



TUGAS AKHIR - TM 184835

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
PENAMBAHAN BIOETANOL TERHADAP
PERFORMA DAN EMISI KENDARAAN JENIS
*PLUG IN HYBRID, HYBRID DAN INTERNAL
COMBUSTION ENGINE.***

**BAYU ADHI SAPUTRO
NRP. 0211134000046**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT.**

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

(Halaman sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - TM 184835

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
PENAMBAHAN BIOETANOL TERHADAP
PERFORMA DAN EMISI KENDARAAN JENIS
*PLUG IN HYBRID, HYBRID DAN INTERNAL
COMBUSTION ENGINE.***

**BAYU ADHI SAPUTRO
NRP. 0211134000046**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT.**

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

(Halaman sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TM 184835

**EXPERIMENTAL STUDY OF ADDITION OF
BIOETHANOL BLENDS ON PERFORMANCES
AND VEHICLES EMISSION (PLUG IN HYBRID
ELECTRIC VEHICLE, HYBRID ELECTRIC
VEHICLE AND INTERNAL COMBUSTION
ENGINE)**

**BAYU ADHI SAPUTRO
NRP. 0211134000046**

**Supervisor :
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT.**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGI AND
SYSTEM ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2020**

(Halaman sengaja dikosongkan)

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN
BIOETANOL TERHADAP PEFORMA DAN EMISI
KENDARAAN JENIS *PLUG IN HYBRID, HYBRID* DAN
*INTERNAL COMBUSTION ENGINE***

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:

BAYU ADIH SAPUTRO

NRP. 0211134000046

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. Is Bunyamin Suryo, ST, M.Sc (Penguji II)
NIP. 198208192012121003
4. Dr. Bb. Arip Dwiyantoro, S.T, M.Sc, Eng (Penguji III)
NIP. 197804012002121001

**SURABAYA
JANUARI, 2020**

(Halaman sengaja dikosongkan)

***STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN
CAMPURAN BIOETANOL TERHADAP PERFORMA DAN
EMISI KENDARAAN JENIS PLUG IN HYBRID, HYBRID
DAN INTERNAL COMBUSTION ENGINE***

Nama : Bayu Adhi Saputro
NRP : 0211134000046
Departemen : Teknik Mesin
Pembimbing : Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

Abstrak

Sumber energi fosil merupakan sumber energi yang tidak berkelanjutan (unsustainable energy) sehingga semakin banyaknya konsumsi energi akan semakin mengurangi ketersediaannya. Salah satu pengembangan yang menanggapi permasalahan tersebut yaitu kendaraan bertenaga listrik. Kendaraan bertenaga listrik memiliki banyak macam yaitu Electric Vehicle (EV), Fuel Cell Vehicle (FCV), Plug-In Hibrid Electric Vehicle (PHEV) dan Hybrid Electric Vehicles (HEV). HEV sendiri adalah suatu kendaraan yang mengkombinasikan motor pembakaran dalam dengan sistem traksi elektris, sedangkan PHEV memiliki prinsip kerja yang sama dengan HEV namun berbeda pada teknis pengisian baterai. Untuk lebih mengoptimalkan konsumsi energi pada HEV dan PHEV, mengacu pada Peraturan Presiden RI Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang bertujuan untuk mewujudkan keamanan pasokan energi dalam negeri, salah satu sumber yang perlu dioptimalkan yaitu biofuel. Salah satu biofuel yang bisa dipilih dengan memanfaatkan tumbuhan atau minyak nabati sebagai sumber energi atau biasa disebut bioetanol .

Pengujian dilakukan secara ekperimental pada mobil Toyota Prius Plug In Hybrid Electric Vehicle (PHEV), Toyota Prius Hybrid Electric Vehicle (HEV) dan Toyota Corolla Altis. Pengujian dilakukan pada mobil sebagai alat uji dengan menggunakan eddycurrent. Metode yang digunakan adalah dengan menambahkan bioetanol fuel grade 99,5 % pada bahan bakar

pertamax turbo dengan variasi E0, E5, E10, E15, dan E20 pada kendaraan. Pengujian dilakukan di Workshop Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi Gedung Teknik Mesin ITS.

Hasil dari penelitian didapatkan bahwa penambahan bioetanol meningkatkan performa kendaraan uji. Bahan bakar E10 menjadi bahan bakar terbaik pada ketiga jenis kendaraan uji. Sedangkan pada emisi, penambahan bioethanol menurunkan nilai emisi dimana E10 sebagai bahan bakar terbaik. Pada kendaraan PHEV dan HEV, tidak didapatkan kandungan emisi CO akibat adanya pada kendaraan tersebut.

Kata Kunci : Bioetanol, Performa, Emisi

**EXPERIMENTAL STUDY OF ADDITION OF
BIOETHANOL BLENDS ON PERFORMANCES AND
VEHICLES EMISSION (PLUG IN HYBRID ELECTRIC
VEHICLE, HYBRID ELECTRIC VEHICLE AND INTERNAL
COMBUSTION ENGINE)**

Name : Bayu Adhi Saputro
NRP : 02111340000046
Department : Mechanical Engineering
Supervisor : Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

Abstract

Fossil energy sources is unsustainable energy sources so that the more energy consumption will reduce its availability. One of development that responds to these problems is an electric powered vehicle. Electric powered vehicles have many kinds, namely Electric Vehicles (EV), Fuel Cell Vehicles (FCV), Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEV) and Hybrid Electric Vehicles (HEV). HEV itself is a vehicle that combines an internal combustion motor with an electric traction system, while PHEV has the same working principle as HEV but differs in the technical charging of the battery. To optimize energy consumption in HEV and PHEV, referring to the Republic of Indonesia Presidential Regulation No. 5, 2006 concerning the National Energy Policy which aims to realize the security of domestic energy supply, one of the sources that needs to be optimized is biofuel. One of the biofuels can be selected by using plants or vegetable oils as an energy source or commonly called bioethanol.

The tests are carried out experimentally on Toyota Prius Plug In Hybrid Electric Vehicle (PHEV), Toyota Prius Hybrid Electric Vehicle (HEV) and Toyota Corolla Altis. Tests carry out on the car as a test tool using an eddycurrent dynamometer. The method used to add 99.5% bioethanol fuel grade as a blend fuel to Pertamina turbo fuel with variations of E0, E5, E10, E15, and E20 on the

vehicle. The test is carried out in the Combustion and Energy System Laboratory.

The results of the study find that the addition of bioethanol increased the performance of the test vehicle. E10 fuel is the best fuel in all three types of test vehicles. While on emissions, the addition of bioethanol reduces the value of emissions where E10 is the best fuel. In PHEV and HEV vehicles, no CO emission content was found due to the presence of these vehicles.

Keywords : Bioethanol, Performances, Emission

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah yang telah memberikan rahmat, hidayah dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Campuran Bioetanol terhadap Performa dan Emisi Kendaraan Jenis *Plug In Hybrid, Hybrid dan Internal Combustion Engine***”. Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari peran dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan terselesaikannya tugas akhir ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Alm. Priyono dan Suwarti serta Yeni Dian Ade Fatmawati, Nanang Mutasim Billah dan Fatimah Aeyza Nayla Ramadhani yang selalu memberikan semangat dan doa kepada penulis. Tanpa kasih sayang dari mereka penulis tidak akan bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan pencerahan, pembelajaran, dan bimbingan kepada penulis selama ini dengan penuh kesabaran.
3. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc, Is Bunyamin Suryo, ST, M.Sc, dan Dr. Bb. Arip Dwiyantoro, ST, M.Sc.Eng selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya serta memberikan saran kepada penulis untuk tugas akhir ini.
4. Alief Wikarta, ST, M.Sc.Eng, PhD selaku dosen wali penulis yang telah banyak memberikan bimbingan dan meningkatkan moril penulis selama ini.
5. Segenap dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTIRS ITS yang telah mencurahkan segala tenaga dan pikiran dalam rangka proses akademik dan non-akademik selama penulis menempuh pendidikan sarjana di Departemen Teknik Mesin

6. Rossy Budhi Pratiwi selaku *support system* yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan perjalanan panjang ini.
7. Rekan seperjuangan, Muhammad Iqbal Samudra Abiyan dan Danar Yazid Permana yang telah memberikan cintanya terhadap Prius tercinta.
8. Gilang, Bureng, Bowo dan Ibra yang telah meningkatkan efisiensi laboratorium PSE dengan maksimal.
9. Rekan-rekan Begals yang selalu menemani penulis dalam berbagi suka maupun duka selama proses perkuliahan.
10. Rekan-rekan M56 yang telah berbagi kenangan bersama penulis selama perjalanan panjang ini.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam proses dalam penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Dengan selesainya laporan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa penelitian tugas akhir ini belum sempurna sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini memberikan manfaat dan dapat menambah wawasan keilmuan bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Bahan Bakar.....	7
2.1.1 Bahan Bakar Bensin.....	7
2.1.2 Pertamax Turbo.....	9
2.1.3 Bahan Bakar Bioetanol.....	10
2.1.4 Pembuatan Bioetanol.....	13
2.2 Dasar Teori Pembakaran.....	14
2.2.1 Perhitungan Stokiometri Kebutuhan Udara.....	15
2.2.2 Pembakaran Non Stokiometri.....	16
2.3 Dasar Teori Mesin Bensin.....	17
2.3.1 Pembakaran pada Mesin Bensin.....	17
2.3.2 Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah.....	19
2.3.3 Proses Pembakaran Motor Bensin 4 Langkah.....	20
2.3.4 Unjuk Kerja Mesin.....	21
2.3.5 Emisi Gas Buang.....	23
2.4 Kendaraan Bertenaga Listrik.....	25
2.4.1 Definisi.....	25
2.4.2 EV (<i>Electric Vehicle</i>).....	25
2.4.3 FCEV (<i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>).....	25

