

TUGAS AKHIR – TM184835

**SIMULASI PERFORMANSI MESIN PADA MOBIL
KONVENSIONAL DAN *PLUG IN HYBRID*
MENGUNAKAN MATLAB ADVISOR DENGAN
VARIASI *DRIVING CYCLE***

**MUHAMMAD IQBAL SAMUDERA ABIYAN
0211134000010**

**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

**SIMULASI PERFORMANSI MESIN PADA MOBIL
KONVENSIONAL DAN *PLUG IN HYBRID*
MENGUNAKAN MATLAB ADVISOR DENGAN
VARIASI *DRIVING CYCLE***

**MUHAMMAD IQBAL SAMUDERA ABIYAN
0211134000010**

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

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

FINAL PROJECT – TM184835

**SIMULATION OF MACHINE PERFORMANCE IN
CONVENTIONAL AND PLUGS IN HYBRID CARS
USING MATLAB ADVISOR WITH VARIATION OF
DRIVE CYCLE**

**MUHAMMAD IQBAL SAMUDERA ABIYAN
0211134000010**

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

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

**SIMULASI PERFORMANSI MESIN PADA MOBIL
KONVENSIIONAL DAN *PLUG IN HYBRID* MENGGUNAKAN
MATLAB ADVISOR DENGAN VARIASI *DRIVING CYCLE***

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:

MUHAMMAD IQBAL SAMUDERA ABIYAN

NRP. 0211134000010

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

**SIMULASI PERFORMANSI MESIN PADA MOBIL
KONVENSIONAL DAN *PLUG IN HYBRID*
MENGUNAKAN MATLAB ADVISOR DENGAN
VARIASI *DRIVING CYCLE***

Nama Mahasiswa : Muhammad Iqbal Samudera Abiyan
NRP : 0211134000010
Pembimbing : Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

ABSTRAK

Kendaraan *Hybrid* adalah salah satu teknologi alternatif untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil. Kendaraan *hybrid* ini menggunakan lebih dari satu sumber energi penggerak. *Toyota Prius plug-in hybrid* adalah salah satu kendaraan produksi Toyota yang menggunakan teknologi *hybrid*. Perilaku berkendara pengemudi juga mempengaruhi performa dari kendaraan ditinjau dari konsumsi bahan bakar yang digunakan. Karakteristik berkendara ditentukan dari bagaimana kondisi jalan yang akan dilalui. Kondisi jalan yang berbeda menyebabkan perbedaan perilaku mengemudi. Cara yang baik dan efisien dinamakan dengan *eco-driving* atau *smart driving*. Cara berkendara tersebut bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan daya dari kendaraan terhadap kondisi jalan atau lintasan.

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian jalan yang dilaksanakan di kota Surabaya untuk *driving cycle* UDDS dan FTP-75 dan pada jalan bebas hambatan Probolinggo – Kejapanan untuk *driving cycle* HWFET. Selanjutnya dengan cara memodelkan kendaraan konvensional (ICE) dan *Plug-in hybrid* Electrical Vehicle (PHEV) yang disimulasikan dengan *inputan* berupa *driving cycle* sesuai standarisasi UDDS, FTP-75 dan HWFET. Analisa yang dilakukan berupa simulasi untuk mengetahui performa kendaraan menggunakan software Matlab *Advance Vehicle Simulator* (ADVISOR). Simulasi dengan software Matlab ADVISOR bertujuan untuk mencari *engine operating points*, efisiensi mesin dan *specific fuel consumption*

pada mobil *Toyota Prius plug-in hybrid* dan *Toyota Corolla Altis Grande* dengan variasi *driving cycle* sesuai standarisasi UDDS, FTP-75 dan HWFET

Hasil penelitian ini adalah dari data *engine operating points*, nilai efisiensi mesin dan *specific fuel consumption* dengan menggunakan *driving cycle* sesuai standarisasi UDDS, FTP-75 dan HWFET pada *Toyota Prius plug-in hybrid* dan *Toyota Corolla Altis Grande*. Persebaran *engine operating point* hasil simulasi pada MATLAB ADVISOR untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET paling efisien terdapat pada kendaraan *plug-in hybrid* dengan persebaran sebagian besar berada mendekati daerah tertinggi dari efisiensi termal mesin dibandingkan dengan kendaraan konvensional yang persebaran *engine operating point*-nya menjauhi daerah efisien dari garis efisiensi termal mesin pada kendaraan. Rata-rata efisiensi mesin hasil simulasi pada MATLAB ADVISOR untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET paling efisien terdapat pada kendaraan *plug-in hybrid* dengan nilai sebesar 21.629%, 25.8469%, dan 28.8574%. Sedangkan pada kendaraan konvensional bernilai lebih rendah yakni 14.3021%, 21.869% dan 26.5546% untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET. Rata-rata *specific fuel consumption* untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET paling rendah terdapat pada kendaraan *plug-in hybrid* dengan nilai sebesar 0.484077466 g/watt.H , 0.667619 g/watt.H, dan 0.648143981 g/watt.H. Sedangkan pada kendaraan konvensional bernilai lebih tinggi 3.616623393 g/watt.H, 2.769132819 g/watt.H, dan 2.919021614 g/watt.H untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET.

Kata Kunci: *Driving Cycle, Toyota Prius plug-in hybrid, Hybrid Seri-Parallel, Engine operating points, Engine Efficiency, Specific Fuel Consumption.*

SIMULATION OF MACHINE PERFORMANCE IN CONVENTIONAL AND PLUGS IN HYBRID CARS USING MATLAB ADVISOR WITH VARIATION OF DRIVE CYCLE

Nama Mahasiswa : Muhammad Iqbal Samudera Abiyan
NRP : 02111340000010
Pembimbing : Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

ABSTRACT

Hybrid vehicles are one of the alternative technologies to reduce fossil fuel consumption. This hybrid vehicle uses more than one energy source. The Toyota Prius plug-in hybrid was the latest contender of Toyota vehicles that use hybrid technology. Drive behavior affects the performance of the vehicle being reviewed by the fuel consumption used. The driving characteristics are determined by how the road condition will go through. Different road conditions lead to differences in driving behavior. A good and efficient way of dynamic with eco-driving or smart driving. The driving is aimed at optimizing the power use of vehicles against road or trajectory conditions.

This research was conducted with the testing of roads conducted in the city of Surabaya for driving cycles UDDS and FTP-75 and on the freeway of Probolinggo – the board for HWFET driving cycles. Furthermore, by the model of conventional vehicles (ICE) and Plug-in hybrid Electrical Vehicle (PHEV) simulated with input in the form of a driving cycle according to standardization UDDS, FTP-75, and HWFET. Analysis conducted in the form of simulation to emend the performance of vehicles using Matlab Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) software. Simulation with software Matlab ADVISOR aims to find engine operating points, engine efficiency and specific fuel consumption in the car Toyota Prius Plug-in Hybrid and Toyota Corolla Altis

Grande with variation driving cycle according to standardization UdUDDSs, FTP-75, and HWFET.

The results of this research are gathered from data engine operating points, engine efficiency value and specific fuel consumption using a driving cycle according to standardization UDDS, FTP-75, and HWFET on the Toyota Prius Plug-in Hybrid and Toyota Corolla Altis Grande. The range of simulated operating point engines in MATLAB ADVISOR for UDDS, FTP-75 and HWFET driving cycles are most efficient in hybrid plug-in vehicles with a spread of mostly approaching the highest area of thermal efficiency of the engine compared to conventional vehicles whose engine-range operating point is away from the efficient area of the thermal efficiency line of the engine on the vehicle. The average efficiency of simulated machines in MATLAB ADVISOR for UDDS, FTP-75 and HWFET driving cycles are the most efficient in hybrid plug-in vehicles with values of 21.629%, 25.8469%, and 28.8574%. In conventional vehicles, the lower value is 14.3021%, 21.869% and 26.5546% for the UDDS, FTP-75, and HWFET driving cycles. The average specific fuel consumption for the UDDS, FTP-75, and HWFET driving cycles is at the lowest plug-in hybrid vehicle with a value of 0.484077466 g/watt. H, 0.667619 g/watt. H, and 0.648143981 g/watt. H. Whereas in conventional vehicles is worth higher 3.616623393 g/watt. H, 2.769132819 g/watt. H, and 2.919021614 g/watt. H for driving cycles UDDS, FTP-75 and HWFET.

Keywords: *Driving Cycle, Toyota Prius plug-in hybrid, Hybrid series-Parallel, Engine operating points, Engine Efficiency, Specific Fuel Consumption.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil'alamin. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, rizki dan izin-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademis untuk kelulusan mahasiswa Program Studi S1 Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini bukan semata-mata atas kemampuan penulis sendiri, melainkan dengan adanya dukungan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak, baik secara langsung, maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Suharja dan Ibu Hartini selaku orangtua penulis, Khoirunnisa Hasna Nuzulia Yusmina selaku adik penulis, dan keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan do'a yang tak henti-henti hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng, PhD, selaku dosen wali yang telah memberi arahan dan bimbingan dalam menempuh masa studi di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

4. Tim *Hybrid Cars* tugas akhir Bayu Adhi Saputro, Danar Yazid Permana yang telah menemani dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
5. Rekan – rekan perjuangan Chandra, Faizal, Gilang dan Prabowo yang telah membantu dan memberi dukungan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
6. Penghuni kontrakan kecoa, Achmad Achsin Fathoni Syarief, Alham A.K. Mahanggi, Akbar Robbi Cahyana, Arif Fadhullah, Naufal Marom, Wahyu Subagiyo, Moh. Sarifudin, dan Tito Apriiansa yang turut membantu dan selalu memberikan dukungan kepada penulis.
7. Seluruh rekan-rekan Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
8. Seluruh rekan-rekan Teknik Mesin ITS 2013 M56 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Intitut Teknologi Sepuluh Nopember yang turut membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
9. Seluruh Keluarga Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin ITS khususnya mantan pengurus LBMM 2013 yang tak henti-hentinya memberikan semangat kepada penulis.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu - persatu.

Semoga amal dan jasa yang telah diberikan dapat bermanfaat dan mendapat imbalan dari Allah SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk penyempurnaan laporan tugas akhir ini. Dan penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini.

Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca untuk kemajuan yang lebih baik.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II.....	9
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	9
2.1 Kendaraan Konvensional.....	9
2.2 Kendaraan Elektrik	9
2.3 Kendaraan <i>Hybrid</i>	10
2.3.1 <i>Hybrid Seri</i>	11
2.3.2 <i>Paralel Hybrid</i>	12
2.3.3 <i>Hybrid Seri-Paralel</i>	13

2.3.4	Kendaraan PHEV (<i>Plug-in hybrid Electrical Vehicle</i>)	14
2.4	Persamaan Gerak Kendaraan.....	15
2.4.1	Traksi Kendaraan	15
2.4.2	Akselerasi Kendaraan	16
2.4.3	Kondisi <i>Cruising</i> (Kecepatan konstan)	18
2.4.4	Kondisi Deselerasi	18
2.5	Matlab (ADVISOR)	18
2.6	Motor Pembakaran Dalam.....	22
2.6.1	Pembakaran pada Mesin Bensin	23
2.6.2	Unjuk Kerja Mesin	25
2.6.2.1	Torsi.....	25
2.6.2.2	Daya (bhp).....	26
2.6.2.3	<i>Efficiency Thermal</i> (η_{th}).....	26
2.6.2.4	<i>Spesific Fuell Consumption</i> (SFC).....	26
2.7	Motor Elektrik	27
2.8	Baterai	27
2.9	<i>Driving Cycle</i>	28
2.10	Penelitian Terdahulu.....	29
BAB III		33
METODOLOGI.....		33
3.1	Peralatan Eksperimen	33
3.2	Sistematika Penelitian	36

3.3	Diagram Alir Penelitian.....	43
3.4	Metode Analisa Data	46
BAB IV		47
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		47
4.1.	Analisa Data Pengujian Jalan	47
4.1.1.	Analisis Data Kecepatan Pengujian Jalan <i>Driving Cycle Urban Dynamometer Driving Schedule</i> (UDDS).....	48
4.1.2.	Analisis Data Kecepatan Pengujian Jalan dengan <i>Driving Cycle Federal Test Procedure</i> (FTP- 75)	48
4.1.3.	Analisis Data Kecepatan Pengujian Jalan dengan <i>Driving Cycle Highway Fuel Economy Test</i> (HWFET)	49
4.2.	Analisa Data Simulasi	49
4.2.1.	Analisa Data Simulasi ADVISOR pada Kendaraan <i>Plug-in hybrid Electric</i> dan Konvensional.	50
4.2.1.1.	Analisa Data Simulasi ADVISOR pada <i>Driving Cycle</i> UDDS.	50
4.2.1.1.1.	Analisa <i>Engine operating points</i>	50
4.2.1.1.2.	Analisa Efisiensi Mesin.	55
4.2.1.1.3.	Analisa <i>Spesific Fuel Consumption</i>	57
4.2.1.2.	Analisa Data Simulasi ADVISOR pada <i>Driving Cycle</i> FTP-75.....	60

4.2.1.2.1.	Analisa <i>Engine operating points</i>	60
4.2.1.2.2.	Analisa Efisiensi Mesin.	65
4.2.1.2.3.	Analisa <i>Specific Fuel Consumption</i>	67
4.2.1.3.	Analisa Data Simulasi ADVISOR pada <i>Driving Cycle</i> HWFET.	70
4.2.1.3.1.	Analisa <i>Engine operating points</i>	70
4.2.1.3.2.	Analisa Efisiensi Mesin.	75
4.2.1.3.3.	Analisa <i>Specific Fuel Consumption</i>	77
BAB V	81
KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1	Kesimpulan.....	81
5.2	Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	xix

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kendaraan konvensional.....	9
Gambar 2.2 Kendaraan Elektrik.....	10
Gambar 2.3 Kendaraan <i>hybrid</i>	11
Gambar 2.4 Skema <i>hybrid</i> seri.....	12
Gambar 2.5 Skema <i>Hybrid</i> paralel.....	13
Gambar 2.6 Skema <i>hybrid</i> seri-paralel.....	14
Gambar 2.7 Skema <i>Plug-in hybrid Electrical Vehicle</i> (PHEV)....	15
Gambar 2.8 Dinamika Kendaraan.....	15
Gambar 2.9 <i>Vehicle input window</i> pada ADVISOR.....	20
Gambar 2.10 Tampilan pengaturan simulasi pada ADVISOR....	21
Gambar 2.11 Hasil Simulasi Matlab ADVISOR (kiri: <i>Result Advisor</i> , kanan: <i>Output Check Result Engine operating points</i>).	22
Gambar 2.12 1.8L ZR-FXE Toyota Prius <i>internal combustion engine</i>	23
Gambar 2.13 Cara kerja mesin bensin 4 langkah.....	24
Gambar 2.14 Skema Torsi pada <i>Engine</i>	25
Gambar 2.15 <i>Permanent excited synchronous motor</i>	27
Gambar 2.16 <i>Driving Cycle</i> UDDS (Matlab ADVISOR).....	29
Gambar 2.17 Grafik <i>Engine operating points Conventional Car</i> Ganji dkk (kiri: HWFET, kanan: UDDS).....	29
Gambar 2.18 Grafik <i>Engine operating points Hybrid Car</i> Ganji dkk (kiri: HWFET, kanan: UDDS). (a) <i>Series HEV</i> . (b) <i>Parallel HEV</i> . (c) <i>Series-Parallel HEV</i>	30
Gambar 3.1 <i>Toyota Prius Plug-in hybrid</i>	33
Gambar 3.2 Toyota Corolla Altis Grande.....	35
Gambar 3.3 Skema uji jalan kendaraan <i>Toyota Prius Plug-in hybrid</i>	37
Gambar 3.4 Masuk ke perangkat lunak Matlab ADVISOR.....	39
Gambar 3.5 Memilih <i>units</i> (Matlab ADVISOR).....	40
Gambar 3.6 Memasukkan jenis kendaraan dan spesifikasinya (Matlab ADVISOR).....	42

Gambar 3.7 Pemilihan <i>driving cycle</i> (Matlab ADVISOR).....	43
Gambar 3.8 Diagram alir penelitian.	45
Gambar 4. 1 <i>Driving cycle</i> UDDS hasil pengujian jalan.....	48
Gambar 4. 2 <i>Driving cycle</i> FTP-75 hasil pengujian jalan.	48
Gambar 4. 3 <i>Driving cycle</i> HWFET hasil pengujian jalan.....	49
Gambar 4. 4 Persebaran <i>engine operating points</i> kendaraan <i>plug-in hybrid</i> dengan <i>driving cycle</i> UDDS.	50
Gambar 4. 5 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan <i>plug-in hybrid</i> menggunakan <i>driving cycle</i> UDDS.....	51
Gambar 4. 6 Persebaran <i>engine operating points</i> kendaraan konvensional dengan <i>driving cycle</i> UDDS.....	53
Gambar 4. 7 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan konvensional menggunakan <i>driving cycle</i> UDDS.	54
Gambar 4. 8 <i>Engine efficiency</i> kendaraan <i>plug-in hybrid</i> dengan <i>driving cycle</i> UDDS.	55
Gambar 4. 9 <i>Engine efficiency</i> kendaraan konvensional dengan <i>driving cycle</i> UDDS.	56
Gambar 4. 10 <i>Specific fuel consumption</i> kendaraan <i>plug-in hybrid</i> dengan <i>driving cycle</i> UDDS.....	58
Gambar 4. 11 <i>Specific fuel consumption</i> kendaraan konvensional dengan <i>driving cycle</i> UDDS.....	59
Gambar 4. 12 Persebaran <i>engine operating points</i> kendaraan <i>plug-in hybrid</i> dengan <i>driving cycle</i> FTP-75.....	60
Gambar 4. 13 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan <i>plug-in hybrid</i> menggunakan <i>driving cycle</i> FTP-75.	61
Gambar 4. 14 Persebaran <i>engine operating points</i> kendaraan konvensional dengan <i>driving cycle</i> FTP-75.	63
Gambar 4. 15 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan konvensional menggunakan <i>driving cycle</i> FTP-75.....	64
Gambar 4. 16 <i>Engine efficiency</i> kendaraan <i>plug-in hybrid</i> dengan <i>driving cycle</i> FTP-75.	65
Gambar 4. 17 <i>Engine efficiency</i> kendaraan konvensional dengan <i>driving cycle</i> FTP-75.	66

Gambar 4. 18 <i>Spesific fuel consumption</i> kendaraan <i>plug-in hybrid</i> dengan <i>driving cycle</i> FTP-75.	68
Gambar 4. 19 <i>Spesific fuel consumption</i> kendaraan konvensional dengan <i>driving cycle</i> FTP-75.	69
Gambar 4. 20 Persebaran <i>engine operating points</i> kendaraan <i>plug-in hybrid</i> dengan <i>driving cycle</i> HWFET.	70
Gambar 4. 21 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan <i>plug-in hybrid</i> menggunakan <i>driving cycle</i> HWFET.....	71
Gambar 4. 22 Persebaran <i>engine operating points</i> kendaraan konvensional dengan <i>driving cycle</i> HWFET.....	73
Gambar 4. 23 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan konvensional menggunakan <i>driving cycle</i> HWFET.....	74
Gambar 4. 24 <i>Engine efficiency</i> kendaraan <i>plug-in hybrid</i> dengan <i>driving cycle</i> HWFET.	75
Gambar 4. 25 <i>Engine efficiency</i> kendaraan konvensional dengan <i>driving cycle</i> HWFET.	76
Gambar 4. 26 <i>Spesific fuel consumption</i> kendaraan <i>plug-in hybrid</i> dengan <i>driving cycle</i> HWFET.....	78
Gambar 4.27 <i>Spesific fuel consumption</i> kendaraan konvensional dengan <i>driving cycle</i> HWFET.....	79

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Simulasi Ali Hasan (2015).....	31
Tabel 3.1 Rancangan Eksperimen	38

(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).

