</i> Pada Tiga <i>Driving cycle</i> (UDDS,FTP 75, Dan HWFET).....	77
4. 7 Analisa Perbandingan SOC Ratio Mode <i>electric</i> Pada Dua <i>Driving cycle</i> (UDDS dan FTP 75)	78
4. 8 Analisa Perbandingan <i>Fuel Consumption</i> Mode <i>Hybrid</i> Pada Tiga <i>Driving cycle</i> (UDDS,FTP 75, Dan HWFET)	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

BAB I

Gambar 1.1 Mobil Hybrid dari Buick Skylark..... 2

BAB II

Gambar 2.1 Kendaraan Konvensional..... 7

Gambar 2.2 Kendaraan Elektrik 8

Gambar 2.3 Kendaraan Hybrid 9

Gambar 2.4 Skema Hybrid elektrik seri..... 10

Gambar 2.5 Skema Hybrid elektrik paralel..... 11

Gambar 2.6 Skema Hybrid elektrik seri paralel..... 12

Gambar 2.7 Skema PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) 13

Gambar 2.8 Manajemen energi pada kendaraan hybrid..... 14

Gambar 2.9 Skema Manajemen energi pada kendaraan hybrid. . 15

Gambar 2.10 Driving Cycle UDDS..... 16

Gambar 2.11 Driving Cycle FTP 75..... 16

Gambar 2.12 Driving Cycle HWFET..... 17

Gambar 2.13 Persamaan Gaya Kendaraan..... 18

Gambar 2.14 Mode operasi kendaraan..... 19

Gambar 2.15 Internal Combustion Engine..... 20

Gambar 2.16 Brake Power dan Brake Torque..... 20

Gambar 2.17 Rugi-rugi pada kendaraan..... 22

Gambar 2.18 Cara Kerja Mesin Bensin 4 Langkah..... 23

Gambar 2.19 Diagram P-V Motor Bensin 4 Langkah..... 24

Gambar 2.20 Permanent excited synchronous motor..... 26

Gambar 2.21 Grafik karakteristik motor listrik..... 27

Gambar 2.22 Lithium-ion batteries..... 28

Gambar 2.23 power control unit..... 29

Gambar 2.24 hybrid synergy drive..... 30

Gambar 2.25 Hasil Energy Flow..... 34

Gambar 2.26 Skematik pada PHEB..... 35

Gambar 2.27 Hasil simulasi penelitian jiankun peng dkk 35

BAB III

Gambar 3.1 Toyota Prius Plug-In Hybrid	37
Gambar 3.2 Skema Penelitian.	39
Gambar 3.3 Flowchart Pengujian Jalan.....	42

BAB IV

Gambar 4.1.1 Grafik Energy Flow Mode Hybrid (UDDS).....	44
Gambar 4.1.2 Grafik Engine Dan Electric Power Mode Hybrid (UDDS)	45
Gambar 4.1.3 Grafik SOC Ratio Mode Hybrid (UDDS)	47
Gambar 4.1.4 Grafik Fuel Consumption Mode Hybrid (UDDS)	48
Gambar 4.1.5 Grafik Energy Flow Mode Electric (UDDS).....	49
Gambar 4.1.6 Grafik Electric Power Mode Electric (UDDS)	51
Gambar 4.1.7 Grafik SOC Ratio Mode Electric (UDDS)	52
Gambar 4.1.8 Grafik Perbandingan Energy Flow (UDDS)	41
Gambar 4.1.9 Grafik Perbandingan SOC Ratio (UDDS)	42
Gambar 4.2.1 Grafik Energy Flow Mode Hybrid (FTP 75).....	55
Gambar 4.2.2 Grafik Engine Dan Electric Power Mode Hybrid (FTP 75)	57
Gambar 4.2.3 Grafik SOC Ratio Mode Hybrid (FTP 75)	58
Gambar 4.2.4 Grafik Fuel Consumption Mode Hybrid (FTP 75).....	60
Gambar 4.2.5 Grafik Energy Flow Mode Electric (FTP 75).....	61
Gambar 4.2.6 Grafik Engine Dan Electric Power Mode Electric (FTP 75)	62
Gambar 4.2.7 Grafik SOC Ratio Mode Electric (FTP 75)	63
Gambar 4.2.8 Grafik Perbandingan Energy Flow (FTP 75).....	50
Gambar 4.2.9 Grafik Perbandingan SOC Ratio (FTP 75).....	51
Gambar 4.3.1 Grafik Energy Flow Mode Hybrid (HWFET).....	67
Gambar 4.3.2 Grafik Engine Dan Electric Power Mode Hybrid (HWFET).....	69

Gambar 4.3.3 Grafik SOC Ratio Mode Hybrid (HWFET)	70
Gambar 4.3.4 Grafik Fuel Consumption Mode Hybrid (HWFET)	72
Gambar 4.4.1 Grafik Energy Flow Mode Hybrid Pada Tiga Driving Cycle.....	73
Gambar 4.5.1 Grafik Energy Flow Mode Electric Pada Dua Driving Cycle.....	75
Gambar 4.6.1 Grafik Energy Flow Mode Hybrid Pada Tiga Driving Cycle.....	77
Gambar 4.7.1 Grafik Energy Flow Mode Electric Pada Dua Driving Cycle.....	78
Gambar 4.8.1 Grafik Fuel Consumption Mode Hybrid Pada Tiga Driving Cycle.....	79

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

BAB II

Tabel 2.1 Tabel kondisi kendaraan <i>Toyota C-HR</i> dengan dua mode berkendara.	33
---	----

BAB III

Tabel 3.1 Matrik Rancangan Pengujian Jalan.	40
--	----

BAB V

Tabel 5.1 Matrik Hasil Hybrid Mode.	81
Tabel 5.2 Matrik Hasil Electric Mode.	81

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu cepat telah mempengaruhi pengembangan segala produk termasuk diantaranya kendaraan bermotor. Perkembangan kendaraan yang begitu pesat baik dari segi kualitas maupun kuantitas menuju terwujudnya kendaraan cerdas (*intelligent car*) dan transportasi cerdas (*intelligent transportation system*) adalah didorong juga oleh perkembangan teknologi dan transportasi. Teknologi otomotif telah tumbuh pesat yang mana juga berdampak serta diakibatkan pertumbuhan teknologi yang terkait diantaranya teknologi perancangan, teknologi energi, teknologi kontrol, teknologi lingkungan, dan lain lain (Sutantra, 2016).

Akibat dari Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat tiap tahunnya. Kebutuhan energi yang semakin besar berbanding terbalik dengan ketersediaan sumber energi yang semakin sedikit terutama energi yang berasal dari fosil. Pernyataan ini diperkuat dengan data-data yang telah dikumpulkan oleh *Ecotricity* bahwa jumlah energi fosil khususnya minyak bumi akan habis pada tahun 2055. Hal tersebut mendorong peneliti untuk mengembangkan teknologi sebagai alternatif solusi dari permasalahan tersebut, salah satunya adalah teknologi di bidang otomotif yaitu kendaraan bertenaga listrik.

Salah satu teknologi otomotif yang sedang naik daun untuk mengatasi permasalahan diatas adalah kendaraan bersistem *hybrid*, tetapi jika dilihat dari sejarahnya kendaraan bersistem *hybrid* sama tuanya dengan kendaraan konvensional yaitu kendaraan dengan mesin pembakaran dalam. Namun perkembangan awal dari kendaraan *hybrid* bukan dimaksudkan untuk mengurangi pemakaian bahan bakar, tetapi utamanya untuk menambah tenaga kendaraan, karena pada awalnya tenaga yang

dihasilkan mesin masih kecil dan jauh kurang efisien dibandingkan motor listrik.



Gambar 1.1 Mobil *Hybrid* dari *Buick Skylark*.

Kendaraan *hybrid* pertama yang tercatat adalah pada tahun 1899, dikembangkan di Belgia dan perancis. Kendaraan *hybrid* yang pertama ini adalah untuk meningkatkan tenaga kendaraan menggunakan system *hybrid* paralel yaitu menggunakan mesin kecil dengan pendingin udara dan motor listrik dengan baterai *lead-acid* (Mi, Masrur, & Gao, 2011). Pada saat itu juga sudah dirancang bahwa baterai dapat diisi oleh mesin pada saat berhenti dan pada saat pengurangan kecepatan, dan juga bila dibutuhkan tenaga kendaran lebih besar dari tenaga mesin maka tenaga mesin dibantu oleh tenaga motor listrik yang bersumber dari baterai, namun sistem pengaturannya sangat sederhana, karena teknologi elektronik dan kontrol masih belum berkembang. Pada tahun 1975 Wouck mengembangkan kendaraan *Buick Skylark* dengan system *hybrid* paralel yang telah mengaplikasikan teknologi kontrol dimana teknologi kontrol sudah berkembang pada tahun itu, kendaraan ini menggunakan mesin dari *Mazda rotary* dan dibantu oleh motor listrik DC dengan tenaga 15 Hp, dan dengan 8 buah baterai 12 volt. Kendaraan ini dapat mencapai kecepatan tertinggi sebesar 129 km/jam dengan akselerasi 0 sampai 60 km/jam dapat dicapai dalam waktu 16 detik (Rauschert,2009). Setelah itu

perkembangan dari kendaraan *hybrid* begitu pesat selain untuk meningkatkan tenaga kendaraan, dan pada kemudian untuk mengurangi polusi.

Manajemen energi pada Toyota prius plug-in *hybrid* dimana pada saat *idle* atau awal berkendara maka hanya motor listrik saja yang bekerja sampai pada kecepatan rendah, sedangkan bila kecepatan naik atau lebih cepat maka mesin motor bakar akan menyala dan bekerja berbarengan dengan motor listrik, dan bila ada pengereman atau pengurangan kecepatan maka kendaraan akan mengisi baterai, manajemen energi ini berfungsi untuk mencapai energi yang efisien dalam pemakaian sehari hari, pada Toyota prius plug-in *hybrid* terdapat teknologi bernama *hybrid synergy drive* dimana melibatkan dua motor listrik dan satu mesin ICE (*internal combustion engine*), yang berfungsi untuk mengatur kapan motor listrik bekerja dan mesin ICE (*internal combustion engine*) bekerja.

Driving cycle adalah siklus mengemudi yang berisi kumpulan data yang merepresentasikan kecepatan kendaraan terhadap waktu pada daerah dan kondisi jalan dalam interval waktu tertentu. Menurut Giakoumis (Giakoumis, 2016), *driving cycle* yang digunakan untuk tugas akhir ini ada tiga yaitu UDDS, FTP-75 dan HWFET. UDDS memiliki aturan yaitu pada kondisi perkotaan sejauh 12.07 km dengan kecepatan rata-rata 31.5 km/h, sedangkan FTP-75 merupakan rute perkotaan juga tetapi dengan jarak sejauh 17.77 km, dan *driving cycle* HWFET merupakan pada kondisi jalan tol jarak sejauh 16.45 km dengan kecepatan rata-rata sebesar 77.7 km/h (Agency, 2012). Berdasarkan uraian diatas maka perlu diteliti evaluasi mengenai manajemen energi pada Toyota prius plug-in *hybrid* dengan cara membandingkan mode *hybrid* dan *electric* yang dimiliki oleh kendaraan pada tiga *driving cycle* yaitu UDDS, FTP 75 dan HWFET, dimana yang akan dilihat adalah bagaimana perubahan SOC (state of charge), *Energy Flow*, serta penggunaan bahan bakar.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini antara lain.

1. Bagaimana perubahan SOC (*state of charge*) baterai pada mode *hybrid* dan EV (*electric vehicle*) di mobil *Toyota prius plug-in hybrid* untuk standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.
2. Bagaimana *Energy Flow* pada mode *hybrid vehicle* dan EV (*electric vehicle*) di mobil *Toyota prius plug-in hybrid* untuk tiga standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.
3. Bagaimana penggunaan bahan bakar pada mode *hybrid* di mobil *Toyota prius plug-in hybrid* untuk tiga standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain.

1. Penggerak utama pada system adalah motor bakar dan motor listrik.
2. Menggunakan bahan bakar pertamax turbo.
3. Kendaraan uji adalah *Toyota prius plug-in hybrid vehicle* tahun 2018.
4. Kondisi kendaraan adalah dalam standar pabrik.
5. System *hybrid* jenis seri-paralel.
6. Vehicle dynamic tidak diperhatikan.
7. Tidak membahas emisi seperti NO_x, CO₂, HC, maupun partikel yang meminimalkan bahan bakar.
8. Pengujian dilakukan di dalam kota Surabaya dan sekitarnya

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian tugas akhir ini antara lain.

1. Mengevaluasi perubahan SOC (*state of charge*) baterai pada mode *hybrid* dan EV (*electric vehicle*) di mobil *Toyota prius plug-in hybrid* untuk standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.
2. Mengevaluasi *Energy Flow* pada mode *hybrid* dan EV (*electric vehicle*) di mobil *Toyota prius plug-in hybrid* untuk tiga standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.
3. Mengevaluasi penggunaan bahan bakar pada mode *hybrid* di mobil *Toyota prius plug-in hybrid* untuk tiga standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.

1.5 Manfaat Penelitian

Tugas akhir ini memiliki manfaat antara lain:

1. Mengetahui perubahan SOC (*state of charge*) baterai pada mode *hybrid* dan EV (*electric vehicle*) di mobil *Toyota prius plug-in hybrid* untuk standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.
2. Mengetahui *Energy Flow* pada mode *hybrid* dan EV (*electric vehicle*) di mobil *Toyota prius plug-in hybrid* untuk tiga standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.
3. Mengetahui penggunaan bahan bakar pada mode *hybrid* di mobil *Toyota prius plug-in hybrid* untuk tiga standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.
4. Menjadi acuan bagi penelitian yang lebih mendalam di kemudian hari.

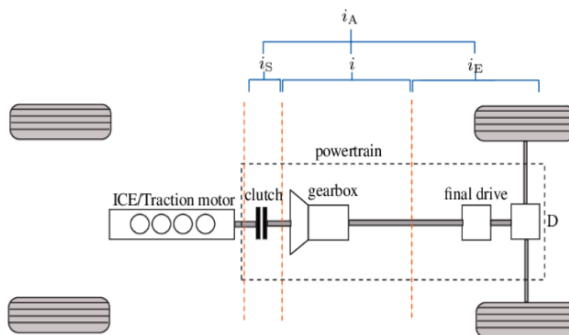
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kendaraan Konvensional

Mobil yang didorong mesin saat ini telah berevolusi selama bertahun – tahun, pada awalnya dimulai dengan tenaga uap dan kemudian beralih ke yang berbasis pada mesin pembakaran dalam (ICE). Fokus dari pada bagian ini adalah pada mesin pembakaran dalam (ICE), jadi kendaraan yang saat ini menggunakan diesel maupun gasoline. Mesin memiliki ruang di mana bensin atau diesel dinyalakan yang akan menyebabkan tekanan tinggi untuk menggerakkan piston.

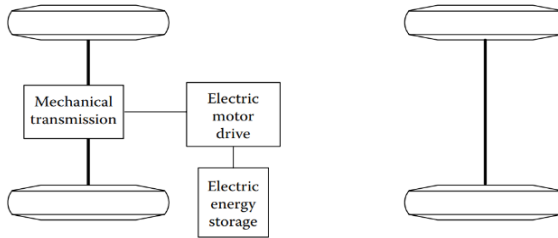


Gambar 2.1 Kendaraan Konvensional

2.2 Kendaraan Elektrik

Kendaraan elektrik menggunakan motor listrik untuk traksi, dan baterai kimia, *fuel cells*, *ultracapacitors* dan *flywheels* untuk sumber energinya, kendaraan elektrik memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan mesin pembakaran konvensional (ICE), tidak seperti kendaraan mesin pembakaran dalam kendaraan

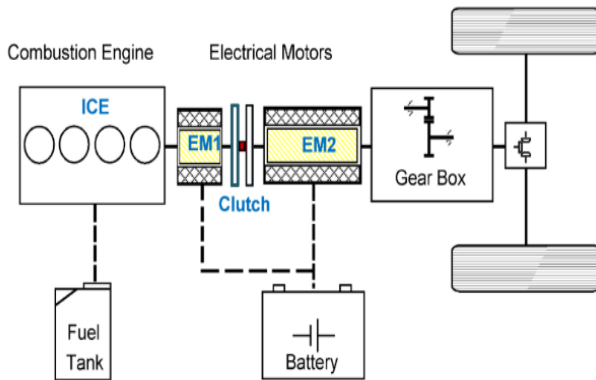
elektrik tidak memiliki emisi, efisiensi tinggi serta kemandirian dari minyak bumi.



Gambar 2.2 Kendaraan Elektrik

2.3 Kendaraan *Hybrid*

Hybrid adalah sebuah kendaraan yang memiliki 2 atau lebih sumber penggerak kendaraan. Sebuah *hybrid system* kendaraan memiliki 2 komponen utama, yang pertama adalah tempat penyimpanan energi seperti baterai dan sebuah alat untuk mentransfer energi listrik tersebut menjadi energi kinetis yang dapat menggerakkan kendaraan seperti motor listrik. Motor listrik ini juga digunakan untuk merubah energi kinetis menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian akan disimpan dalam baterai yang kemudian akan diubah menjadi energi kimia potensial. Berdasarkan tipe dari *powertrain*, kendaraan *hybrid* dibagi menjadi tiga macam, yaitu kendaraan *hybrid* paralel, *hybrid* seri, dan *hybrid* seri-paralel

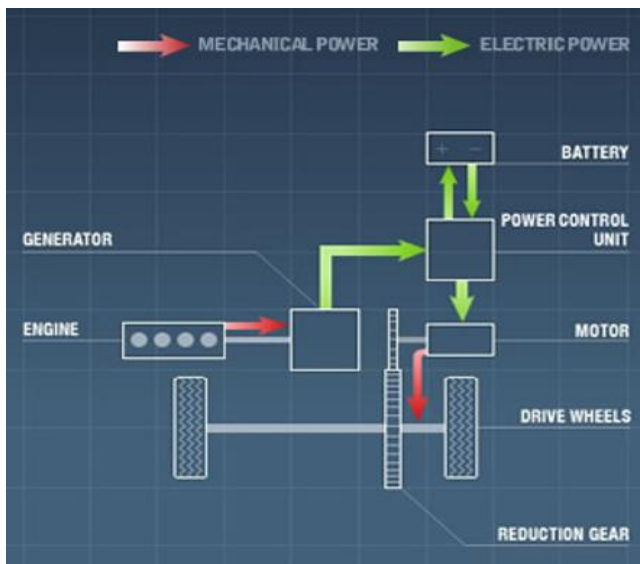


Gambar 2.3 Kendaraan *Hybrid*

2.3.1 *Hybrid* seri

Pada kendaraan ini mesin sebagai sumber tenaga dihubungkan secara seri dengan motor listrik sebagai tenaga penggerak kendaraan, seperti pada gambar 2.4. Tenaga yang dihasilkan mesin digunakan untuk menggerakkan generator yang menghasilkan tenaga listrik yang kemudian digunakan untuk menggerakkan motor listrik yang berfungsi sebagai penggerak dari kendaraan. Tenaga dari motor listrik ditransmisikan melalui system transmisi untuk menggerakkan kendaraan. Torsi dari motor listrik ditransmisikan dan dikonversikan oleh system transmisi menjadi gaya dorong pada roda penggerak. Jika tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan kecil, maka sebagian tenaga listrik yang dihasilkan dari mesin dan generator dapat digunakan untuk mengisi baterai. Sistem pada gambar 2.4 dapat dilengkapi dengan system pengendali otomatis sehingga dapat mengendalikan penggunaan energi yang lebih efisien dan efektif. Jika tenaga listrik yang dapat dihasilkan oleh baterai mencukupi untuk menggerakkan kendaraan maka mesin dapat dimatikan secara otomatis sistem

pengendali. Pada saat percepatan atau kecepatan tinggi, dimana kendaraan membutuhkan tenaga yang besar, melebihi dari tenaga yang dapat diberikan oleh mesin, maka tenaga dari baterai dapat membantu untuk mensuply listrik pada motor listrik.