2.4.4	HEV (<i>Hybrid Electric Vehicle</i>)	25
2.4.5	PHEV (<i>Plug-In Hybrid Electric Vehicle</i>).....	26
2.5	Klasifikasi Kendaraan Hybrid Berdasarkan <i>Powertrain</i>	26
2.6	Penelitian Terdahulu.....	30
BAB III		
METODOLOGI		35
3.1	Metodologi Penelitian	35
3.2	Peralatan Eksperimen.....	35
3.2.1	Alat Uji.....	35
3.2.2	Alat Ukur.....	39
3.3	Sistematika Penelitian	40
3.3.1	Skema Penelitian	40
3.3.2	Tahap-tahap Penelitian	40
3.4	Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi.....	42
3.5	Metode Analisa Data.....	44
3.6	Flowchart Penelitian.....	45
BAB IV		
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		47
4.1	Hasil Persiapan Bahan Bakar dan Uji Properties	47
4.2	Contoh Perhitungan Unjuk Kerja Kendaraan.....	48
4.2.1	Daya Kendaraan PHEV	49
4.2.2	Torsi Kendaraan PHEV	49
4.2.3	Specific Fuel Consumption Kendaraan PHEV	49
4.2.4	Effisiensi Thermal.....	50
4.3	Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Kendaraan Jenis <i>Plug-In Hybrid Electric Vehicle</i>	53
4.3.1	Daya.....	53
4.3.2	Torsi.....	55
4.3.3	<i>Specific Fuel Consumption</i>	57
4.3.4	Effisiensi Thermal.....	59
4.3.5	Temperatur <i>Engine</i> dan <i>Exhaust Gas</i>	61
4.3.6	Kadar HC dan CO.....	63

4.4 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Kendaraan Jenis <i>Hybrid Electric Vehicle</i>	64
4.4.1 Daya.....	64
4.4.2 Torsi	66
4.4.3 <i>Specific Fuel Consumption</i>	68
4.4.4 Effisiensi Thermal	70
4.4.5 Temperatur <i>Engine</i> dan <i>Exhaust Gas</i>	72
4.4.6 Kadar HC dan CO	74
4.5 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Kendaraan Jenis <i>Internal Combustion Engine</i>	75
4.5.1 Daya.....	75
4.5.2 Torsi	77
4.5.3 <i>Specific Fuel Consumption</i>	79
4.5.4 Effisiensi Thermal	81
4.5.5 Temperatur <i>Engine</i> dan <i>Exhaust Gas</i>	83
4.5.6 Kadar HC dan CO	85
4.6 Perbandingan Performa Ketiga Jenis Kendaraan pada Bahan Bakar Terbaik.....	86
4.6.1 Daya.....	86
4.6.2 Torsi	87
4.6.3 <i>Specific Fuel Consumption</i>	88
4.6.4 Effisiensi Thermal	89
BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN.....	95

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Fermentasi	14
Gambar 2.2 Cara Kerja Mesin Bensin 4 Langkah.....	17
Gambar 2.3 Diagram P-V Motor Bensin 4 Langkah.....	19
Gambar 2.4 Diagram P- θ Motor Bensin 4 Langkah	20
Gambar 2.5 Emisi Gas Buang terhadap Air Fuel Equivalence Ratio.....	23
Gambar 2.6 Klasifikasi Kendaraan Hybrid	26
Gambar 2.7 Series Hybrid	27
Gambar 2.8 Parallel Hybrid.....	28
Gambar 2.9 Series-Parallel Hybrid	29
Gambar 2.10 Hasil Penelitian Winarno dkk.....	30
Gambar 2.11 Hasil Penelitian Wigdado dan Sudarmanta	31
Gambar 2.12 Hasil Penelitian Winanda dan Sudarmanta	32
Gambar 2.13 Hasil Penelitian Narayanan Geetha dkk	33
Gambar 2.14 Hasil Penelitian Pal dkk.....	33
Gambar 3.1 Toyota Prius <i>Hybrid Electric Vehicle</i>	35
Gambar 3.2 Toyota Prius <i>Plug-In Hybrid</i>	37
Gambar 3.3 Toyota Corolla Altis Grande	38
Gambar 3.4 Skema Penelitian	40
Gambar 3.5 Flowchart Uji Performa dan Emisi.....	45
Gambar 4.1 Grafik daya terhadap rpm PHEV.....	53
Gambar 4.2 Grafik daya terhadap loadcell PHEV	54
Gambar 4.3 Grafik torsi terhadap rpm PHEV	55
Gambar 4.4 Grafik torsi terhadap load cell PHEV	56
Gambar 4.5 Grafik sfc terhadap rpm PHEV	57
Gambar 4.6 Grafik sfc terhadap load cell PHEV	58
Gambar 4.7 Grafik efisiensi thermal terhadap rpm PHEV	59
Gambar 4.8 Grafik efisiensi thermal kendaraan terhadap loadcell PHEV	60
Gambar 4.9 Grafik temperature engine terhadap load cell PHEV	61

Gambar 4.10 Grafik temperature exhaust terhadap load cell PHEV	62
Gambar 4.11 Grafik UHC PHEV	63
Gambar 4.12 Grafik daya terhadap rpm HEV	64
Gambar 4.13 Grafik daya terhadap load cell HEV	65
Gambar 4.14 Grafik torsi terhadap rpm HEV	66
Gambar 4.15 Grafik torsi terhadap load cell HEV	67
Gambar 4.16 Grafik sfc terhadap rpm HEV	68
Gambar 4.17 Grafik SFC terhadap load cell HEV	69
Gambar 4.18 Grafik effisiensi thermal terhadap rpm HEV	70
Gambar 4.19 Grafik effisiensi thermal kendaraan HEV	71
Gambar 4.20 Grafik temperature engine terhadap load cell HEV	72
Gambar 4.21 Grafik temperature exhaust terhadap load cell HEV	73
Gambar 4.22 Grafik UHC HEV	74
Gambar 4.23 Grafik daya terhadap rpm ICE.....	75
Gambar 4.24 Grafik daya terhadap load cell ICE.....	76
Gambar 4.25 Grafik torsi terhadap rpm ICE	77
Gambar 4.26 Grafik torsi terhadap load cell ICE.....	78
Gambar 4.27 Grafik sfc terhadap rpm ICE.....	79
Gambar 4.28 Grafik SFC terhadap load cell ICE	80
Gambar 4.29 Grafik effisiensi thermal terhadap rpm ICE	81
Gambar 4.30 Grafik effisiensi thermal terhadap loadcell kendaraan ICE	82
Gambar 4.31 Grafik temperature engine terhadap load cell ICE	83
Gambar 4.32 Grafik temperature exhaust terhadap load cell ICE.....	84
Gambar 4.33 Grafik UHC ICE.....	85
Gambar 4.34 Grafik CO ICE.....	85
Gambar 4.35 Grafik perbandingan daya.....	86
Gambar 4.36 Grafik perbandingan torsi.....	87
Gambar 4.37 Grafik perbandingan sfc	88
Gambar 4.38 Grafik perbandingan effisiensi thermal	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properties Pertamina Turbo	10
Tabel 2.2 Properties Bioetanol	11
Tabel 2.3 Perbandingan Bioetanol dengan Bahan Bakar Bensin	12
Tabel 3.1 Matrik Rancangan Pengujian Bahan Bakar Kontrol.....	43
Tabel 3.2 Pengambilan Data Dynotest Prius Plug-In Hybrid dan Prius Hybrid.....	43
Tabel 3.3 Pengambilan Data Dynotest Corolla Altis Grande.....	44
Tabel 3.4 Pengambilan Data Emisi	44
Tabel 3.5 Flowchart Uji Performa.....	44
Tabel 3.6 Flowchart 2WD Maintenance Mode Hybrid.....	45
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Properties.....	47
Tabel 4.2 Contoh Data Hasil Pengujian Dynotest Kendaraan PHEV	48

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang semakin pesat. Sejalan pula dengan perkembangan yang ada pada sektor industri. Berkembangnya sektor industri di suatu negara berdampak semakin meningkatnya konsumsi energi. Konsumsi energi terus meningkat tiap waktu seiring berkembangnya industri di daerah tersebut. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat konsumsi energi yang tinggi khususnya di bidang industri, transportasi dan pembangkit. Meningkatnya konsumsi energi di Indonesia berbanding terbalik dengan ketersediaan sumber energi yang ada terutama ketersediaan sumber energi yang berasal dari fosil. Sumber energi fosil merupakan sumber energi yang tidak berkelanjutan (*unsustainable energy*) sehingga semakin banyaknya konsumsi energy, semakin mengurangi ketersediaannya. Menanggapi hal tersebut bermunculan berbagai pengembangan-pengembangan teknologi sebagai solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satunya pengembangan teknologi yang ada di bidang otomotif yaitu kendaraan bertenaga listrik.

Kendaraan bertenaga listrik memiliki banyak macam yaitu *Electric Vehicle (EV)*, *Fuel Cell Vehicle (FCV)*, *Plug-In Hibrid Electric Vehicle (PHEV)* dan *Hybrid Electric Vehicles (HEV)*. HEV sendiri adalah suatu kendaraan yang mengkombinasikan motor pembakaran dalam dengan sistem traksi elektris, sedangkan PHEV memiliki prinsip kerja yang sama dengan HEV. Hal yang membedakan kedua jenis kendaraan ini terletak pada system pengisian baterai. Pada HEV, pengisian baterai dilakukan dengan bantuan *engine* dan memanfaatkan pengereman roda belakang sehingga menimbulkan daya regeneratif, sedangkan pada PHEV pengisian baterai juga dapat memanfaatkan *engine* dan pengereman roda belakang namun juga disertai pengisian baterai

secara eksternal menggunakan *port charger* (Mi, et al., 2011). HEV dan PHEV memiliki dua atau lebih sumber tenaga penggerak dimana pada umumnya menggunakan baterai sebagai sumber tenaga penggerak elektrik dan *Internal Combustion Engine* (ICE) sebagai sumber tenaga penggerak mekanis. HEV dan PHEV tidak sepenuhnya kendaraan bertenaga listrik karena terdapat sumber tenaga penggerak berupa ICE. Konsumsi bahan bakar masih diperlukan pada HEV dan PHEV, namun besar konsumsinya tidak sebesar konsumsi bahan bakar ICE. Bahan bakar yang digunakan merupakan bahan bakar fosil berupa bensin yang merupakan hasil dari distilasi fraksi dari minyak bumi. Sehingga HEV dan PHEV tetap menghasilkan emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar.