Perkembangan teknologi yang mempengaruhi bidang otomotif salah satunya adalah perubahan jenis *powertrain* atau sistem penggerak dari kendaraan dari waktu ke waktu. Pada awalnya kendaraan dioperasikan dengan menggunakan satu sistem penggerak. Konsep mobil dikeluarkan oleh Leonardo da Vinci pada tahun 1478 yang hanya menggunakan tenaga mekanik dari pegas dan dinamai dengan *self propelled car* dan baru tahun 1870 kendaraan perang diciptakan dengan menggunakan tenaga mesin uap. Selang beberapa tahun setelah itu munculah penemuan kendaraan dengan penggerak *internal combustion engine* dengan bahan bakar diesel pada tahun 1880. Semenjak itu riset dalam bidang teknologi otomotif terus dikembangkan sehingga menciptakan kendaraan berpenggerak *internal combustion engine* yang memiliki efisiensi mesin yang lebih baik. Tak lama setelah itu pada tahun 1890-an berkembang yakni dengan adanya lebih dari satu sistem penggerak atau sering disebut dengan kendaraan *hybrid*. 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. 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*. 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 digerakan oleh baterai, namun sistem pengaturannya sangat sederhana, karena teknologi elektronik dan kontrol masih belum berkembang. Pada tahun 1975 Dr Victor wouck Bersama koleganya 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. Setelah itu perkembangan dari kendaraan *hybrid* begitu pesat dilain untuk meningkatkan tenaga kendaraan, dan pada kemudian untuk mengurangi polusi.

Produsen-produsen kendaraan saling berlomba-lomba mengeluarkan kendaraan dengan peforma terbaik dibandingkan pesaingnya. Semakin baik peforma kendaraan yang dihasilkan maka akan semakin meningkatkan minat konsumen di pasar. Peforma pada kendaraan sendiri dapat diperoleh dengan melakukan pengujian pada kendaraan tersebut. Pengujian peforma pada kendaraan sendiri bisa didapatkan dengan cara pengujian

dyno testing dimana *dyno testing* terbagi atas *chassis dyno* dan *engine dyno*. Pada pengujian *dyno testing*, kendaraan dalam kondisi statis ketika mengalami pengujian. Selain melalui *dyno testing*, pengujian performa pada kendaraan juga dapat dilakukan dengan *driving cycle testing*.

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).

EPA *Federal Test Procedure* adalah standar pengujian *driving cycle* yang dikeluarkan oleh *United States Environmental Protection Agency* (US EPA). Standar pengujian EPA FTP bertujuan untuk mengukur emisi dan fuel economy pada kendaraan berpenumpang pada jalan perkotaan (*urban city driving*), jalan bebas hambatan (*highway driving*) dan campuran jalan perkotaan dan bebas hambatan (*supplemental driving*). Pada standar pengujian EPA FTP beberapa factor seperti jarak tempuh kendaraan, waktu perjalanan, dan kecepatan rata-rata kendaraan ditentukan disetiap jenis kondisi jalan. Kondisi jalan perkotaan terbagi atas 2 jenis *driving cycle test* yaitu *Urban Dynamometer Driving Schedule* (UDDS) dengan jarak tempuh 12.07 km serta *average speed* 31.5 km/h lalu FTP-75 dengan jarak tempuh 17.77 serta *average speed* 34.1 km/h. Sedangkan pada kondisi jalan bebas hambatan metode *driving cycle test* yang digunakan adalah *Highway Fuel Economy Driving Schedule* (HWFET) dengan jarak tempuh 16.45 km/h serta *average speed* 77.7 km/h.

Menurut Irene Michelle Berry (2010) performansi kendaraan saat beroperasi dapat di investigasi dengan beberapa faktor salah satunya adalah *driving cycle*. *Driving cycle* dapat mempengaruhi performansi kendaraan ditinjau dari konsumsi bahan bakar yang digunakan saat kendaraan beroperasi. Menurut Evans (2010) dan Hooker (1988). Perbaikan mode mengemudi dapat menghemat konsumsi energi mulai dari 15% sampai dengan 50%. Karakteristik berkendara ditentukan dari bagaimana kondisi jalan yang akan di lalui. Kondisi jalan yang berbeda menyebabkan perbedaan perilaku mengemudi. Cara yang baik dan efisien dinamakan dengan *eco-driving* atau *smart driving*. Menurut Soedomo (Soedomo, 2001) pola berkendara dengan besarnya frekuensi jalan-berhenti yang umumnya terjadi di persimpangan, membutuhkan bahan bakar semakin besar bila dibandingkan dengan pola berkendara yang berjalan dengan kecepatan konstan untuk semua jenis motor, baik berbahan bakar bensin maupun diesel.

Manajemen energi sendiri pada kendaraan *hybrid* adalah untuk mengendalikan atau mengatur pemisahan daya antara mesin ICE (*internal combustion engine*) dan *electric motor*, kapan memakai mesin ICE, kapan memakai *electric motor* dan kapan memakai keduanya, manajemen energi ini berfungsi untuk mencapai energi yang efisien dalam pemakaian sehari. Salah satu sisi untuk mengevaluasi manajemen energi adalah meninjau performa mesin saat beroperasi dan digambarkan dengan adanya *engine operating points*. Menurut Waterloo Maple inc (Maple, 2014) Pola titik operasi mesin atau disebut juga *engine operating points* merupakan bagian penting dalam penentuan performa mesin. *Engine operating points* yang di gambarkan dengan torsi yang digunakan pada saat kecepatan putaran mesin tertentu, daya penggerak yang tersedia serta emisi gas buang. Analisa data pada *driving cycle test* yang menghasilkan *engine operating points* dapat dilakukan dengan melakukan simulasi pada beberapa *software*

yang menunjang simulasi pengujian antara lain Power Sytem Analysis Toolbox (PSAT) dan Advance Vehicle Simulator (ADVISOR).

ADVISOR merupakan bagian dari *add-ons* MATLAB/Simmulink. ADVISOR merupakan software yang berguna untuk mengevaluasi peforma kendaraan dengan cara memasukkan beberapa parameter, yakni spesifikasi dari kendaraan yang ingin di modelkan dan *driving cycle* yang di gunakan pada simulasi ADVISOR. Hasil dari simulasi menggunakan ADVISOR didapatkan hasil berupa peforma kendaraan saat beroperasi dalam grafik *engine operating points*, nilai efisiensi mesin saat beroperasi dan *fuel economy* dari kendaraan yang disimulasikan. Ganji (Ganji, 2010) melakukan sebuah penelitian dengan membuat sebuah pemodelan sebuah kendaraan *hybrid* yang beroperasi dengan *driving cycle Highway Fuel Economy Driving Schedule (HWFET)* dan *Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)*.

Penelitian lain dari Ali Hasan (2015) membandingkan kendaraan konvensional dengan kendaraan hybrid. Ali Hasan mensimulasikan kedua jenis kendaraan pada software ADVISOR. Ditinjau dari besar emisi dan *fuel consumption* disimpulkan kendaraan hybrid lebih baik dibandingkan kendaraan konvensional.

Berdasarkan uraian di atas, penulis akan melakukan penelitian unjuk performansi dari mesin pada kendaraan *Internal Combustion Engine (ICE)* dan *Plug-in hybrid Vehicle (PHV)* dengan mensimulasikan pada software ADVISOR berdasarkan standarisasi *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana cara mendapatkan persebaran *engine operating points* pada mobil untuk variasi tipe *engine* dan standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET dengan

perangkat lunak Matlab ADVISOR serta cara mengevaluasi kesesuaian antara tipe *engine* dengan *driving cycle* berdasarkan persebaran *engine operating points*.

2. Bagaimana cara mengetahui nilai efisiensi mesin pada mobil *Toyota prius plug-in hybrid* dan *Toyota Corolla Altis Grande* untuk standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET yang di dapatkan dari simulasi menggunakan Matlab ADVISOR.
3. Bagaimana cara mengetahui *specific fuel consumption* pada variasi tipe *engine* untuk standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Kendaraan uji adalah *Toyota prius plug-in hybrid* dan *Toyota Corolla Altis Grande*.
2. Tidak membahas emisi seperti NO_x, CO₂, HC, maupun partikel yang meminimalkan bahan bakar.
3. Menggunakan perangkat lunak Matlab ADVISOR.
4. Metode pengujian jalan menggunakan standarisasi UDDS, FTP-75, dan HWFET.
5. Untuk pengujian jalan *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET di lakukan di dalam kota Surabaya dan sekitarnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan persebaran *engine operating points* pada mobil untuk variasi tipe *engine* dan standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET dengan perangkat lunak Matlab ADVISOR serta cara mengevaluasi kesesuaian antara tipe *engine* dengan *driving cycle* berdasarkan persebaran *engine operating points*.
2. Mengetahui nilai efisiensi mesin pada mobil *Toyota prius plug-in hybrid* dan *Toyota Corolla Altis Grande* untuk standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET

yang di dapatkan dari simulasi menggunakan Matlab ADVISOR.

3. Mengetahui *specific fuel consumption* pada mobil *Toyota prius plug-in hybrid* dan *Toyota Corolla Altis Grande* untuk standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.

1.5 Manfaat Penelitian

Tugas akhir ini memiliki manfaat antara lain:

1. Mengetahui persebaran *engine operating points* pada mobil *Toyota prius plug-in hybrid* yang sesuai dengan *driving cycle* UDDS, FTP-75, dan HWFET yang di modelkan didalam perangkat lunak Matlab ADVISOR sehingga nantinya dapat di gunakan untuk mengevaluasi sistem manajemen energi pada kendaraan ditinjau dari operasi mesin yang di gunakan.
2. Memberikan masukan mengenai kesesuaian antara tipe *engine* dengan *driving cycle* sehingga *engine* dapat beroperasi pada interval paling efisien berdasarkan mapping *engine operating points*.
3. Mengetahui *specific fuel consumption* pada mobil untuk standarisasi *driving cycle* yaitu UDDS, FTP-75, dan HWFET.
4. Menjadi acuan bagi penelitian yang lebih mendalam di kemudian hari.

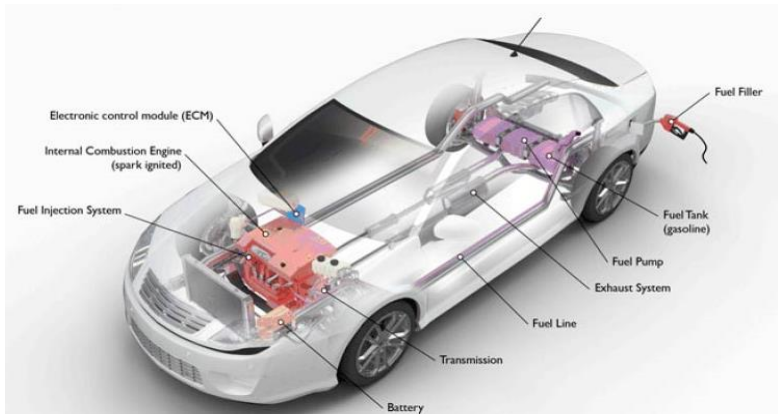
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kendaraan Konvensional

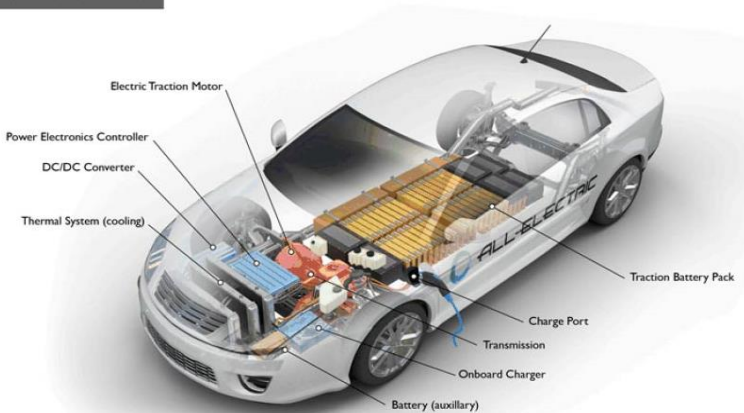
Mobil yang didorong mesin saat ini telah berevolusi selama bertahun – tahun, pada awalnya dimulai dengan tenaga uap dan kemudian beralih ke yang berbasis pada mesin pembakaran dalam (ICE). Fokus dari pada bagian ini adalah pada mesin pembakaran dalam (ICE), jadi kendaraan yang saat ini menggunakan diesel 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

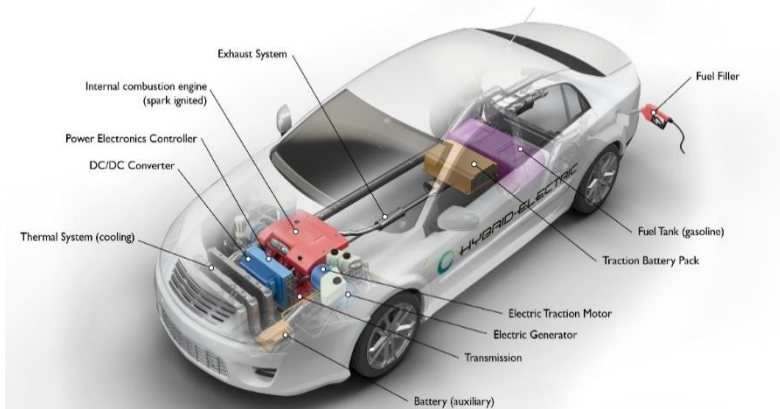
Kendaraan elektrik menggunakan motor listrik untuk traksi, dan baterai kimia, *fuel cells*, *ultracapacitors* dan *flywheels* untuk sumber energinya, kendaraan elektrik memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan mesin pembakaran konvensional (ICE), tidak seperti kendaraan mesin pembakaran dalam kendaraan 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 energy kimia potensial. Berdasarkan tipe dari *powertrain*, kendaraan *hybrid* dibagi menjadi tiga macam, yaitu kendaraan *hybrid* paralel seri, dan seri-paralel.



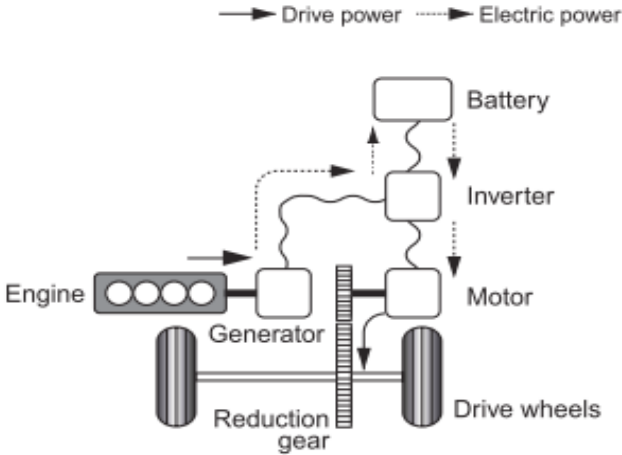
Gambar 2.3 Kendaraan *hybrid*.

2.3.1 *Hybrid Seri*

Kendaraan listrik *hybrid* seri awalnya dikembangkan dari kendaraan listrik untuk memperluas jangkauan berkendara. Caranya dengan menambahkan sebuah mesin ke kendaraan listrik yang nantinya menjadi sumber cadangan energi penggerak bagi kendaraan. Kendaraan *hybrid* digerakkan oleh motor listrik yang didukung oleh baterai dan/atau generator. Ketika kebutuhan daya beban besar, unit mesin-generator membantu kerja motor listrik dan ketika kebutuhan daya beban kecil unit mesin-generator akan mengisi baterai. Kinerja kendaraan antara lain percepatan, kecepatan maksimum, dan *gradeability* benar-benar ditentukan oleh ukuran dan karakteristik motor listrik yang digunakan.

Skema kendaraan *hybrid* seri dapat dilihat dalam gambar 2.4. Pada kendaraan *hybrid* seri tidak ada sambungan mekanik antara sistem mesin-generator dengan roda. Keuntungan dengan skema ini adalah bahwa mesin-generator dapat dimatikan dan satu lagi unit mesin-generator dapat dipasang secara terpisah dari motor penggerak. Karena mesin secara mekanis tidak terhubung dengan

roda penggerak sehingga dimungkinkan untuk selalu menjalankan mesin di wilayah operasi yang optimal. Skema *drivetrain* ini tidak memerlukan kopling dan *gearbox*.



Series hybrid system

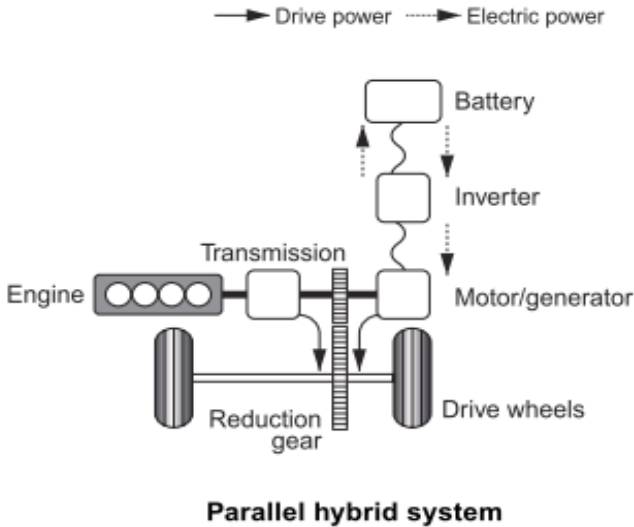
Gambar 2.4 Skema *hybrid* seri.

2.3.2 Paralel *Hybrid*

Tenaga penggerak kendaraan *hybrid* paralel dapat dilakukan baik oleh mesin pembakaran internal dan motor listrik karena keduanya, secara paralel, terhubung langsung ke *drivetrain*. Mesin pembakaran Internal secara mekanis terhubung ke roda melalui *gearbox*. Gambar 2.1 menunjukkan skema kendaraan *hybrid* paralel.

Dalam skema *hybrid* elektrik paralel, performa kendaraan tidak hanya bergantung pada ukuran dan karakteristik motor listrik. Skema *hybrid* elektrik paralel juga memiliki beberapa keuntungan lainnya, seperti; tidak ada permintaan untuk generator dan menghilangkan ketidak efisienan karena mesin terhubung langsung ke roda, yaitu tidak perlu mengkonversi tenaga mekanik dari mesin menjadi listrik untuk kemudian mengubahnya kembali ke tenaga mekanik. Beberapa kekurangan dari skema *hybrid*

paralel adalah kopling mekanis mesin pembakaran Internal ke roda; sebagian titik operasi tidak dapat dipilih secara bebas dan sebagian drivetrain paralel hibrida memiliki kontrol yang lebih kompleks daripada *drivetrain hybrid* seri.

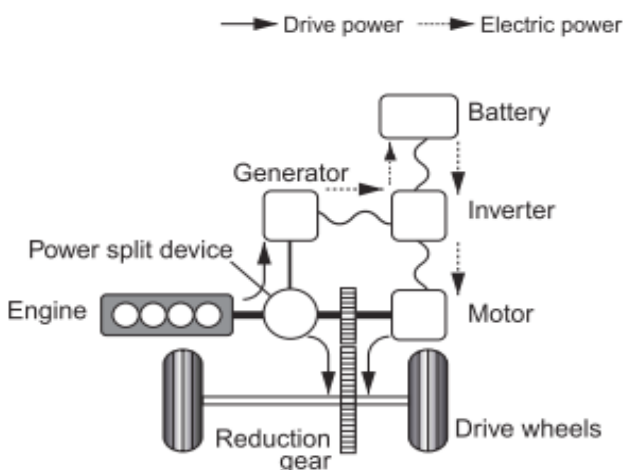


Gambar 2.5 Skema *Hybrid* paralel.

2.3.3 *Hybrid* Seri-Paralel

Gabungan dua sistem sebelumnya disebut dengan *Series-Parallel Hybrid System*. Sistem ini memungkinkan sumber tenaga menjadi paling fleksibel dan optimal, sehingga mampu mencapai tingkat efisiensi maupun tingkat kehandalan performa yang mengagumkan. Teknologi *hybrid* ini memiliki generator atau pembangkit listrik khusus dan alat pembagi tenaga yang mampu menyalurkan tenaga yang dihasilkan oleh pembakaran pada ruang mesin untuk menggerakkan roda secara langsung, atau sebagai tenaga bagi motor listrik untuk melakukan pergerakan, tergantung dari kondisi berkendara. Hal ini

memungkinkan kedua sumber tenaga tersebut bekerja pada seefisien mungkin. Pada saat kecepatan rendah ke tinggi, kendaraan juga dapat melaju meskipun hanya menggunakan tenaga listrik saja. Dan ini dapat menghasilkan efisiensi yang besar. Generator juga dapat digunakan untuk mengisi aki melalui alat pembalik atau konverter. Pada saat melakukan akselerasi atau percepatan secara mendadak juga dapat menghasilkan performa yang maksimal.