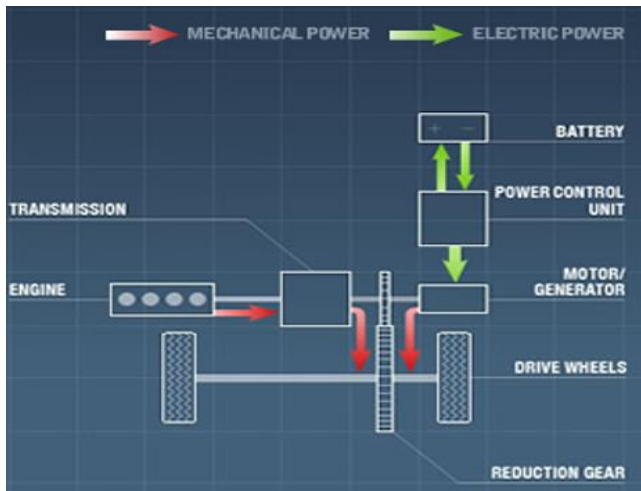


Gambar 2.4 Skema *Hybrid* elektrik seri.

2.3.2 *Hybrid* Paralel

Pada kendaraan ini terdapat dua tenaga penggerak yaitu mesin dan motor listrik, yang mana kedua tenaga penggerak tersebut dihubungkan secara paralel untuk menggerakkan kendaraan. Pada kendaraan ini, karena ia menggunakan system penggerak *hybrid* paralel, maka ukuran dari mesin dan motor listrik yang dipakai dapat berkurang secara signifikan dibandingkan dengan yang dipakai pada system seri, namun jumlah baterai yang dibutuhkan akan bisa meningkat. Pada kendaraan ini tidak dibutuhkan generator untuk mengubah energi mekanik dari mesin

menjadi energi listrik, tetapi ia membutuhkan kopling mekanik untuk dapat menggabungkan energi mekanik dari mesin ICE (*internal combustion engine*) dan motor listrik. Skema aliran energi dalam penyalur daya dari kendaraan *hybrid engine-electric* dengan system paralel ditunjukkan pada gambar 2.5. kendaraan dengan system *hybrid* paralel seperti gambar 2.5 memberi peluang untuk bisa mengisi baterai dari sumber tenaga luar pada saat kendaraan berhenti. Cara pengisian luar tersebut dapat mengurangi beban mesin pada saat operasi, karena lebih sedikit tenaga mesin yang digunakan untuk mengisi baterai.

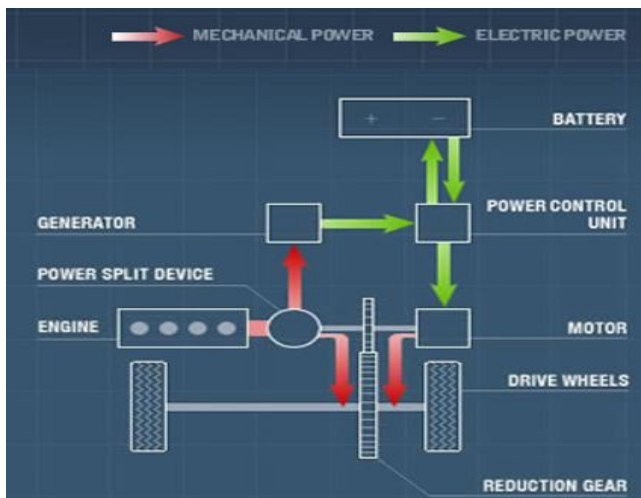


Gambar 2.5 Skema *Hybrid* elektrik paralel.

2.3.3 *Hybrid* Seri-Paralel

Kendaraan dengan tenaga system *hybrid* seri-paralel adalah kendaraan yang dapat dioperasikan dengan sistem tenaga *hybrid* seri dan juga dapat dengan system tenaga *hybrid* paralel. Pengembangan sistem ini dimaksudkan dapat mengambil keunggulan dari system *hybrid* seri serta keunggulan dari sistem

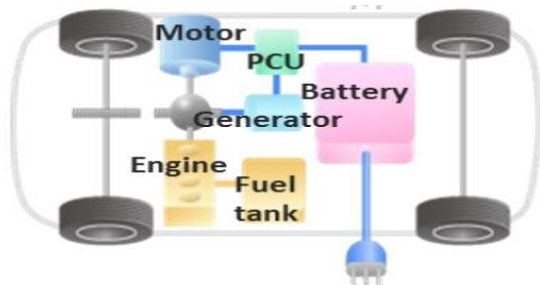
hybrid paralel. Pada kendaraan ini ukuran dan tenaga mesin ICE (*internal combustion engine*) dan tenaga motor listrik dapat lebih kecil dari sistem seri dengan tenaga total yang dihasilkan lebih besar. Disamping itu mode operasinya bisa lebih banyak dibandingkan sistem *hybrid* seri maupun system *hybrid* paralel, skema aliran dan pengaturan energi dari sistem *hybrid* seri-paralel dapat dilihat pada gambar 2.6. komponen pokok dari kendaraan jenis ini lebih banyak daripada kendaraan berjenis *hybrid* paralel dan *hybrid* seri, pada system *hybrid* seri-paralel dibutuhkan komponen pembagi daya untuk dapat mengatur tenaga menjadi sistem seri atau sistem paralel sesuai dengan kebutuhan operasi. karena mode operasinya bisa lebih banyak dan lebih memungkinkan mengatur penggunaannya menjadi lebih efisien dan efektif, maka dibutuhkan sistem pengendalian yang lebih rumit dibanding system *hybrid* seri maupun *hybrid* paralel.



Gambar 2.6 Skema *Hybrid* elektrik seri paralel.

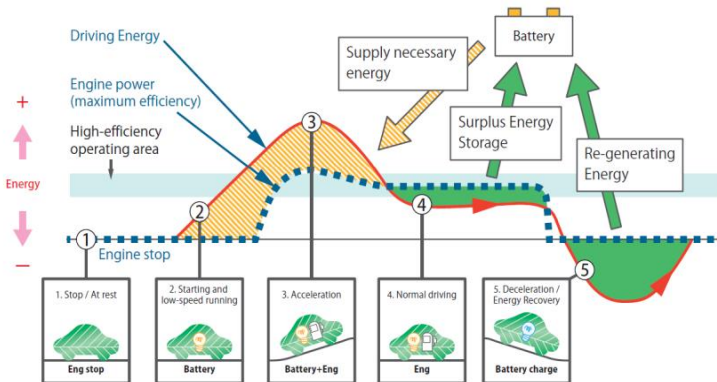
2.3.4 Kendaraan PHEV (Plug-in Hybrid Vehicle)

PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) seperti namanya berbeda dengan HEV (*Hybrid Electric Vehicle*) hanya oleh dikarenakan memungkinkan untuk menyambungkan kabel yang mengalirkan listrik untuk mengisi baterai kendaraan melalui stopkontak listrik di rumah maupun ditempat lain, pada prinsipnya juga dimungkinkan untuk menggunakan mesin ICE (*Internal Combustion Engine*) atau sistem elektrik di dalam kendaraan untuk menghasilkan daya AC dan dapat digunakan untuk mengisi baterai, dikarenakan Plug-in ada kalanya baterai yang digunakan lebih besar kapasitasnya dibandingkan kendaraan HEV (*Hybrid Electric Vehicle*).



Gambar 2.7 Skema PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*)

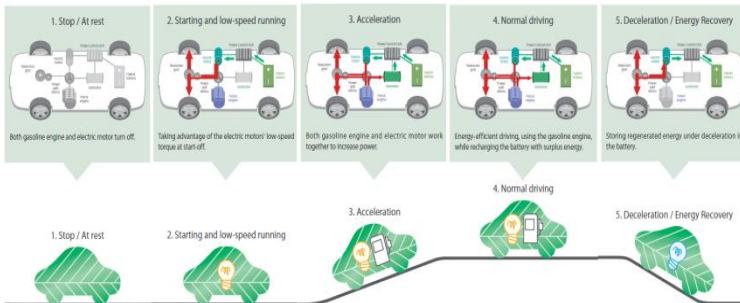
2.3.5 Manajemen Energi Pada Kendaraan *Hybrid*



Gambar 2.8 Manajemen energi pada kendaraan *hybrid*.

Gambar 2.8 merupakan manajemen energi pada kendaraan *Toyota prius plug-in hybrid* dimana bergantung pada kondisi mengemudi, satu atau dua sumber penggerak dapat digunakan untuk menjalankan kendaraan tersebut, ilustrasi diatas menunjukkan bagaimana *Toyota prius plug-in hybrid* beroperasi dalam berbagai mengemudi.

- Pada kecepatan rendah kendaraan ini ditenagai oleh motor listrik, yang dimana mesin akan dimatikan.
- Pada saat kendaraan berjalan normal kendaraan ini juga didukung terutama oleh mesin yang juga mesin akan memberi daya pada generator untuk mengisi ulang baterai
- Pada saat akselerasi atau pada keadaan jalan yang menanjak, mesin dan motor listrik akan bekerja bersamaan untuk menggerakkan kendaraan
- Pada saat perlambatan seperti pengereman maka kendaraan akan meregenerasi energi dari roda untuk menghasilkan listrik yang dapat mengisi ulang baterai



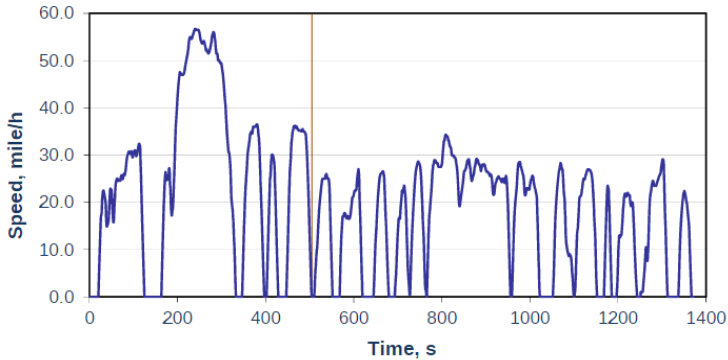
Gambar 2.9 Skema Manajemen energi pada kendaraan *hybrid*.

2.4 Driving Cycle

Driving cycle adalah siklus mengemudi yang berisi kumpulan data yang merepresentasikan kecepatan kendaraan terhadap waktu pada daerah dan kondisi jalan dalam interval waktu tertentu. Menurut Giakoumis (Giakoumis, 2016) *driving cycle* dikelompokkan berdasarkan jenis kendaraan yaitu *light duty vehicles*, *motorcycles*, *heavy duty vehicles*, dan *non-road engines*. Terdapat beberapa standar pengujian pada *light duty vehicles* yaitu New European Driving Cycle (NEDC), Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP), Japan 10 Mode dan EPA Federal Test Procedure (EPA FTP). *driving cycle* yang digunakan antara lain adalah:

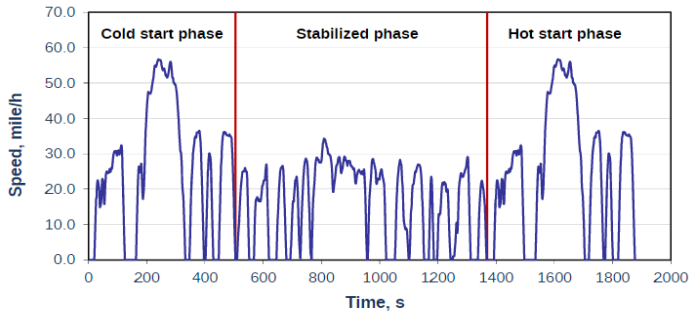
- **UDDS**

Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) atau yang bisa juga disebut FTP-72 adalah *driving cycle* yang digunakan untuk sertifikasi emisi dan pengujian nilai ekonomi bahan bakar di Amerika yang memiliki aturan yaitu pada rute perkotaan sejauh 12.07 km (7.5 mi), dengan kecepatan maksimum 91.2 km/h (56.7 mph), dan kecepatan rata – rata 31.5 km/h (19.6 mph).



Gambar 2.10 *Driving Cycle UDSS.*

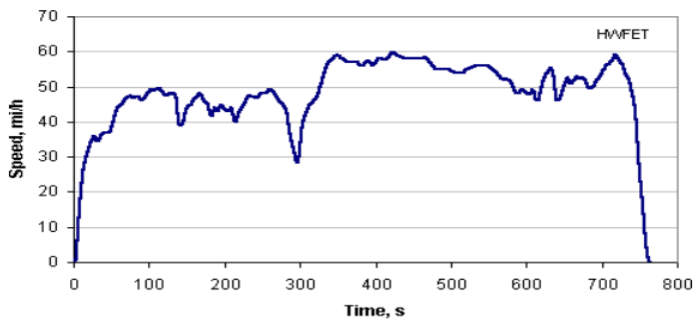
- **FTP-75**
 FTP-75 merupakan *driving cycle* dari *EPA Federal Test Procedure*, yang dimana juga identik dengan UDSS digunakan untuk sertifikasi emisi serta pengujian nilai ekonomi bahan bakar yang digunakan di Amerika, tetapi dengan perbedaan pada rute perkotaan sejauh 17.77 km (11.04 mi) dan kecepatan rata-rata sebesar 34,1 km/h (21.2 mph).



Gambar 2.11 *Driving Cycle FTP 75.*

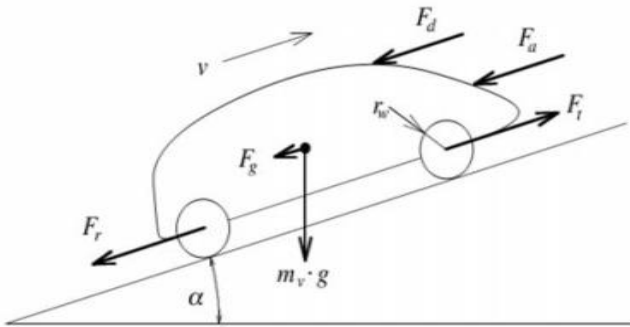
- **HWFET**

Highway Fuel Economic Driving Schedule (HWFET), merupakan *driving cycle* pada kondisi jalan tol yang digunakan untuk sertifikasi emisi dan pengujian nilai ekonomi bahan bakar di Amerika dimana total jarak 16,45 km (10.26 mi), kecepatan rata – rata sebesar 77.7 km/h (48.3 mph), kecepatan maksimal sebesar 97 km/h (60 mph) dan mobil dengan keadaan tidak berhenti.



Gambar 2.12 *Driving Cycle* HWFET.

2.5 Persamaan Gerak Pada Kendaraan



Gambar 2.12 Gaya – gaya pada kendaraan arah longitudinal.

Persamaan dasar yang menggambarkan dinamika longitudinal kendaraan di jalan adalah :

$$m_v \frac{dv(t)}{dt} = F_t(t) - \{F_a(t) + F_r(t) + F_g(t) + F_d(t)\}$$

l

Dimana :

F_t = gaya traksi

F_a = gaya hambat aerodinamis

F_r = gaya *rolling resistances*

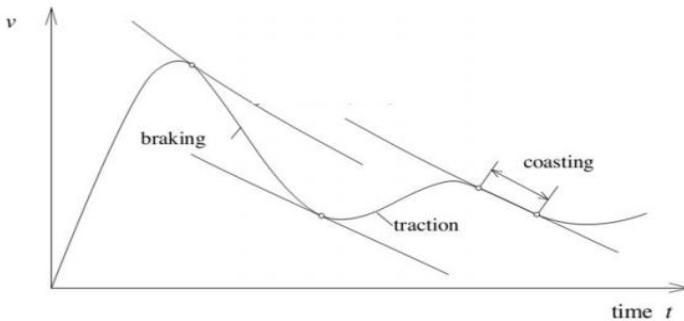
F_g = gaya yang dipengaruhi oleh gravitasi jika berkendara pada permukaan miring

F_d = gaya *disturbances* selain gaya – gaya yang disebutkan di atas.

Berdasarkan besar kecilnya gaya traksi maka kondisi operasi kendaraan dapat digolongkan ke dalam tiga macam mode, yakni :

- a. Traction mode, dimana $F_t > 0$, yaitu kendaraan memperoleh gaya untuk bergerak ke depan mengatasi inersia dan gaya – gaya hambatan.

- b. Braking mode, dimana $F_t > 0$, yaitu, energi kinetic dari kendaraan sedang hilang oleh rem atau pengereman regenerative, dan system propulsi dapat bekerja atau dimatikan.
- c. Coasting mode, dimana $F_t = 0$, yaitu system propulsi kendaraan berhenti bekerja, dan semua energi kinetic menurun dan di transformasikan ke rugi hambatan



Gambar 2.13 Mode operasi kendaraan.