Untuk lebih mengoptimalkan konsumsi energi pada HEV dan PHEV sekaligus mengurangi penggunaan bahan bakar fosil perlu dilakukan penelitian-penelitian yang memanfaatkan sumber energi berkelanjutan (*sustainable energy*) serta ramah lingkungan. Mengacu pada Peraturan Presiden RI Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang bertujuan untuk mewujudkan keamanan pasokan energi dalam negeri, salah satu sumber yang perlu dioptimalkan yaitu *biofuel* (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018). Salah satu *biofuel* yang bisa dipilih dengan memanfaatkan tumbuhan atau minyak nabati sebagai sumber energi atau biasa disebut bioetanol.

Bioetanol adalah salah satu energi berkelanjutan yang berasal dari tumbuhan-tumbuhan sehingga sering disebut juga bioetanol. Bioetanol dapat dihasilkan dari fermentasi tumbuhan-tumbuhan seperti kelapa sawit, tebu, jagung dan lain-lain. Berdasarkan bahan bakunya, bioetanol terbagi atas 2 jenis yaitu bioetanol generasi pertama dan bioetanol generasi kedua. Bioetanol generasi pertama berasal dari bahan baku pangan yang mengandung pati. Bahan baku yang berasal dari bahan baku pangan mengakibatkan terjadi persaingan antara kebutuhan pangan dan kebutuhan energi sehingga penggunaan bioetanol generasi pertama perlu ditekan. Bioetanol generasi kedua berasal dari limbah biomassa. Jumlah

limbah biomassa di Indonesia sangat melimpah. Salah satu limbah biomassa yang dapat digunakan yaitu kelapa sawit.

Bioetanol juga dapat difungsikan sebagai bahan bakar, baik sebagai bahan bakar utama atau bahan bakar campuran. Andre, Semin dan Tjoek (2014) melaporkan penggunaan bahan bakar bioetanol sebagai campuran bahan bakar bensin pada mesin genset Champion Generator Type CG7000H-DXEA dengan prosentase E0, E25, E50, E75 dan E100 meningkatkan unjuk kerja mesin bensin. Nilai torsi, daya, dan *specific fuel consumption* mengalami kenaikan pada beberapa variasi bahan bakar (Kurniawan, et al., 2014). Penelitian lain dari Joko Winarno (2011) mencampur bioetanol dengan bahan bakar pertamax dengan prosentase bioetanol E5, E10, E15, E20 pada motor satu silinder 4-langkah menghasilkan penurunan nilai SFC (Winarno , 2011). Penelitian lain dilakukan oleh Wigdado dan Sudarmanta (2013) dengan menggunakan mesin 4 langkah 2 silinder 650 cc dengan campuran premium dan bioetanol skala E5, E10, E15 dan E20. Hasil penelitian didapatkan performa mesin terbaik terjadi pada campuran E15 dengan torsi dan bmep maksimum sebesar 47,585 Nm dan 928,056 kPa pada 3000 rpm, daya dan efisiensi thermal optimal sebesar 16,985 kW dan 37,005% pada 3500 rpm. Serta terjadi penurunan emisi gas buang CO dan HC yang signifikan (Wigdado & Sudarmanta, 2015). Adapula penelitian lain dari Winanda dan Sudarmanta (2016) dimana campuran bensin dan bioetanol diujikan pada motor bensin 1497 cc dengan variable speed test 3000 hingga 6000 rpm dan mengamati durability dari engine berbahan bakar campuran bensin dan bioetanol setelah dilakukan uji jalan sejauh 5000 km. Didapatkan hasil dimana terjadi kenaikan terbaik pada torsi, daya dan bmep pada bahan bakar E10 masing-masing 4,2%, 2,96%, dan 2,72%. Penurunan emisi HC dan CO terbaik pada E10 masing-masing 11,79% dan 15,3 % . Sementara itu dari pengujian durability, penambahan bioetanol tidak mempengaruhi kondisi operasional mesin baik temperatur, tarikan maupun penyalaan mesin pada kondisi dingin (Winanda & Sudarmanta, 2016). Penelitian dari Narayanan Geetha

dkk (2019) menggunakan campuran bioetanol pada kadar E10, E20, E30 dan E40 pada mesin satu silinder yang terkoneksi dengan eddy current dynamometer. Pada penelitian ini dilakukan variasi beban load cell dari 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil penelitian didapatkan bahwa campuran bioetanol-gasoline menaikkan nilai BSFC, sedangkan nilai BTE mengalami kenaikan pula seiring kenaikan kadar bioetanol. Nilai emisi HC dan CO mengalami penurunan (Geetha, et al., 2019)

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam tugas akhir ini akan mengangkat topik mengenai penambahan bioetanol pada mobil Toyota Prius PHEV, Toyota Prius Hybrid, dan Toyota Corolla Altis Grande yang bertujuan untuk mendapatkan performa dan emisi yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah diuraikan, didapatkan perumusan masalah bagaimana pengaruh penambahan bioetanol campuran E0, E5, E10, E15 dan E20 terhadap unjuk kerja performa dan emisi mobil Toyota Prius PHEV, Toyota Prius HEV, dan Toyota Corolla Altis Grande.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah diuraikan didapatkan tujuan masalah yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan bioetanol terhadap unjuk kerja performa dan emisi mobil Toyota Prius PHEV, Toyota Prius HEV, dan Toyota Corolla Altis Grande.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu menghasilkan teknologi yang dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil yang ramah lingkungan.
2. Mampu mengembangkan pemikiran dalam penemuan-penemuan teknologi bahan bakar ramah lingkungan yang dapat diperbaharui untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan mobil milik PT. Toyota Astra Motor.
2. Kendaraan uji yang digunakan adalah Toyota Prius PHEV, Toyota Prius HEV, dan Toyota Corolla Altis Grande.
3. Toyota Prius PHV dan Toyota Prius Hybrid merupakan tipe *series-parallel hybrid*.
4. Kondisi ketiga mobil dalam keadaan standar.
5. Pengujian Toyota Prius PHEV dan Toyota Prius HEV dalam mode *maintenance mode* dimana kendaraan dalam kondisi *full engine*.
6. Pengujian ketiga kendaraan berdasarkan pada performa dan emisi yang dihasilkan *internal combustion engine* masing-masing kendaraan.
7. Bahan bakar bioetanol yang digunakan dalam penelitian diproduksi oleh PT. Energi Agro Nusantara (ENERO).
8. Bioetanol yang digunakan dalam pengujian merupakan bioetanol *fuel grade* berkadar 99,5%.
9. Komposisi campuran bioetanol yang digunakan yaitu E0, E5, E10, E15 dan E20.
10. Tidak membahas mengenai pembuatan bioetanol secara detail dan tidak membahas reaksi kimia yang terjadi pada pembakaran

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah material dengan suatu jenis energi yang bisa diubah menjadi energi berguna lainnya. Bahan bakar dalam aplikasi mesin pembakaran memiliki 3 (tiga) jenis bentuk fisik atau wujudnya baik itu berupa padat, cair dan gas. Tapi untuk mesin pembakaran dalam, khususnya mesin diesel menggunakan 2 jenis bahan bakar yaitu cair dan gas. Walaupun bahan bakar padat seperti batu bara juga dapat digunakan, tapi sebelumnya akan diproses terlebih dahulu yang nantinya menjadi wujud gas.

2.1.1 Bahan Bakar Bensin

Bahan bakar bensin adalah bahan bakar yang dipergunakan untuk mesin otto atau mesin bensin. Bahan bakar bensin sendiri tersusun atas hydrocarbon rantai lurus dari C₇ hingga C₁₁. Bahan bakar sendiri memiliki sifat atau karakter yang dimiliki terkait dengan kinerja bahan bakar tersebut dalam proses atomisasi dan pembakaran yang disebut properties bahan bakar. Properties umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar mesin bensin yaitu :

a) *Density, Specific Gravity dan API Gravity*

Density didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap *volume* bahan bakar pada suhu acuan 15°C. Sedangkan *Specific Gravity (SG)* didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah volume minyak bakar terhadap berat air untuk volume yang sama pada suhu tertentu densitas bahan bakar, relatif terhadap air. *Specific Gravity* dinyatakan dalam persamaan:

$$SG_{\text{terhadap air}} = \frac{\text{densitas}_{\text{bahan bakar}}}{\text{densitas}_{\text{air}}}$$

Sementara hubungan nilai *Specific Gravity* dengan *API Gravity* adalah sebagai berikut :

$$\text{API Gravity} = \frac{141,5}{\text{SG}} - 131,5$$

b) Titik Nyala

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat menyala dengan sendirinya sehingga pada saat memasuki ruang bakar, bahan bakar dapat menimbulkan ledakan.

c) *Pour Point*

Pour point atau titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

d) Viskositas

Viskositas atau kekentalan dari suatu cairan adalah salah satu sifat cairan yang menentukan besarnya perlawanan terhadap gaya geser. Viskositas terjadi terutama karena adanya interaksi antara molekul-molekul cairan. Viskositas merupakan sifat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar. Viskositas memengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling*, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan dan jika viskositas terlalu tinggi maka akan menyulitkan dalam pemompaan dan sulit untuk diinjeksi sehingga atomisasi bahan bakar menjadi tidak optimal.

e) *Sulphur Content*

Sulphur content atau kandungan belerang dalam bahan bakar dari hasil penyulingan sangat tergantung pada asal minyak mentah yang akan diolah. Keberadaan belerang tidak diharapkan karena sifatnya merusak yaitu apabila oksida belerang bereaksi dengan air merupakan bahan yang korosif terhadap logam di ruang bakar. Selain itu menimbulkan polusi lingkungan akibat oksidasi belerang dengan oksigen selama proses pembakaran.

f) *Octane Number*

Octane Number adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan. Nama octane berasal dari octana (C₈) karena dari seluruh

molekul penyusun besin, octana memiliki sifat kompresi paling bagus.

g) Calorific Value

Calorific value atau nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor dinyatakan dalam 2 ukuran besaran, yaitu nilai kalor atas, NKA (jika air hasil pembakaran dalam phase cair) dan nilai kalor bawah, NKB (jika air hasil pembakaran dalam phase uap). Besarnya nilai kalor atas diuji dengan *bomb calorimeter*, dan nilai kalor bawah dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{NKB} = \text{NKA} - \left(\frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{sample}}} \times \text{LH} \right)$$

h) Carbon Residue

Banyaknya deposit atau kerak pada dinding ruang bakar mengindikasikan tingginya kandungan *carbon residue* suatu bahan bakar. *Carbon residue* atau residu karbon dalam ruang pembakaran dapat mengurangi kinerja mesin, karena pada suhu tinggi karbon ini dapat membara sehingga menaikkan suhu ruang bakar.