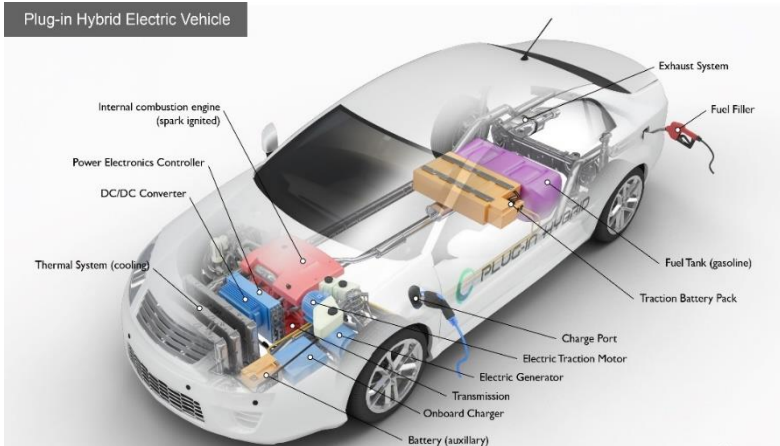
Series/parallel hybrid system (THS in Prius)

Gambar 2.6 Skema *hybrid* seri-paralel

2.3.4 Kendaraan PHEV (*Plug-in hybrid Electrical Vehicle*)

PHEV (*Plug-in hybrid Electric Vehicle*) seperti namanya berbeda dengan HEV (*Hybrid Electric Vehicle*) dikarenakan memungkinkan untuk menyambungkan kabel 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*).

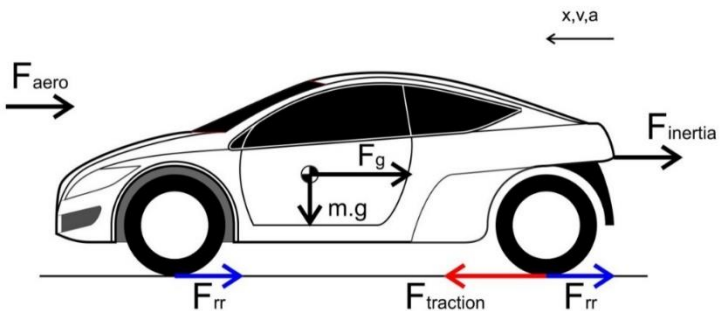


Gambar 2.7 Skema *Plug-in hybrid Electical Vehicle* (PHEV)

2.4 Persamaan Gerak Kendaraan

2.4.1 Traksi Kendaraan

Gaya-gaya yang bekerja pada sebuah kendaraan yang sejajar dengan arah akselerasi dapat dijabarkan dalam gambar 2.8.



Gambar 2.8 Dinamika Kendaraan.

$F_{traction}$ adalah gaya dorong kendaraan oleh mesin pada roda penggerak. Dalam tujuannya memenuhi *driver demand*, gaya ini dihambat oleh gaya hambat kendaraan. Gaya hambat pada kendaraan dapat dijabarkan dalam tiga macam gaya. Pertama adalah gaya hambat karena udara. Gaya ini disebut *drag force*. Besarnya gaya ini dipengaruhi oleh *massa jenis udara* (ρ), *luasan frontal area* (A), koefisien drag (C), dan kecepatan kendaraan (V).

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot V^2 \quad (2.1)$$

Gaya yang kedua adalah *rolling resistant*. Yaitu gaya hambat karena gesekan ban dengan jalan. Besarnya gaya ini dipengaruhi oleh koefisien *rolling resistance* (C_{rr}), *massa kendaraan* (m), *percepatan gravitasi* (g), dan sudut tanjakan kendaraan (θ).

$$F_{rr} = C_{rr} \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad (2.2)$$

Gaya yang ketiga adalah gaya hambat karena sudut kemiringan trek. Besar gaya ini dipengaruhi oleh berat kendaraan dan sudut kemiringan trek.

$$F_{grad} = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad (2.3)$$

2.4.2 Akselerasi Kendaraan

Akselerasi memiliki pengaruh besar pada performa kendaraan. Untuk melakukan akselerasi, diperlukan gaya lebih karena harus melawan gaya inersia kendaraan. Gaya inersia karena akselerasi ini dipengaruhi oleh besar akselerasi (a) dan massa kendaraan.

$$F_{inertia} = m \cdot a \quad (2.4)$$

Pada sebuah kendaraan yang dipacu dengan akselerasi tertentu, gaya traksi yang harus dicapai oleh mesin dapat

dijabarkan sebagai penjumlahan dari gaya-gaya hambat dan inersia akibat percepatan. Dan daya traksi merupakan perkalian gaya dengan kecepatan.

$$F_{traksi} = F_{aero} + F_{rr} + F_{grad} + F_{inertia} \quad (2.5)$$

$$P_{traksi} = (F_{aero} + F_{rr} + F_{grad} + F_{inertia}) V \quad (2.6)$$

$$V(t) = V_0 + at \quad (2.7)$$

Dimana,

V = kecepatan kendaraan

P_{traksi} digunakan sebagai referensi daya yang harus dihasilkan *traction motor* agar kendaraan mampu beregerak sesuai dengan *driver demand*. Daya *traction motor* yang dihasilkan harus sama dengan atau lebih besar dari daya traksi dibagi efisiensi transmisi.

$$P_{engine} \geq \frac{P_{traksi}}{Eff_{transmisi}} \quad (2.8)$$

Jika diasumsikan tidak ada kerugian saat mentransferkan daya dari *traction motor* ke roda, maka putaran roda, dapat diperoleh dengan menghitung rasio transmisi. Putaran roda didapat dari perhitungan kecepatan kendaraan.

$$V_{kendaraan} = N_{roda} \cdot 2 \cdot \pi \cdot D_{roda} \quad (2.9)$$

$$N_{roda} = N_{traction\ motor} \cdot r_{transmisi} \quad (2.10)$$

Dimana,

N = kecepatan putaran

D = diameter

r = rasio transmisi

Kecepatan putaran *traction motor* merupakan inputan pada *traction motor modeling* agar didapat nilai tingkat konsumsi energi listrik untuk kendaraan.

2.4.3 Kondisi *Cruising* (Kecepatan konstan)

Pada kondisi kecepatan konstan, gaya inersia diabaikan karena percepatan bernilai nol.

$$P_{traksi,wheel} = (F_{drag} + F_{grad} + F_{rr})V \quad (2.11)$$

Kecepatan yang bernilai konstan digunakan sebagai acuan dalam menghitung performa motor penggerak.

2.4.4 Kondisi Deselerasi

Kendaraan dapat berada dalam kondisi deselerasi baik saat mesin dimatikan maupun saat mesin hidup. Saat kondisi mesin mati, mesin tidak tersambung dengan roda penggerak sehingga tidak menimbulkan kerugian daya karena *electric brake*. Untuk dapat terus bergerak dan melawan gaya hambat, kendaraan hanya digerakkan oleh inersia kendaraan itu sendiri. Nilai perlambatan dapat dihitung dengan perumusan.

$$m.a = F_{aero} + F_{rr} + F_{grad} - F_{traksi} \quad (2.12)$$

Percepatan selalu digunakan sebagai acuan awal dalam menghitung performa motor penggerak.

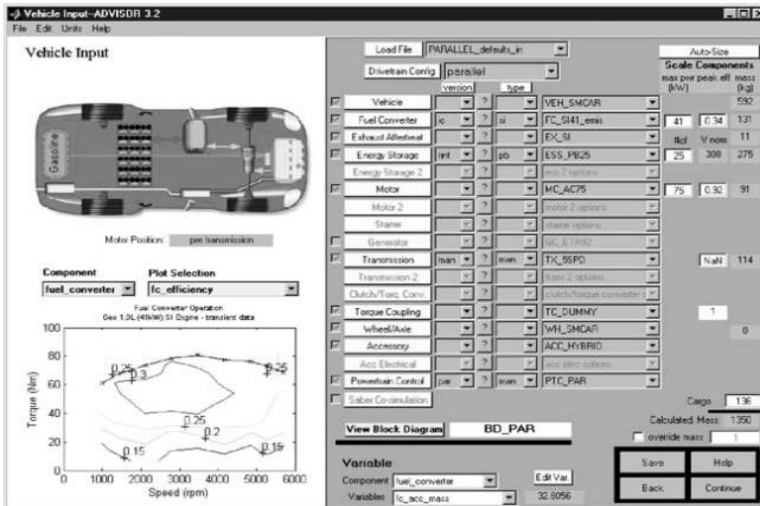
2.5 Matlab (ADVISOR)

Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR) pertama kali dikembangkan tahun 1994 di *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). Perangkat lunak ini di desain sebagai alat analisa untuk membantu *US Department of Energy* (DOE) dalam mengembangkan teknologi kendaraan *hybrid*. Peran utamanya adalah untuk melihat interaksi tingkat sistem hibrida dan komponen kendaraan listrik dan dampaknya terhadap kendaraan kinerja dan penghematan bahan bakar. ADVISOR memiliki tiga jenis model sumber daya yang bisa dimasukkan dalam model kendaraan. Ini termasuk internal mesin pembakaran, sistem *fuel cell*, dan penyimpanan energi sistem.

ADVISOR dibuat di lingkungan MATLAB / Simulink. MATLAB berbasis matriks yang mudah digunakan lingkungan

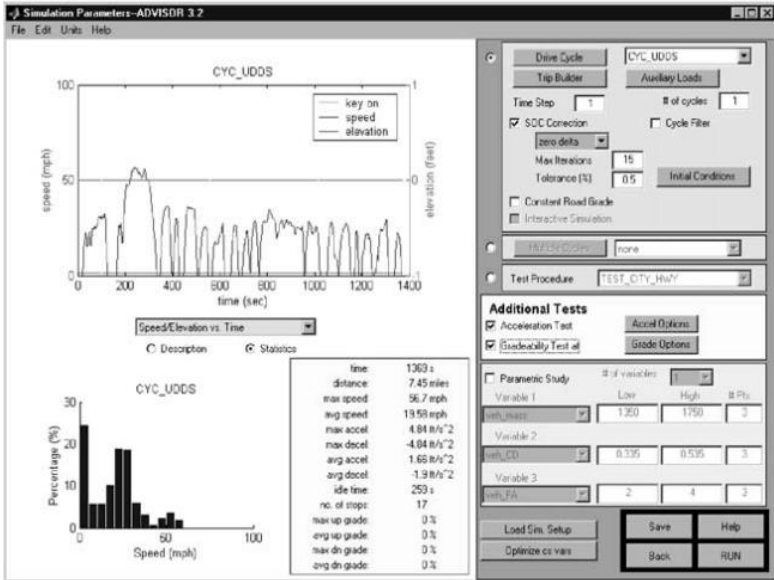
pemrograman untuk melakukan perhitungan sementara Simulink dan dapat digunakan untuk mewakili sistem yang kompleks grafis menggunakan blok diagram. ADVISOR menggunakan tiga *interface* (GUI) layar untuk memandu pengguna melalui simulasi proses. Dengan GUI, pengguna dapat mengevaluasi dampak parameter kendaraan dan persyaratan siklus berkendara pada kinerja kendaraan, penghematan bahan bakar, dan emisi. GUI memfasilitasi interaksi dengan input dan output mentah data yang ada di *workspace* MATLAB. Kendaraan Model digambarkan secara grafis menggunakan diagram blok Simulink untuk menentukan koneksi antar komponen. Model itu kemudian membaca input data dari MATLAB selama simulasi dan output hasilnya ke *workspace* untuk dilihat di *result window*.

Pada *Vehicle input window* kendaraan ADVISOR, ditunjukkan pada Gambar 2.9, pengguna memodelkan kendaraan. Menu *pull-down* digunakan untuk memilih konfigurasi kendaraan (seri, paralel, konvensional), dan komponen yang akan menyusun *driveline* itu. Peta kinerja karakteristik untuk berbagai komponen ditampilkan di kiri bawah *window*. Ukuran komponen (misal: Daya puncak dan jumlah modul) dapat dimodifikasi dengan mengedit nilai karakteristik yang ditampilkan dalam kotak di bagian paling kanan layar. Terakhir, semua parameter skalar dapat dimodifikasi menggunakan menu *edit variabel* di bagian kanan bawah menu *window*. Semua parameter konfigurasi kendaraan dapat disimpan untuk penggunaan di masa depan. Setelah pengguna puas dengan kendaraan masukan karakteristik, tombol 'lanjutkan' akan membawanya ke *window* pengaturan simulasi.



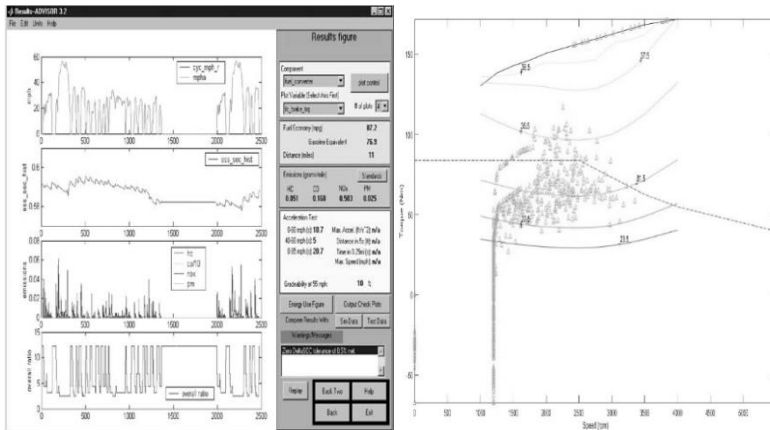
Gambar 2.9 *Vehicle input window* pada ADVISOR

Pada *window* pengaturan simulasi ADVISOR, pengguna menentukan peristiwa yang menjadi tujuan kendaraan disimulasikan. Beberapa peristiwa yang dapat disimulasikan termasuk *driving cycle*, dan prosedur pengujian khusus. Sekali lagi, di bagian kanan *window*, pengguna memilih siklus dan menentukan parameter simulasi saat dalam bagian kiri; informasi tentang pilihan disediakan. Misalnya, ketika satu *drive cycle* dipilih, pengguna dapat melihat jejak kecepatan di bagian kiri atas dan statistik analisis siklus di bagian kiri bawah. Dengan parameter simulasi dikonfigurasi, mengklik pada ikon “RUN” akan dijalankan simulasi dan memberikan layar hasil saat selesai.



Gambar 2.10 Tampilan pengaturan simulasi pada ADVISOR.

Result window ADVISOR, menyediakan kemampuan untuk meninjau kinerja kendaraan, keduanya terintegrasi lebih dari satu siklus dan secara instan di setiap titik dalam siklus. Di bagian kanan *window*, hasil ringkasan seperti penggunaan bahan bakar dan emisi disediakan. Di bagian kiri, bagian hasil rinci tergantung waktu diplot. Hasil ditampilkan di sebelah kiri dapat diubah secara dinamis untuk ditampilkan detail lainnya (kecepatan mesin, torsi mesin, baterai voltase) menggunakan menu *pull-down* di kanan atas bagian dari *window*. GUI ADVISOR digunakan untuk berinteraksi dengan data dalam *Workspace* MATLAB.



Gambar 2.11 Hasil Simulasi Matlab ADVISOR (kiri: *Result Advisor*, kanan: *Output Check Result Engine operating points*)

2.6 Motor Pembakaran Dalam

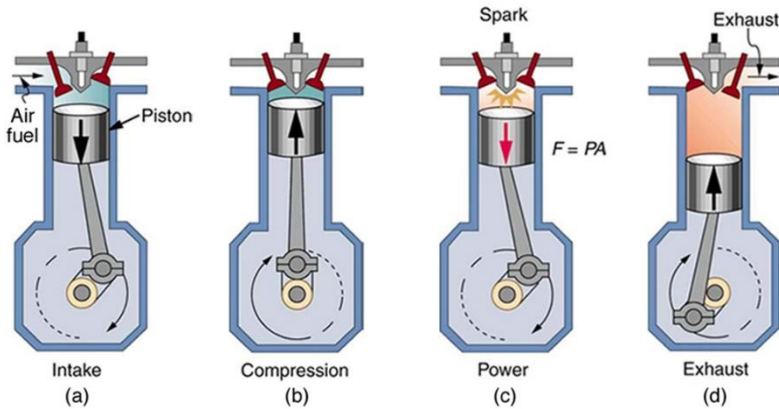
Motor pembakaran dalam adalah mesin yang mengkonversikan hasil pembakaran dari bahan bakar yang terjadi di ruang bakar menjadi energi mekanik. Energi yang digunakan pada motor bakar berasal dari energi kimia yang terkandung pada bahan bakar. Bahan bakar masuk ke ruang bakar akan tercampur dengan udara yang mengandung O_2 . Setelah itu campuran bahan bakar dan udara tadi akan terbakar akibat adanya sumber api yang terdapat pada ruang bakar. Salah satu contoh motor pembakaran dalam sendiri adalah mesin otto yang berbahan bakar *gasoline*.



Gambar 2.12 1.8L ZR-FXE Toyota Prius *internal combustion engine*.

2.6.1 Pembakaran pada Mesin Bensin

Motor bensin empat tak adalah termasuk dalam jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang menggunakan 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 2.13 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

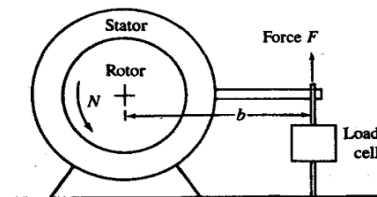
Setelah akhir dari langkah usaha, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA), pada saat ini katup buanglah yang membuka sedangkan katub hisap dalam keadaan tertutup. Karena piston bergerak ke atas, maka gas hasil pembakaran di dalam silinder akan terdorong dan ke luar melalui 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).

2.6.2 Unjuk Kerja Mesin

Astu Pudjanarsa, Djati Nursuhud (Nursuhud, 2014) menjelaskan ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari mesin bensin, antara lain:

2.6.2.1 Torsi

Kemampuan mesin dalam menghasilkan kerja ditunjukkan dengan nilai torsi yang dihasilkannya. Dalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk kendaraan agar mendapatkan percepatan yang lebih tinggi. Torsi merupakan perkalian antara gaya tangensial dengan panjang lengan. Rumus untuk menghitung torsi pada *engine* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.14 Skema Torsi pada *Engine*

$$Torsi = F \times b \text{ (N.m)} \quad (2.13)$$

2.6.2.2 Daya (bhp)

Tujuan dari pengoperasian mesin adalah untuk menghasilkan *power* atau daya. *Power* merupakan kerja yang dihasilkan dari poros *output* mesin yang dihitung berdasarkan tiap satuan waktu. Nilai daya sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya. Untuk menghitung *power* motor digunakan perumusan:

$$bhp = 2\pi n' T / 60.1000 \text{ (kW)} \quad (2.14)$$

2.6.2.3 Efficiency Thermal (η_{th})

Efisiensi *thermal* (η_{th}) adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor.

Jika masing-masing dibagi dengan waktu (t), maka:

dimana: *kerja/waktu* = daya (bhp)

panas yang diberikan = nilai kalor \times laju massa bahan bakar = $Q \times \dot{m}_{bb}$, sehingga:

$$\eta_{th} = \frac{BHP}{\dot{m}_{bb} \times LHV} \quad (2.15)$$

2.6.2.4 Specific Fuell Consumption (SFC)

Merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu *engine*, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Besarnya *specific fuel consumption* (*sfc*) dapat dihitung dengan persamaan:

$$Sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{Power} \quad (2.16)$$

Dimana:

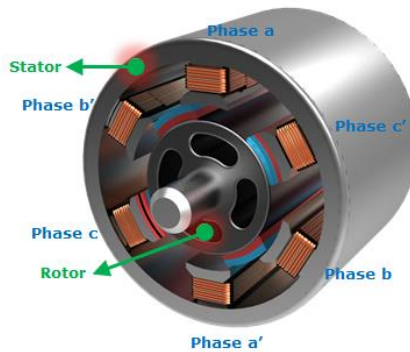
Sfc = *Specific fuel consumption* (g/W.H)

\dot{m}_{bb} = Laju aliran bahan bakar (gr/detik)

Power = Daya (Watt)

2.7 Motor Elektrik

Fungsi utama dari motor listrik adalah mengkonversikan energi elektrik menjadi energi mekanikal untuk menggerakkan dari kendaraan, elektrik motor 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.