2.6 Motor Bakar

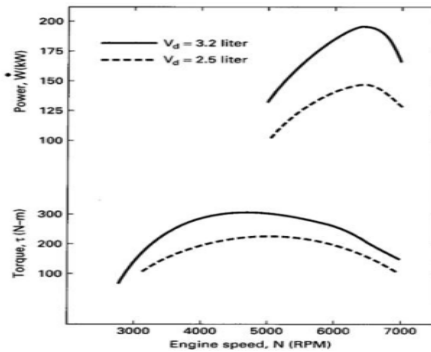
Motor Bakar atau mesin pembakaran dalam ICE (*Internal Combustion Engine*) adalah mesin yang menghasilkan energi mekanik yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar yang terletak di dalam mesin itu sendiri. Energi yang digunakan pada motor bakar berasal dari energi kimia yang terkandung pada bahan bakar. Bahan bakar akan bereaksi dengan O_2 yang diambil dari udara yang dimasukkan ke ruang bakar. Termasuk di dalam kategori ini adalah mesin otto, mesin diesel, mesin wankel dan turbin gas.



Gambar 2.14 *Internal Combustion Engine.*

2.6.1 Karakteristik Unjuk Kerja Motor Bakar

Mesin otto merupakan mesin pembakaran dalam dimana untuk menyalakan bahan bakarnya digunakan percikan api dari busi (*spark ignition engine*).



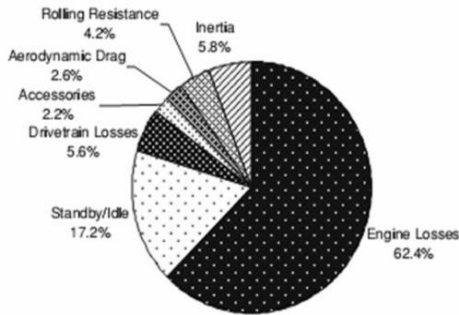
Gambar 2.15 *Brake Power dan Brake Torque Fungsi Kecepatan Mesin. (Rachmanto, 2015)*

Gambar 2.14 memperlihatkan ciri khas karakter *Brake Power* dan *Brake Torque* sebagai fungsi kecepatan pada suatu motor bakar piston silinder. *Brake Power* akan meningkat seiring naiknya kecepatan mesin sampai mencapai maksimum pada putaran tertentu. Selanjutnya *Brake Power* akan bergerak turun disebabkan kenaikan putaran (terutama pada putaran tinggi) yang juga akan meningkatkan gesekan di beberapa bagian mesin, *Brake Torque* juga memperlihatkan pola sama namun kondisi maksimum terjadi pada putaran yang berbeda.

Pada kendaraan *hybrid* dapat diusahakan agar motor bakar selalu beroperasi pada kondisi di sekitar daya maksimumnya. Manajemen energi pada kendaraan *hybrid* memungkinkan putaran motor bakar tidak terpengaruh pada kondisi *driving cycle*. Berbeda dengan kendaraan konvensional dimana motor bakar akan bekerja pada putaran yang berbeda-beda menurut *driving cycle* yang dihadapi.

2.6.2 Rugi-rugi Pada Motor Bakar

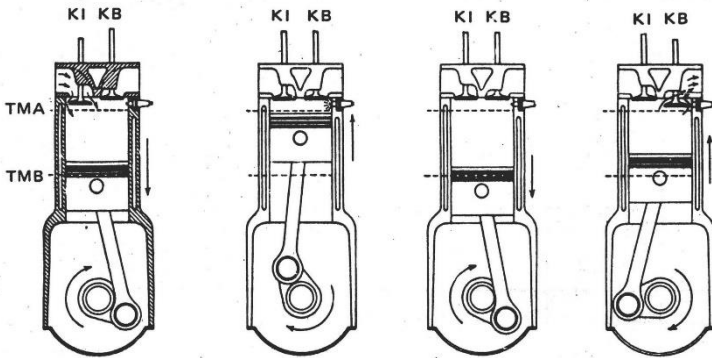
Proses pembakaran bahan bakar yang terjadi pada motor bakar akan mengkonversi energi kimia bahan bakar menjadi panas dan kerja. Selanjutnya hanya sekitar 15% dari energi yang terkandung dari bahan bakar yang akan digunakan untuk menggerakkan kendaraan atau aksesoris pada kendaraan (Xi Zhang, 2011). Sebagian besar energi akan terkonversi menjadi rugi-rugi yang terjadi baik di internal motor bakar, *drive train* maupun untuk mengatasi hambatan *aerodynamic*, dan hambatan *rolling*.



Gambar 2.16 Rugi-rugi pada kendaraan. (Xi Zhang, 2011)

2.6.3 Pembakaran pada Mesin Bensin

Motor bensin empat tak adalah termasuk dalam jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang berbahan bakar bensin sebagai bahan bakar. Pada motor bensin, bahan bakar bensin dibakar untuk memperoleh tenaga, kemudian tenaga ini diubah menjadi tenaga gerak oleh suatu mekanisme tertentu yang dapat menggerakkan mobil. Pada motor bensin empat langkah, torak bergerak bolak balik di dalam silinder. Titik terjauh (atas) yang dapat dicapai oleh piston (torak) tersebut dinamakan Titik Mati Atas (TMA), sedangkan titik terdekat disebut (bawah) Titik Mati Bawah (TMB). Motor empat langkah melakukan 4 gerakan atau langkah torak dalam satu siklus kerja sebagai berikut :



Gambar 2.17 Cara Kerja Mesin Bensin 4 Langkah.

a.) Langkah Hisap (*Intake*)

Pada langkah hisap, piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB), dan katup hisap membuka sedangkan katup buang menutup, nah karena piston atau torak bergerak ke bawah, maka di dalam ruang silinder akan terjadi kevakuman sehingga campuran udara dan bahan bakar akan terhisap dan masuk ke dalam silinder.

b.) Langkah Kompresi

Pada langkah ini piston bergerak dari TMB ke TMA, kondisi katup hisap dan katup buang adalah tertutup semuanya. Karena piston (torak) bergerak ke atas, maka campuran udara dan bahan bakar yang berada di dalam silinder tertekan ke atas (dikompresi) dan ditempatkan di dalam ruang bakar. Dengan dikompresi diharapkan tekanan dan temperatur campuran udara dan bahan bakar menjadi naik, sehingga akan mudah terbakar dan menghasilkan langkah usaha.

c.) Langkah Kerja

Pada langkah ini mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan atau mobil. Sesaat sebelum torak sampai di Titik Mati Atas pada saat langkah kompresi, busi memercikkan bunga api pada campuran udara dan bahan bakar yang telah dikompresi tadi. Sehingga bahan bakar akan terbakar dan

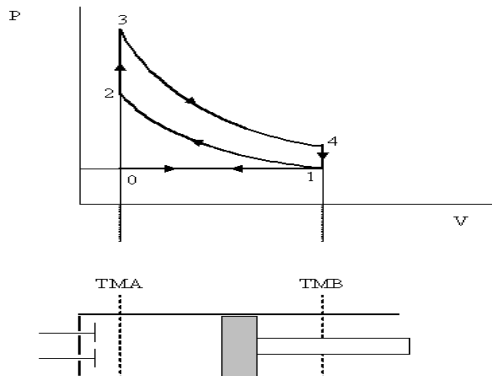
menimbulkan ledakan yang kuat, ledakan (kekuatan) dari tekanan gas pembakaran yang sangat tinggi dapat mendorong torak kebawah, Usaha inilah yang menjadi sumber tenaga mesin.

d.) Langkah Buang

Setelah akhir dari langkah usaha, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA), pada saat ini katup buanglah yang membuka sedangkan katub hisap dalam keadaan tertutup. Karena piston bergerak ke atas, maka gas hasil pembakaran di dalam silinder akan terdorong dan ke luar melalui katup buang, dilanjutkan ke *exhaust manifold* kemudian ke knalpot dan dibuang ke udara bebas. Pada saat akhir langkah buang dan awal langkah hisap kedua katup akan membuka (*valve overlapping*), kaadaan ini berfungsi sebagai langkah pembilasan (campuran udara bahan bakar baru mendorong gas sisa hasil pembakaran).

2.6.4 Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah

Adapun siklus ideal yang terjadi pada motor bensin 4-langkah adalah sebagai berikut



Gambar 2.18 Diagram P-V Motor Bensin 4 Langkah.

- Proses 0-1, piston bergerak dari TMA ke TMB, posisi katup masuk terbuka dan katup keluar tertutup,

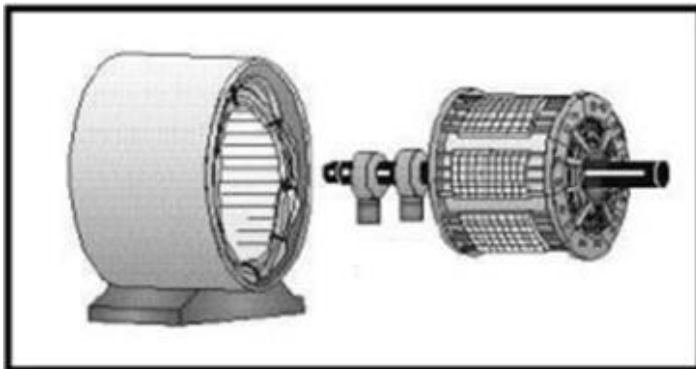
mengakibatkan udara dan campuran bahan bakar terhisap masuk ke dalam ruang bakar.

- Proses 1-2, piston bergerak dari TMB ke TMA, posisi katup masuk dan keluar tertutup, mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar dalam ruang bakar terkompresi. Posisi katup hisap dan katup buang tertutup. Langkah ini akan dapat menaikkan tekanan pada ruang bakar yang telah terisi udara dan bahan bakar.
- Proses 2-3, merupakan proses pembakaran bahan bakar dimana terjadi beberapa saat sebelum langkah akhir kompresi. Beberapa saat sebelum piston sampai pada posisi TMA, waktu penyalaan (*timing ignition*) campuran udara dan bahan bakar terjadi ditandai dengan berupa nyala busi. Akibat dari proses ini tekanan dan temperatur pada ruang bakar meningkat.
- Proses 3-4, gas yang terbakar dalam ruang bakar akan meningkatkan tekanan dalam ruang bakar, mengakibatkan piston terdorong dari TMA ke TMB. Langkah ini adalah proses yang akan menghasilkan tenaga.
- Proses 4-0, piston bergerak dari TMB ke TMA, posisi katup masuk tertutup dan katup keluar terbuka, mendorong sisa gas pembakaran menuju ke katup keluar yang sedang terbuka untuk diteruskan ke lubang pembuangan.

2.7 Motor Elektrik

Fungsi utama dari motor elektrik adalah mengkonversikan energi elektrik menjadi energi mekanikal untuk menggerakkan dari kendaraan, motor elektrik yang digunakan biasanya ada dua tipe yaitu *Direct Current* (DC motor) dan *Alternate Current* (AC-Motor), pada mobil *Toyota Prius Plug-in Hybrid* menggunakan *permanent excited synchronous motor*, pada mobil *hybrid* motor elektrik mempunyai dua tujuan yaitu yang pertama adalah untuk menggerakkan kendaraan seperti yang dijelaskan diatas dan yang

kedua adalah sebagai generator pada saat deselerasi maka motor listrik dapat mengisi baterai. (Eiranova, n.d.).

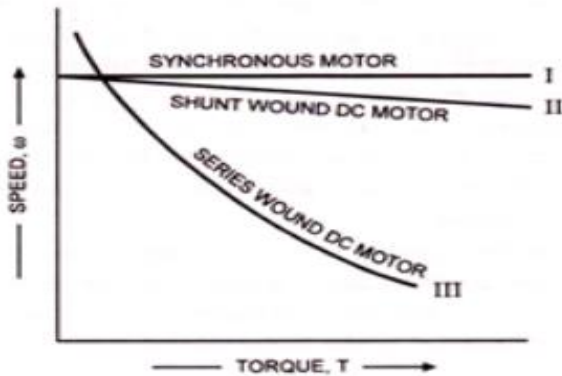


Gambar 2.19 *Permanent excited synchronous motor.*

2.7.1 Karakteristik Motor Elektrik

Karakteristik motor listrik didefinisikan sebagai hubungan antara kecepatan beroperasi dengan torsi yang dikembangkannya, hampir semua motor listrik kecepatan akan turun ketika beban meningkat, namun tingkat perubahan torsi berbeda untuk setiap jenis motor, itu ditandai dengan apa yang disebut kekerasan karakteristik kecepatan-torsi mereka (Susmita, n.d.). Karakteristik torsi-kecepatan dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama yaitu.

- Karakteristik torsi – kecepatan sangat keras (*flat*)
Dimana karakteristik yang menunjukkan tidak ada perubahan kecepatan dengan perubahan torsi beban, *synchronous motor* beroperasi dengan karakteristik seperti itu, dapat dilihat pada kurva I pada gambar 2.19.



Gambar 2.20 Grafik karakteristik torsi – kecepatan motor listrik.

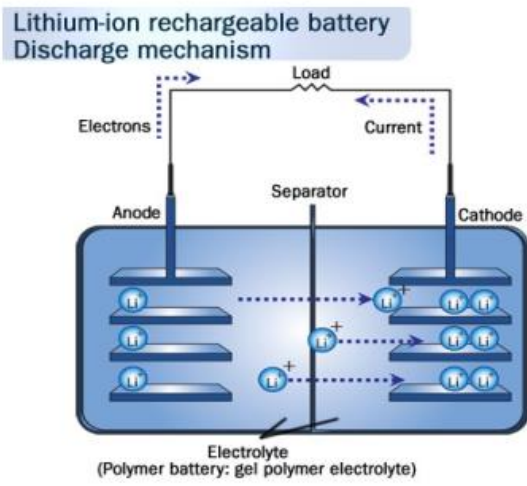
- Karakteristik torsi – kecepatan keras
Dimana karakteristik ini menunjukkan kecepatan yang turun hanya sedikit dengan peningkatan torsi. Karakteristik ini diperlihatkan oleh *shunt wound dc motor*, ini juga berlaku untuk motor induksi diatas wilayah operasi karakteristik kecepatan – torsi, dapat dilihat pada kurva II pada gambar 2.19.
- Karakteristik torsi – kecepatan lembut (*soft*)
Dimana karakteristik ini menunjukkan penurunan kecepatan yang cukup besar dengan kenaikan torsi, *series wound dc* motor memiliki karakteristik seperti itu, terutama sepanjang bagian torsi rendah seperti kurva III pada gambar 2.19.

2.8 Baterai

Sumber tenaga elektrik dari kendaraan *hybrid* adalah baterai, baterai adalah alat untuk menyimpan tenaga atau energi yang mana juga melepaskan energi yang tersimpan dari reaksi elektrokimia, dua karakteristik yang terpenting yang mempengaruhi performa dari baterai yaitu *power density* dan

energy density, *power density* adalah jumlah dari energi yang dapat mempengaruhi akselerasi kendaraan sementara *energy density* adalah kapasitas untuk menyimpan energi, parameter ini juga berpengaruh pada total perjalanan yang dapat ditempuh.

Terdapat macam-macam jenis baterai yang digunakan pada mobil *hybrid* antara lain adalah *lead-acid batteries*, *nickel-metal hydride*, *sodium-nickel chloride*, dan lain-lainnya, tetapi *lithium-ion batteries* merupakan yang paling cocok untuk aplikasi pada otomotif dikarenakan memiliki energi yang tinggi, dan *power output per unit mass*, yang membuat mereka lebih ringan dari yang lainnya, selain itu ukurannya lebih kecil dan mempunyai *high cell voltage*.



Gambar 2.21 *Lithium-ion batteries.*

2.9 Power Control Unit

Power control unit adalah salah satu bagian yang digunakan pada kendaraan *hybrid* dan listrik yang digerakan oleh motor. *Power control unit* memiliki tiga fungsi yaitu untuk inverter

sebagai pemberi daya pada motor listrik, konverter sebagai penambah tegangan dan konverter DC untuk menurunkan tegangan. Selama akselerasi *power control unit* berfungsi sebagai menutupi daya listrik baterai dari DC ke AC dan kemudian memasok daya ke motor, selama perlambatan atau deselerasi berfungsi sebagai pengubah daya dari AC ke DC untuk memulihkan tenaga listrik yang dihasilkan.

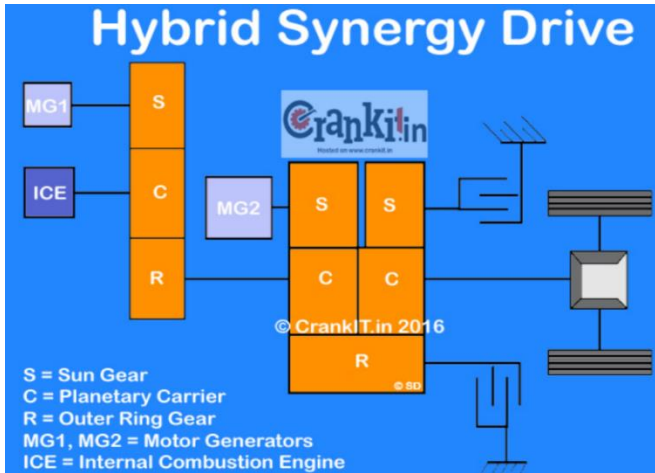


Gambar 2.22 *power control unit.*

2.10 Hybrid Synergy Drive (HSD)

Dalam teknologi *hybrid synergy drive*, engine menggunakan teknologi *drive by wire* dimana tidak ada hubungan fisik antara engine dengan pedal dari akselerator, *drive by wire* sendiri sepenuhnya dikendalikan oleh sekelompok sensor elektronik dan ECU. Sebagian besar mesin tradisional tidak bekerja pada efisiensi optimal, sehingga mesin kehilangan torsi dan bahan bakar, bahkan pabrikan memiliki roda gigi terbatas untuk menangani kasus – kasus seperti itu, tetapi dalam *hybrid synergy drive*, e-CVT (*electronic continuously variable transmission*) akan memilih rasio gigi terbaik pada waktu tertentu dengan demikian mesin ICE (*internal combustion engine*) akan bekerja pada RPM optimalnya sehingga akan menghasilkan lebih banyak efisiensi.

System ini juga dapat mematikan mesin ICE (*internal combustion engine*) saat tidak diperlukan.