2.1.2 Pertamina Turbo

Pertamax turbo adalah bahan bakar untuk mesin bensin hasil pengembangan Pertamina dan Lamborghini yang dirancang untuk memenuhi persyaratan mesin berteknologi tinggi. Pertama kali pertamax turbo diluncurkan di Belgia pada Lamborghini Supertrofeo European Series pada Juli 2016 kemudian pada tahun yang sama diluncurkan di Indonesia pada acara Gaikindo Indonesia International Auto Show (GIIAS) 2016 (Wikipedia, n.d.). Berikut merupakan spesifikasi dari pertamax turbo sebagai berikut.

Tabel 2.1 Properties Pertamina Turbo

No.	Karateristik	Unit	Batasan	
			Min	Maks
1	Bilangan Oktana Riset	RON	98	-
2	Stabilitas Oksidasi	Menit	480	-
3	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0.05
4	Kandungan Timbal (Pb)	gr/liter	-	0.013
5	Kandungan Fosfor	mg/l	-	-
6	Kandungan Logam	mg/l	-	-
7	Kandungan Silikon	mg/kg	-	-
8	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2.7
9	Kandungan Olefin	% v/v	-	-
10	Kandungan Aromatik	% v/v	-	40.0
11	Kandungan Benzena	% v/v	-	5.0
12	Distilasi			
	10% vol. penguapan	°C	-	70
	50% vol. penguapan	°C	77	110
	90% vol. penguapan	°C	130	180
	Titik Didih Akhir	°C	-	205
	Residu	% v/v	-	2.0
13	Sedimen	mg/l	-	1
14	Tekanan Uap	KPa	45	60
15	Berat Jenis	kg/m ³	715	770
16	Korosi Bilah Tembaga	Merit	Kelas 1	D 130
17	Warna		Merah	-

(Sumber: <https://www.pertamina.com/industrialfuel/media/24240/pertamaxturbo.pdf>)

2.1.3 Bahan Bakar Bioetanol

Bioetanol adalah salah satu energi berkelanjutan yang berasal dari tumbuhan. Berdasarkan bahan bakunya bioetanol dibagi menjadi 2 jenis yaitu bioetanol generasi pertama dan bioetanol generasi kedua. Bioetanol generasi pertama berasal dari bahan baku pangan yang mengandung pati. Bahan baku yang berasal dari bahan baku pangan mengakibatkan terjadi persaingan antara kebutuhan pangan dan kebutuhan energi sehingga

penggunaan bioetanol generasi pertama perlu ditekan. Bioetanol generasi kedua berasal dari limbah biomassa..

Bioetanol termasuk dalam rantai tunggal, dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O . Bioetanol sering disingkat menjadi EtOH, dimana “Et” merupakan singkatan dari gugus etil (C_2H_5). Bioetanol dibuat dari proses fermentasi. Bioetanol merupakan cairan tak berwarna, memiliki aroma yang khas dan mudah larut dengan air. Pada tahun 1990 bioetanol sudah mulai digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan karena selain mempunyai karakteristik yang hampir sama (Praptijanto, et al., 2014) berada pada harga 29.710 kJ/kg, sedangkan untuk nilai kalor bawah (LHV) adalah 26.850 kJ/kg. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar belum seratus persen hal ini disebabkan karena sifat bioetanol yang mudah larut dengan air menimbulkan sifat korosif terhadap material komponen mesin.

Tabel 2.2 Properties Bioetanol

No.	Properties	Bioetanol
1	Formula Kimia	C_2H_5OH
2	Berat Molekul	46.07
3	Komposisi , % berat	
	Carbon	52.2
	Hidrogen	13.1
	Oksigen	34.7
4	<i>Specific Gravity</i> , 60 ⁰ F/60 ⁰ F	0.796
5	<i>Density</i> , lb/gal pada 60 ⁰ F	6.61
6	Titik Didih, ⁰ C	78
7	Viskositas, cP pada 20 ⁰ C	1.2

Bioetanol mejadi sangat menarik karena dapat diperbarui, bersumber dari bio-based material dan mengandung oksigen sehingga berpotensi mengurangi emisi partikel pada pembakaran dan warna nyala apinya bewarna biru.

Tabel 2.3 Perbandingan Bioetanol dengan *Gasoline*

Fuel Properties	Bioetanol	Gasoline
<i>Chemical Formula</i>	C ₂ H ₅ OH	mC _n H _{2n}
<i>Boiling Point, °C @ 1 bar</i>	78	30-225
<i>Research octane nu.</i>	111	90-98
<i>Density, g/mL</i>	0,796	0,7449
<i>Stoichiometric A/F, mass</i>	8,94	15,04
<i>Flammability limit in air vol%</i>	3,5-26	1,4-7,6
<i>Adiabatic Flame Temp, Kelvin</i>	2197	2266
<i>Auto-Ignition temperature, Kelvin</i>	792	753
<i>Molecular Weight</i>	46	112
<i>Latent heat of vaporization, kcal/kg</i>	204	70-100
<i>Flame Velocity, cm/s</i>	48	43
<i>Lower Heating Value, MJ/kg</i>	26,8	44,5

Berdasarkan kandungan kemurniannya dan aromanya, bioetanol dapat digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu :

a) ***Tertia Bioetanol, 90-94%***

Dalam jenis ini tidak diperdulikan kemurniannya. Bahan lainnya sama sekali tidak dipisahkan sehingga fusel oil juga diikutkan. Tidak ada standard minimum konsentrasi, biasanya antara 90-94%

b) ***Edible Bioetanol, 96%***

Merupakan jenis bioetanol yang diproduksi di Indonesia. Bioetanol ini tidak boleh diminum karena kadar mbioetanol dan impurities lain lebih tinggi daripada *prima bioetanol* 96%. Disamping itu edible bioetanol memiliki aroma yang tidak soft dan netral.

c) ***Prima Bioetanol, 96%***

Jenis bioetanol yang sering digunakan di bidang industry farmasi dan kosmetik. Memiliki aroma yang soft dan netral. Bahan campuran lainnya seperti *acetaldehyde*, *ester*, *mbioetanol*, *fusel oil* dan asam dipisahkan sehingga hanya sedikit sekali dalam hitungan ppm.

d) *Fuel Grade Bioetanol, 99.5%*

Jenis bioetanol ini dipakai untuk campuran bahan bakar. Campuran bioetanol dengan bahan bakar bensin mampu meningkatkan nilai RON.

e) *Absolute Medical Bioetanol, 99.9%*

Bioetanol jenis ini memiliki kemurnian yang tinggi karena dalam proses pemisahannya sisa air, sisa mbioetanol dan impurities lain juga ikut terpisahkan. Bermula dari *prima bioetanol* 96% dimana sisa airnya dipisahkan lagi sehingga mencapai konsentrasi 99.9%.

f) *Absolute Bioetanol, 99.9%*

Jenis bioetanol ini dipakai sebagai pelarut (*solvent*) di bidang industry seperti pelarut cat, tinta printer dan lain-lain.

2.1.4 Pembuatan Bioetanol

Proses pembuatan bioetanol dapat digolongkan menjadi 2 cara yaitu sintesis kimia dan fermestasi. Pada sintesis kimia terbagi atas 2 jenis proses yaitu proses *indirect hydration* dan proses *direct hydration*. Pada proses sintesis kimia pembuatan bioetanol memanfaatkan reaksi gas etilen dan uap air. Sedangkan pembuatan bioetanol dengan metode fermentasi memanfaatkan limbah biomassa atau bahan baku pangan.

a) Proses *Indirect Hydration*

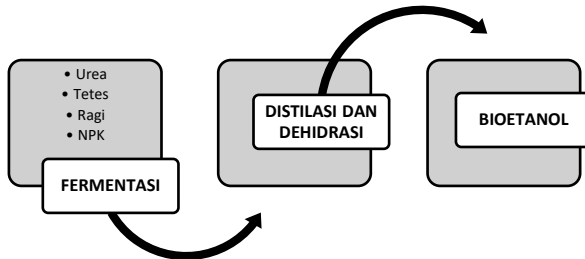
Pembuatan bioetanol melalui proses *indirect hydration* bisa juga disebut *esterification hydration*. Proses ini menggunakan gas etilen sebagai bahan baku yang direaksikan dengan asam sulfat pekat (H_2SO_4). Metode ini jarang digunakan karena membutuhkan biaya yang sangat mahal, konsumsi energi yang sangat besar dan rawan terhadap korosi akibat penggunaan asam sulfat.

b) Proses *Direct Hydration*

Pembuatan bioetanol melalui proses *direct hydration* bisa juga disebut *catalytic hydration*. Proses ini menggunakan bahan baku berupa gas etilen direaksikan dengan air dengan menggunakan katalis H_3PO_4 yang bereaksi pada suhu 250-

300°C pada tekanan 6-8 MPa. Proses ini jarang digunakan karena membutuhkan biaya yang besar untuk pembelian katalis, membutuhkan energi yang besar karena hanya dapat bereaksi dengan suhu tinggi yaitu 250-300°C.\

c) Proses Fermentasi



Gambar 2.1 Proses Fermentasi

Fermentasi adalah proses produksi energi dalam sel dalam keadaan *anaerobic* (tanpa oksigen). Pada proses yang ditunjukkan pada gambar 2.2, bioetanol diproduksi dari bahan yang mempunyai kandungan gula seperti tetes tebu, ubi kayu dan lain-lain. Dengan proses fermentasi menggunakan yeast untuk mengubah gula menjadi alcohol.

2.2 Dasar Teori Pembakaran

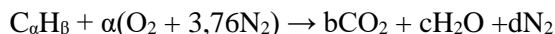
Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas dan cahaya. Bahan bakar akan terbakar sempurna hanya jika ada pasokan oksigen (O_2) yang cukup. Jumlah oksigen mencapai 20,9% dari udara, dan sebanyak hampir 79% merupakan nitrogen (N_2) dan sisanya adalah elemen lain.

Nitrogen sendiri mempunyai fungsi sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen dapat bergabung dengan oksigen terutama pada suhu nyala yang tinggi untuk

menghasilkan oksida nitrogen yang merupakan pencemar udara yang beracun. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida, dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2,430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk CO₂ akan menghasilkan lebih banyak panas per satuan bahan bakar daripada bila menghasilkan CO atau asap.