Gambar 2.15 *Permanent excited synchronous motor.*

2.8 Baterai

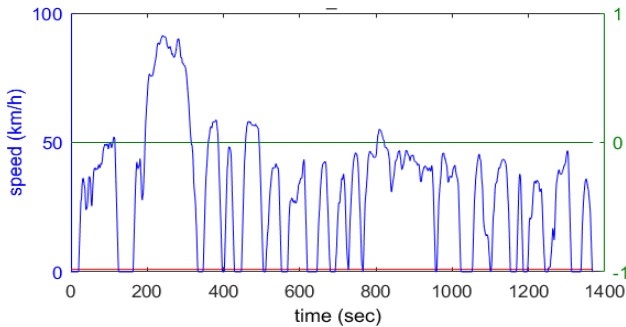
Sumber tenaga elektrik dari kendaraan *hybrid* adalah baterai, baterai adalah alat untuk menyimpan tenaga atau energi yang mana juga melepaskan energi yang tersimpan dari reaksi elektrokimia, dua karakteristik yang terpenting yang mempengaruhi performa dari baterai yaitu *power density* dan *energy density*.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

2.9 *Driving Cycle*

Driving cycle adalah kumpulan data yang merepresentasikan kecepatan kendaraan terhadap waktu pada daerah dan kondisi jalan tertentu yang ditetapkan oleh lembaga atau organisasi yang nantinya menjadi standar cara berkendara pada daerah tersebut. Berikut contoh *driving cycle* menurut *EPA Federal Test Procedure*:

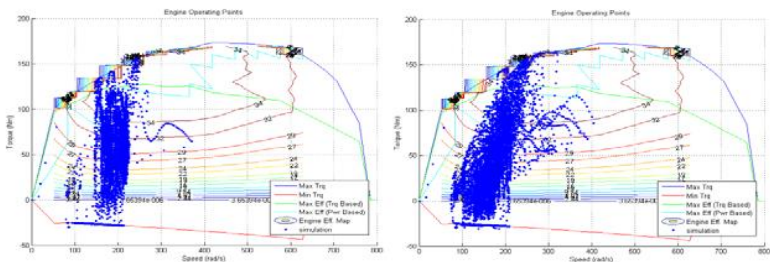
- **UDDS**
Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) adalah *driving cycle* dimana memiliki aturan yaitu pada rute perkotaan sejauh 12.07 km (7.5 mi), dengan kecepatan maksimum 91.2 km/h (56.7 mi/h), dan kecepatan rata – rata 31.5 km/h (19.6 mi/h).
- **FTP-75**
FTP-75 merupakan *driving cycle* dari *EPA 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).
- **HWFET**
Highway Fuel Economic Driving Schedule (HWFET), merupakan *driving cycle* 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.



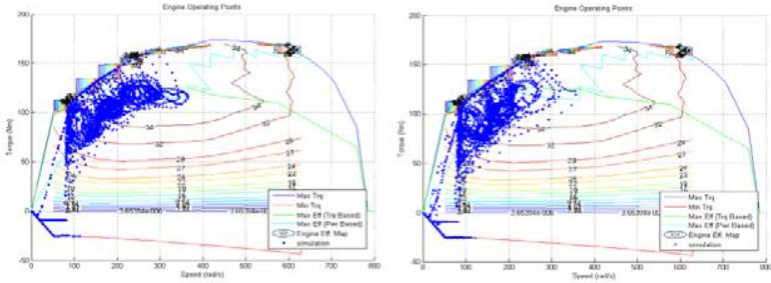
Gambar 2.16 Driving Cycle UDDS (Matlab ADVISOR).

2.10 Penelitian Terdahulu

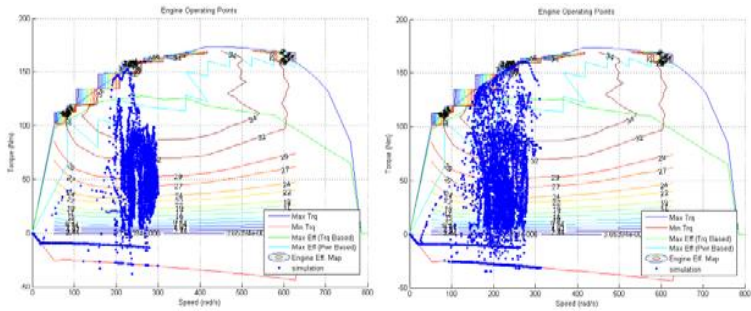
Behnam Ganji dkk pada tahun 2010, melakukan sebuah penelitian dengan membuat sebuah pemodelan sebuah kendaraan *hybrid* yang beroperasi dengan *driving cycle Highway Fuel Economy Driving Schedule (HWFET)* dan *Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)*. Pada penelitian ini dibahas bagaimana membuat sebuah pemodelan kendaraan berdasarkan *driving cycle* yang telah ditentukan. Ganji membuat pemodelan dengan menghitung berapa kebutuhan gaya kendaraan untuk bergerak pada *driving cycle* HWFET dan UDDS. Kemudian akan didapatkan kebutuhan torsi untuk menggerakkan kendaraan setiap saat. Selain itu dari penelitian ini juga didapatkan bagaimana konsumsi energi listrik kendaraan pada saat melewati *driving cycle* tersebut.



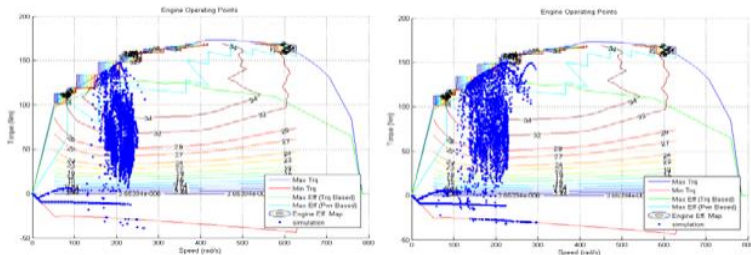
Gambar 2.17 Grafik Engine operating points Conventional Car Ganji dkk (kiri: HWFET, kanan: UDDS)



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.18 Grafik *Engine operating points* Hybrid Car Ganji dkk (kiri: HWFET, kanan: UDDS). (a) *Series HEV*. (b) *Parallel HEV*. (c) *Series-Parallel HEV*.

Ali Hassan pada tahun 2015 menganalisa performa yang dihasilkan kendaraan ICE dan HEV dengan menggunakan ADVISOR. Pada ADVISOR didapatkan output berupa performa kendaraan, emisi, dan *fuel economy*. Pada simulasi ini penulis menggunakan *drive cycle* tipe *Indian Highway* yang terdapat pada matlab ADVISOR.

Tabel 2.1 Hasil Simulasi Ali Hasan.

DRIVE TRAIN	FUEL EMISSIONS			FUEL ECONOMY			ACCELERATION TIME		
	HO	CO	NO	MPG	GAS EQUIVALENT	DISTANCE (MILES)	0-60 MPH	40-60 MPH	0-85 MPH
CONVENTIONAL	0.605	2.282	0.478	49.7	49.7	7.2	17.3 (s)	8.6 (s)	41.5 (s)
HYBRID	1.09	1.342	0.278	60.9	60.9	7.2	15.3(s)	7(s)	30.2(s)

Steven J. Boyd pada tahun 2006, melakukan sebuah penelitian dengan melakukan pengujian pada kendaraan *hybrid Split Parallel Architecture (SPA)* untuk mengetahui kerugian komponen *powertrain*. Pada penelitian ini dibahas bagaimana pengaruh efisiensi setiap komponen pada kendaraan terhadap strategi operasi pada *driving cycle Highway Fuel Economy Driving Schedule (HWFET)*, *Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)* dan *US06*. Kemudian akan didapatkan daya yang hilang pada setiap komponen *drivetrain*. Selain itu dari penelitian ini juga didapatkan strategi operasi berkendara yang hemat energi.

Brooksteeg, K.H.R pada tahun 2010 melakukan sebuah penelitian tentang perbandingan strategi kontrol yang berbeda pada kendaraan *hybrid* kecil. Pada penelitian ini menggunakan tiga strategi kontrol: (1) menggunakan strategi on/off, (2). Strategi *power follower* dan (3). *Equivalent Consumption Minimization Strategy (ECMS)*. Ketiga metode tersebut menghasilkan 3 strategi pengendalian diterapkan dalam simulasi kendaraan nantinya diterapkan pada kendaraan asli untuk meningkatkan jarak tempuh

kendaraan. Dengan strategi on/off, pada saat dihidupkan engine beroperasi pada efisiensi tertinggi, tidak selalu menyediakan efisiensi keseluruhan tertinggi. Dengan *power follower* strategi daya output *engine-generator* mengikuti daya yang diinginkan untuk meminimalkan *charging* dan *discharging* baterai, dan SOC baterai tetap konstan, tetapi *engine* beroperasi di wilayah yang luas. Dengan strategi ini efisiensi daya baterai dioptimalkan. Dengan ECMS efisiensi sistem keseluruhan dianggap yang harus memberikan hasil yang optimal. Pada titik ini tampaknya bahwa strategi *on/off* sangat cocok untuk kendaraan, namun ECMS dapat menawarkan hasil lebih optimal akhirnya. Hasilnya akan berbeda untuk siklus mengemudi yang berbeda, seperti daya rata-rata yang dibutuhkan, frekuensi pengereman dan variasi waktu *idle*. Umumnya, ketika daya yang dibutuhkan rendah, efisiensi menjadi rendah, dan proses *hybridization* dapat sangat bermanfaat.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Peralatan Eksperimen

3.1.1 Alat Uji

Alat uji yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Toyota Prius Plug In Hybrid Vehicle*



Gambar 3.19 *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 (kW/rpm) : 72/5200
- Torsi Maksimal (Nm/rpm) : 142/3600
- 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/rpm
 - Min Output : 163 Nm/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

2. Toyota Corolla Altis Grande



Gambar 3.20 Toyota Corolla Altis Grande

- Merk : Toyota
- Tipe Mobil : Internal Combustion Engine
- Tipe Engine : *in-line 4* silinder, 16-valves DOHC with VVTI
- Kapasitas : 1,798 cc
- Daya Output Maksimal (kw/rpm) : 103/6400
- Torsi Maksimal (Nm/rpm) : 173/4000
- Transmisi : CVT
- Kapasitas Tangki Bahan Bakar : 55 liter
- *Bore x Stroke* : 80.5 x 88.3
- Panjang Kendaraan : 4,620 mm
- Lebar Kendaraan : 1,776 mm
- Tinggi Kendaraan : 1,460 mm
- *Wheelbase* : 2,700 mm
- Berat Kotor Kendaraan : 1,270 kg
- Radius Belok Minimum : 5.4 m

- Suspensi Depan : Macpherson Strut
- Suspensi Belakang : *Torsion Beam*
- Rem Depan : *Solid Disc*
- Rem Belakang : *Solid Disc*
- Ban : 215/45 R17

3.1.2 Alat Ukur

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

1. Data Logger

Data logger adalah sebuah alat elektronik yang dapat mencatat/merekam data dari waktu ke waktu (*real time*) baik yang terintegrasi dengan sensor maupun yang menggunakan *external sensor*. Umumnya data logger memiliki ukuran fisik yang kecil, bertenaga baterai, portabel, dilengkapi dengan mikroprosesor, serta memori untuk menyimpan data. Beberapa data logger diantarmukakan dengan komputer menggunakan software, namun juga terdapat data logger yang memiliki antarmuka sendiri seperti seperti keypad dan LCD.

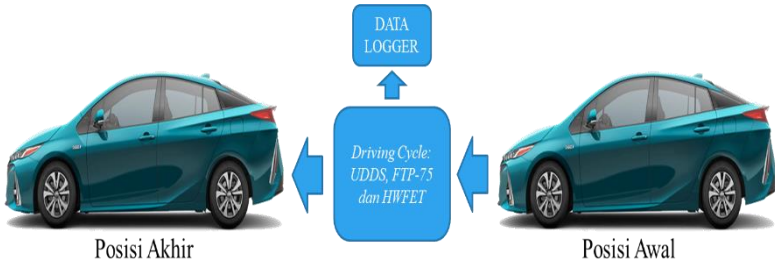
3.2 Sistematika Penelitian

3.2.1 Tahap-Tahap Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Observasi mengenai penelitian yang dilakukan difokuskan pada variasi tipe *engine* dan *driving cycle*.
2. Menentukan perumusan masalah dari penelitian yang dilakukan.
3. Studi literatur yang bertujuan untuk mendapatkan berbagai informasi dan data yang berkaitan dengan objek penelitian.
4. Mempersiapkan alat uji meliputi:
Mempersiapkan kendaraan Toyota *prius plug-in hybrid*
5. Mempersiapkan alat ukur meliputi:
Mempersiapkan *data logger*.

- Melakukan pengujian jalan untuk memperoleh data *timestep* perjalanan kendaraan dan kecepatan kendaraan setiap *timestep*nya.



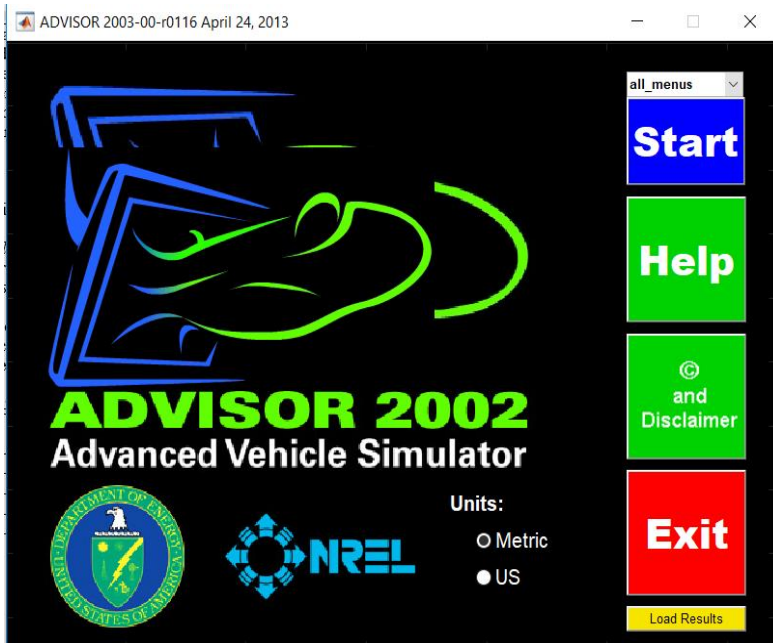
Gambar 3.21 Skema uji jalan kendaraan *Toyota Prius Plug-in hybrid*.

- Pengolahan data yaitu dengan memilah data yang didapatkan saat pengujian jalan sehingga menghasilkan *driving cycle* yang direpresentasikan dengan grafik kecepatan terhadap waktu perjalanan setiap detiknya sesuai standarisasi.
- Melakukan simulasi dengan menggunakan Matlab ADVISOR dengan variasi *driving cycle* di kota Surabaya sesuai standarisasi.

Parameter yang dimasukkan dan hasil keluaran yang diharapkan.

Tabel 3.1 Rancangan Eksperimen

Parameter Input		Parameter <i>Output</i>
Konstan	Variasi	
<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan Perangkat Lunak Matlab Advisor. Data Logger. 	<ul style="list-style-type: none"> Standarisasi <i>driving cycle</i> (UDDS, FTP-75, dan HWFET) Tipe Kendaraan Toyota Corolla Altis Grande dan Toyota Prius <i>Plug-in hybrid</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Driving distance</i> <i>Trip time</i> <i>Average speed</i> <i>Engine operating points</i> yang direpresentasikan dengan grafik torsi terhadap kecepatan putaran mesin pada variasi <i>driving cycle</i>: <ul style="list-style-type: none"> a.) UDDS b.) FTP-75 c.) HWFET Efisiensi mesin dengan variasi <i>driving cycle</i>: <ul style="list-style-type: none"> a) UDDS b) FTP-75 c) HWFET <i>Specific Fuel Consumption</i> dengan variasi <i>driving cycle</i>: <ul style="list-style-type: none"> a) UDDS b) FTP-75 c) HWFET



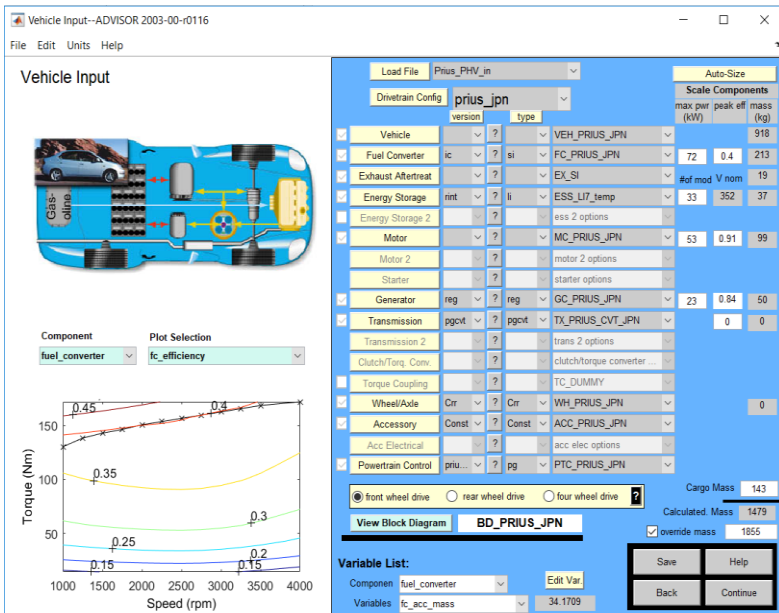
Gambar 3.23 Memilih *units* (Matlab ADVISOR)

c) *Vehicle Input*

Pada tampilan jendela ini penulis memilih dan memasukkan spesifikasi kendaraan yang akan digunakan pada simulasi yakni *Toyota Prius Plug-in hybrid* dan *Toyota Corolla Altis Grande* dengan nama "*Prius_PHV_in*" dan "*Corolla_conv_in*", lalu memasukkan daya dan *peak efficiency* yang dimiliki *engine* masing-masing kendaraan, beban yang di kondisikan pada saat simulasi, jika pada kendaraan *hybrid* ditambahkan memasukkan daya dan *peak efficiency* motor generator yang dimiliki kendaraan. Setelah itu memilih *continue* untuk melanjutkan ke proses berikutnya.

Parameter yang dimasukkan pada tampilan *vehicle input* adalah:

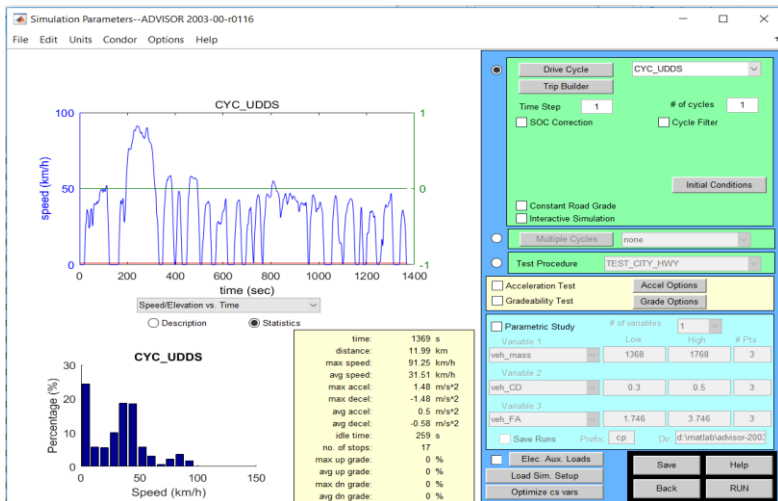
1. Jenis Kendaraan.
Jenis kendaraan yang digunakan untuk simulasi adalah kendaraan konvensional dan kendaraan *Plug-in Prius Hybrid* pada ikon bertuliskan *Load File*.
2. Daya.
Selanjutnya adalah memasukkan daya yang dimiliki pada *fuel converter / engine*, untuk kendaraan *hybrid* ditambahkan daya pada *motor electric*, dan *generator* sesuai dengan spesifikasi standar pabrik kendaraan.
3. *Peak Efficiency*.
Selanjutnya adalah memasukkan *peak efficiency* yang dimiliki pada *fuel converter / engine*, untuk kendaraan *hybrid* ditambahkan daya pada *motor electric*, dan *generator* sesuai dengan spesifikasi standar pabrik kendaraan.
4. Beban Kendaraan.
Selanjutnya adalah memasukkan beban yang digunakan pada kendaraan saat di simulasikan sesuai dengan *gross vehicle weight* yang dimiliki oleh kendaraan.