Gambar 2.23 *hybrid synergy drive.*

Teknologi ini melibatkan dua motor listrik atau generator, dan satu mesin ICE (*internal combustion engine*), motor atau generator ini bernama MG1 dan MG2 dapat menghasilkan listrik atau dapat menggunakan untuk memberi daya pada kendaraan, system yang menggunakan MG1 adalah untuk menghidupkan mesin dan mengisi baterai sementara sedangkan MG2 berfungsi untuk menggerakkan kendaraan dengan bantuan daya yang dihasilkan oleh MG1 dan baterai, juga berfungsi sebagai generator selama pengereman regenerative. *Hybrid synergy drive* digunakan terutama untuk kendaraan *hybrid* yaitu Toyota prius, camry *hybrid*, lexus *hybrid*.

2.11 Energy Flow

Energy Flow dalam sistem penggerak selama battery discharging, charging, dan recuperative breaking dapat dihitung dengan :

- *Energy Flow* :

$$\Delta E = U * I * \Delta t$$

- Discharging :

$$\Delta E_{dis} = U * I * \Delta t \text{ (if } \Delta E < 0 \text{)}$$

- Charging :

$$\Delta E_{reg} = U * I * \Delta t \text{ (if } \Delta E > 0 \text{ and } M_{reg} \geq 0 \text{)}$$

- Recuperative braking :

$$\Delta E_{reg} = U * I * \Delta t \text{ (if } \Delta E > 0 \text{ and } M_{reg} \geq 0 \text{)}$$

Dimana

U = Voltase [V]

I = Arus [A]

T = Waktu [h]

M_{reg} = Brake torque [Nm]

2.12 Mode Yang Berada Pada *Toyota Prius Plug-in Hybrid*

Mode yang ada dalam *Toyota prius plug-in hybrid* ada tiga, antara lain adalah HV (*hybrid vehicle*), CD (*charge depleting*) mode, dan CS (*charge sustaining*) mode. Mode ini digunakan untuk mengetahui kendaraan bekerja pada mode yang mana, yang nantinya akan digunakan untuk mengolah data serta pembahasan.

2.12.1 HV (*Hybrid Vehicle*) Mode

HV (*hybrid vehicle*) merupakan mode yang berada pada kendaraan *Toyota Prius Plug-in Hybrid* dimana motor listrik dan

mesin ICE (*internal combustion engine*) akan bekerja bersamaan, yang mana akan menyebabkan SOC (*state of charge*) akan berkurang lebih lambat daripada di mode CD (*charge depleting*) tetapi juga akan mengkonsumsi bahan bakar untuk menggerakkan mesin ICE (*internal combustion engine*).

2.12.2 CD (*Charge Depleting*) Mode

CD (*charge depleting*) merupakan mode yang berada pada kendaraan *Toyota Prius Plug-in Hybrid* dimana motor listrik akan bekerja untuk menggerakkan kendaraan tanpa bantuan dari mesin ICE (*internal combustion engine*), energi hanya berasal dari baterai yang berada pada kendaraan yang mana juga akan menyebabkan SOC (*state of charge*) akan berkurang dengan cepat.

2.12.3 CS (*Charge Sustaining*) Mode

CS (*charge sustaining*) mode merupakan mode yang berada pada kendaraan *Toyota Prius Plug-in Hybrid* dimana mesin ICE (*internal Combustion Engine*) akan bekerja untuk menggerakkan kendaraan serta untuk mengisi baterai sehingga konsumsi bahan bakar akan lebih tinggi daripada mode HV (*hybrid vehicle*).

2.13 Penelitian Terdahulu

2.13.1 Penelitian Oleh Ireneusz dkk

Penelitian yang dilakukan oleh Ireneusz Pielcha, Kinga Fluder, dan Wojciech Cieslik dengan judul *analysis of energy management strategies for hybrid electric vehicle in urban driving conditions* tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis aliran energi pada system penggerak kendaraan *hybrid* Toyota C-HR generasi terbaru dengan melihat pembagian antara mode elektrik (motor elektrik) dengan mode *hybrid* (ICE dan motor electric), Toyota C-HR ini memiliki sistem penggerak yang sama seperti Toyota prius (generasi ke empat) yaitu seri-paralel, dimana memiliki kode mesin 2ZR-FEX, motor elektrik dengan daya

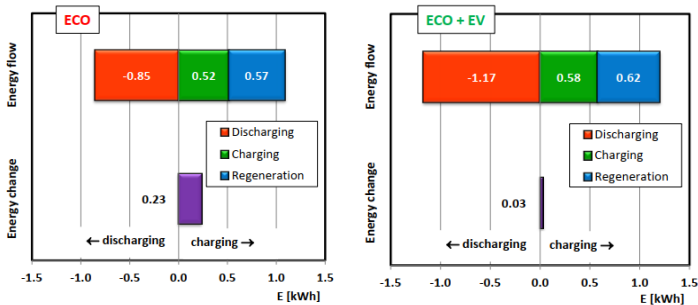
sebesar 53 kW, menggunakan tipe baterai *nickel-metal hydride* (NI-MH), dan total power *hybrid* sebesar 90 kW, metodologi penelitian ini adalah dengan menggunakan uji jalan di Warsaw dengan kondisi jalan pada hari kerja, dua mode dari Toyota C-HR akan dibandingkan, pada uji pertama menggunakan mode ECO (mesin ICE dan motor elektrik) dan menggunakan mode murni motor listrik, dengan rata-rata perjalanan sejauh 11.5 km, dan rata-rata waktu pengujian selama 32.2 menit. dan data yang terekam oleh diagnostic system yang telah terpasang pada kendaraan Toyota C-HR adalah kecepatan kendaraan (s), kecepatan mesin ICE (n), status baterai (SOC), kecepatan motor elektrik, serta arus dari baterai.

Tabel 2.1 Tabel kondisi kendaraan *Toyota C-HR* dengan dua mode berkendara.

Parameter	Mode	ECO	ECO + EV
Test duration [s]		1962	1902
Test route length [m]		11,554	11,437
SOC (initial/final)		60.4/47.5	47.5/60.4

Setelah dilakukan pengujian jalan didapatkan hasil bahwa mengemudi dalam mode ECO akan menghasilkan peningkatan (hingga 0.23 kWh) dibandingkan dengan mode elektrik yang (0.03 kWh), ini juga disebabkan status awal dari baterai pada mode elektrik lebih rendah (SOC=47%) daripada mode ECO (mesin ICE dan motor elektrik) (SOC=37%), meskipun demikian perubahan variasi dalam *Energy Flow*, pengisian baterai dan pemulihan energi memiliki aliran energi yang sama, perbedaannya juga tidak lebih dari 11% untuk *charging* dan 8% untuk *regenerative braking*. Lalu didapatkan hasil atau kesimpulan bahwa kendaraan *hybrid* terbaru dapat dicirikan bahwa system operasi lebih besar mode listrik lebih besar daripada sistem

operasi pada mode *hybrid* (mesin ICE dan motor listrik), presentase pembagian operasi mode elektrik berada pada kisaran 51% - 53% dari jarak yang ditempuh dan sekitar 46% - 51% dari durasi tes (tergantung pada tesnya).

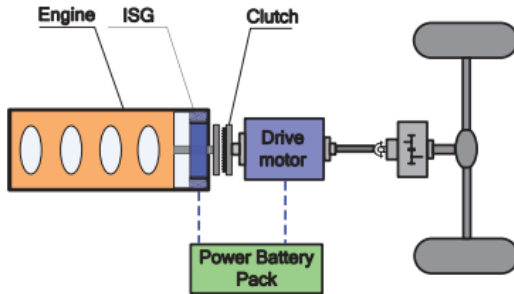


Gambar 2.24 Hasil *Energy Flow* dari menuju atau dari baterai kendaraan *hybrid* pada kondisi perkotaan.

2.13.2 Penelitian oleh Jiankun Peng dkk

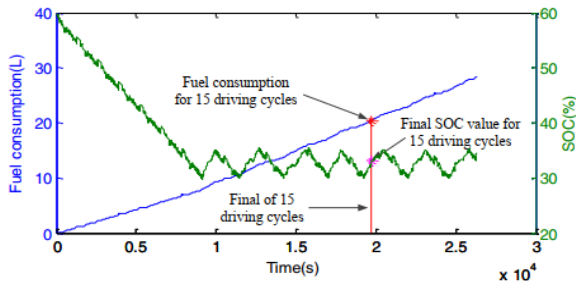
Penelitian yang dilakukan oleh Jiankun Peng, Hongwen He, dan Rui Xiong dengan judul *Study On Energy Management Strategies For Series-Parallel Plug-in Hybrid Electric Buses* tujuan dari penelitian ini adalah pertama untuk mempelajari energi berbasis aturan strategi manajemen energi untuk *plug-in hybrid* menggunakan model *Toyota Prius* yang ada di dalam perangkat lunak *Matlab Advisor*, yang kedua adalah mempelajari optimasi strategi manajemen energi untuk PHEB (*plug-in hybrid electric bus*) parallel dengan menggunakan genetic algoritma, dan yang ke tiga adalah menilite strategi manajemen energi berbasis aturan untuk paralel-seri PHEB (*plug-in hybrid electric bus*). Dalam tulisan ini, penelitian strategi manajemen energi dilakukan untuk *plug-in seri-paralel PHEB (plug-in hybrid electric vehicle)*, dan mode kerja yang mungkin dari PHEB (*plug-in hybrid electric vehicle*) dalam strategi kontrol berbasis aturan yang dianalisa dan

algoritma pemrograman dinamis digunakan untuk mengeksplorasi optimisasi energi global strategi manajemen, dan akhirnya strategi kontrol berbasis aturan yang dapat diterapkan pada kendaraan nyata dapat dioptimalkan sesuai hasil algoritma pemrograman dinamis.



Gambar 2.25 Skematik pada PHEB.

Skematik pada PHEB (*plug-in hybrid electric vehicle*) seperti gambar 2.18, dimana power system menggunakan mesin diesel, ISG (integrated starter generator) motor, motor elektrik, dan baterai, power maksimum dari mesin diesel sebesar 147 kW, power maksimum ISG sebesar 55kw, power motor elektrik sebesar 166 kW, kapasitatas baterai 60 Ah.



Gambar 2.26 Hasil simulasi penelitian jiankun peng dkk.

Dari hasil simulasi didapatkan hasil bahwa SOC (*state of charge*) pada PHEB hampir berkurang secara merata dari SOC awal ke terminal SOC dibawah kontrol yang optimal berdasarkan algoritma pemrograman dinamis, dan bus bekerja dalam mode CD (*charge depleting*) selama seluruh perjalanan. Simulasi menunjukan bahwa PHEB bekerja lebih lama pada mode CD (*charge depleting*), dan konsumsi bahan bakar berkurang 9.11% dan daya listrik konsumsi menurun sebesar 6.27%.

BAB III METODOLOGI

3.1 Metodologi Penelitian

Pengujian dilakukan secara ekperimental pada mobil Toyota Prius *Plug In Hybrid Electric Vehicle* (PHEV). Pengujian dilakukan pada mobil sebagai alat uji dengan pengujian jalan berdasarkan standarisasi driving cycle UDDS, FTP-75, dan HWFET guna mendapatkan data yang nantinya akan diolah dan menjadi bahan evaluasi sistem manajemen energi pada mobil *Toyota Prius Plug In Hybrid Electric Vehicle* (PHEV).

3.2 Peralatan Eksperimen

3.2.1 Alat Uji

Alat uji yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Toyota Prius Plug In *Hybrid Vehicle*



Gambar 3.1 *Toyota Prius Plug-In Hybrid*

- Merk : Toyota
- Tipe Mobil : Plug-In *Hybrid Electric Vehicle*
- Tipe Engine : in-line 4 silinder, 16-valves DOHC with VVTI
- Kapasitas : 1,798 cc

- Daya Output Maksimal : 72/5200 (kW/rpm)
- Torsi Maksimal : 142/3600 (Nm/rpm)
- Transmisi : CVT
- Top Speed : 160 km/h
- Konsumsi Bahan Bakar : 27.5 km/liter
- Kapasitas Tangki Bahan Bakar : 43 liter
- Bore x Stroke : 80.5 x 88.3
- Electric Front Motor : *Permanent Magnet Synchronous Motor*
- Max Output : 53 kW per rpm
- Min Output : 163 Nm per rpm
- *Hybrid Vehicle Battery* : Lithium Ion Battery
- Number of Modules : 95
- Kapasitas Ah : 25 hr
- Panjang Kendaraan : 4,655 mm
- Lebar Kendaraan : 1,770 mm
- Tinggi Kendaraan : 1,480 mm
- Wheelbase : 2,700 mm
- Berat Kotor Kendaraan : 1,855 kg
- Radius Belok Minimum : 5 m
- Front Over Hang : 970 mm
- Rear Over Hang : 985 mm
- Ground Clearance : 140
- Suspensi Depan : Macpherson Strut
- Suspensi Belakang : Double Wishbone
- Rem Depan : Ventilated Disc
- Rem Belakang : Solid Disc
- Ban : 195/65 R15

3.2.2 Alat Ukur

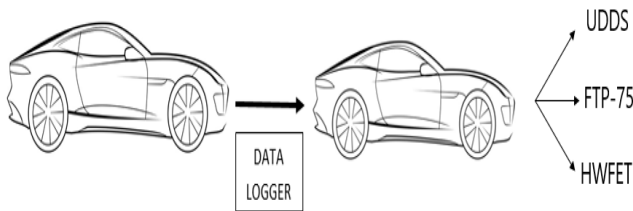
Adapun alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data percobaan adalah sebagai berikut :

1. Data Logger

Alat ini berguna untuk merekam data yang dibutuhkan selama pengujian jalan.

3.3 Sistematika Penelitian

3.3.1 Skema Penelitian



Gambar 3.2 Skema Penelitian.

3.3.2 Tahap-tahap Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan perumusan masalah
2. Studi literatur yang bertujuan untuk mendapatkan berbagai informasi dan data yang berkaitan dengan objek penelitian
3. Mempersiapkan alat uji meliputi :
 - a. Mempersiapkan kendaraan Toyota *prius plug-in hybrid*
4. Mempersiapkan alat ukur meliputi :
 - a. Mempersiapkan *data logger*.
5. Melakukan pengujian jalan untuk memperoleh data *engine power*, *electric power*, *fuel consumption*, dan baterai dalam SOC rasio (*state of charge*).

6. Pengolahan data yaitu dengan memilah data yang didapatkan oleh data logger dengan *driving cycle* sesuai standarisasi.

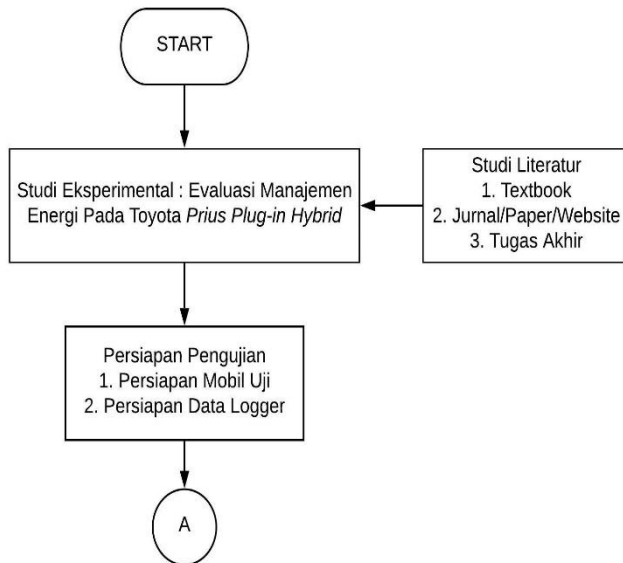
Tabel 3.1 Matrik Rancangan Pengujian Jalan.

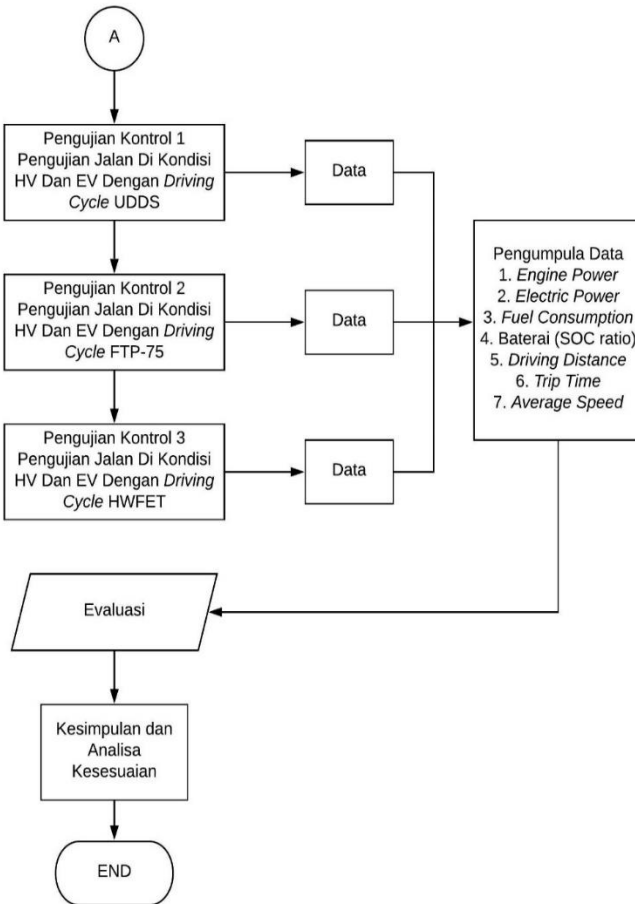
Parameter Input		Parameter Output
Konstan	Variasi	
<ul style="list-style-type: none"> Kendaraan Uji - Toyota Prius Plug-in Hybrid 	<ul style="list-style-type: none"> Mode Operasi -Hybrid Mode -Electric Mode Standarisasi <i>driving cycle</i> -UDDS -FTP 75 -HWFET 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Engine power</i> <i>Electric power</i> <i>Fuel Consumption</i> Baterai (SOC ratio) <i>Driving distance</i> <i>Trip time</i> <i>Average speed</i>

3.4 Flowchart Penelitian

Dalam melakukan penelitian eksperimen perlu dilakukan pembuatan flowchart penelitian agar lebih terarah pada tujuan.

a. Flowchart Pengujian Jalan





Gambar 3.3 Flowchart Pengujian Jalan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

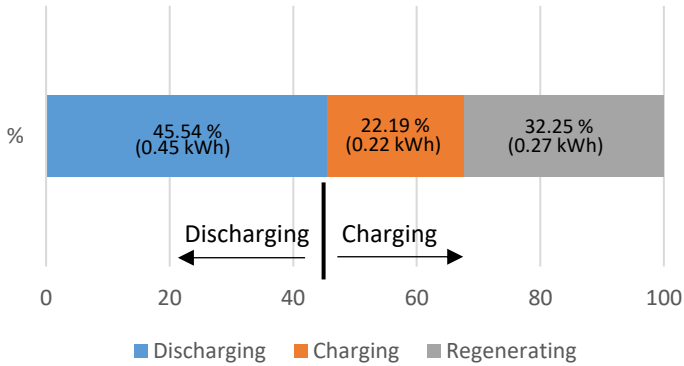
Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil dari eksperimen yaitu hasil dari pengujian jalan yang dilakukan menggunakan *Toyota prius plug-in hybrid*, proses perhitungan, dan pembahasan dari hasil yang didapatkan. Adapun hasil akhir dari penelitian ini adalah *soc ratio*, *fuel consumption*, *Energy flow* serta *electric* dan *engine power* terhadap 3 *driving cycle* yaitu UDDS, FTP 75, dan HWFET.