2.2.1 Perhitungan Stokiometri Kebutuhan Udara

Jika ketersediaan oksigen untuk reaksi oksidasi mencukupi, maka bahan bakar hidrokarbon akan dioksidasi secara menyeluruh, yaitu karbon dioksidasi menjadi karbon dioksida (CO₂) dan hidrogen dioksidasi menjadi uap air (H₂O). Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran stoikiometri dan selengkapnya persamaan reaksi kimia untuk pembakaran stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon (C_αH_β) dengan udara dituliskan sebagai berikut :

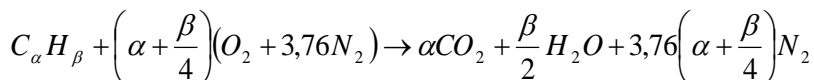


Kesetimbangan C : $\alpha = b$ Kesetimbangan H : $\beta = 2c \rightarrow c = \beta / 2$

Kesetimbangan O : $2a = 2b + c \rightarrow a = b + c/2 \rightarrow a = \alpha + \beta / 4$

Kesetimbangan N : $2(3,76)a = 2d \rightarrow d = 3,76a \rightarrow d = 3,76(\alpha + \beta / 4)$

Substitusi dari persamaan kesetimbangan di atas ke dalam persamaan reaksi pembakaran C_αH_β menghasilkan persamaan sebagai berikut :



Sehingga didapatkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stoikiometri adalah :

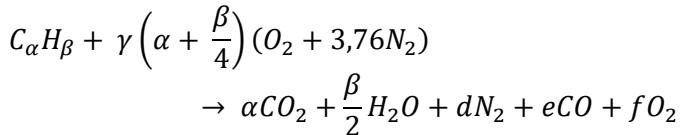
$$m_{O_2} = \frac{m_{\text{atom}}O_2}{m_{\text{mol}}C_{\alpha}H_{\beta}} \times \text{persentase } C_{\alpha}H_{\beta} \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

Stokiometri massa berdasarkan rasio udara dan bahan bakar sendiri untuk bahan bakar hidrokarbon didapatkan :

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{air}}{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{fuel}} = \frac{\left(\alpha + \frac{\beta}{4}\right) \bar{M}_{O_2} + 3,76 \left(\alpha + \frac{\beta}{4}\right) \bar{M}_{N_2}}{\alpha \bar{M}_C + \beta \bar{M}_H}$$

2.2.2 Pembakaran Non Stokiometri

Dalam aplikasinya, mekanisme pembakaran dituntut dapat berlangsung secara cepat sehingga sistem-sistem pembakaran dirancang dengan kondisi udara berlebih (Heywood, 1988). Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kekurangan udara akibat tidak sempurnanya proses pencampuran antara udara dan bahan bakar. Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran non stoikiometri dan selengkapnya persamaan reaksi kimia untuk pembakaran non stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon ($C_\alpha H_\beta$) dengan udara dituliskan sebagai berikut:



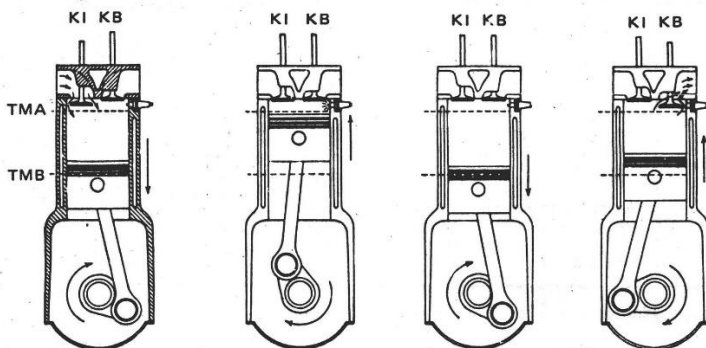
- Pembakaran dengan komposisi campuran stoikiometri
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dengan kehilangan panas yang minimum. Hasil pembakaran berupa CO_2 , uap air, dan N_2 .
- Pembakaran dengan komposisi campuran miskin
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum tetapi diikuti dengan bertambahnya kehilangan panas karena udara berlebih. Hasil pembakaran berupa CO_2 , uap air, O_2 dan N_2 .
- Pembakaran dengan komposisi campuran kaya

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang kurang maksimum karena ada bahan bakar yang belum terbakar. Hasil pembakaran berupa HC, CO, CO₂, H₂O, dan N₂. Sedangkan fraksi karbon terbentuk dari reaksi sekunder antara CO dan H₂O.

2.3 Dasar Teori Mesin Bensin

2.3.1 Pembakaran pada Mesin Bensin

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



Gambar 2.2 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

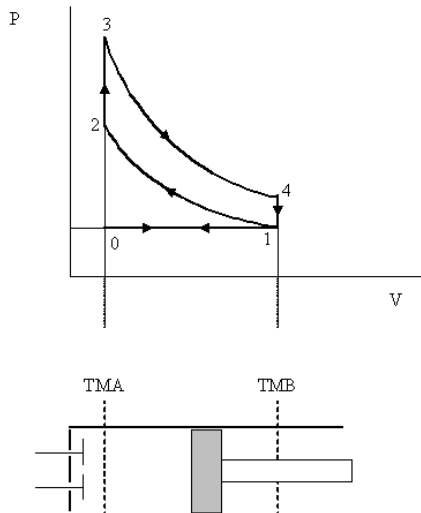
Pada langkah ini mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan atau mobil. Sesaat sebelum torak sampai di Titik Mati Atas pada saat langkah kompresi, busi memercikkan bunga api pada campuran udara dan bahan bakar yang telah dikompresi tadi. Sehingga bahan bakar akan terbakar dan menimbulkan 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 ke titik mati atas, pada saat ini katup buanglah yang membuka sedangkan katup 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*), keadaan ini berfungsi sebagai langkah pembilasan (campuran udara bahan bakar baru mendorong gas sisa hasil pembakaran).

2.3.2 Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah

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



Gambar 2.3 Diagram P-V Motor Bensin 4 Langkah

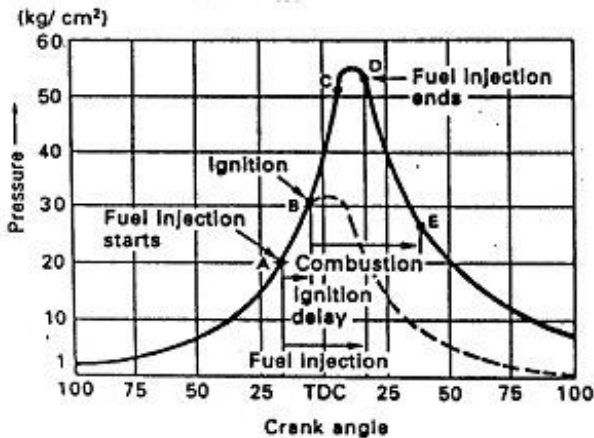
- Proses 0-1, piston bergerak dari TMA ke TMB, posisi katup masuk terbuka dan katup keluar tertutup, mengakibatkan udara dan campuran bahan bakar terhisap masuk ke dalam ruang bakar.
- Proses 1-2, piston bergerak dari TMB ke TMA, posisi katup masuk dan keluar tertutup, mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar dalam ruang bakar terkompresi. Posisi katup hisap dan katup buang tertutup. Langkah ini akan dapat menaikkan tekanan pada ruang bakar yang telah terisi udara dan bahan bakar.
- Proses 2-3, merupakan proses pembakaran bahan bakar dimana terjadi beberapa saat sebelum langkah akhir kompresi. Beberapa saat sebelum piston sampai pada posisi TMA, waktu penyalaan (timing ignition) campuran udara dan bahan bakar

terjadi ditandai dengan berupa nyala busi. Akibat dari proses ini tekanan dan temperatur pada ruang bakar meningkat.

- Proses 3-4, gas yang terbakar dalam ruang bakar akan meningkatkan tekanan dalam ruang bakar, mengakibatkan piston terdorong dari TMA ke TMB. Langkah ini adalah proses yang akan menghasilkan tenaga.
- Proses 4-0, piston bergerak dari TMB ke TMA, posisi katup masuk tertutup dan katup keluar terbuka, mendorong sisa gas pembakaran menuju ke katup keluar yang sedang terbuka untuk diteruskan ke lubang pembuangan.

2.3.3 Proses Pembakaran Motor Bensin 4 Langkah

Pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar pada motor bensin terjadi dari beberapa tahapan sebagai berikut.



Gambar 2.4 Diagram P-θ Motor Bensin 4 Langkah

Tahap pertama disebut ignition lag, merupakan fase persiapan yang mana terjadi pertumbuhan dan perkembangan dari inti api. Tahapan ini bergantung sepenuhnya pada sifat alami bahan bakar, seperti temperatur, tekanan, gas buang, dan laju percepatan oksidasi di dalam ruang bakar. Ignition lag terjadi saat kompresi

berlangsung dan pada grafik ditunjukkan pada garis A-B. Garis tersebut dinamakan garis kompresi.

Tahap kedua disebut *propagation of flame*, dimana terjadi perubahan temperatur, tekanan, sifat bahan bakar akibat oksidasi. Perubahan tekanan terjadi di sepanjang garis pembakaran, garis B-C. Pada grafik diatas, titik C menandakan telah selesainya perjalanan api. Namun pembebasan panas dari bahan bakar masih berlangsung meskipun tidak memberikan kenaikan dalam silinder karena saat itu telah terjadi proses ekspansi. Oleh karena itu tahapan ini dikenal dengan nama pembakaran lanjut (*after burning*).

2.3.4 Unjuk Kerja Mesin

Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari mesin bensin (Heywood, 1988), antara lain:

a.) 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.

b.) Power (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.

c.) Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*)

Konsumsi bahan bakar (*fuel consumption*) merupakan banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin selama satuan waktu tertentu. Sedangkan, *sfc* (*specific fuel consumption*) merupakan jumlah konsumsi bahan bakar mesin selama satuan waktu tertentu untuk menghasilkan satu daya efektif. Karena perhitungan *sfc* didasarkan pada *bhp* (*brake horse power*) maka disebut *bsfc* (*brake specific fuel consumption*).

Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar m (kg) dalam waktu s (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar bhp (hp), maka pemakaian bahan bakar per jam (\dot{m}_{bb}) adalah :

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\dot{m}_{BB}}{s} \left(\frac{kg}{detik} \right)$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{3600 \cdot \dot{m}_{BB}}{s} \left(\frac{kg}{jam} \right)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$SFC = \frac{3600 \cdot \dot{m}_{BB}}{bhp} \left(\frac{kg}{kWh} \right)$$

d.) Efisiensi Thermal (η_{th})

Besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam dinyatakan dalam efisiensi termal (η_{th}). Setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sehingga efisiensi termal yang dihasilkan juga akan berbeda pula. Secara teoritis efisiensi termal bahan bakar dinyatakan dalam persamaan :

$$\eta_{Thermal} = \frac{bhp}{\dot{m}_{BB} \cdot Q} \times 100\%$$

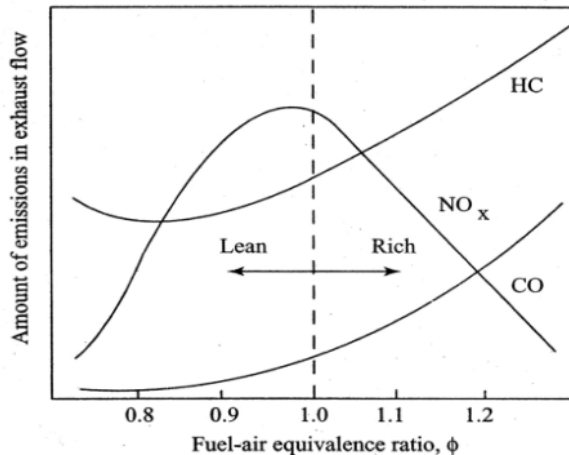
\dot{m}_{BB} merupakan laju aliran bahan bakar (kg/s) dan Q nilai bahan bakar. Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. Nilai kalor bawah (NKB) atau *lower heating value* (LHV) dapat dinyatakan dengan rumus empiris (untuk bahan bakar bensin) sebagai berikut:

$$LHV = [16280 + 60(API)]$$

Dimana : 1 Btu/lb = 2,326 kJ/kg

$$1 \text{ kJ/kg} = \left[\frac{1}{4187} \right] \text{ kkal/kg}$$

2.3.5 Emisi Gas Buang



Gambar 2.5 Emisi Gas Buang terhadap Air Fuel Equivalence Ratio

Dari Gambar 2.5 dapat diketahui mekanisme terbentuknya polutan pada ruang bakar dan pengaruh *equivalent ratio* terhadap emisi gas buang. Penyebab utama dari terbentuknya polutan ini adalah karena pembakaran yang tidak sempurna dalam ruang bakar, sehingga menghasilkan deposit hidrokarbon di antara silinder dengan dinding ruang bakar. Gas NO terbentuk ketika temperatur tinggi, sedangkan gas CO juga terbentuk ketika temperatur tinggi dan bahan bakar lebih kaya dari pada udara. Sedangkan *equivalent ratio* semakin besar (campuran kaya) maka akan menghasilkan gas CO dan hidrokarbon lebih besar dari pada campuran miskin. Dari kedua jenis polutan diatas yang sering jadi perhatian adalah polutan primer, meskipun polutan sekunder tidak bisa dianggap ringan. Berikut ini adalah penjelasan tentang beberapa polutan primer.

a) *Hydrocarbon* (HC)

Hidrokarbon terjadi dari bahan bakar yang tidak terbakar langsung keluar menjadi gas mentah, dan dari bahan bakar terpecah menjadi reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang lain, yang keluar bersama gas buang. Sebab terjadinya *hydrocarbon* (HC) adalah karena tidak mampu melakukan pembakaran, penyimpanan dan pelepasan bahan bakar dengan lapisan minyak, penyalaan yang tertunda, disekitar dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dan karena adanya *overlap valve*, sehingga HC dapat keluar saluran pembuangan.

b) Karbon Monoksida (CO)

Gas karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau pada suhu diatas titik didihnya dan mudah larut dalam air. Pembakaran yang normal pada motor bensin akan membakar semua hidrogen dan oksigen yang terkandung dalam campuran udara dan bahan bakar. Akan tetapi dalam pembakaran yang tidak normal, misalnya pembakaran yang kekurangan oksigen, akan mengakibatkan CO yang berada di dalam bahan bakar tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang.

2.4 Kendaraan Bertenaga Listrik

2.4.1 Definisi

Kendaraan bertenaga listrik adalah kendaraan yang digerakkan menggunakan motor listrik. Motor listrik tersebut menghasilkan energi listrik yang disimpan dalam baterai ataupun tempat penyimpanan energi lainnya. Kendaraan bertenaga listrik pertama dibuat di Jerman pada tahun 1989 oleh Dr. Ferdinand Porsche dengan menggunakan *internal combustion engine* (ICE) untuk memutar generator yang terhubung dengan motor listrik. Mobil tersebut dapat digerakkan menggunakan bantuan bahan bakar dan listrik. Pada 1903, Krieger Company mengembangkan kendaraan bertenaga listrik menggunakan gasoline engine untuk mensuplai daya ke motor listrik. Menurut Chris Mi (2011), kendaraan bertenaga listrik sendiri dapat dikategorikan menjadi 4 jenis yaitu EV (*Electric Vehicle*), FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*), HEV (*Hybrid Electric Vehicle*), dan PHEV (*Plug In Hybrid Electric Vehicle*).

2.4.2 EV (*Electric Vehicle*)

Electric Vehicle atau lebih sering disingkat EV merupakan kendaraan bertenaga listrik yang hanya memiliki satu sumber energi. EV adalah kendaraan yang secara keseluruhan menggunakan 100% listrik dengan sumber yang berasal dari baterai. Pada EV, motor mampu menghasilkan torsi sehingga tidak dibutuhkan bantuan flywheel seperti kendaraan ICE.

2.4.3 FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*)

Jika EV menggunakan baterai sebagai sumber daya, FCEV menggunakan system *fuel cell* sebagai sumber energi. Energi kimia yang bersumber dari fuel cell berasal dari gas hydrogen sebagai pengganti bahan bakar

2.4.4 HEV (*Hybrid Electric Vehicle*)

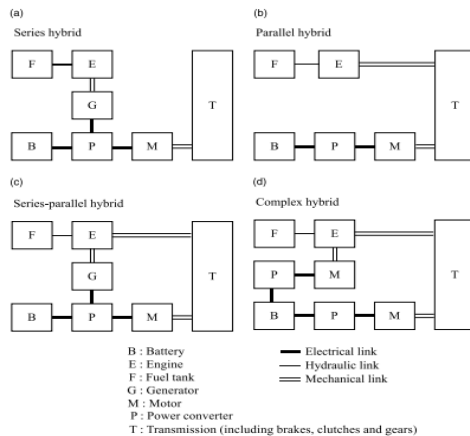
Hybrid adalah sebuah kendaraan yang memiliki 2 atau lebih sumber penggerak kendaraan. Sebuah *hybrid system* kendaraan memiliki 2 komponen utama, yang pertama adalah tempat penyimpanan energi seperti baterai dan sebuah alat untuk mentransfer energi listrik tersebut menjadi energi kinetis yang

dapat menggerakkan kendaraan seperti motor listrik. Motor listrik ini juga digunakan untuk merubah energi kinetik menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian akan disimpan dalam baterai yang kemudian akan diubah menjadi energi kimia potensial.

2.4.5 PHEV (*Plug-In Hybrid Electric Vehicle*)

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

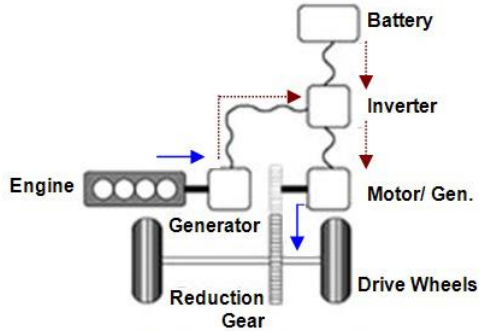
2.5 Klasifikasi Kendaraan Hybrid Berdasarkan *Powertrain*



Gambar 2.6 Klasifikasi Kendaraan Hybrid

Berdasarkan powertrain, kendaraan hybrid terbagi atas 3 jenis yaitu *series hybrid*, *parallel hybrid* dan *series-parallel hybrid*.

2.5.1 Series Hybrid

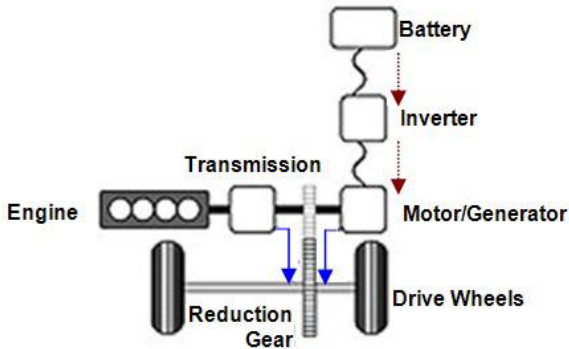


Gambar 2.7 Series Hybrid

Pada kendaraan ini mesin sebagai sumber tenaga dihubungkan secara seri dengan motor listrik sebagai tenaga penggerak kendaraan, seperti pada gambar 2.7. Tenaga yang dihasilkan mesin digunakan untuk menggerakkan generator yang menghasilkan tenaga listrik yang kemudian digunakan untuk menggerakkan motor listrik yang berfungsi sebagai penggerak dari kendaraan. Tenaga dari motor listrik ditransmisikan melalui system transmisi untuk menggerakkan kendaraan. Torsi dari motor listrik ditransmisikan dan dikonversikan oleh system transmisi menjadi gaya dorong pada roda penggerak. Jika tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan kecil, maka sebagian tenaga listrik yang dihasilkan dari mesin dan generator dapat digunakan untuk mengisi baterai. Sistem pada gambar 2.7 dapat dilengkapi dengan system pengendali otomatis sehingga dapat mengendalikan penggunaan energi yang lebih efisien dan efektif. Jika tenaga listrik yang dapat dihasilkan oleh baterai mencukupi untuk menggerakkan kendaraan maka mesin dapat dimatikan secara otomatis sistem pengendali. Pada saat percepatan atau kecepatan tinggi, dimana

kendaraan membutuhkan tenaga yang besar, melebihi dari tenaga yang dapat diberikan oleh mesin, maka tenaga dari baterai dapat membantu untuk mensuplai listrik pada motor listrik.