Gambar 3.24 Memasukkan jenis kendaraan dan spesifikasinya (Matlab ADVISOR).

d) *Input Driving Cycle*

Pada tampilan jendela ini digunakan penulis memasukkan *driving cycle* yang didapatkan dari hasil pengolahan data pengujian jalan sesuai standarisasi yakni UDDS, FTP-75, dan HWFET yang selanjutnya dimasukkan pada simulasi ini. *Driving cycle* hasil pengujian jalan berupa data kecepatan dan waktu tempuh kendaraan yang di dapatkan dari *data logger*.



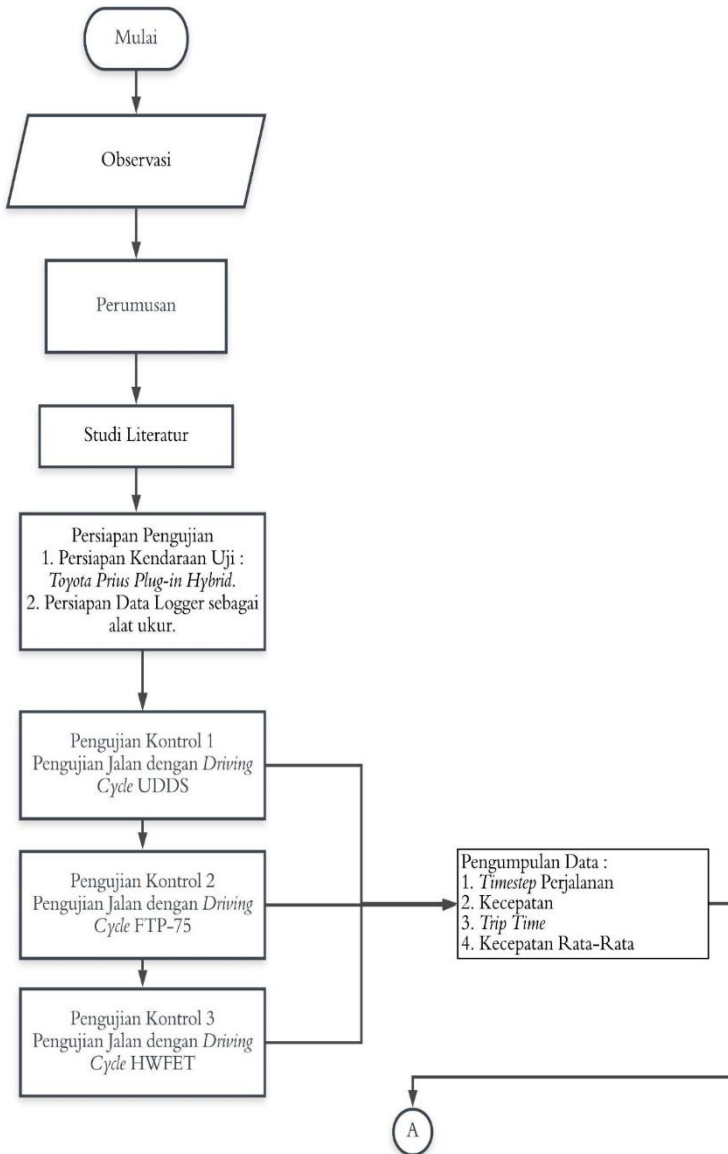
Gambar 3.25 Pemilihan *driving cycle* (Matlab ADVISOR)

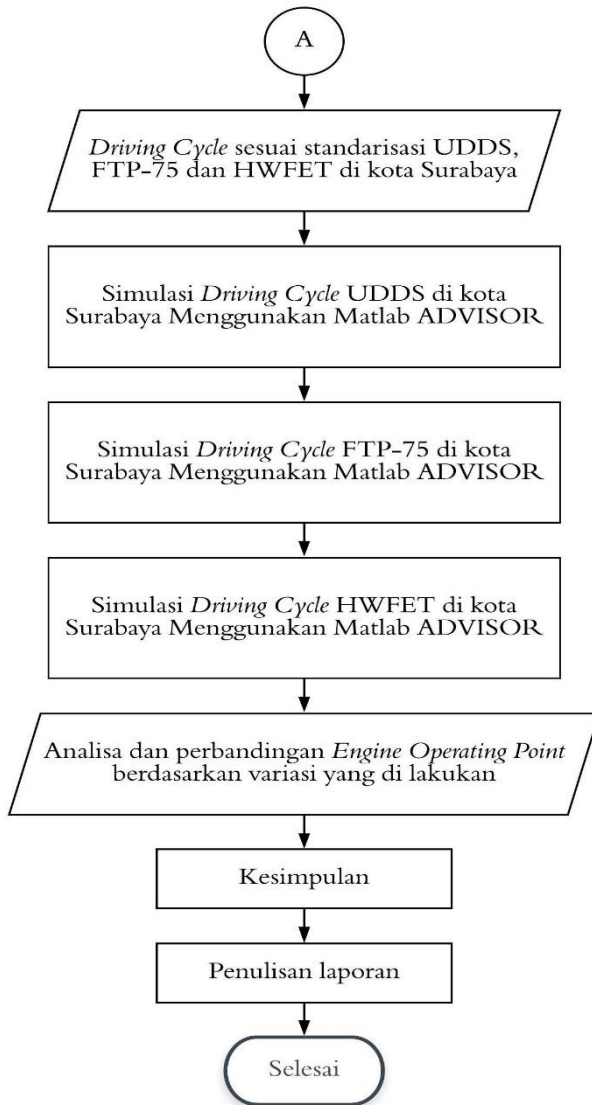
e) *Running Process*

Setelah memasukkan *driving cycle*, melakukan proses simulasi dengan mengklik ikon bertuliskan **RUN** pada tampilan *windows* yang terbuka.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Pengujian dilakukan secara eksperimental pada mobil Toyota Prius *Plug-In Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) dan dilanjutkan dengan simulasi untuk mencari pola titik operasi performa mesin yang di representasikan dengan grafik torsi terhadap kecepatan putaran mesin dengan menggunakan Matlab ADVISOR. Pengujian dilakukan pada mobil sebagai alat uji dengan pengujian jalan berdasarkan standarisasi *driving cycle* UDDS, FTP-75, dan HWFET guna mendapatkan data *driving cycle* di kota Surabaya yang nantinya akan dimasukkan sebagai variasi dalam simulasi menggunakan Matlab ADVISOR dan menjadi bahan evaluasi sistem berkendara pada mobil *Toyota Prius Plug in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV).





Gambar 3.26 Diagram alir penelitian.

3.4 Metode Analisa Data

Metoda analisa data yang digunakan pada penelitian ini adalah dilakukan dengan mengolah data yang berasal dari *data logger* dan Matlab ADVISOR yang di gunakan sebagai perangkat lunak simulasi kendaraan. Parameter yang akan dianalisis adalah kecepatan kendaraan, waktu tempuh kendaraan, motor bakar, baterai, bahan bakar, serta *fuel cost* kemudian grafik tersebut ditampilkan sesuai dengan parameter yang dianalisa sebagai berikut:

- a. Kecepatan terhadap waktu pada kendaraan *plug-in hybrid* dan konvensional, untuk tiga standarisasi *driving cycle*.
- b. *Engine efficiency* dan *engine operating points* dalam grafik torsi terhadap kecepatan putaran mesin pada kendaraan *plug-in hybrid*, untuk tiga standarisasi *driving cycle*.
- c. *Engine efficiency* dan *engine operating points* dalam grafik torsi terhadap kecepatan putaran mesin pada kendaraan konvensional, untuk tiga standarisasi *driving cycle*.
- d. Efisiensi mesin terhadap waktu pada kendaraan *plug-in hybrid*, untuk tiga standarisasi *driving cycle*.
- e. Efisiensi mesin terhadap waktu pada kendaraan konvensional, untuk tiga standarisasi *driving cycle*.
- f. *Specific fuel consumption* terhadap waktu pada kendaraan *plug-in hybrid*, untuk tiga standarisasi *driving cycle*.
- g. *Specific fuel consumption* terhadap waktu pada kendaraan konvensional, untuk tiga standarisasi *driving cycle*.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

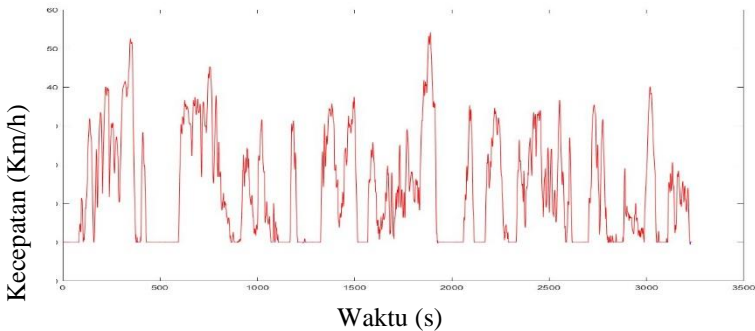
Pada bab data analisis dan pembahasan akan dijelaskan mengenai data pengujian jalan dan hasil simulasi menggunakan *Matlab Advance Vehicle Simulator* (ADVISOR) serta analisis dan pembahasan mengenai hasil simulasi dari tiap-tiap variasi.

4.1. Analisa Data Pengujian Jalan

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pengujian jalan kendaraan yakni Toyota *plug-in hybrid* dengan jarak tempuh 2000 km untuk mendapatkan data *driving cycle* yang berisi grafik kecepatan terhadap waktu tempuh dari kendaraan setiap detiknya sesuai dengan stadarisasi UDDS, FTP-75 dan HWFET yang selanjutnya data tersebut akan digunakan sebagai inputan dalam melakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *Matlab Advance Vehicle Simulator* (ADVISOR).

Hasil dari pengujian jalan kendaraan diambil dari *data logger* yang digunakan sebagai alat ukur dalam penelitian ini. *Data logger* berisi data kecepatan kendaraan pada setiap waktunya dalam satuan detik yang diolah menjadi *driving cycle* yang digunakan sebagai masukan dalam simulasi menggunakan perangkat lunak *Matlab Advance Vehicle Simulator* (ADVISOR).

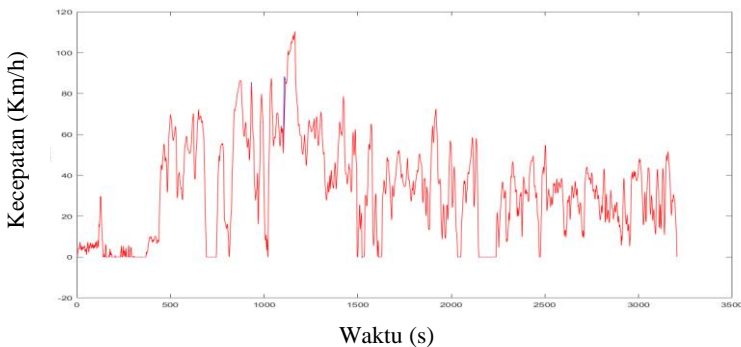
4.1.1. Analisis Data Kecepatan Pengujian Jalan *Driving Cycle Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)*.



Gambar 4. 1 *Driving cycle* UDDS hasil pengujian jalan.

Gambar 4.1 merupakan grafik *driving cycle* UDDS yang didapatkan ketika pengujian jalan kendaraan. Pada grafik tersebut kendaraan melaju dengan jarak sejauh 11.72 Km dan waktu tempuh 3233 detik. Kecepatan maksimal kendaraan saat melaju adalah 54,2 Km/h dan rata-rata kecepatan 13.05 Km/h.

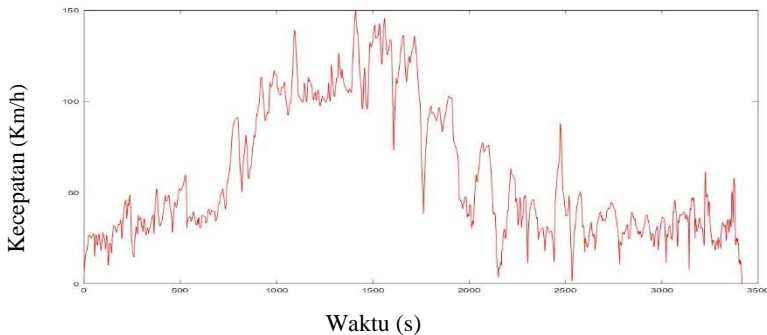
4.1.2. Analisis Data Kecepatan Pengujian Jalan dengan *Driving Cycle Federal Test Procedure (FTP-75)*



Gambar 4. 2 *Driving cycle* FTP-75 hasil pengujian jalan.

Gambar 4.2 merupakan grafik *driving cycle* FTP-75 yang didapatkan ketika pengujian jalan kendaraan. Pada grafik tersebut kendaraan melaju dengan jarak sejauh 29.13 Km dan waktu tempuh 3205 detik. Kecepatan maksimal kendaraan saat melaju adalah 110.37 Km/h dan rata-rata kecepatan 20.32 Km/h.

4.1.3. Analisis Data Kecepatan Pengujian Jalan dengan *Driving Cycle Highway Fuel Economy Test (HWFET)*



Gambar 4.3 *Driving cycle* HWFET hasil pengujian jalan.

Gambar 4.3 merupakan grafik *driving cycle* HWFET yang didapatkan ketika pengujian jalan kendaraan. Pada grafik tersebut kendaraan melaju dengan jarak sejauh 56.59 Km dan waktu tempuh 3391 detik. Kecepatan maksimal kendaraan saat melaju adalah 149.7 Km/h dan rata-rata kecepatan 59.64 Km/h.

4.2. Analisa Data Simulasi

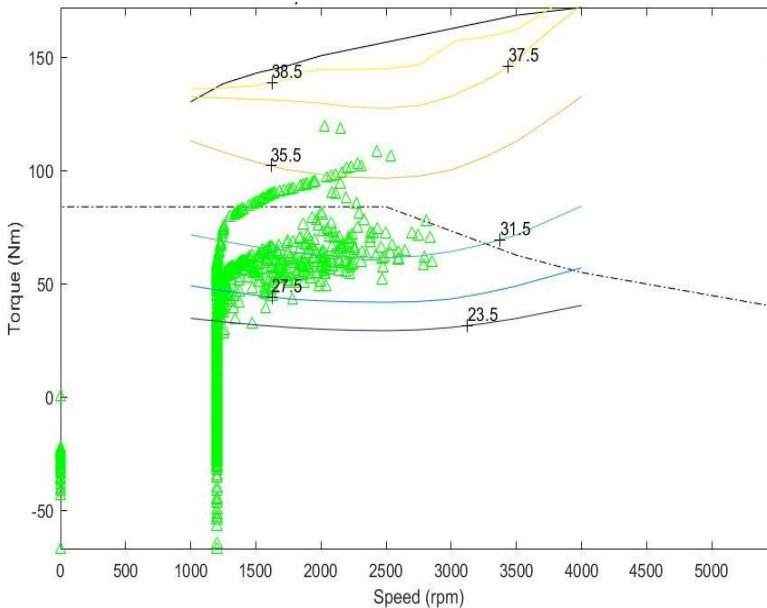
Setelah dilakukan pengujian jalan dan didapatkan data *driving cycle* maka dilanjutkan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak *Matlab Advance Vehicle Simulator (ADVISOR)*. Simulasi dengan *Matlab Advance Vehicle Simulator (ADVISOR)* bertujuan untuk mendapatkan data *engine efficiency* dan *engine operating points* dalam grafik torsi terhadap kecepatan

putaran mesin pada kendaraan *plug-in hybrid* dan konvensional, standarisasi *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET.

4.2.1. Analisa Data Simulasi ADVISOR pada Kendaraan *Plug-in hybrid Electric* dan Konvensional.

4.2.1.1. Analisa Data Simulasi ADVISOR pada *Driving Cycle* UDDS.

4.2.1.1.1. Analisa *Engine operating points*.

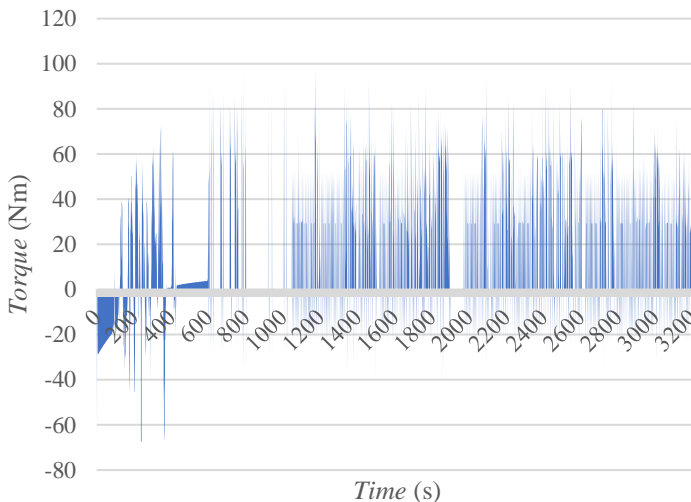


Gambar 4. 4 Persebaran *engine operating points* kendaraan *plug-in hybrid* dengan *driving cycle* UDDS.

Gambar 4.4 adalah grafik *engine operating points* dari kendaraan *plug-in hybrid* yang dioperasikan menggunakan *driving cycle* UDDS. Pada grafik dijelaskan tentang pola titik operasi dari mesin dari kendaraan yang terdapat didalam grafik torsi kendaraan terhadap kecepatan putaran mesin. Garis – garis berwarna yang

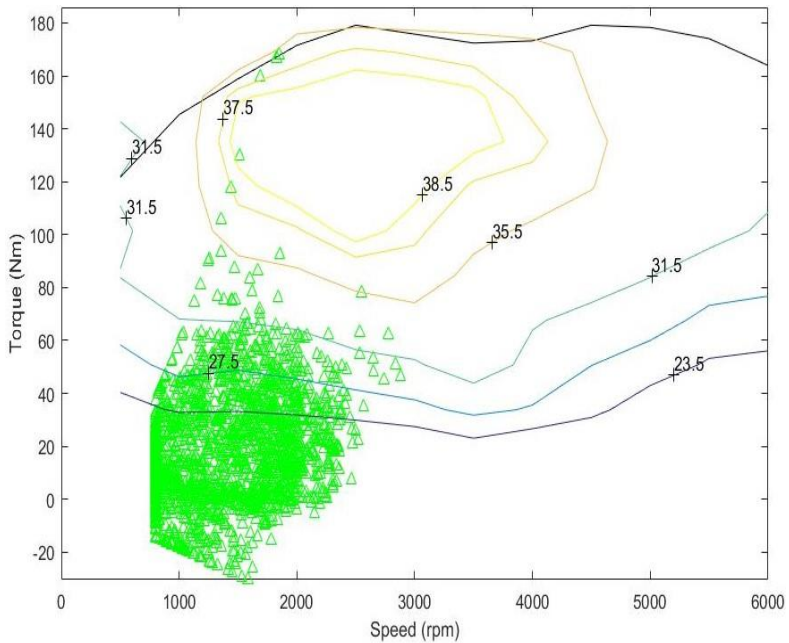
terletak di dalam grafik torsi terhadap kecepatan putaran mesin adalah garis *thermal efficiency engine* dengan nilai tertinggi adalah 38.5 - 40%. Titik segitiga hijau yang terdapat didalam grafik merepresentasikan kinerja mesin saat di simulasikan, dapat dilihat titik-titik ini terletak pada garis persebaran *thermal efficiency engine* yang terdapat didalam grafik.