4.1 Analisa Pengujian Jalan Pada Kondisi *Driving cycle* UDDS

Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) merupakan salah satu *driving cycle* yang diuji, dimana memiliki aturan yaitu pada rute perkotaan sejauh 12.07 km (7.5 mi), dengan kecepatan maksimum 91.2 km/h (56.7 mi/h), dan kecepatan rata – rata 31.5 km/h (19.6 mi/h). Dimana pengujian ini pada mode *hybrid* kendaraan di uji pada pukul 12:48 melaju sejauh 11.72 km, kecepatan maksimal sebesar 54.2 km/h, dan kecepatan rata – rata sebesar 13.05 km/h, sedangkan pada mode elektrik kendaraan di uji pada pukul 17.02 melaju sejauh 12.6 km, kecepatan maksimal sebesar 50.16 km/h, dan kecepatan rata – rata sebesar 15.72 km/h.

4.1.1 Analisa *Energy flow* Mode *Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle* UDDS

Analisa *Energy flow* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* UDDS ditunjukkan pada Gambar 4.1.1



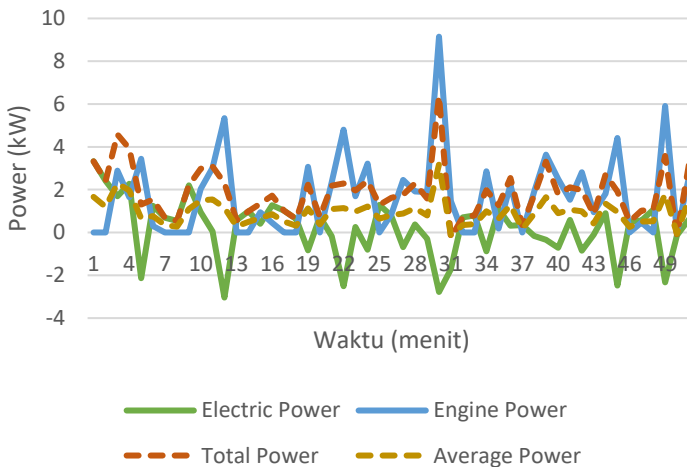
Gambar 4.1.1 Grafik *Energy flow* Mode *Hybrid* (UDDS)

Gambar 4.1.1 merupakan grafik *Energy flow* mode *hybrid* UDDS pada gambar tersebut ditunjukkan besarnya presentase *Energy flow* untuk proses *discharging* dimana kendaraan melakukan penggunaan energi untuk menjalankan kendaraan, *charging* merupakan dimana mesin motor bakar (*internal combustion engine*) beroperasi untuk menggerakkan kendaraan dan generator untuk mengisi baterai, dan *regenerating* merupakan dimana mesin motor bakar atau *internal combustion engine* dan generator dimatikan lalu menggunakan traksi motor sebagai generator saat pengereman yang hasilnya untuk disalurkan ke baterai, untuk mode *hybrid* UDDS pada kondisi perkotaan dengan jarak sejauh 12.07 km kendaraan lebih banyak untuk mengisi energi sehingga presentase *Energy flow* untuk proses *charging* yang paling tinggi yaitu sebesar 54.45 % yang terdiri dari *charging* sebesar 22.19 %, dan *regenerating* sebesar 32.25 % sedangkan untuk *discharging* sebesar 45.54 %, ini sama seperti oleh yang dilakukan oleh pielcha dkk yang dimana pada penelitiannya tentang *Energy flow* adalah kendaraan akan lebih banyak untuk menyimpan dan mendapatkan energi daripada mengeluarkan atau menggunakan energi, untuk mode *hybrid* UDDS dapat meningkatkan energi sebesar 8.9 % (0.08 kW), sehingga perbandingan dari awal mengendarai dan akhir

mengendarai untuk baterai dalam soc ratio dalam mode *hybrid* UDDS ini tidak besar yaitu hanya sebesar 3.76 % pada **Grafik soc ratio 4.1.3**.

4.1.2 Analisa Engine Dan Electric Power Mode *Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle* UDDS

Analisa *engine* dan *electric power* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* UDDS ditunjukkan pada Gambar 4.1.2



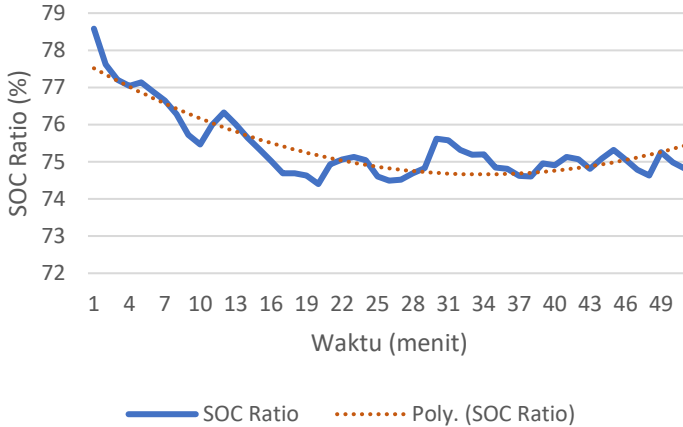
Gambar 4.1.2 Grafik *Engine* Dan *Electric Power* Mode *Hybrid* (UDDS)

Gambar 4.1.2 merupakan grafik yang menunjukkan power dari *engine* maupun dari *electric motor* mode *hybrid* UDDS pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan *electric power* dari motor listrik, *engine power* dari mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan total power merupakan gabungan antara *electric power* serta *engine power*. Sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit dimana *engine power* tertinggi yang terekam oleh data logger

adalah sebesar 9.14 kW, *electric power* tertinggi sebesar 3.32 kW, total power tertinggi sebesar 6.37 kW, average power tertinggi sebesar 3.18 kW, sedangkan untuk rata – rata *engine power* selama perjalanan sebesar 2.55 kW dan rata – rata *electric power* sebesar 0.97 kW, ini menunjukkan bahwa motor listrik terbantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) sehingga perbandingan soc ratio hanya berkurang sedikit yaitu sebesar 3.76 % pada **Grafik soc ratio 4.1.3** dan penggunaan bahan bakar selama perjalanan dari awal hingga akhir sebesar 0.008476 L pada **Grafik fuel consumption 4.1.4**. Dimana pada grafik diatas terlihat juga fenomena bahwa ketika *engine power* naik maka *electric power* akan turun ini terjadi pada saat kendaraan *normal driving* atau *cruising* ini sesuai teori pada **subab 2.3.5** dimana pada saat berjalan normal kendaraan juga didukung oleh mesin selain untuk menggerakkan kendaraan mesin juga ikut mengisi ulang baterai sehingga baterai juga akan terisi dan pada saat mode *hybrid* kendaraan akan menggunakan motor elektrik diawal berkendara.

4.1.3 Analisa SOC Ratio Mode *Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle* UDSS

Analisa *SOC Ratio* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* UDSS ditunjukkan pada Gambar 4.1.3



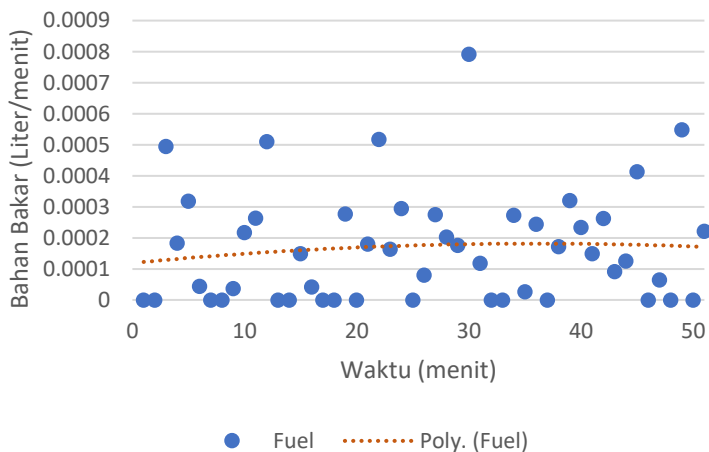
Gambar 4.1.3 Grafik SOC Ratio Mode *Hybrid* (UDSS)

Gambar 4.1.3 merupakan grafik soc ratio mode *hybrid* UDSS, pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan soc ratio dalam presentase sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit, dengan trendline soc ratio yang dimana pada awal berkendara turun dan naik seiring lama dari berkendara, selain itu juga terlihat grafik yang naik turun itu menunjukkan bahwa saat turun kendaraan menggunakan energi yaitu dari proses *discharging* sedangkan saat grafik naik menunjukkan bahwa kendaraan mengisi energi dari proses *charging*. Dimana power dari *engine* tertinggi sebesar 9.14 dan power dari *electric* tertinggi sebesar 3.32 dengan rata-rata sebesar 0.97 kW dari **Grafik 4.1.2 engine power dan electric power** selama perjalanan dari awal hingga akhir, maka perbandingan soc

ratio dari awal hingga akhir pemakaian pada kondisi perkotaan UDSS sebesar 3.76 %, dimana presentase soc ratio dimulai dari 78.58 % dan berakhir pada keadaan presentase soc sebesar 74.82 %. Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan soc ratio mode *hybrid* UDSS tidak besar atau bisa dibilang tidak terjadi penurunan secara drastis, dimana pada mode *hybrid* ini menunjukkan bahwa motor elektrik tidak bekerja secara penuh selama perjalanan dikarenakan dibantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang bekerja bersamaan, selain itu baterai juga dapat terisi melalui pengurangan kecepatan atau deselerasi maupun melalui pengereman (*regenerative breaking*).

4.1.4 Analisa Fuel Consumption Mode *Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle* UDSS

Analisa *fuel consumption* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* UDSS ditunjukkan pada Gambar 4.1.4

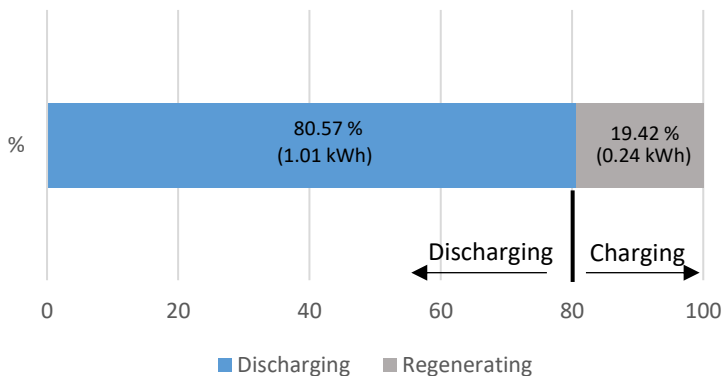


Gambar 4.1.4 Grafik *Fuel Consumption* Mode *Hybrid* (UDSS)

Gambar 4.1.4 merupakan grafik *fuel consumption* atau penggunaan bahan bakar mode *hybrid* UDDS, pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y menunjukkan konsumsi bahan bakar dalam satuan liter/menit sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit. trendline dari grafik diatas menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar dari awal berkendara hingga akhir berkendara cenderung konstan dengan power dari *engine* tertinggi sebesar 9.14 kW dengan rata – rata sebesar 2.55 kW dari **Grafik 4.1.2 engine power dan electric power** maka selama perjalanan UDDS konsumsi bahan bakar total sebesar 0.008476 L. dimana konsumsi bahan bakar ini berbanding lurus dengan *power* yang dikeluarkan oleh *engine* dan penggunaan bahan bakar ini hanya terjadi pada mode *hybrid*.

4.1.5 Analisa Energy flow Mode Electric Pada Kondisi Driving cycle UDDS

Analisa *Energy flow* pada mode *electric* pada *driving cycle* UDDS ditunjukkan pada Gambar 4.1.5

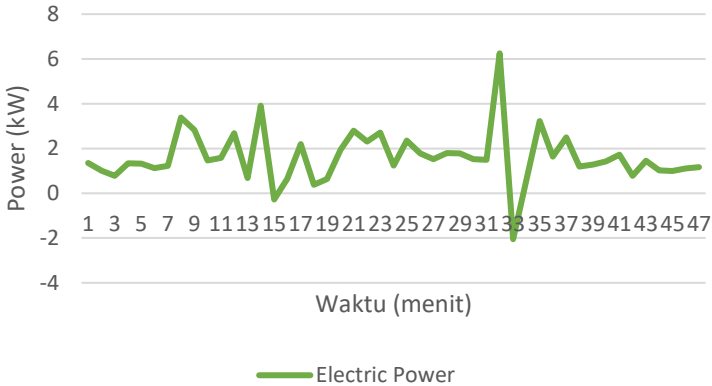


Gambar 4.1.5 Grafik Energy flow Mode Electric (UDDS)

Gambar 4.1.5 merupakan grafik *Energy flow mode electric* UDDS pada gambar tersebut ditunjukkan besarnya presentase *Energy flow* untuk proses *discharging* dimana kendaraan melakukan penggunaan energi untuk menjalankan kendaraan, *regenerating* merupakan dimana mesin motor bakar atau *internal combustion engine* dan generator dimatikan lalu menggunakan traksi motor sebagai generator yang hasilnya untuk disalurkan ke baterai, untuk mode *electric* UDDS pada kondisi perkotaan dengan jarak sejauh 12.07 km kendaraan akan lebih banyak untuk menggunakan energi sehingga presentase *Energy flow* untuk proses *discharging* yang lebih tinggi yaitu sebesar 80.57 % sedangkan untuk proses *charging* sebesar 19.42 %, ini tidak sama seperti oleh yang dilakukan oleh pielcha dkk, dimana untuk penelitian yang dilakukan oleh pielcha dkk adalah hanya pada mode hybrid sehingga perbandingan dari awal mengendarai dan akhir mengendarai untuk baterai dalam soc ratio dalam mode *electric* UDDS cukup besar yaitu sebesar 22.69 % pada **Grafik soc ratio 4.1.7**.

4.1.6 Analisa *Electric Power Mode Electric* Pada Kondisi *Driving cycle* UDSS

Analisa *electric power* pada mode *electric* pada *driving cycle* UDSS ditunjukkan pada Gambar 4.1.6

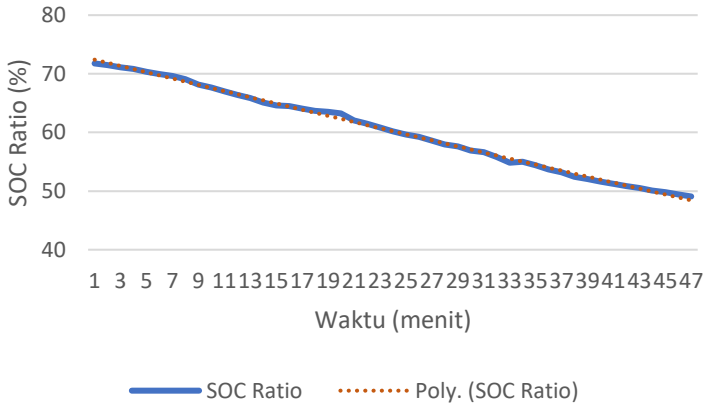


Gambar 4.1.6 Grafik *Electric Power Mode Electric* (UDSS)

Gambar 4.1.6 merupakan grafik yang menunjukkan power dari *electric motor mode electric* UDSS pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan *electric power* dari motor listrik, sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit dimana *electric power* tertinggi yang terekam oleh data logger sebesar 6.25 kW, dengan rata – rata *electric power* selama perjalanan sebesar 1.73 kW, ini menunjukkan bahwa yang bekerja hanya motor listrik tanpa terbantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) sehingga perbandingan soc ratio berkurang banyak yaitu sebesar 22.69 % pada **Grafik soc ratio 4.1.7**. Dimana pada grafik diatas terlihat juga bahwa power dari motor listrik saat turun menunjukkan bahwa motor listrik melakukan pengisian pada baterai melalui pengurangan kecepatan atau deselerasi maupun saat pengereman (*regenerative braking*).

4.1.7 Analisa SOC Ratio Mode *Electric* Pada Kondisi *Driving cycle* UDDS

Analisa *SOC ratio* pada mode *electric* pada *driving cycle* UDDS ditunjukkan pada Gambar 4.1.7

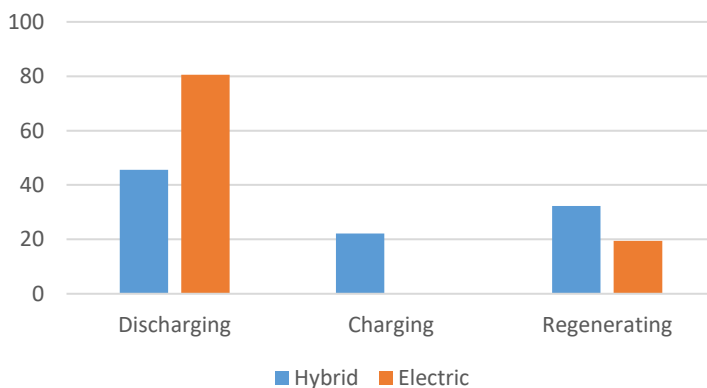


Gambar 4.1.7 Grafik SOC Ratio Mode *Electric* (UDDS)

Gambar 4.1.7 merupakan grafik soc ratio mode *electric* UDDS, pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan soc ratio dalam presentase sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit, dengan trendline soc ratio yang cenderung menurun, selain itu juga terlihat grafik turun menandakan kendaraan menggunakan energi yaitu dari proses *discharging* sedangkan saat grafik naik walau tidak sebesar saat mode *hybrid* menunjukkan bahwa kendaraan mengisi energi dari proses *charging*. Dimana power dari *electric* tertinggi sebesar 6.25 kW dengan rata – rata sebesar 1.73 kW dari **Grafik 4.1.6 *electric power*** selama perjalanan dari awal hingga akhir, maka perbandingan soc ratio dari awal hingga akhir pemakaian pada kondisi perkotaan UDDS sebesar 22.69 %, dimana presentase soc ratio dimulai dari 71.76 % dan berakhir pada keadaan presentase soc sebesar 49.07 %. Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan soc

ratio mode *electric* UDDS lumayan besar, dimana pada mode *electric* ini menunjukkan bahwa motor elektrik bekerja secara penuh selama perjalanan tanpa dibantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*), selain itu baterai juga dapat terisi melalui pengurangan kecepatan atau deselerasi maupun melalui pengereman (*regenerative braking*).