2.5.2 *Parallel Hybrid*

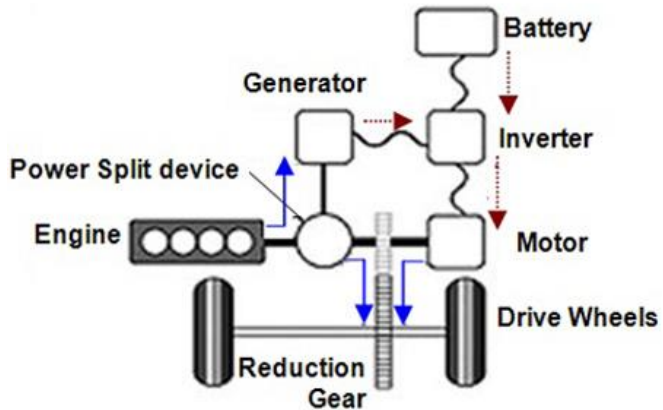


Gambar 2.8 *Parallel Hybrid*

Pada kendaraan ini terdapat dua tenaga penggerak yaitu mesin dan motor listrik, yang mana kedua tenaga penggerak tersebut dihubungkan secara paralel untuk menggerakkan kendaraan. Pada kendaraan ini, karena ia menggunakan system penggerak hybrid paralel, maka ukuran dari mesin dan motor listrik yang dipakai dapat berkurang secara signifikan dibandingkan dengan yang dipakai pada system seri, namun jumlah baterai yang dibutuhkan akan bisa meningkat. Pada kendaraan ini tidak dibutuhkan generator untuk mengubah energi mekanik dari mesin menjadi energi listrik, tetapi ia membutuhkan kopling mekanik untuk dapat menggabungkan energi mekanik dari mesin ICE (*internal combustion engine*) dan motor listrik. Skema aliran energi dalam penyalur daya dari kendaraan hybrid engine-electric dengan system paralel ditunjukkan pada gambar 2.8. kendaraan dengan system hybrid paralel seperti gambar 2.8 memberi peluang untuk bisa mengisi baterai dari sumber tenaga luar pada saat

kendaraan berhenti. Cara pengisian luar tersebut dapat mengurangi beban mesin pada saat operasi, karena lebih sedikit tenaga mesin yang digunakan untuk mengisi baterai.

2.5.3 *Series-Parallel Hybrid*



Gambar 2.9 *Series-Parallel Hybrid*

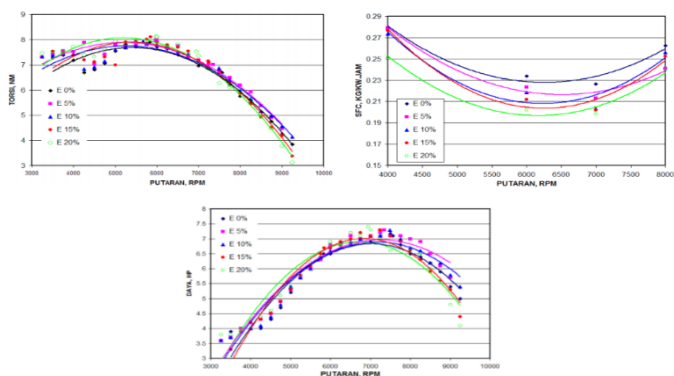
Kendaraan dengan tenaga system *hybrid* seri-paralel adalah kendaraan yang dapat dioperasikan dengan sistem tenaga *hybrid* seri dan juga dapat dengan sistem tenaga *hybrid* paralel. Pengembangan sistem ini dimaksudkan dapat mengambil keunggulan dari sistem *hybrid* seri serta keunggulan dari sistem *hybrid* paralel. Pada kendaraan ini ukuran dan tenaga mesin ICE (*internal combustion engine*) dan tenaga motor listrik dapat lebih kecil dari sistem seri dengan tenaga total yang dihasilkan lebih besar. Disamping itu mode operasinya bisa lebih banyak dibandingkan sistem *hybrid* seri maupun sistem *hybrid* paralel, skema aliran dan pengaturan energi dari sistem *hybrid* seri-paralel dapat dilihat pada gambar 2.9. Komponen pokok dari kendaraan jenis ini lebih banyak daripada kendaraan berjenis *hybrid* paralel dan *hybrid* seri, pada sistem *hybrid* seri-paralel dibutuhkan

komponen pembagi daya untuk dapat mengatur tenaga menjadi sistem seri atau sistem paralel sesuai dengan kebutuhan operasi. karena mode operasinya bisa lebih banyak dan lebih memungkinkan mengatur penggunaan energinya menjadi lebih efisien dan efektif, maka dibutuhkan sistem pengendalian yang lebih rumit dibanding system *hybrid* seri maupun *hybrid* paralel.

2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan peneliti terdahulu berkaitan dengan campuran bahan bakar premium dengan bioetanol antara lain.

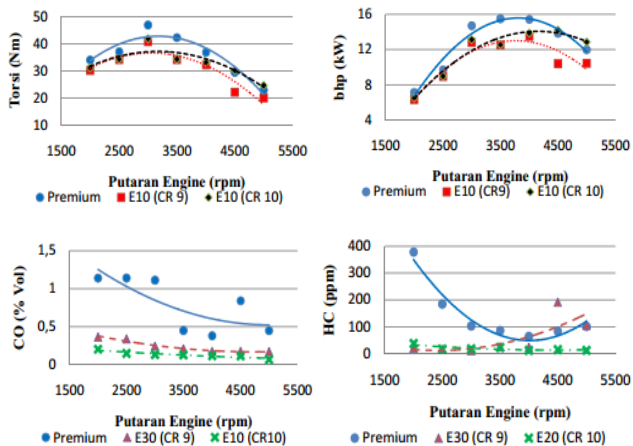
- a. Penelitian yang telah dilakukan Winarno (2011), yaitu pengaruh penambahan bioetanol pada bahan bakar pertamax terhadap unjuk kerja motor bensin dengan variasi campuran E5, E10, E15 dan E20 (Winarno , 2011). Hasil penelitiannya adalah sebagai berikut.



Gambar 2.10 Hasil Penelitian Winarno dkk

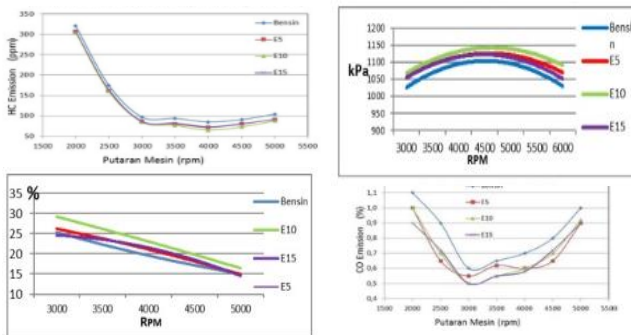
- Putaran rendah hingga menengah terjadi kenaikan torsi dan daya oleh mesin di semua jenis bahan bakar campuran. Torsi dan daya terbesar diperoleh di E20
- Pada putaran tinggi (>7000 rpm), torsi dan daya mengalami penurunan.

- Nilai SFC mengalami penurunan terbesar pada E20
- Penelitian dilakukan Kurniawan dkk (2014) dengan bahan bakar campuran bioetanol pada mesin *Champion Generator*, daya, sfc, torsi dan rpm pada beberapa variasi campuran bahan bakar mengalami kenaikan (Kurniawan, et al., 2014).
 - Penelitian yang dilakukan Widagdo dan Sudarmanta (2013) dengan menggunakan mesin bensin empat langkah 2 silinder 650cc dengan variasi campuran bioetanol sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% diperoleh hasil performa mesin yang paling baik terjadi pada campuran Premium dan 15% bioetanol dengan torsi dan bmep maksimum sebesar 47,585 N.m dan 928,056 kPa pada 3000 rpm, daya dan efisiensi thermal optimal sebesar 16,985 kW dan 37,005% pada 3500rpm. Serta terjadi penurunan emisi gas buang CO dan HC yang signifikan (Wigdado & Sudarmanta, 2015).



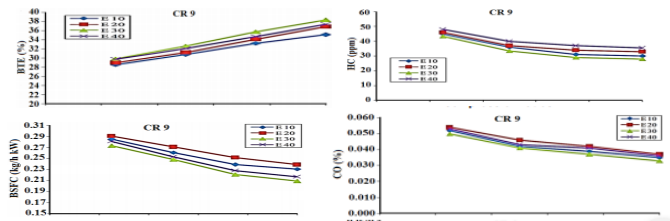
Gambar 2.11 Hasil Penelitian Wigdado dan Sudarmanta

- d. Penelitian dari Winanda dan Sudarmanta (2016) dimana campuran bensin dan bioetanol diujikan pada motor bensin 1497 cc dengan variable speed test 3000 hingga 6000 rpm dan mengamati durability dari engine berbahan bakar campuran bensin dan bioetanol setelah dilakukan uji jalan sejauh 5000 km. Didapatkan hasil dimana terjadi kenaikan terbaik pada torsi, daya dan bmep pada bahan bakar E10 masing-masing 4,2%, 2,96%, dan 2,72%. Penurunan emisi HC dan CO terbaik pada E10 masing-masing 11,79% dan 15,3 % . Sementara itu dari pengujian durability, penambahan bioetanol tidak mempengaruhi kondisi operasional mesin baik temperatur, tarikan maupun penyalaan mesin pada kondisi dingin.



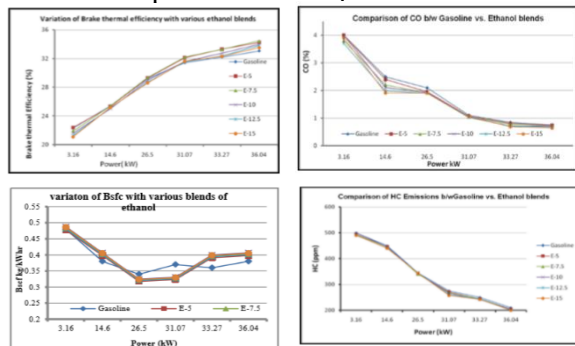
Gambar 2.12 Hasil Penelitian Winanda dan Sudarmanta

- e. Penelitian dari Narayanan Geetha dkk (2019) menggunakan campuran bioetanol pada kadar E10, E20, E30 dan E40 pada mesin satu silinder yang terkoneksi dengan eddy current dynamometer. Pada penelitian ini dilakukan variasi beban load cell dari 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil penelitian didapatkan bahwa campuran bioetanol-gasoline menaikkan nilai BSFC, sedangkan nilai BTE mengalami kenaikan pula seiring kenaikan kadar bioetanol. Nilai emisi HC dan CO mengalami penurunan.