Persebaran *engine operating points* pada kendaraan *plug-in hybrid* mulai timbul pada putaran rendah, tepatnya pada putaran 1200 rpm hingga 2500 rpm. Berdasar pada hasil simulasi pada *driving cycle* UDDS, *thermal efficiency* yang dihasilkan kendaraan *plug-in hybrid* pada putaran rendah menunjukkan angka 27,5%. Nilai *thermal efficiency* tertinggi didapatkan ketika putaran mesin pada 2100 rpm dengan nilai efisiensi thermal yang dihasilkan sebesar 36,5%. Pada waktu tertentu nilai *engine operating points* menunjukkan torsi negatif dikarenakan adanya *counter-torque* yang diakibatkan oleh penurunan kecepatan dari kendaraan saat mengemudi.



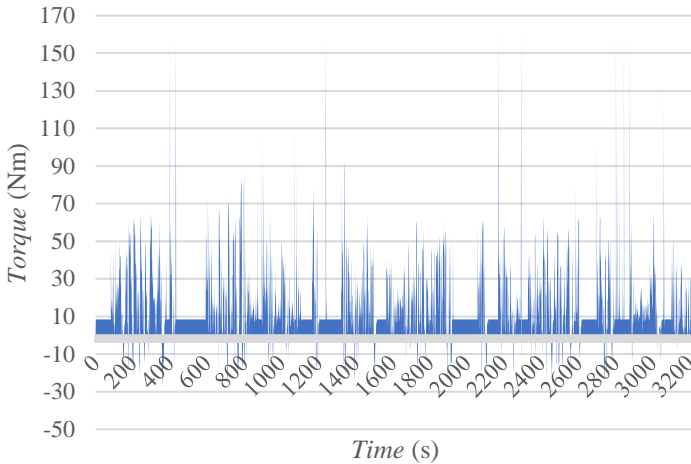
Gambar 4. 5 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan *plug-in hybrid* menggunakan *driving cycle* UDDS.

Gambar 4.5 merupakan grafik torsi terhadap waktu kendaraan *plug-in hybrid* yang dihasilkan dari hasil simulasi menggunakan Matlab ADVISOR terhadap waktu tempuh kendaraan beroperasi dengan menggunakan *driving cycle* UDDS. Pada awal waktu kendaraan beroperasi torsi bernilai negatif kemungkinan diakibatkan adanya inerti dari peralihan *drivetrain* yang semula menggunakan motor listrik sebagai sumber penggerak dari kendaraan berubah menggunakan *engine*. Kendaraan beroperasi di *driving cycle* UDDS menunjukkan bahwa seiring meningkatnya kecepatan maka torsi yang dihasilkan juga meningkat. Contohnya pada detik ke-181 sampai dengan 189 kecepatan bertambah dari 12.3 km/h menjadi 28.6 km/h dan torsi bertambah juga dari 26.9 Nm menjadi 50.4 Nm. Setelah itu kendaraan mengalami penurunan kecepatan sehingga torsi yang dihasilkan juga turun, contohnya pada detik ke-229 sampai dengan detik 240 kecepatan menurun dari 38.6 km/h menjadi 14.5 km/h dan torsi menurun dari 21.4 Nm menjadi -67.4 Nm. Torsi maksimal yang dihasilkan oleh kendaraan terdapat pada detik ke-1176 dengan nilai torsi sebesar 98.6 Nm. Torsi bernilai 0 Nm ketika mesin pada kendaraan tidak beroperasi atau mati. Pada waktu tertentu nilai *engine operating points* menunjukkan torsi negatif dikarenakan adanya *counter-torque* yang diakibatkan oleh perpindahan *gear* dari kendaraan saat mengemudi.



Gambar 4. 6 Persebaran *engine operating points* kendaraan konvensional dengan *driving cycle UDDS*.

Pada gambar 4.6 adalah grafik *engine operating points* dari kendaraan konvensional, persebaran *engine operating points* timbul pada putaran rendah saat putaran mesin 800 rpm hingga 3000 rpm. Kebanyakan nilai *engine operating points* ada pada nilai *thermal efficiency* < 23,5%. Nilai *thermal efficiency* tertinggi sebesar 38,5% didapatkan saat putaran mesin menunjukkan nilai 1513 rpm.



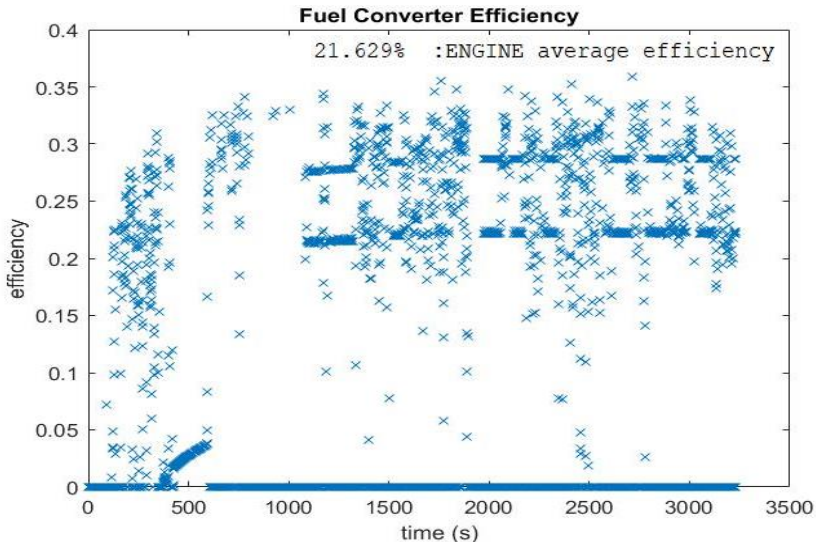
Gambar 4. 7 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan konvensional menggunakan *driving cycle* UDDS.

Gambar 4.7 merupakan grafik torsi kendaraan konvensional yang dihasilkan dari hasil simulasi menggunakan Matlab ADVISOR terhadap waktu tempuh kendaraan beroperasi dengan menggunakan *driving cycle* UDDS. Kendaraan beroperasi di *driving cycle* UDDS menunjukkan bahwa seiring meningkatnya kecepatan maka torsi yang dihasilkan juga meningkat. Contohnya pada detik ke-163 sampai dengan 171 kecepatan bertambah dari 2 km/h menjadi 21 km/h dan torsi bertambah juga dari 21.5 Nm menjadi 33.4 Nm. Setelah itu kendaraan mengalami penurunan kecepatan sehingga torsi yang dihasilkan juga turun, contohnya pada detik ke 276 sampai dengan detik 290 kecepatan menurun dari 27 km/h menjadi 10.3 km/h dan torsi menurun dari 21.5 Nm menjadi 8 Nm. Torsi maksimal yang dihasilkan oleh kendaraan terdapat pada detik ke-2294 dengan nilai torsi sebesar 167.7 Nm. Pada waktu tertentu nilai *engine operating points* menunjukkan torsi

negatif dikarenakan adanya *counter-torque* yang diakibatkan oleh perpindahan *gear* dari kendaraan saat mengemudi.

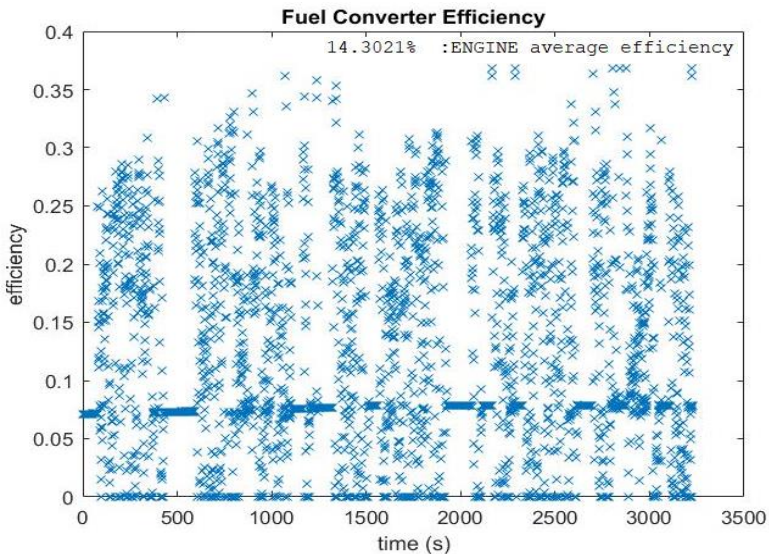
Pola persebaran *operating points* dari mesin kendaraan *plug-in hybrid* yang dijalankan dengan *driving cycle* UDSS banyak terkonsentrasi di tengah dari garis *thermal efficiency*. Sedangkan pada mesin kendaraan konvensional pola persebaran *engine operating points* cenderung lebih banyak berada dibawah garis *thermal efficiency*. Hal ini sudah sesuai dengan penelitian Ganji Behnam pada tahun 2010 yang menunjukkan bahwa pola persebaran *engine operating points* yang dijalankan pada *driving cycle* UDSS di kendaraan seri-paralel *plug in hybrid* lebih banyak terkonsentrasi di tengah grafik *thermal efficiency* daripada kendaraan konvensional.

4.2.1.1.2. Analisa Efisiensi Mesin.



Gambar 4. 8 Engine efficiency kendaraan *plug-in hybrid* dengan *driving cycle* UDSS.

Gambar 4.8 grafik *engine efficiency* dari kendaraan *plug-in hybrid* yang di operasikan menggunakan *driving cycle* UDDS. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya nilai efisiensi mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. Titik biru yang terdapat dalam grafik merupakan nilai efisiensi dari mesin kendaraan saat beroperasi. Titik-titik ini terletak didalam grafik nilai efisiensi mesin terhadap waktu. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR, pada kendaraan *plug-in hybrid* memiliki rata-rata efisiensi sebesar 21.629%.



Gambar 4. 9 Engine efficiency kendaraan konvensional dengan *driving cycle* UDDS.

Gambar 4.9 adalah grafik *engine efficiency* dari kendaraan konvensional yang di operasikan menggunakan *driving cycle* UDDS. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya nilai efisiensi mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. Titik biru yang terdapat dalam grafik merupakan nilai efisiensi dari mesin kendaraan saat beroperasi. Titik-titik ini

terletak didalam grafik nilai efisiensi mesin terhadap waktu. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR, pada kendaraan konvensional memiliki rata-rata efisiensi sebesar 14.3021%.

Pada *driving cycle* UDDS kendaraan *plug-in hybrid* memiliki rata-rata efisiensi sebesar 21.629% dan pada kendaraan konvensional memiliki rata-rata efisiensi sebesar 14.3021%. Hal ini membuktikan bahwa kendaraan *plug-in hybrid* lebih efisien jika dibandingkan dengan kendaraan konvensional ketika dioperasikan dengan *driving cycle* UDDS.

4.2.1.1.3. Analisa *Specific Fuel Consumption*.

Specific fuel consumption adalah jumlah pemakaian bahan bakar oleh suatu *engine*, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Besarnya *specific fuel consumption (sfc)* tiap detik dari kendaraan saat beroperasi dapat dihitung dengan persamaan (2.16).

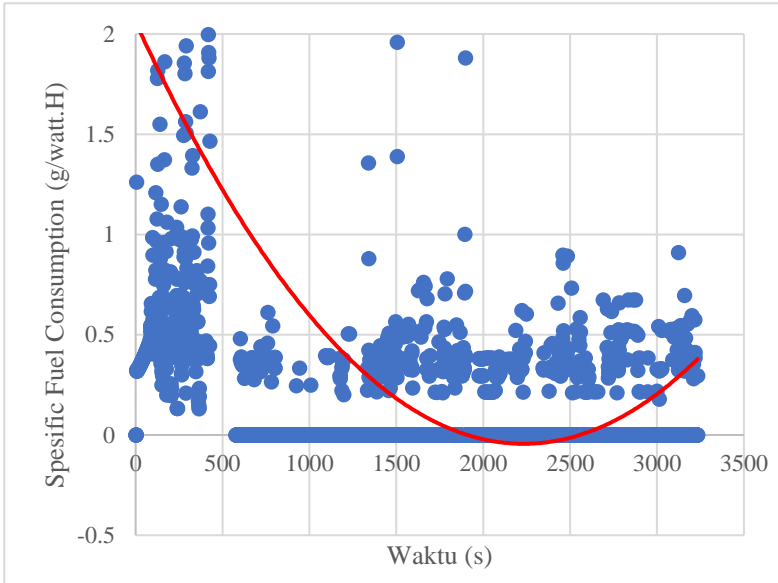
$$Sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{Power}$$

Dimana:

Sfc = *Specific fuel consumption* (g/W.H)

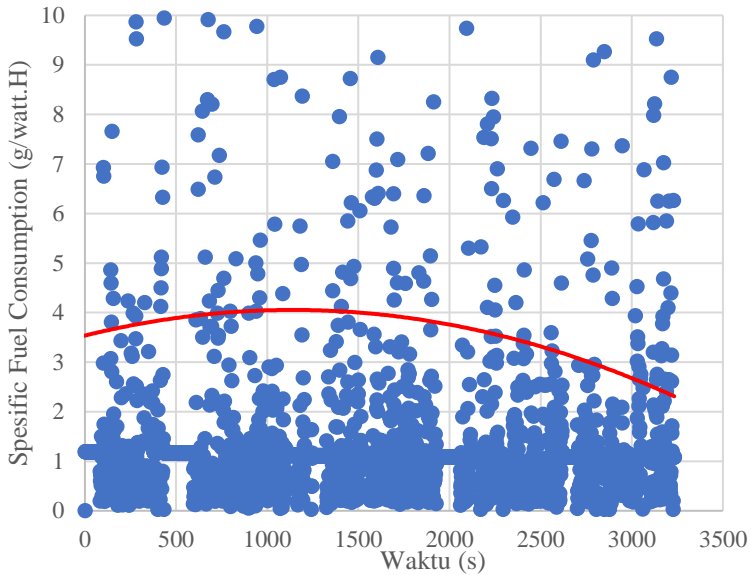
\dot{m}_{bb} = Laju aliran bahan bakar (gr/detik)

$Power$ = Daya (Watt)



Gambar 4. 10 *Spesific fuel consumption kendaraan plug-in hybrid dengan driving cycle UDDS.*

Gambar 4.10 adalah grafik *spesific fuel consumption* dari kendaraan *plug-in hybrid* yang di operasikan menggunakan *driving cycle UDDS*. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya *spesific fuel consumption* mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. *Trendline* dari kendaraan menunjukkan penggunaan bahan bakar yang besar pada awal waktu kendaraan beroperasi dan selanjutnya berangsur turun lalu pada akhir waktu penggunaan bahan bakar naik lagi dikarenakan mesin digunakan untuk *charging* baterai. Rata-rata *spesific fuel consumption* selama kendaraan beroperasi sebesar 0.484077466 g/watt.H.

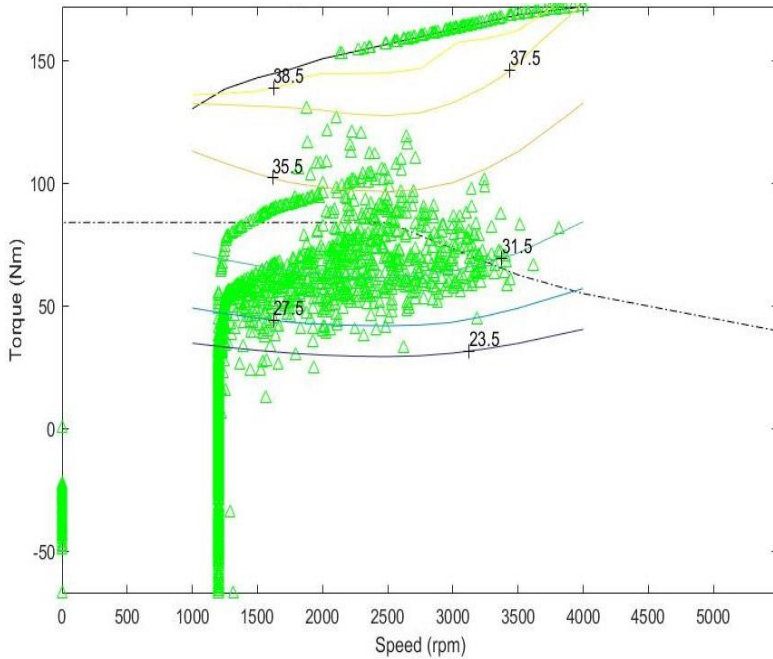


Gambar 4. 11 *Specific fuel consumption* kendaraan konvensional dengan *driving cycle* UDDS.

Gambar 4.11 adalah grafik *specific fuel consumption* dari kendaraan konvensional yang dioperasikan menggunakan *driving cycle* UDDS. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya *specific fuel consumption* mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. *Trendline* dari kendaraan menunjukkan penggunaan bahan bakar yang cenderung konstan sampai akhir waktu kendaraan beroperasi. Pada kendaraan konvensional memiliki rata-rata *specific fuel consumption* sebesar 3.616623393 g/watt.H.

4.2.1.2. Analisa Data Simulasi ADVISOR pada *Driving Cycle* FTP-75.

4.2.1.2.1. Analisa *Engine operating points*.

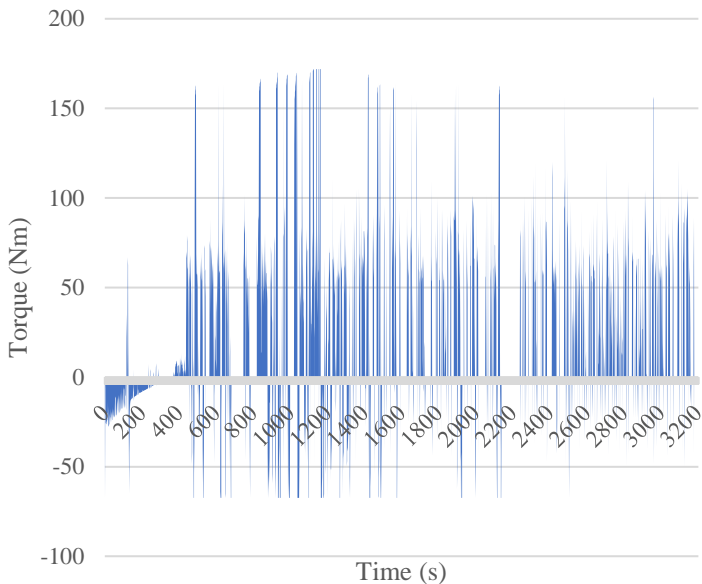


Gambar 4. 12 Persebaran *engine operating points* kendaraan *plug-in hybrid* dengan *driving cycle* FTP-75.

Gambar 4.12 adalah grafik *engine operating points* dari kendaraan *plug-in hybrid* yang di operasikan menggunakan *driving cycle* FTP-75. Pada grafik dijelaskan tentang pola titik operasi dari mesin dari kendaraan yang terdapat didalam grafik torsi kendaraan terhadap kecepatan putaran mesin. Garis – garis berwarna yang terletak di dalam grafik torsi terhadap kecepatan putaran mesin adalah garis *thermal efficiency engine* dengan nilai tertinggi adalah 38.5 - 40%. Titik segitiga hijau yang terdapat didalam grafik merepresentasikan kinerja mesin saat di simulasikan, dapat dilihat

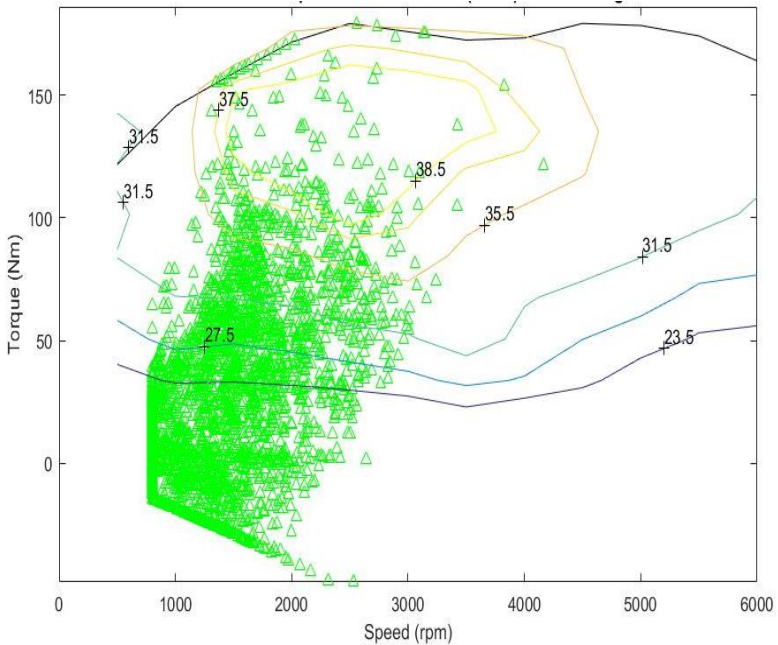
titik-titik ini terletak pada garis persebaran *thermal efficiency engine* yang terdapat didalam grafik.