4.1.8 Analisa Perbandingan *Energy flow* pada Mode *hybrid* dan Mode elektrik Pada UDDS



Gambar 4.1.8 Grafik Perbandingan *Energy flow* pada Mode *hybrid* dan Mode *electric* (UDDS)

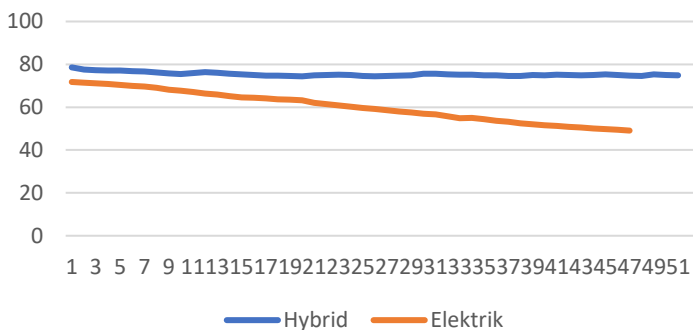
Dari Gambar 4.1.8 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *Energy flow* mode *hybrid* dan mode *electric* pada *driving cycle* UDDS dimana pada *discharging cycle* tertinggi terdapat pada mode *electric* dengan presentase sebesar 80.57 %, yang dimana ini disebabkan pada mode *electric* hanya menggunakan motor listrik tanpa mesin yang mengakibatkan pada mode *electric* ini lebih besar konsumsi energinya.

Pada *charging* dalam mode *hybrid* dan mode *electric driving cycle* UDDS didapatkan hasil dimana hanya ada pada mode

hybrid yaitu sebesar 22.19 %, ini disebabkan bahwa pada mode *hybrid* kendaraan menggunakan dua sumber penggerak yaitu motor listrik dan mesin, mesin sendiri selain digunakan untuk menggerakkan kendaraan mesin juga akan menggerakkan generator untuk mengisi ulang baterai.

Pada *regenerating* dalam mode *hybrid* dan mode *electric driving cycle* UDSS didapatkan bahwa hasil dari *regenerating* dari mode *hybrid* lebih tinggi yaitu sebesar 32.25 %, ini dapat disebabkan dari medan yang dilalui.

4.1.9 Analisa Perbandingan SOC ratio pada Mode *hybrid* dan Mode elektrik Pada UDSS



pada Mode hybrid dan Mode electric (UDSS)

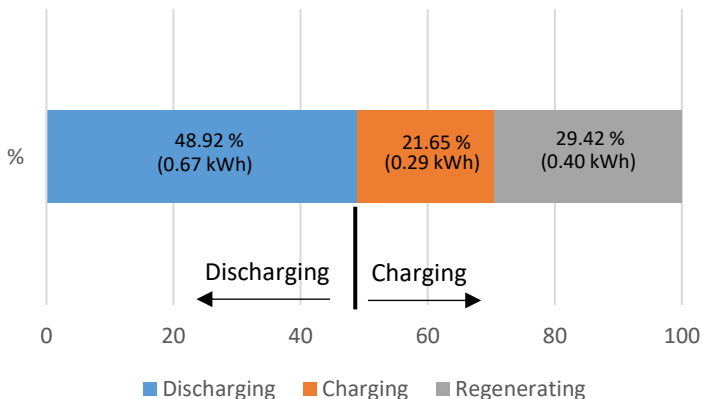
Dari Gambar 4.1.9 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan soc ratio mode *hybrid* dan mode *electric* pada *driving cycle* UDSS, dimana pada mode *electric* presentase baterai berkurang sebesar 22.69 %, ini disebabkan pada mode *electric* kendaraan hanya menggunakan motor listrik tanpa dibantu oleh mesin, sedangkan pada mode *hybrid* presentase baterai hanya berkurang sebesar 3.76 %, ini diakibatkan pada mode *hybrid* kendaraan menggunakan dua sumber penggerak yaitu dari motor elektrik dan mesin.

4.2 Analisa Pengujian Jalan Pada Kondisi *Driving cycle* FTP-75

FTP-75 merupakan *driving cycle* dari EPA Federal Test Procedure, yang dimana juga identik dengan UDDS, tetapi dengan perbedaan pada rute perkotaan sejauh 17.77 km (11.04 miles) dan kecepatan rata-rata sebesar 34,1 km/h (21.2 mph). Dimana pengujian ini pada mode *hybrid* kendaraan di uji pada pukul 17.33 melaju sejauh 18.1 km, kecepatan maksimal sebesar 68.58 km/h, dan kecepatan rata – rata sebesar 20.32 km/h, sedangkan pada mode elektrik kendaraan di uji pada pukul 10.24 melaju sejauh 16.9 km, kecepatan maksimal sebesar 72.97 km/h, dan kecepatan rata – rata sebesar 19.56 km/h.

4.2.1 Analisa *Energy flow* Mode Hybrid Pada Kondisi *Driving cycle* FTP 75

Analisa *Energy flow* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* FTP 75 ditunjukkan pada Gambar 4.2.1

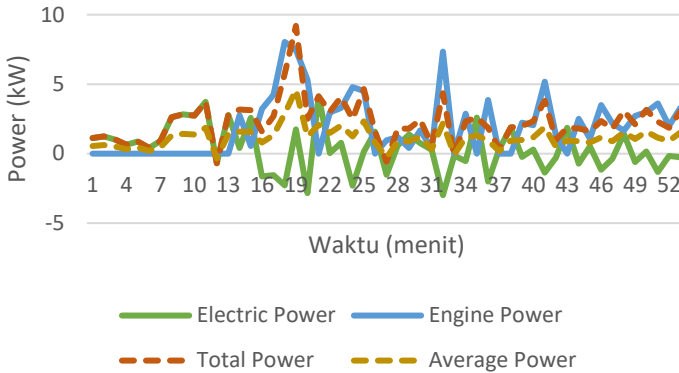


Gambar 4.2.1 Grafik *Energy flow* Mode Hybrid (FTP 75)

Gambar 4.2.1 merupakan grafik *Energy flow mode hybrid* FTP 75 pada gambar tersebut ditunjukkan besarnya presentase *Energy flow* untuk proses *discharging* dimana kendaraan melakukan penggunaan energi untuk menjalankan kendaraan, *charging* merupakan dimana mesin motor bakar (*internal combustion engine*) beroperasi untuk menggerakkan kendaraan dan generator untuk mengisi baterai, dan *regenerating* merupakan dimana mesin motor bakar atau *internal combustion engine* dan generator dimatikan lalu menggunakan traksi motor sebagai generator saat pengereman yang hasilnya untuk disalurkan ke baterai, untuk mode *hybrid* FTP 75 pada kondisi perkotaan dengan jarak sejauh 17.77 km kendaraan lebih banyak untuk mengisi energi sehingga presentase *Energy flow* untuk proses *charging* yang paling tinggi yaitu sebesar 51.07 % yang terdiri dari *charging* sebesar 21.65 %, dan *regenerating* sebesar 29.42 % sedangkan untuk *discharging* sebesar 48.92 %, ini sama seperti oleh yang dilakukan oleh pielcha dkk yang dimana pada penelitiannya tentang *Energy flow* adalah kendaraan akan lebih banyak untuk menyimpan dan mendapatkan energi daripada mengeluarkan atau menggunakan energi, untuk mode *hybrid* FTP 75 dapat meningkatkan energi sebesar 2.15 % (0.02 kW), sehingga perbandingan dari awal mengendarai dan akhir mengendarai untuk baterai dalam soc ratio dalam mode *hybrid* UDSS ini tidak besar yaitu hanya sebesar 7.46 % pada **Grafik soc ratio 4.2.3**.

4.2.2 Analisa *Engine* Dan *Electric Power Mode Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle FTP-75*

Analisa *engine* dan *electric power* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* FTP 75 ditunjukkan pada Gambar 4.2.2



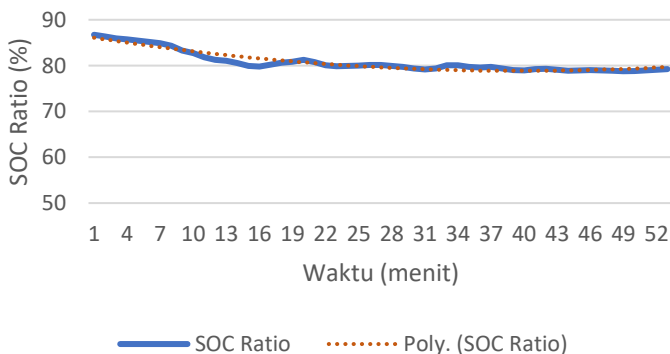
Gambar 4.2.2 Grafik Engine Dan Electric Power Mode Hybrid (FTP 75)

Gambar 4.2.2 merupakan grafik yang menunjukkan power dari *engine* maupun dari *electric motor* mode *hybrid* FTP 75 pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan *electric power* dari motor listrik, *engine power* dari mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan total power merupakan gabungan antara *electric power* serta *engine power*. Sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit dimana *engine power* tertinggi yang terekam oleh data logger adalah sebesar 8.04 kW, *electric power* tertinggi sebesar 4.12 kW, total power tertinggi sebesar 9.19 kW, average power tertinggi sebesar 4.59 kW, sedangkan untuk rata – rata *engine power* selama perjalanan sebesar 3.09 kW dan rata – rata *electric power* sebesar 1.38 kW, ini menunjukkan bahwa motor listrik terbantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) sehingga

perbandingan soc ratio hanya berkurang sedikit yaitu sebesar 7.46 % pada **Grafik soc ratio 4.2.3** dan penggunaan bahan bakar selama perjalanan dari awal hingga akhir sebesar 0.009076 L pada **Grafik fuel consumption 4.2.4**. Dimana pada grafik diatas terlihat juga fenomena bahwa ketika *engine power* naik maka *electric power* akan turun ini terjadi pada saat kendaraan *normal driving* atau *cruising* ini sesuai teori pada **subab 2.3.5** dimana pada saat berjalan normal kendaraan juga didukung oleh mesin selain untuk menggerakkan kendaraan mesin juga ikut mengisi ulang baterai sehingga baterai juga akan terisi dan pada saat mode *hybrid* kendaraan akan menggunakan motor elektrik diawal berkendara.

4.2.3 Analisa SOC Ratio Mode *Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle FTP-75*

Analisa *SOC Ratio* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* FTP 75 ditunjukkan pada Gambar 4.2.3



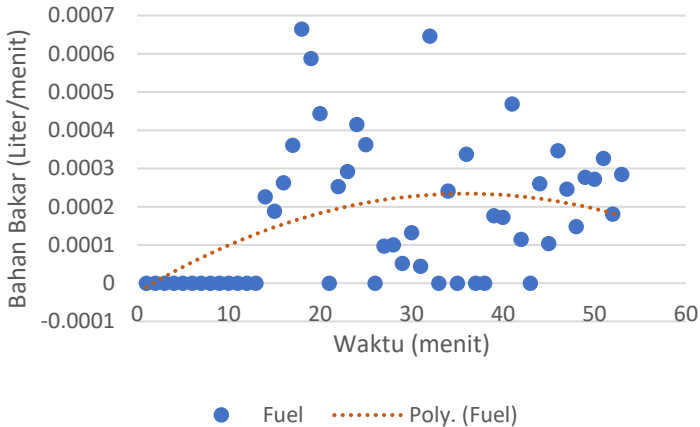
Gambar 4.2.3 Grafik SOC Ratio Mode *Hybrid* (FTP 75)

Gambar 4.2.3 merupakan grafik soc ratio mode *hybrid* FTP 75, pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan soc ratio dalam presentase sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit, dengan trendline soc ratio yang cenderung turun seiring lama dari berkendara, selain itu juga terlihat grafik yang naik turun itu menunjukkan bahwa saat turun

kendaraan menggunakan energi yaitu dari proses *discharging* sedangkan saat grafik naik menunjukkan bahwa kendaraan mengisi energi dari proses *charging*. Dimana power dari *engine* tertinggi sebesar 9.19 kW dan power dari *electric* tertinggi sebesar 4.12 kW dengan rata – rata sebesar 1.38 kW dari **Grafik 4.2.2 engine power dan electric power** selama perjalanan dari awal hingga akhir, maka perbandingan soc ratio dari awal hingga akhir pemakaian pada kondisi perkotaan FTP 75 sebesar 7.46 %, dimana presentase soc ratio dimulai dari 86.73 % dan berakhir pada keadaan presentase soc sebesar 79.26 %. Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan soc ratio mode *hybrid* FTP 75 tidak besar atau bisa dibilang tidak terjadi penurunan secara drastis, dimana pada mode *hybrid* ini menunjukkan bahwa motor elektrik tidak bekerja secara penuh selama perjalanan dikarenakan dibantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang bekerja bersamaan, selain itu baterai juga dapat terisi melalui pengurangan kecepatan atau deselerasi maupun melalui pengereman (*regenerative braking*).

4.2.4 Analisa *Fuel Consumption Mode Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle FTP-75*

Analisa *fuel consumption* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* FTP 75 ditunjukkan pada Gambar 4.2.4

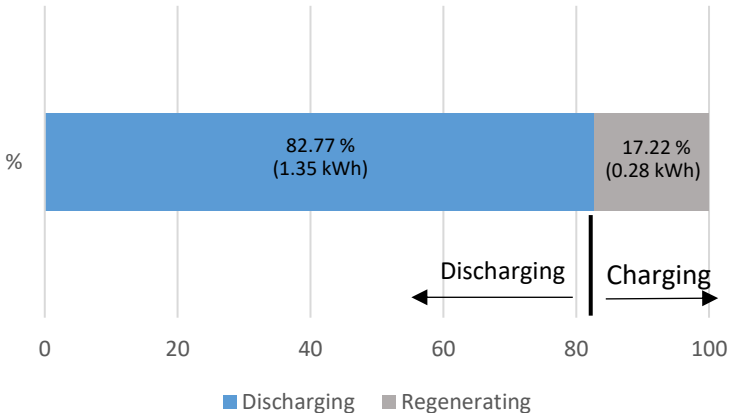


Gambar 4.2 4 Grafik *Fuel Consumption Mode Hybrid* (FTP 75)

Gambar 4.2.4 merupakan grafik *fuel consumption* atau penggunaan bahan bakar mode *hybrid* FTP 75, pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y menunjukkan konsumsi bahan bakar dalam satuan liter/menit sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit. trendline dari grafik diatas menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar dari cenderung naik seiring lama dari berkendara dengan power dari *engine* tertinggi sebesar 9.19 kW dengan rata – rata sebesar 3.09 kW dari **Grafik 4.2.2 engine power dan electric power** maka selama perjalanan FTP 75 konsumsi bahan bakar total sebesar 0.009076 L. dimana konsumsi bahan bakar ini berbanding lurus dengan *power* yang dikeluarkan oleh *engine* dan penggunaan bahan bakar ini hanya terjadi pada mode *hybrid*.

4.2.5 Analisa *Energy flow Mode Electric* Pada Kondisi *Driving cycle FTP-75*

Analisa *Energy flow* pada mode *electric* pada *driving cycle* FTP 75 ditunjukkan pada Gambar 4.2.5



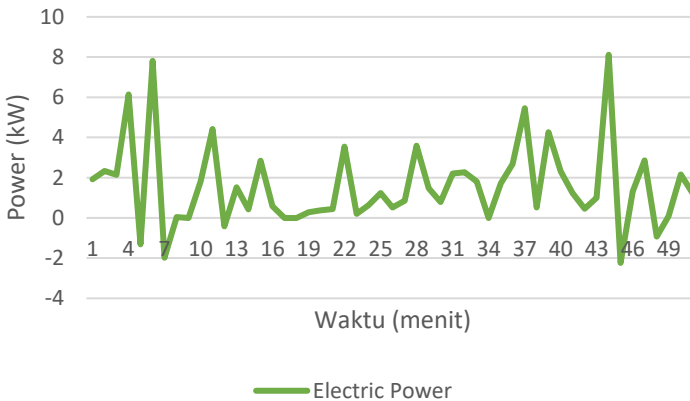
Gambar 4.2.5 Grafik *Energy flow Mode Electric* (FTP 75)

Gambar 4.2.5 merupakan grafik *Energy flow mode electric* FTP 75 pada gambar tersebut ditunjukkan besarnya presentase *Energy flow* untuk proses *discharging* dimana kendaraan melakukan penggunaan energi untuk menjalankan kendaraan, *regenerating* merupakan dimana mesin motor bakar atau *internal combustion engine* dan generator dimatikan lalu menggunakan traksi motor sebagai generator yang hasilnya untuk disalurkan ke baterai pada saat deselerasi atau pengereman, untuk mode *electric* FTP 75 pada kondisi perkotaan dengan jarak sejauh 17.77 km kendaraan akan lebih banyak untuk menggunakan energi sehingga presentase *Energy flow* untuk proses *discharging* yang lebih tinggi yaitu sebesar 81.37 % sedangkan untuk proses *charging* sebesar 18.62 %, ini tidak sama seperti oleh yang dilakukan oleh pielcha dkk, dimana untuk penelitian yang dilakukan oleh pielcha dkk adalah hanya pada mode hybrid

sehingga perbandingan dari awal mengendarai dan akhir mengendarai untuk baterai dalam soc ratio dalam mode *electric* FTP 75 cukup besar yaitu sebesar 24.62 % pada **Grafik soc ratio 4.2.7.**

4.2.6 Analisa *Electric Power Mode Electric* Pada Kondisi *Driving cycle FTP-75*

Analisa *electric power* pada mode *electric* pada *driving cycle* FTP 75 ditunjukkan pada Gambar 4.2.6



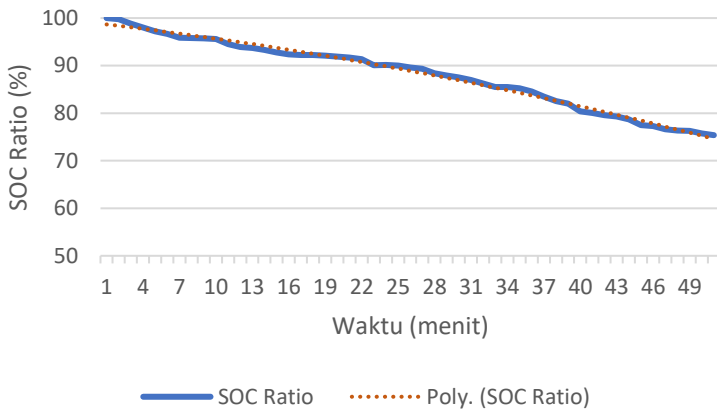
Gambar 4.2.6 Grafik *Engine* Dan *Electric Power Mode Electric* (FTP 75)

Gambar 4.2.6 merupakan grafik yang menunjukkan power dari *electric motor* mode *electric* FTP 75 pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan *electric power* dari motor listrik, sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit dimana *electric power* tertinggi yang terekam oleh data logger sebesar 8.11 kW, dengan rata – rata *electric power* selama perjalanan sebesar 2.08 kW, ini menunjukkan bahwa yang bekerja hanya motor listrik tanpa terbantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) sehingga perbandingan soc ratio berkurang banyak yaitu sebesar 24.62 % pada **Grafik soc**

ratio 4.2.7. Dimana pada grafik diatas terlihat juga bahwa power dari motor listrik saat turun menunjukkan bahwa motor listrik melakukan pengisian pada baterai melalui pengurangan kecepatan atau deselerasi maupun saat pengereman (*regenerative braking*).

4.2.7 Analisa SOC Ratio Mode *Electric* Pada Kondisi *Driving cycle FTP-75*

Analisa *SOC ratio* pada mode *electric* pada *driving cycle* FTP 75 ditunjukkan pada Gambar 4.2.7

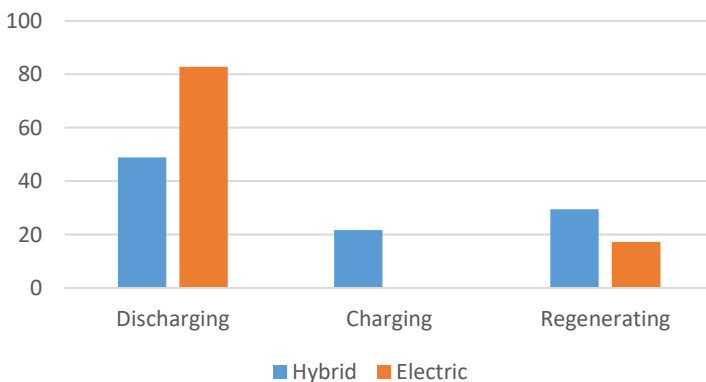


Gambar 4.2.7 Grafik SOC Ratio Mode *Electric* (FTP 75)

Gambar 4.2.7 merupakan grafik soc ratio mode *electric* FTP 75, pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan soc ratio dalam presentase sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit, dengan trendline soc ratio yang cenderung menurun, selain itu juga terlihat grafik turun menandakan kendaraan menggunakan energi yaitu dari proses *discharging* sedangkan saat grafik naik walau tidak sebesar saat mode *hybrid* menunjukkan bahwa kendaraan mengisi energi dari proses *charging*. Dimana power dari *electric* tertinggi sebesar 8.11 kW dengan rata – rata sebesar 2.08 kW dari **Grafik 4.2.6 *electric***

power selama perjalanan dari awal hingga akhir, maka perbandingan soc ratio dari awal hingga akhir pemakaian pada kondisi perkotaan FTP 75 sebesar 24.62 %, dimana presentase soc ratio dimulai dari 100 % dan berakhir pada keadaan presentase soc ratio sebesar 75.37 %. Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan soc ratio mode *electric* UDSS cukup besar, dimana pada mode *electric* ini menunjukkan bahwa motor elektrik bekerja secara penuh selama perjalanan tanpa dibantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*), selain itu baterai juga dapat terisi melalui pengurangan kecepatan atau deselerasi maupun melalui pengereman (*regenerative braking*).

4.2.8 Analisa Perbandingan *Energy flow* pada Mode *hybrid* dan Mode elektrik Pada FTP 75



Gambar 4.2.8 Grafik Perbandingan *Energy flow* pada Mode *hybrid* dan Mode *electric* (FTP 75)

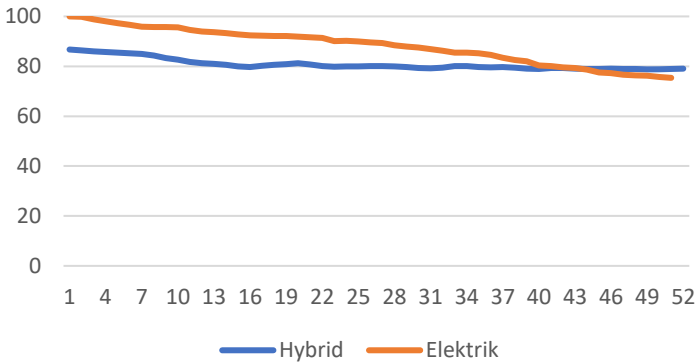
Dari Gambar 4.2.8 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *Energy flow* mode *hybrid* dan mode *electric* pada *driving cycle* FTP 75 dimana pada *discharging* tertinggi terdapat pada mode *electric* dengan presentase sebesar 82.77 %, yang dimana ini disebabkan pada mode *electric* hanya

menggunakan motor listrik tanpa mesin yang mengakibatkan pada mode *electric* ini lebih besar konsumsi energinya.

Pada *charging* dalam mode *hybrid* dan mode *electric driving cycle* FTP 75 didapatkan hasil dimana hanya ada pada mode *hybrid* yaitu sebesar 21.65 %, ini disebabkan bahwa pada mode *hybrid* kendaraan menggunakan dua sumber penggerak yaitu motor listrik dan mesin, mesin sendiri selain digunakan untuk menggerakkan kendaraan mesin juga akan menggerakkan generator untuk mengisi ulang baterai.

Pada *regenerating* dalam mode *hybrid* dan mode *electric driving cycle* FTP 75 didapatkan bahwa hasil dari *regenerating* dari mode *electric* lebih tinggi yaitu sebesar 29.42 %, ini dapat disebabkan dari medan yang dilalui berbeda.

4.2.9 Analisa Perbandingan SOC Ratio pada Mode *hybrid* dan Mode elektrik Pada FTP 75



Gambar 4.2 9 Grafik Perbandingan SOC Ratio pada Mode *hybrid* dan Mode electric (FTP 75)

Dari Gambar 4.2.9 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan soc ratio mode *hybrid* dan mode *electric* pada *driving cycle* FTP 75, dimana pada mode *electric* presentase baterai berkurang sebesar 24.62 %, ini disebabkan pada

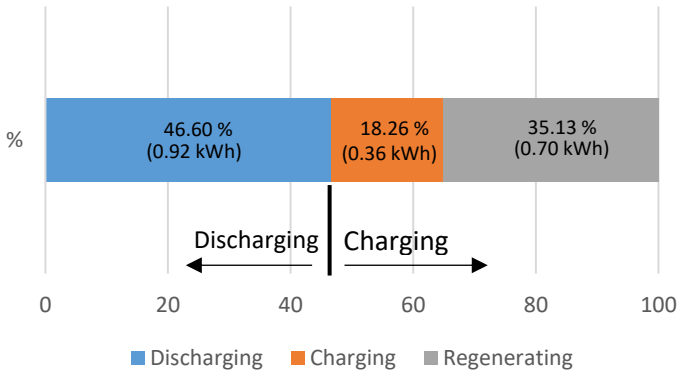
mode *electric* kendaraan hanya menggunakan motor listrik tanpa dibantu oleh mesin, sedangkan pada mode *hybrid* presentase baterai hanya berkurang sebesar 7.46 %, ini diakibatkan pada mode *hybrid* kendaraan menggunakan dua sumber penggerak yaitu dari motor elektrik dan mesin.

4.3 Analisa Pengujian Jalan Pada Kondisi *Driving cycle* HWFET

Highway Fuel Economic Driving Schedule (HWFET), merupakan salah satu *driving cycle* yang akan diuji pada kondisi jalan tol dimana total jarak 16,45 km (10.26 miles), kecepatan rata – rata sebesar 77.7 km/h (48.3 mi/h), kecepatan maksimal sebesar 97 km/h (60 mph) dan mobil dengan keadaan tidak berhenti. Dimana pada pengujian ini mode *hybrid* kendaraan di uji pada pukul 16.59 melaju sejauh 16.45 km, kecepatan maksimal sebesar 149.69 km/h, dan kecepatan rata – rata sebesar 59.65 km/h.

4.3.1 Analisa *Energy flow* Mode *Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle* HWFET

Analisa *Energy flow* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* HWFET ditunjukkan pada Gambar 4.3.1



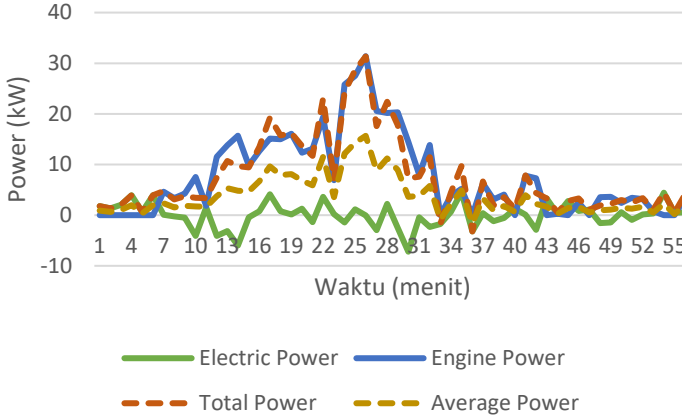
Gambar 4.3.1 Grafik *Energy flow* Mode *Hybrid* (HWFET)

Gambar 4.3.1 merupakan grafik *Energy flow* mode *hybrid* HWFET pada gambar tersebut ditunjukkan besarnya presentase *Energy flow* untuk proses *discharging* dimana kendaraan melakukan penggunaan energi untuk menjalankan kendaraan, *charging* merupakan dimana mesin motor bakar

(*internal combustion engine*) beroperasi untuk menggerakkan kendaraan dan generator untuk mengisi baterai, dan *regenerating* merupakan dimana mesin motor bakar atau *internal combustion engine* dan generator dimatikan lalu menggunakan traksi motor sebagai generator saat pengereman yang hasilnya untuk disalurkan ke baterai, untuk mode *hybrid* HWFET pada kondisi jalan tol dengan jarak sejauh 16.45 km kendaraan lebih banyak untuk mengisi energi sehingga presentase *Energy flow* untuk proses *charging* yang paling tinggi yaitu sebesar 53.39 % yang terdiri dari *charging* sebesar 18.26 %, dan *regenerating* sebesar 35.13 % sedangkan untuk *discharging* sebesar 46.60 %, ini sama seperti oleh yang dilakukan oleh pielcha dkk yang dimana pada penelitiannya tentang *Energy flow* adalah kendaraan akan lebih banyak untuk menyimpan dan mendapatkan energi daripada mengeluarkan atau menggunakan energi, untuk mode *hybrid* HWFET dapat meningkatkan energi sebesar 6.79 % (0.13 kW), sehingga perbandingan dari awal mengendarai dan akhir mengendarai untuk baterai dalam soc ratio dalam mode *hybrid* UDDS cukup besar yaitu hanya sebesar 14.80 % pada **Grafik soc ratio 4.3.3**.

4.3.2 Analisa *Engine* Dan *Electric Power Mode Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle HWFET*

Analisa *engine* dan *electric power* pada mode *hybrid* pada *driving cycle HWFET* ditunjukkan pada Gambar 4.3.2



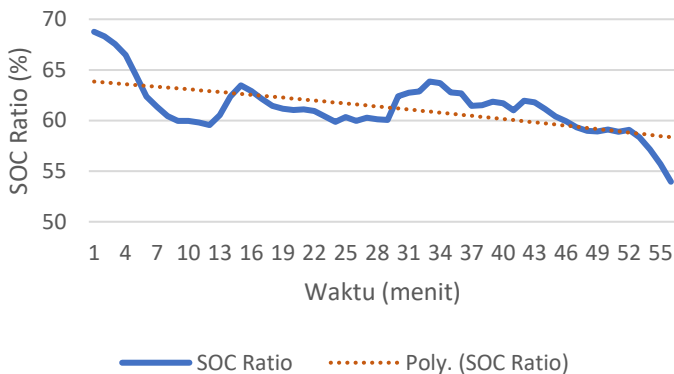
Gambar 4.3.2 Grafik *Engine* Dan *Electric Power Mode Hybrid* (*HWFET*)

Gambar 4.3.2 merupakan grafik yang menunjukkan power dari *engine* maupun dari *electric motor* mode *hybrid HWFET* pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan *electric power* dari motor listrik, *engine power* dari mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan total power merupakan gabungan antara *electric power* serta *engine power*. Sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit dimana *engine power* tertinggi yang terekam oleh data logger adalah sebesar 31.38 kW, *electric power* tertinggi sebesar 4.52 kW, total power tertinggi sebesar 31.32 kW, average power tertinggi sebesar 15.66 kW, sedangkan untuk rata – rata *engine power* selama perjalanan sebesar 10.13 kW dan rata – rata *electric power* sebesar 1.54 kW, ini menunjukkan bahwa motor listrik terbantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) sehingga

perbandingan soc ratio hanya cukup besar yaitu sebesar 14.80 % pada **Grafik soc ratio 4.2.3** dan penggunaan bahan bakar selama perjalanan dari awal hingga akhir sebesar 0.35623 L pada **Grafik fuel consumption 4.2.4**. Dimana pada grafik diatas terlihat juga fenomena bahwa ketika *engine power* naik maka *electric power* akan turun ini terjadi pada saat kendaraan *normal driving* atau *cruising* ini sesuai teori pada **subab 2.3.5** dimana pada saat berjalan normal kendaraan juga didukung oleh mesin selain untuk menggerakkan kendaraan mesin juga ikut mengisi ulang baterai sehingga baterai juga akan terisi dan pada saat mode *hybrid* kendaraan akan menggunakan motor elektrik diawal berkendara.

4.3.3 Analisa SOC Ratio Mode *Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle* HWFET

Analisa *SOC ratio* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* HWFET ditunjukkan pada Gambar 4.3.3



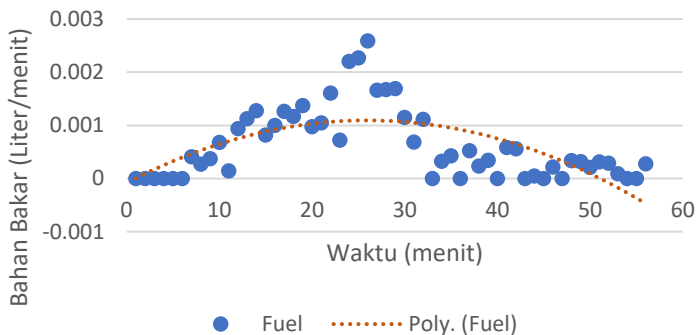
Gambar 4.3.3 Grafik SOC Ratio Mode *Hybrid* (HWFET)

Gambar 4.3.3 merupakan grafik soc ratio mode *hybrid* HWFET, pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y merupakan soc ratio dalam presentase sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit, dengan trendline soc ratio yang cenderung konstan saat berkendara, selain itu juga terlihat grafik

yang naik turun itu menunjukkan bahwa saat turun kendaraan menggunakan energi yaitu dari proses *discharging* sedangkan saat grafik naik menunjukkan bahwa kendaraan mengisi energi dari proses *charging*. Dimana power dari *engine* tertinggi sebesar 31.38 kW, dan power dari *electric* tertinggi sebesar 4.52 kW dengan rata – rata sebesar 1.54 kW dari **Grafik 4.1.2 engine power dan electric power** selama perjalanan dari awal hingga akhir, maka perbandingan soc ratio dari awal hingga akhir pemakaian pada kondisi perkotaan HWFET sebesar 14.80 %, dimana presentase soc ratio dimulai dari 68.76 % dan berakhir pada keadaan presentase soc sebesar 53.95 %. Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan soc ratio mode *hybrid* HWFET cukup besar, dimana pada mode *hybrid* ini menunjukkan bahwa motor elektrik tidak bekerja secara penuh selama perjalanan dikarenakan dibantu oleh mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang bekerja bersamaan, selain itu baterai juga dapat terisi melalui pengurangan kecepatan atau deselerasi maupun melalui pengereman (*regenerative breaking*).

4.3.4 Analisa *Fuel Consumption Mode Hybrid* Pada Kondisi *Driving cycle HWFET*

Analisa *fuel consumption* pada mode *hybrid* pada *driving cycle* HWFET ditunjukkan pada Gambar 4.3.4

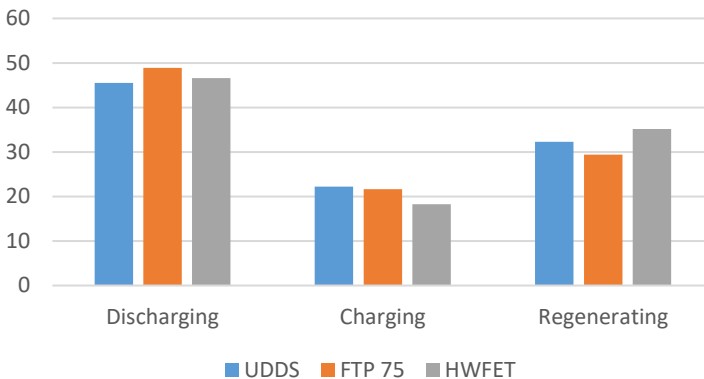


Gambar 4.3.4 Grafik *Fuel Consumption Mode Hybrid* (HWFET)

Gambar 4.3.4 merupakan grafik *fuel consumption* atau penggunaan bahan bakar mode *hybrid* HWFET, pada gambar tersebut ditunjukkan dimana sumbu Y menunjukkan konsumsi bahan bakar dalam satuan liter/menit sedangkan untuk sumbu X menunjukkan waktu dalam menit. trendline dari grafik diatas menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar dari awal berkendara hingga akhir berkendara cenderung naik seiring lama dari berkendara, dengan power dari *engine* tertinggi sebesar 31.38 kW dari **Grafik 4.1.2 engine power dan electric power** maka selama perjalanan HWFET konsumsi bahan bakar total sebesar 0.03523 L. dimana konsumsi bahan bakar ini berbanding lurus dengan *power* yang dikeluarkan oleh *engine* dan penggunaan bahan bakar ini hanya terjadi pada mode *hybrid*.