Persebaran *engine operating points* pada kendaraan *plug-in hybrid* mulai timbul pada putaran rendah, tepatnya pada putaran 1200 rpm hingga 2500 rpm. Berdasar pada hasil simulasi pada *driving cycle FTP-75*, efisiensi thermal yang dihasilkan kendaraan *plug in hybrid* pada putaran rendah menunjukkan angka 27,5%. Nilai efisiensi thermal tertinggi didapatkan ketika putaran mesin pada 2200 rpm dengan nilai efisiensi thermal yang dihasilkan sebesar 31,5%. Pada waktu tertentu nilai *engine operating points* menunjukkan torsi negatif dikarenakan adanya *counter-torque* yang diakibatkan oleh penurunan kecepatan dari kendaraan saat mengemudi.



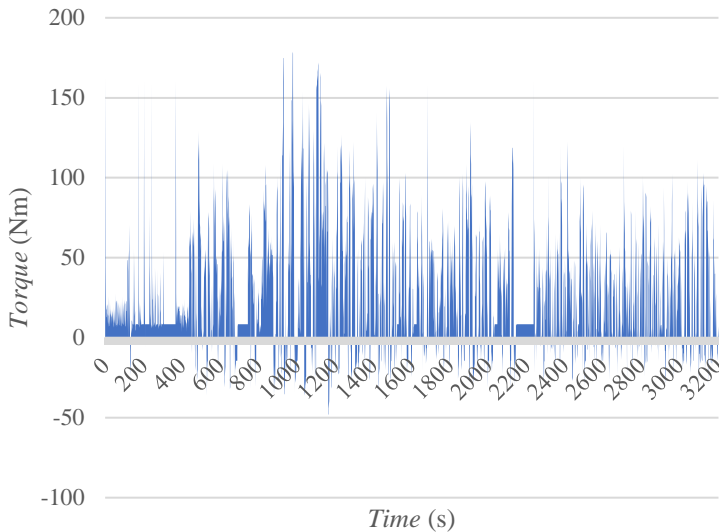
Gambar 4. 13 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan *plug-in hybrid* menggunakan *driving cycle FTP-75*.

Gambar 4.13 merupakan grafik torsi kendaraan *plug-in hybrid* yang dihasilkan dari hasil simulasi menggunakan Matlab ADVISOR terhadap waktu tempuh kendaraan beroperasi dengan menggunakan *driving cycle* FTP-75. Pada awal waktu kendaraan beroperasi torsi bernilai negatif kemungkinan diakibatkan adanya inerti dari peralihan *drivetrain* yang semulanya menggunakan motor listrik sebagai sumber penggerak dari kendaraan berubah menggunakan *engine*. Kendaraan beroperasi di *driving cycle* FTP-75 menunjukkan bahwa seiring meningkatnya kecepatan maka torsi yang dihasilkan juga meningkat. Contohnya pada detik ke-484 sampai dengan 492 kecepatan bertambah dari 20.6 km/h menjadi 37 km/h dan torsi bertambah juga dari 2 Nm menjadi 162.8 Nm. Setelah itu kendaraan mengalami penurunan kecepatan sehingga torsi yang dihasilkan juga turun, contohnya pada detik ke-1068 sampai dengan detik 1075 kecepatan menurun dari 43.6 km/h menjadi 38.5 km/h dan torsi menurun dari 71.7 Nm menjadi 30.43 Nm. Torsi maksimal yang dihasilkan oleh kendaraan terdapat pada detik ke-1127 dengan nilai torsi sebesar 171.8 Nm. Torsi bernilai 0 Nm ketika mesin pada kendaraan tidak beroperasi atau mati. Pada waktu tertentu nilai *engine operating points* menunjukkan torsi negatif dikarenakan adanya *counter-torque* yang diakibatkan oleh perpindahan *gear* dari kendaraan saat mengemudi.



Gambar 4. 14 Persebaran *engine operating points* kendaraan konvensional dengan *driving cycle* FTP-75.

Gambar 4.14 adalah grafik *engine operating points* dari kendaraan konvensional, persebaran *engine operating points* timbul pada putaran rendah saat putaran mesin 800 rpm hingga 2800 rpm. Kebanyakan nilai *engine operating points* ada pada nilai efisiensi thermal < 23,5%. Nilai efisiensi thermal tertinggi sebesar 38,5% didapatkan saat putaran mesin menunjukkan nilai 1400 rpm.



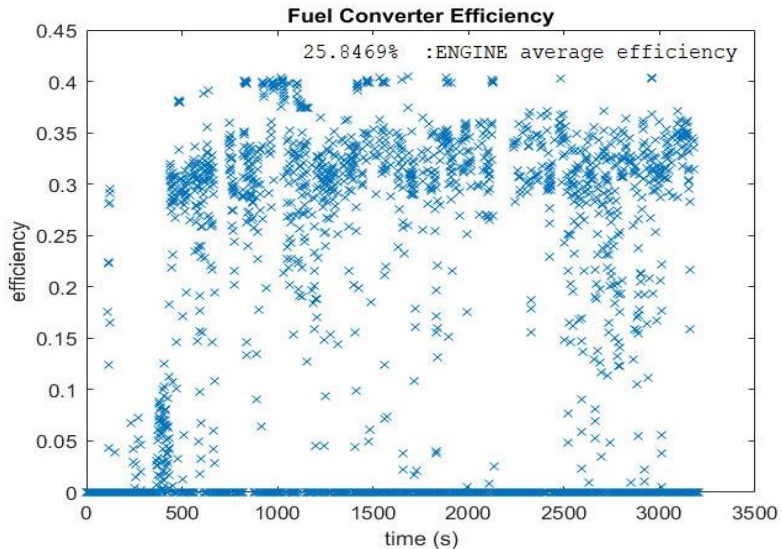
Gambar 4. 15 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan konvensional menggunakan *driving cycle* FTP-75.

Gambar 4.15 merupakan grafik torsi kendaraan konvensional yang dihasilkan dari hasil simulasi menggunakan Matlab ADVISOR terhadap waktu tempuh kendaraan beroperasi dengan menggunakan *driving cycle* FTP-75. Kendaraan beroperasi di *driving cycle* FTP-75 menunjukkan bahwa seiring meningkatnya kecepatan maka torsi yang dihasilkan juga meningkat. Contohnya pada detik ke-745 sampai dengan 754 kecepatan bertambah dari 0.57 km/h menjadi 23.7 km/h dan torsi bertambah juga dari 8.35 Nm menjadi 83.2 Nm. Setelah itu kendaraan mengalami penurunan kecepatan sehingga torsi yang dihasilkan juga turun, contohnya pada detik ke-778 sampai dengan detik 791 kecepatan menurun dari 34.5 km/h menjadi 10.5 km/h dan torsi menurun dari 33.4 Nm menjadi 8 Nm. Torsi maksimal yang dihasilkan oleh kendaraan terdapat pada detik ke-980 dengan nilai torsi sebesar 178.7 Nm. Pada waktu tertentu nilai *engine operating points* menunjukkan torsi

negatif dikarenakan adanya *counter-torque* yang diakibatkan oleh perpindahan *gear* dari kendaraan saat mengemudi.

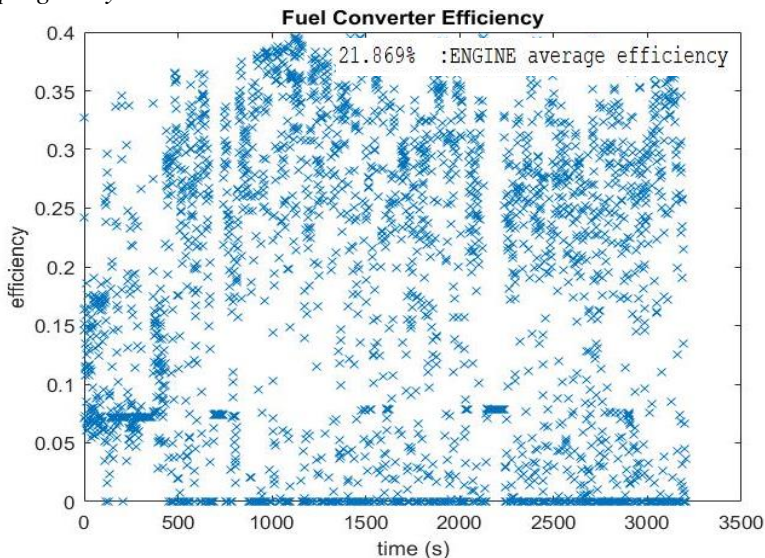
Pola persebaran *operating points* dari mesin kendaraan *plug-in hybrid* yang dijalankan dengan *driving cycle* FTP-75 banyak terkonsentrasi di tengah dari garis *thermal efficiency*. Sedangkan pada mesin kendaraan konvensional pola persebaran *engine operating points* cenderung lebih banyak berada dibawah garis *thermal efficiency*. Hal ini sudah sesuai dengan penelitian Ganji Behnam pada tahun 2010 yang menunjukkan bahwa pola persebaran *engine operating points* yang dijalankan pada *driving cycle* FTP-75 di kendaraan seri-paralel *plug in hybrid* lebih banyak terkonsentrasi di tengah grafik *thermal efficiency* daripada kendaraan konvensional.

4.2.1.2.2. Analisa Efisiensi Mesin.



Gambar 4. 16 Engine efficiency kendaraan *plug-in hybrid* dengan *driving cycle* FTP-75.

Gambar 4.16 adalah grafik *engine efficiency* dari kendaraan *plug-in hybrid* yang di operasikan menggunakan *driving cycle* FTP-75. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya nilai efisiensi mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. Titik biru yang terdapat dalam grafik merupakan nilai efisiensi dari mesin kendaraan saat beroperasi. Titik-titik ini terletak didalam grafik nilai efisiensi mesin terhadap waktu. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR, pada kendaraan *plug-in hybrid* memiliki rata-rata efisiensi sebesar 25.8469%.



Gambar 4. 17 Engine efficiency kendaraan konvensional dengan *driving cycle* FTP-75.

Gambar 4.17 adalah grafik *engine efficiency* dari kendaraan konvensional yang di operasikan menggunakan *driving cycle* FTP-75. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya nilai efisiensi mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. Titik biru yang terdapat dalam grafik

merupakan nilai efisiensi dari mesin kendaraan saat beroperasi. Titik-titik ini terletak didalam grafik nilai efisiensi mesin terhadap waktu. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR, pada kendaraan konvensional memiliki rata-rata efisiensi sebesar 21.869%.

4.2.1.2.3. Analisa *Specific Fuel Consumption*.

Specific fuel consumption adalah jumlah pemakaian bahan bakar oleh suatu *engine*, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Besarnya *specific fuel consumption (sfc)* tiap detik dari kendaraan saat beroperasi dapat dihitung dengan persamaan (2.16).

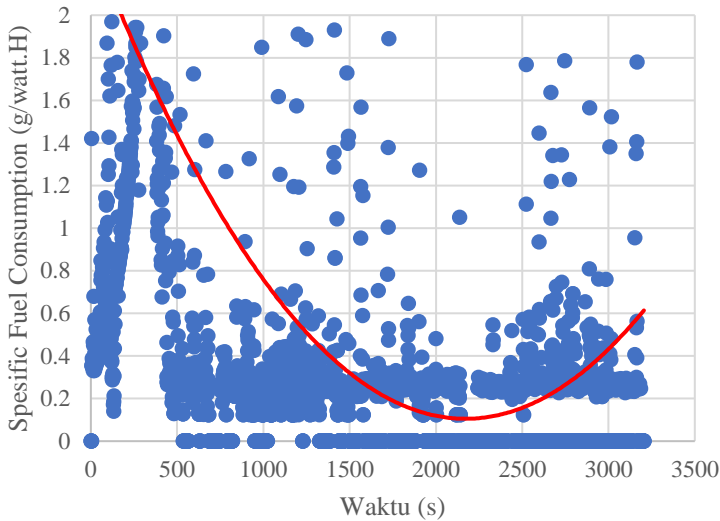
$$Sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{Power}$$

Dimana:

Sfc = *Specific fuel consumption* (g/W.H)

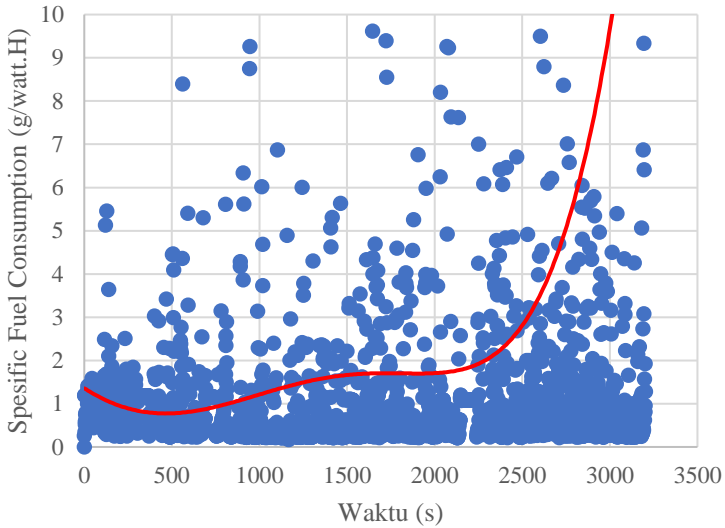
\dot{m}_{bb} = Laju aliran bahan bakar (gr/detik)

$Power$ = Daya (Watt)



Gambar 4. 18 *Specific fuel consumption kendaraan plug-in hybrid dengan driving cycle FTP-75.*

Gambar 4.18 adalah grafik *specific fuel consumption* dari kendaraan *plug-in hybrid* yang di operasikan menggunakan *driving cycle* FTP-75. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya *specific fuel consumption* mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. *Trendline* dari kendaraan menunjukkan penggunaan bahan bakar yang besar pada awal waktu kendaraan beroperasi dan selanjutnya berangsur turun lalu pada akhir waktu penggunaan bahan bakar naik lagi dikarenakan mesin digunakan untuk *charging* baterai. Rata-rata *specific fuel consumption* selama kendaraan beroperasi sebesar 0.667619 g/watt.H.

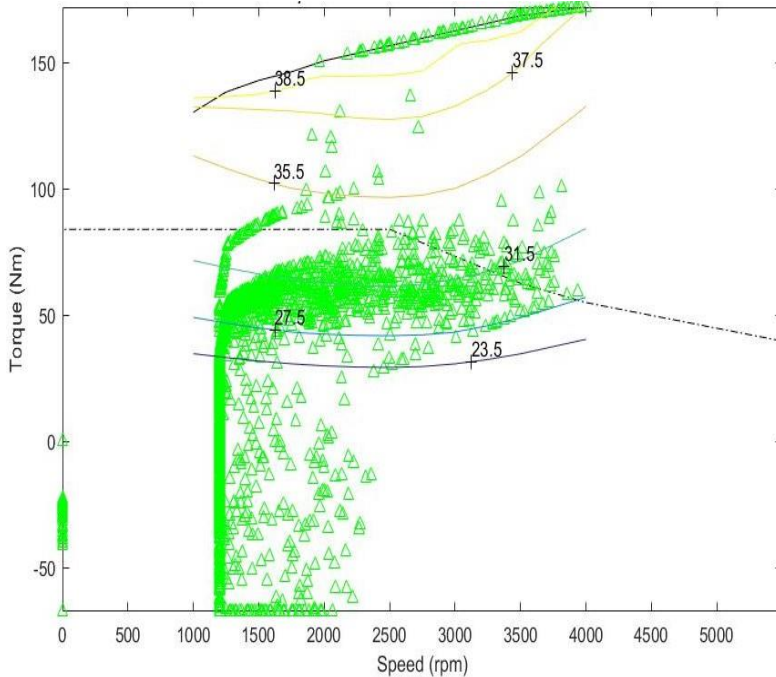


Gambar 4. 19 *Specific fuel consumption* kendaraan konvensional dengan *driving cycle* FTP-75.

Gambar 4.19 adalah grafik *specific fuel consumption* dari kendaraan konvensional yang dioperasikan menggunakan *driving cycle* FTP-75. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya *specific fuel consumption* mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. *Trendline* dari kendaraan menunjukkan penggunaan bahan bakar yang cenderung konstan sampai pertengahan waktu kendaraan beroperasi. Dan pada akhir waktu kendaraan beroperasi penggunaan bahan bakar naik dikarenakan kecepatan kendaraan naik dan kebutuhan daya juga ikut naik. Rata-rata *specific fuel consumption* selama kendaraan beroperasi sebesar 2.769133 g/watt.H.

4.2.1.3. Analisa Data Simulasi ADVISOR pada *Driving Cycle* HWFET.

4.2.1.3.1. Analisa *Engine operating points*.

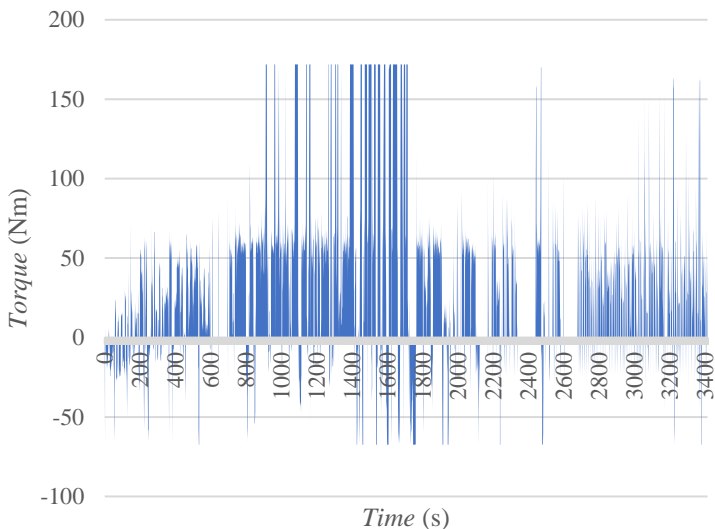


Gambar 4. 20 Persebaran *engine operating points* kendaraan *plug-in hybrid* dengan *driving cycle* HWFET.

Gambar 4.20 adalah grafik *engine operating points* dari kendaraan *plug-in hybrid* yang di operasikan menggunakan *driving cycle* HWFET. Pada grafik dijelaskan tentang pola titik operasi dari mesin dari kendaraan yang terdapat didalam grafik torsi kendaraan terhadap kecepatan putaran mesin. Garis – garis berwarna yang terletak di dalam grafik torsi terhadap kecepatan putaran mesin adalah garis *thermal efficiency engine* dengan nilai tertinggi adalah 38.5 - 40%. Titik segitiga hijau yang terdapat didalam grafik

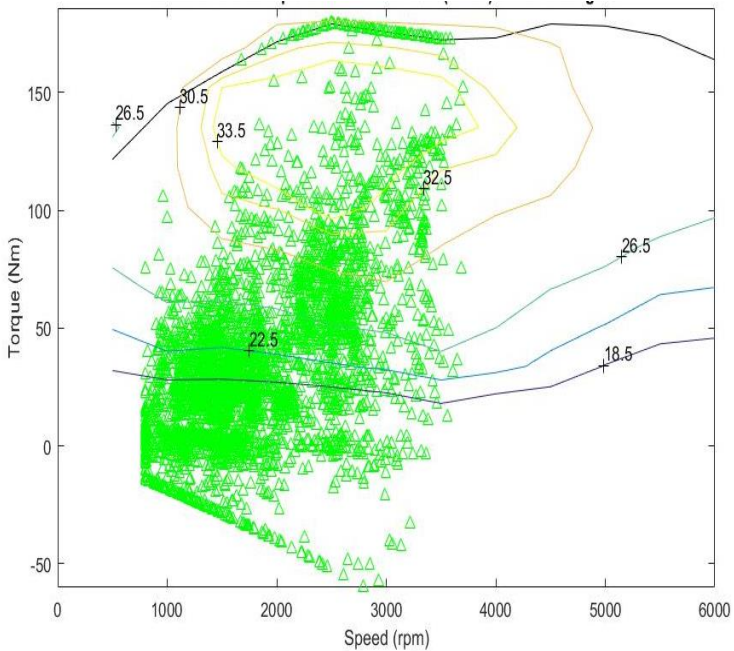
merepresentasikan kinerja mesin saat di simulasikan, dapat dilihat titik-titik ini terletak pada garis persebaran *thermal efficiency engine* yang terdapat didalam grafik.