4.4 Analisa Perbandingan *Energy flow Mode Hybrid* Pada Tiga *Driving cycle* (UDDS,FTP 75, Dan HWFET)

Berikut merupakan analisa perbandingan *Energy flow* pada mode *hybrid* diketiga *driving cycle* (UDDS,FTP 75, dan HWFET), ditunjukkan pada Gambar 4.4.1



Gambar 4.4.1 Grafik *Energy flow Mode Hybrid* Pada Tiga *Driving cycle*

Dari Gambar 4.4.1 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *Energy flow mode hybrid* pada tiga *driving cycle* (UDDS, FTP 75, dan HWFET), dimana pada mode *discharging* terendah terdapat pada *driving cycle* UDDS dengan presentase 45.54 %, yang kedua pada *driving cycle* HWFET sebesar 46.60 %, dan yang ketiga pada *driving cycle* FTP 75 sebesar 48.92 %. ini menunjukkan bahwa konsumsi energi terkecil untuk mode *hybrid* adalah pada *driving cycle* UDDS ini disebabkan oleh pemakaian energi dari baterai yang digunakan oleh listrik lebih kecil.

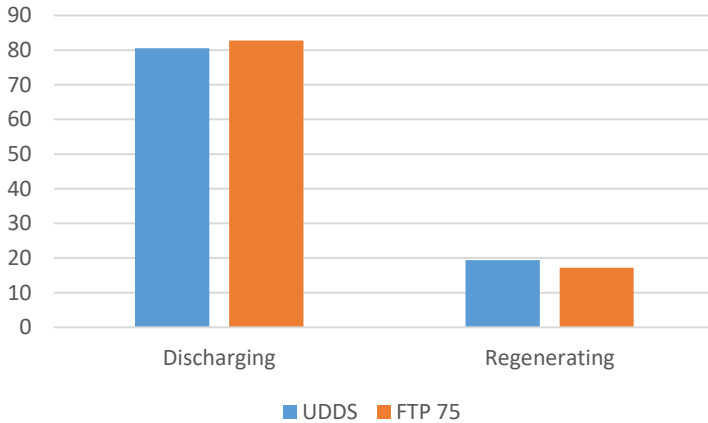
Pada mode *charging* diketiga *driving cycle* (UDDS, FTP 75, dan HWFET) didapatkan hasil dimana pada *driving cycle* UDDS merupakan presentase tertinggi yaitu sebesar 22.19 %, yang kedua pada *driving cycle* FTP 75 sebesar 21.65 %, dan yang ketiga

pada *driving cycle* HWFET yaitu sebesar 18.26 %. Ini menunjukkan bahwa mesin motor bakar (*internal combustion engine*) yang beroperasi untuk menggerakkan generator untuk mengisi baterai tertinggi untuk mode *hybrid* adalah pada *driving cycle* UDDS.

Pada mode *regenerating* dari ketiga *driving cycle* (UDDS, FTP 75, dan HWFET) didapatkan hasil berupa pada *driving cycle* HWFET merupakan presentase tertinggi yaitu sebesar 35.13 %, yang kedua pada *driving cycle* UDDS sebesar 22.19 %, dan yang ketiga pada *driving cycle* FTP 75 yaitu sebesar 21.65 %. Ini menunjukkan bahwa proses pengecasan atau pengisian baterai melalui traksi motor sebagai generator saat pengereman yang hasilnya disalurkan ke baterai tertinggi untuk mode *hybrid* adalah pada *driving cycle* HWFET.

4.5 Analisa Perbandingan *Energy flow* Mode Electric Pada Dua *Driving cycle* (UDDS Dan FTP 75)

Berikut merupakan analisa perbandingan *Energy flow* pada mode *electric* dikedua *driving cycle* (UDDS dan FTP 75), ditunjukkan pada Gambar 4.5.1



Gambar 4.5.1 Grafik *Energy flow* Mode Electric Pada Dua *Driving cycle*

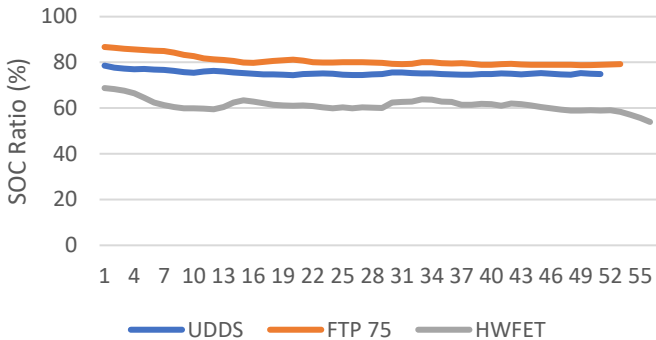
Dari Gambar 4.5.1 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *Energy flow* mode *electric* pada dua *driving cycle* (UDDS dan FTP 75), dimana pada mode *discharging* terdapat pada *driving cycle* UDDS dengan presentase 80.57 %, yang kedua pada *driving cycle* FTP 75 sebesar 82.77 %. Ini menunjukkan bahwa konsumsi energi terendah untuk mode *electric* adalah pada *driving cycle* UDDS ini disebabkan oleh pemakaian energi dari baterai yang digunakan oleh listrik lebih kecil.

Pada mode *regenerating* dari kedua *driving cycle* (UDDS dan FTP 75) didapatkan hasil berupa pada *driving cycle* UDDS merupakan presentase tertinggi yaitu sebesar 19.42 %, yang kedua pada *driving cycle* FTP 75 sebesar 17.22 %. Ini menunjukkan bahwa proses pengelasan atau pengisian baterai melalui traksi motor

sebagai generator saat pengereman yang hasilnya disalurkan ke baterai tertinggi untuk mode *hybrid* adalah pada *driving cycle* UDDS.

4.6 Analisa Perbandingan SOC Ratio Mode *Hybrid* Pada Tiga *Driving cycle* (UDDS,FTP 75, Dan HWFET)

Berikut merupakan analisa perbandingan SOC ratio pada mode *hybrid* diketiga *driving cycle* (UDDS,FTP 75, dan HWFET), ditunjukkan pada Gambar 4.6.1

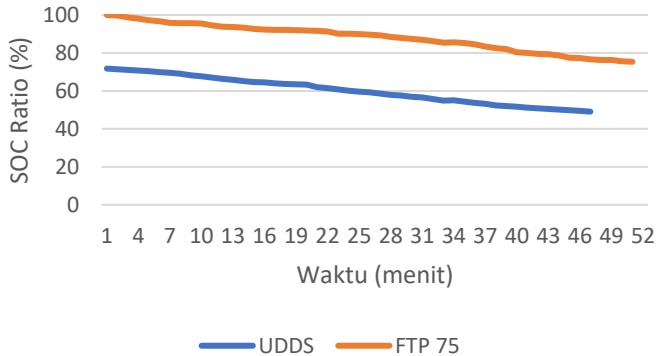


Gambar 4.6.1 Grafik SOC Ratio Mode *Hybrid* Pada Tiga *Driving cycle*

Dari Gambar 4.6.1 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan soc ratio mode *hybrid* pada tiga *driving cycle* (UDDS, FTP 75, dan HWFET), dimana pada mode *hybrid* ini soc ratio dengan perbandingan penggunaan baterai dari awal dan akhir mengendarai terkecil adalah pada *driving cycle* UDDS yaitu sebesar 3.76 %, yang kedua adalah pada *driving cycle* FTP 75 yaitu sebesar 7.46 %, dan yang ketiga ada pada *driving cycle* HWFET yaitu sebesar 14.80 %.

4.7 Analisa Perbandingan SOC Ratio Mode *electric* Pada Dua *Driving cycle* (UDDS dan FTP 75)

Berikut merupakan analisa perbandingan SOC ratio pada mode *electric* dikedua *driving cycle* (UDDS dan FTP 75), ditunjukkan pada Gambar 4.7.1

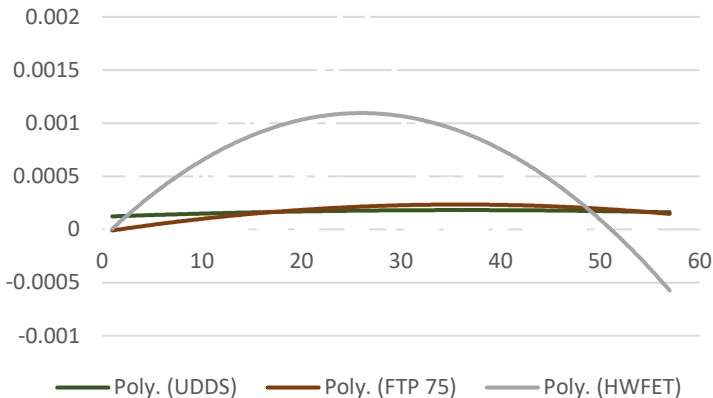


Gambar 4.7.1 Grafik SOC Ratio Mode *Electric* Pada Dua *Driving cycle*

Dari Gambar 4.7.1 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan soc ratio mode *electric* pada dua *driving cycle* (UDDS dan FTP 75), dimana pada mode *electric* ini SOC ratio dengan perbandingan penggunaan baterai dari awal dan akhir mengendarai terkecil adalah pada *driving cycle* UDDS yaitu sebesar 22.69 %, dan yang kedua adalah pada *driving cycle* FTP 75 yaitu sebesar 24.62 %.

4.8 Analisa Perbandingan *Fuel Consumption Mode Hybrid* Pada Tiga *Driving cycle* (UDDS,FTP 75, Dan HWFET)

Berikut merupakan analisa perbandingan *Fuel Consumption* pada mode *hybrid* diketiga *driving cycle* (UDDS,FTP 75, dan HWFET), ditunjukkan pada Gambar 4.8.1



Gambar 4.8.1 Grafik *Fuel Consumption Mode Hybrid* Pada Tiga *Driving cycle*

Dari Gambar 4.8.1 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *fuel consumption* mode *hybrid* pada tiga *driving cycle* (UDDS, FTP 75, dan HWFET), dimana pada mode *hybrid* ini penggunaan bahan bakar dari awal dan akhir mengendarai terkecil adalah pada *driving cycle* UDDS yaitu sebesar 0.008476 L, lalu adalah pada *driving cycle* FTP 75 yaitu sebesar 0.009076 L, dan yang terbesar ada pada *driving cycle* HWFET yaitu sebesar 0.03523 L.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan analisa penulis mendapatkan beberapa kesimpulan yang didapat, antara lain:

Tabel 5.1 Matrik Hasil *Hybrid Mode*.

Driving cycle	Hybrid Mode						
	Energy flow (%)			Power (kW)		SOC (%)	Fuel Consumption (L)
	Discharging	Charging	Regenerating	Engine	Electric		
UDDS	45.55	22.20	32.25	2.55	0.97	3.76	0.008476
FTP 75	48.92	21.65	29.42	3.09	1.38	7.46	0.009076
HWFET	46.60	18.26	35.14	10.13	1.54	14.8	0.03523

Tabel 5.2 Matrik Hasil *Electric Mode*.

Driving cycle	Electric Mode			
	Energy flow (%)		Power (kW)	SOC (%)
	Discharging	Regenerating	Electric	
UDDS	80.57	19.42	1.73	22.69
FTP 75	82.77	17.22	2.08	24.62

1. Perubahan nilai soc (*state of charge*) dari awal hingga akhir berkendara pada kendaraan Toyota prius plug-in *hybrid* pada mode *hybrid* terbesar didapat oleh *driving cycle* HWFET yaitu sebesar 14.8 %, sedangkan untuk perubahan nilai soc (*state of charge*) pada mode *electric* terbesar didapatkan oleh *driving cycle* FTP 75 yaitu sebesar 24.62 %, dimana dengan presentase berkurangnya presentase soc yang kecil yaitu dibawah 50 % pada mode *hybrid* maupun mode *electric* dapat dikatakan bahwa kapasitas baterai untuk Toyota prius plug-in hybrid terlalu besar.
2. *Energy flow* pada kendaraan Toyota prius plug-in hybrid untuk mode *hybrid* mendapatkan hasil bahwa untuk *energy*

flow discharging terkecil terdapat pada *driving cycle* UDSS yaitu sebesar 45.55 %, sedangkan *energy flow charging* terbesar pada *driving cycle* UDSS yaitu sebesar 22.20 %, dan *energy flow regenerating* terbesar pada *driving cycle* HWFET yaitu sebesar 35.14 %. Sedangkan untuk *energy flow* pada mode electric mendapatkan hasil bahwa untuk *energy flow discharging* terkecil pada *driving cycle* UDSS yaitu sebesar 80.57 % sedangkan untuk *energy flow regenerating* terbesar pada *driving cycle* UDSS yaitu sebesar 19.42 %.

3. *Engine Power* mode *hybrid* tertinggi pada *driving cycle* HWFET yaitu sebesar 31.38 kW, *electric power* tertinggi mode *hybrid* pada *driving cycle* HWFET yaitu sebesar 4.52 kW. Sedangkan pada mode *electric power* dari *electric motor* yang tertinggi pada *driving cycle* FTP 75 8.11 kW. Dimana ini menunjukkan bahwa penggunaan dari mesin motor bakar pada Toyota prius plug-in hybrid ini terlalu besar dimana dengan kapasitas daya output maksimal sebesar 72 kW pada pengujian ini daya output tertinggi sebesar 31.38 kW, dan juga pada motor listrik juga terlalu besar dimana dengan daya output maksimal sebesar 53 kW pada pengujian ini daya output tertinggi sebesar 8.11 kW.
4. Konsumsi bahan bakar untuk kendaraan Toyota prius plug-in *hybrid* dari awal hingga akhir berkendara pada mode *hybrid* mendapat hasil bahwa konsumsi bahan bakar terkecil terdapat pada *driving cycle* UDSS yaitu sebesar 0.00847 L.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis setelah melakukan penelitian ini antara lain:

1. Sebaiknya pada saat pengujian jalan jumlah beban meliputi penumpang yang berada pada kendaraan diusahakan sama.
2. Untuk pengambilan pengujian jalan dianjurkan menggunakan pengemudi yang tetap.

DAFTAR PUSTAKA

- (Rauschert, Victor Wouk's 1972 Buick Skylark prototype helped him become the godfather of the hybrid electric car, 2009)
- (Characteristics of Electric Motors | Electrical Engineering, n.d.)
- Agency, U. S. (2012). *Development of Emission Rates for Heavy-Duty Vehicles in the Motor Vehicle Emissions Simulator MOVES2010*.
- Allam, E. M. (2015). Study Power Management of *Hybrid* Electric Vehicle Using Battery Model Simulation.
- Bouscayrol, A., Castainings, A., & Trigui, R. (2016). ENERGY MANAGEMENT STRATEGIES OF *HYBRID* ELECTRIC VEHICLES (HEVs). *VPPC 2016*. Hangzhou.
- carbiketech.com*. (2018, agustus 7). Retrieved from <https://carbiketech.com/>: <https://carbiketech.com/hybrid-synergy-drive/>
- Douba , M. (2011). Engine Design, Sizing and Operation in *Hybrid* Electric Vehicles. *Presentation at University of Wisconsin-Madison ERC – 2011 Symposium*.
- Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi , A. (2010). *MODERN ELECTRIC, HYBRID ELECTRIC, AND FUEL CELL VEHICLES FUNDAMENTAL, THEORY, AND DESIGN*. Boca Raton: CRC Press.
- Friden, H., & Sahlin, H. (2012). Energy Management Strategies for Plug-in *Hybrid* Electric Vehicles.
- Giakoumis, Evangelos G: *Driving and Engine Cycles*. Springer (2016) Greece: Athena

- Keulen, T. V., Jager, B. D., Kessels, J., & Steinbuch, M. (n.d.). ENERGY MANAGEMENT IN *HYBRID* ELECTRIC VEHICLES: BENEFIT OF PREDICTION.
- Mi, C., Masrur, M. A., & Gao, D. W. (2011). *HYBRID ELECTRIC VEHICLE PRINCIPLES AND APLICATIONS WITH PRACTICAL PERSPECTIVES*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Peng, J., He, H., & Xiong, R. (2015). Study on Energy Management Strategies for Series-parallel Plug-in *Hybrid* Electric Buses.
- Pielcha, I., Fluder, K., & Cieslik, W. (2018). Analysis of energy management strategies for *hybrid* electric vehicles in urban driving conditions.
- Rachmanto, R. A. (2015). *MANAGEMEN ENERGI PADA HYBRID SOLAR VEHICLE TYPE SERI-PARALEL*. Surabaya.
- Sutantra, I. N. (2016). *TEKNOLOGI OTOMOTIF HYBRID*. GUNA WIDYA PT.
- When will fossil fuels run out?* (n.d.). Retrieved from www.ecotricity.co.uk: <https://www.ecotricity.co.uk/our-green-energy/energy-independence/the-end-of-fossil-fuels>
- Xiong, W., Zhang, Y., & Yin , C. (2009). Optimal energy management for a series–parallel *hybrid* electric bus.
- Zhang, X., & Mi, C. (2011). *Vehicle Power Management Modeling, Control and Optimization*. New York: Springer-Verlag London Limited.

BIODATA PENULIS



Penulis, Dinar Yazid Permana dilahirkan di Malang, 15 Oktober 1995 merupakan anak yang terlahir dari orangtua bernama Sulasmono dan Farida Almeijani Sarasatri. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDN Lesanpuro 4, Malang pada tahun 2001-2007. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 21 Malang pada tahun 2007-2010, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMAN 1 Malang pada tahun 2010-2013. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Departemen Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi Kabiro Pencanaan dan Pendelegasian di Himpunan Mahasiswa Mesin ITS pada periode 2015-2016. Selain aktif berorganisasi, penulis juga aktif magang ke perusahaan seperti PT Industri Kereta Api dan PT Kaltim Nitrate Indonesia. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email danaryazid@gmail.com.