Persebaran *engine operating points* pada kendaraan *plug-in hybrid* mulai timbul pada putaran rendah, tepatnya pada putaran 1200 rpm hingga 4000 rpm. Berdasar hasil simulasi pada *driving cycle* HWFET, efisiensi thermal yang dihasilkan kendaran *plug-in hybrid* pada putaran rendah menunjukkan angka 27,5%. Nilai efisiensi thermal tertinggi didapatkan ketika putaran mesin pada 3900 rpm dengan nilai efisiensi thermal yang dihasilkan sebesar 38,5%. Pada waktu tertentu nilai *engine operating points* menunjukkan torsi negatif dikarenakan adanya *counter-torque* yang diakibatkan oleh perpindahan *gear* dari kendaraan saat mengemudi.



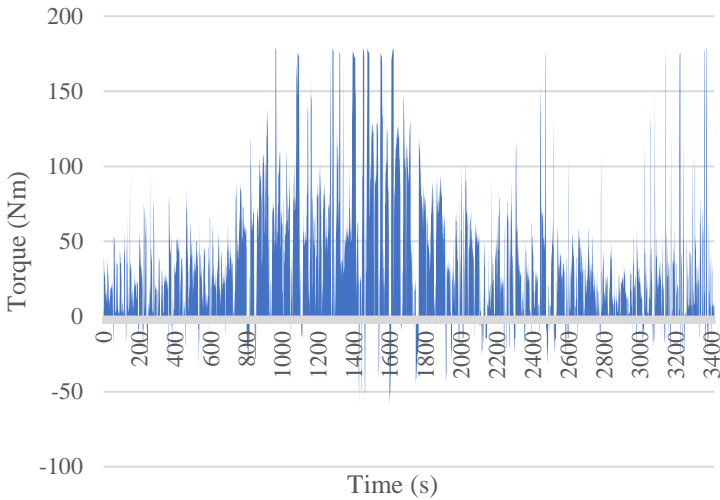
Gambar 4. 21 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan *plug-in hybrid* menggunakan *driving cycle* HWFET.

Gambar 4.21 merupakan grafik torsi kendaraan *plug-in hybrid* yang dihasilkan dari hasil simulasi menggunakan Matlab ADVISOR terhadap waktu tempuh kendaraan beroperasi dengan menggunakan *driving cycle* HWFET. Pada awal waktu kendaraan beroperasi torsi bernilai negatif kemungkinan diakibatkan adanya inerti dari peralihan *drivetrain* yang semulanya menggunakan motor listrik sebagai sumber penggerak dari kendaraan berubah menggunakan *engine*. Kendaraan beroperasi di *driving cycle* HWFET menunjukkan bahwa seiring meningkatnya kecepatan maka torsi yang dihasilkan juga meningkat. Contohnya pada detik ke-181 sampai dengan 189 kecepatan bertambah dari 12.3 km/h menjadi 28.6 km/h dan torsi bertambah juga dari 26.9 Nm menjadi 50.4 Nm. Setelah itu kendaraan mengalami penurunan kecepatan sehingga torsi yang dihasilkan juga turun, contohnya pada detik ke 229 sampai dengan detik 240 kecepatan menurun dari 38.6 km/h menjadi 14.5 km/h dan torsi menurun dari 21.4 Nm menjadi -67.4 Nm. Torsi maksimal yang dihasilkan oleh kendaraan terdapat pada detik ke-1716 dengan nilai torsi sebesar 171.8 Nm. Torsi bernilai 0 Nm ketika mesin pada kendaraan tidak beroperasi atau mati. Pada waktu tertentu nilai *engine operating points* menunjukkan torsi negatif dikarenakan adanya *counter-torque* yang diakibatkan oleh perpindahan *gear* dari kendaraan saat mengemudi.



Gambar 4. 22 Persebaran *engine operating points* kendaraan konvensional dengan *driving cycle HWFET*.

Gambar 4.22 adalah grafik *engine operating points* dari kendaraan konvensional yang dioperasikan menggunakan *driving cycle HWFET*. Pada kendaraan konvensional, persebaran *engine operating points* timbul pada putaran rendah saat putaran mesin 800 rpm hingga 3700 rpm. Kebanyakan nilai *engine operating points* ada pada nilai efisiensi thermal rentang 18,5% sampai 26,5%. Nilai efisiensi thermal tertinggi sebesar 30,5% didapatkan saat putaran mesin menunjukkan nilai 3700 rpm.



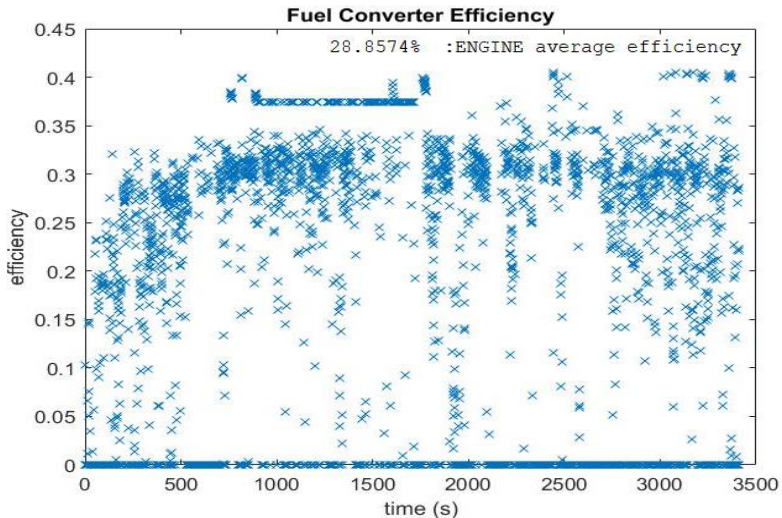
Gambar 4.23 Grafik torsi terhadap waktu kendaraan konvensional menggunakan *driving cycle* HWFET.

Gambar 4.23 merupakan grafik torsi kendaraan konvensional yang dihasilkan dari hasil simulasi menggunakan Matlab ADVISOR terhadap waktu tempuh kendaraan beroperasi dengan menggunakan *driving cycle* HWFET. Kendaraan beroperasi di *driving cycle* HWFET menunjukkan bahwa seiring meningkatnya kecepatan maka torsi yang dihasilkan juga meningkat. Contohnya pada detik ke-198 sampai dengan 217 kecepatan bertambah dari 25 km/h menjadi 46 km/h dan torsi bertambah juga dari 1.2 Nm menjadi 30.2 Nm. Setelah itu kendaraan mengalami penurunan kecepatan sehingga torsi yang dihasilkan juga turun, contohnya pada detik ke 239 sampai dengan detik 272 kecepatan menurun dari 48 km/h menjadi 31 km/h dan torsi menurun dari 46.5Nm menjadi 24.5 Nm. Torsi maksimal yang dihasilkan oleh kendaraan terdapat pada detik ke-1619 dengan nilai torsi sebesar 179.1 Nm. Pada waktu tertentu nilai *engine operating*

points menunjukkan torsi negatif dikarenakan adanya *counter-torque* yang diakibatkan oleh penurunan kecepatan dari kendaraan saat mengemudi.

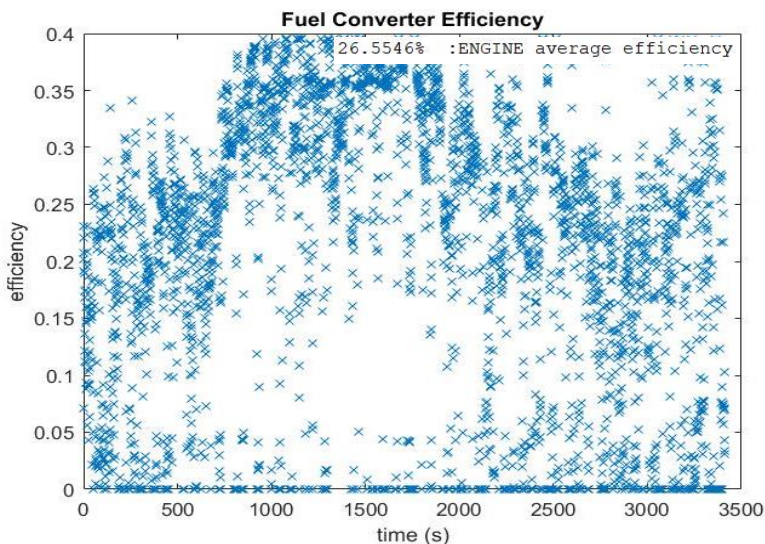
Pola persebaran *operating points* dari mesin kendaraan *plug-in hybrid* yang dijalankan dengan *driving cycle* HWFET banyak terkonsentrasi di tengah dari garis *thermal efficiency*. Sedangkan pada mesin kendaraan konvensional pola persebaran *engine operating points* cenderung lebih banyak berada dibawah garis *thermal efficiency*. Hal ini sudah sesuai dengan penelitian Ganji Behnam pada tahun 2010 yang menunjukkan bahwa pola persebaran *engine operating points* yang dijalankan pada *driving cycle* HWFET di kendaraan *plug in hybrid* lebih banyak terkonsentrasi di tengah grafik *thermal efficiency* daripada kendaraan konvensional.

4.2.1.3.2. Analisa Efisiensi Mesin.



Gambar 4. 24 Engine efficiency kendaraan *plug-in hybrid* dengan *driving cycle* HWFET.

Gambar 4.24 adalah grafik *engine efficiency* dari kendaraan *plug-in hybrid* yang dioperasikan menggunakan *driving cycle* HWFET. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya nilai efisiensi mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. Titik biru yang terdapat dalam grafik merupakan nilai efisiensi dari mesin kendaraan saat beroperasi. Titik-titik ini terletak didalam grafik nilai efisiensi mesin terhadap waktu. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR, pada kendaraan *plug-in hybrid* memiliki rata-rata efisiensi sebesar 28.8574%.



Gambar 4. 25 Engine efficiency kendaraan konvensional dengan *driving cycle* HWFET.

Gambar 4.25 adalah grafik *engine efficiency* dari kendaraan konvensional yang dioperasikan menggunakan *driving cycle* HWFET. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya nilai efisiensi mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu

mengemudi setiap detik. Titik biru yang terdapat dalam grafik merupakan nilai efisiensi dari mesin kendaraan saat beroperasi. Titik-titik ini terletak didalam grafik nilai efisiensi mesin terhadap waktu. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR. Dari hasil simulasi yang pada matlab ADVISOR, pada kendaraan konvensional memiliki rata-rata efisiensi sebesar 26.5546%.

4.2.1.3.3. Analisa *Specific Fuel Consumption*.

Specific fuel consumption adalah jumlah pemakaian bahan bakar oleh suatu *engine*, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Besarnya *specific fuel consumption (sfc)* tiap detik dari kendaraan saat beroperasi dapat dihitung dengan persamaan (2.16).

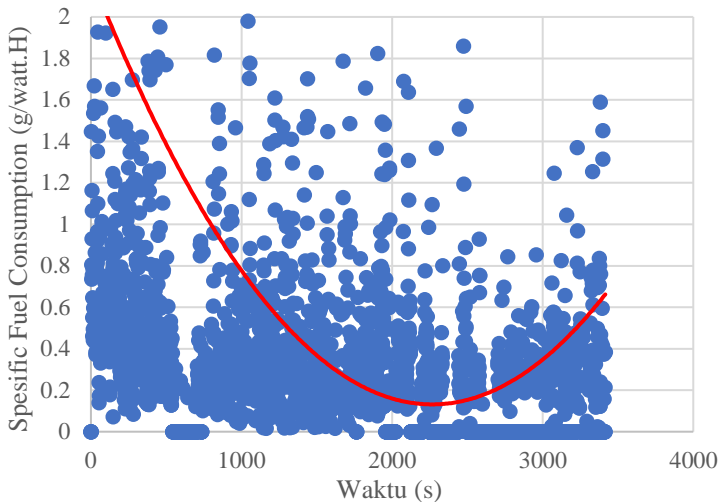
$$Sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{Power}$$

Dimana:

Sfc = *Specific fuel consumption* (g/W.H)

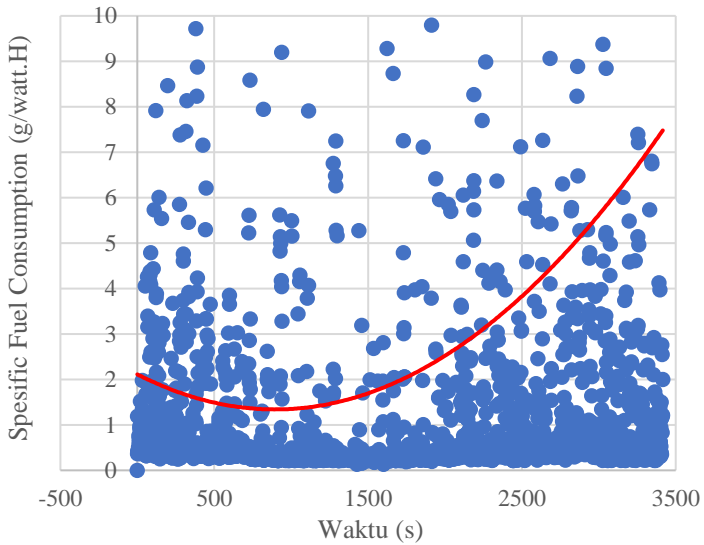
\dot{m}_{bb} = Laju aliran bahan bakar (gr/detik)

$Power$ = Daya (Watt)



Gambar 4. 26 *Specific fuel consumption kendaraan plug-in hybrid dengan driving cycle HWFET.*

Gambar 4.26 adalah grafik *specific fuel consumption* dari kendaraan *plug-in hybrid* yang di operasikan menggunakan *driving cycle* HWFET. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya *specific fuel consumption* mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. *Trendline* dari kendaraan menunjukkan penggunaan bahan bakar yang besar pada awal waktu kendaraan beroperasi dan selanjutnya berangsur turun lalu pada akhir waktu penggunaan bahan bakar naik lagi dikarenakan mesin digunakan untuk *charging* baterai. Rata-rata *specific fuel consumption* selama kendaraan beroperasi sebesar 0.648143981 g/watt.H.



Gambar 4. 27 *Specific fuel consumption* kendaraan konvensional dengan *driving cycle* HWFET.

Gambar 4.27 adalah grafik *specific fuel consumption* dari kendaraan konvensional yang di operasikan menggunakan *driving cycle* HWFET. Pada grafik dijelaskan tentang besarnya *specific fuel consumption* mesin saat beroperasi terhadap lamanya waktu mengemudi setiap detik. *Trendline* dari kendaraan menunjukkan penggunaan bahan bakar yang cenderung konstan sampai pertengahan waktu kendaraan beroperasi. Dan pada akhir waktu kendaraan beroperasi penggunaan bahan bakar naik dikarenakan kecepatan kendaraan naik dan kebutuhan daya juga ikut naik. Rata-rata *specific fuel consumption* selama kendaraan beroperasi sebesar 2.919021614 g/watt.H.

(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:

1. Persebaran *engine operating point* hasil simulasi pada MATLAB ADVISOR untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET paling efisien terdapat pada kendaraan *plug-in hybrid* dengan persebaran *engine operating point* sebagian besar berada mendekati daerah paling efisien dari garis efisiensi termal mesin dibandingkan dengan kendaraan konvensional yang persebaran *engine operating point*-nya sebagian besar menjauhi daerah efisien dari garis efisiensi termal mesin pada masing-masing kendaraan.
2. Rata-rata efisiensi mesin hasil simulasi pada MATLAB ADVISOR untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET paling efisien terdapat pada kendaraan *plug-in hybrid* dengan nilai sebesar 21.629%, 25.8469%, dan 28.8574%. Sedangkan pada kendaraan konvensional bernilai lebih rendah yakni 14.3021%, 21.869% dan 26.5546% untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET.
3. Rata-rata *specific fuel consumption* untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET paling rendah terdapat pada kendaraan *plug-in hybrid* dengan nilai sebesar 0.484077466 g/watt.H , 0.667619 g/watt.H, dan 0.648143981 g/watt.H. Sedangkan pada kendaraan konvensional bernilai lebih tinggi 3.616623393 g/watt.H, 2.769132819 g/watt.H, dan 2.919021614 g/watt.H untuk *driving cycle* UDDS, FTP-75 dan HWFET.

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 pengujian jalan saat melakukan pengambilan data *driving cycle* dianjurkan menggunakan pengemudi yang tetap.
3. Pada saat pengujian jalan pengambilan data *driving cycle* sebaiknya memperhatikan faktor lingkungan seperti kepadatan lalu lintas, kepadatan penduduk serta lebar jalan yang digunakan untuk pengujian jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Giakoumis, Evangelos G: *Driving and Engine Cycles*. Springer (2016) Greece: Athena.
- [2] Evans, Andrew: *Simulation of Hybrid Vehicle*, Transportation Research (2010)
- [3] J.N. Hooker: *Optimal Driving for Single-Vehicle Fuel Economy*, Transportation Research (1988) Part A: vol. 22, no.3: 183-201.
- [4] Ganji, Behnam., Kouzani, Abbas M., dan Trinh M.H., (2010): “*Drive Cycle Analysis of the Performnace of Hybrid Electric Vehicles* “.
- [5] Boyd, Steven J., 2006: “*Hybrid Vehicle Control Strategy Based on Power Loss Calculation* “.
- [6] Broksteeg, K.H.R., 2010. “*Comparing Different Strategies for a small series hybrid vehicle*”.
- [7] Pudjanarsa, Astu., Nursuhud, Djati: *Mesin Konversi Energi* (2014). Andi Publisher: Indonesia.
- [8] Sutantra, I Nyoman: *Teknologi Otomotif Hybrid* (2017). Gunawidya: Indonesia.
- [9] Ehsani, Mehrdad., Gao, Yimin., Gay, Sebastien E., and Emadi, Ali: “*Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design*” (2005), CRC Press LLC, Florida.

- [10] *Driving cycle “UDDS”*, <http://www.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.html>.
- [11] MATLAB 2009, The MathWorks, Inc. 3 Apple Hill Drive Natick, Massachusetts 01760 USA.
- [12] Kuroku., *Public Affairs Division: Toyota Hybrid System* (2003). Toyota Corp.: Japan.
- [13] Berry M., Irene. (2010):” *The Effects of Driving Style and Vehicle Performance on the Real-World Fuel Consumption of U.S. Light-Duty Vehicles*”.

BIODATA PENULIS



Penulis, Muhammad Iqbal Samudera Abiyan dilahirkan di Klaten, 20 Maret 1997 merupakan anak yang terlahir dari orangtua bernama Suharja dan Hartini. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDN 3 Jogosestran, Jogosestran, Kalikotes, Klaten pada tahun 2002-2008. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 1 Klaten pada tahun 2008-2010, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMAN 1 Klaten 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 Administrasi di Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin ITS pada periode 2014-2015. Selanjutnya menjadi Staff Divisi Kewirausahaan di Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin ITS pada periode 2015-2016. Penulis juga menjadi Koordinator Kesekretariatan event Kursus Dasar-Dasar Otomotif 2014 dan salah satu pemateri “Perawatan dan Penyetelan” dalam event Kursus Dasar-Dasar Otomotif 2015. Selain aktif berorganisasi, penulis juga aktif magang ke perusahaan seperti PT Dirgantara Indonesia. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email iqbalabian97@gmail.com.