Gambar 2.13 Hasil Penelitian Narayanan Geetha dkk

- f. Pal (2014) meneliti tentang efek campuran bioethanol dengan bahan bakar bensin terhadap performa dan emisi yang dihasilkan *spark ignition engine*. Variasi bahan bakar campuran yang diuji dari E5, E7.5, E10, E12.5, dan E15 yang dibandingkan terhadap bensin. Pengujian menggunakan *Maruti Suzuki 4-cylinder* yang diuji dengan *eddycurrent chassis dynamometer*. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan bahwa kandungan oksigen yang ada di dalam bioethanol menjadi faktor utama terjadinya kenaikan daya dan nilai efisiensi thermal. Besar emisi CO dan HC yang dihasilkan lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar bensin akibat pembakaran yang dihasilkan bahan bakar campuran lebih sempurna.



Gambar 2.14 Hasil Penelitian Pal dkk

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI

3.1 Metodologi Penelitian

Pengujian dilakukan secara ekperimental pada mobil Toyota Prius *Plug In Hybrid Electric Vehicle* (PHEV), Toyota Prius *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) dan Toyota Corolla Altis. Toyota Prius *Plug In Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) dan Toyota Prius *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) dalam mode *maintenance mode*. Pengujian dilakukan pada mobil sebagai alat uji dengan menggunakan *eddycurrent dynamometer*. Metode yang digunakan adalah *full throttle* variabel *speed* dengan menambahkan bioetanol *fuel grade* 99,5 % pada bahan bakar pertamax turbo pada variasi E0, E5, E10, E15, dan E20 pada kendaraan uji. Pengujian dilakukan di Workshop Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi Gedung Teknik Mesin ITS.

3.2 Peralatan Eksperimen

3.2.1 Alat Uji

Alat uji yang digunakan adalah sebagai berikut :

- 1. Toyota Prius *Hybrid Electric Vehicle***



Gambar 3.1 Toyota Prius *Hybrid Electric Vehicle*

- Merk : Toyota
- Tipe Mobil : Hybrid Electric Vehicle
- Tipe Engine : in-line 4 silinder
- Kapasitas : 1,798 cc
- Daya Output Maksimal : 72/5200 (kw/rpm)
- Torsi Maksimal : 142/3600 (Nm/rpm)
- Transmisi : CVT
- Top Speed : 180 km/h
- Konsumsi Bahan Bakar : 27 km/liter
- Kapasitas Tangki : 43 liter
- Bore x Stroke : 80.5 x 88.3
- Compression Ratio : 13 : 1
- Panjang Kendaraan : 4,540 mm
- Lebar Kendaraan : 1,760 mm
- Tinggi Kendaraan : 1,470 mm
- Wheelbase : 2,700 mm
- Berat Kotor Kendaraan : 1,775 kg
- Radius Belok Minimum : 5.5 m
- Front Over Hang : 950 mm
- Rear Over Hang : 890 mm
- Ground Clearance : 123
- Suspensi Depan : Macpherson Strut
- Suspensi Belakang : Double Wishbone
- Rem Depan : Ventilated Disc
- Rem Belakang : Solid Disc
- Ban : 195/65 R15

2. *Toyota Prius Plug In Hybrid Electric Vehicle*



Gambar 3.2 *Toyota Prius Plug-In Hybrid Electric Vehicle*

- Merk : Toyota
- Tipe Mobil : Plug-In Hybrid Electric
- Tipe Engine : in-line 4 silinder,
- Kapasitas : 1,798 cc
- Daya Output Maksimal : 72/5200 (kw/rpm)
- Torsi Maksimal : 142/3600 (Nm/rpm)
- Transmisi : CVT
- Top Speed : 160 km/h
- Konsumsi Bahan Bakar : 27.5 km/liter
- Kapasitas Tangki : 43 liter
- Compression Ratio : 13 : 1
- Bore x Stroke : 80.5 x 88.3
- Panjang Kendaraan : 4,655 mm
- Lebar Kendaraan : 1,770 mm
- Tinggi Kendaraan : 1,480 mm
- Wheelbase : 2,700 mm
- Berat Kotor Kendaraan : 1,855 kg
- Radius Belok Minimum : 5 m
- Front Over Hang : 970 mm
- Rear Over Hang : 985 mm
- Ground Clearance : 140

- Suspensi Depan : Macpherson Strut
- Suspensi Belakang : Double Wishbone
- Rem Depan : Ventilated Disc
- Rem Belakang : Solid Disc
- Ban : 195/65 R15

3. Toyota Corolla Altis Grande



Gambar 3.3 Toyota Corolla Altis Grande

- Merk : Toyota
- Tipe Mobil : ICE
- Tipe Engine : in-line 4 silinder
- Kapasitas : 1,798 cc
- Daya Output Maksimal : 103/6400 (kw/rpm)
- Torsi Maksimal : 173/4000 (Nm/rpm)
- Transmisi : CVT
- Kapasitas Tangki : 55 liter
- Compression Ratio : 13 : 1
- 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

4. Dynamometer

Dynamometer yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut

- Merk : Land and Sea, USA
- Name : Eddy Current Test Rig
- Type : 850-Lite 2 WD EC #400
- Absorber : Eddy Absorber Kit
- Voltase : 96 V

3.2.2 Alat Ukur

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

1. Gelas Ukur

Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah bahan bakar bioetanol yang dikonsumsi oleh mobil Toyota Prius *Plug In Hybrid Electric Vehicle*, Toyota Prius *Hybrid Electric Vehicle* dan Toyota Corolla Altis.

2. Exhaust Gas Analyzer

Alat ini digunakan untuk mengetahui kadar gas emisi yang dihasilkan Toyota Prius Plug In Hybrid Electric Vehicle, Toyota Prius Hybrid Electric Vehicle dan Toyota Corolla Altis. Gas Analyzer yang digunakan adalah STAR GAS 898.

3. Thermocouple

Alat ini digunakan untuk mengatur temperature engine, temperature oli dan temperature exhaust.

4. *Thermoselector*

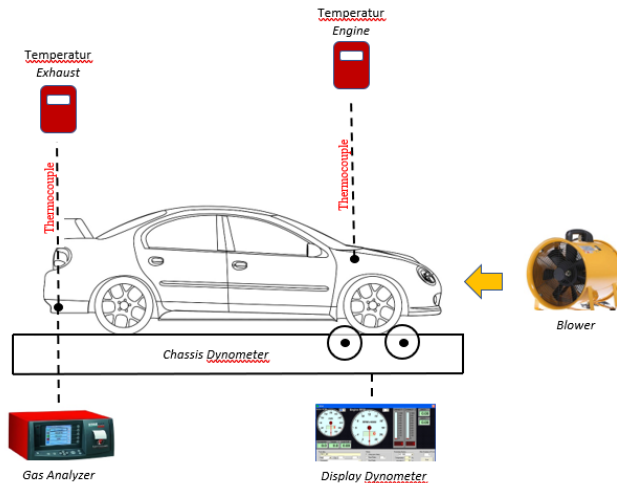
Alat ini digunakan untuk pembacaan besar temperature yang terdeteksi pada thermocouple.

5. *Stopwatch*

Alat ini digunakan untuk menghitung waktu konsumsi bahan bakar yang dikonsumsi oleh mobil Toyota Prius Plug In Hybrid Electric Vehicle, Toyota Prius Hybrid Electric Vehicle dan Toyota Corolla Altis

3.3 Sistematika Penelitian

3.3.1 Skema Penelitian



Gambar 3.4 Skema Penelitian

3.3.2 Tahap-tahap Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan perumusan masalah.
2. Studi literatur yang bertujuan untuk mendapatkan berbagai informasi dan data yang berkaitan dengan objek penelitian.
3. Mempersiapkan kendaraan uji :
 - a. Mempersiapkan ketiga kendaraan uji (Toyota Prius PHEV, Toyota Prius HEV, dan Toyota Corolla Altis).

- b. Toyota Prius PHEV dan Prius HEV dikondisikan dalam kondisi *2WD Maintenance Mode*.
4. Mempersiapkan alat uji meliputi :
 - a. Mempersiapkan dynamometer.
 - b. Mempersiapkan kendaraan uji pada dynamometer dengan ban depan bersinggungan dengan kedua roller dynamometer.
 - c. Melepas pengunci roller dynamometer.
 - d. Mengikat mobil uji tepatnya pada chassis mobil dengan tali strap yang kemudian diikat ke dynabolt yang berada di depan dan belakang mobil agar mobil dalam kondisi statis.
 - e. Mengatur turnbuckle (seling) pada setiap strap untuk mengencangkan tarikan pada chassis mobil.
 - f. Menyiapkan sensor pengukuran pada dynamometer.
 - g. Menyiapkan komputer yang terhubung dengan dynamometer.
 - h. Menyiapkan software *DynoMax Pro* sebagai media ukur dynotest.
 - i. Mengoperasikan engine sebagai setting awal uji dynotest.
 - j. Kalibrasi pengukuran pada *DynoMax Pro*.
5. Mempersiapkan alat ukur meliputi :
 - a. Memastikan setiap peralatan (gelas ukur, amperemeter, gas analyzer, thermocouple dan thermoselector) memiliki power supply yang cukup.
 - b. Mengatur skala alat ukur sesuai kebutuhan.
 - c. Memasang kabel-kabel thermocouple pada tempat yang diukur temperaturnya lalu diinstall pada thermo selector dan display.
6. Mempersiapkan bahan bakar meliputi :
 - a. Menyiapkan 5 variasi bahan bakar yaitu E0, E5, E10, E15, dan E20.
 - b. Proses pencampuran pertamax turbo dan bioetanol dilakukan menggunakan gelas ukur.

7. Melakukan pengujian untuk unjuk kerja dan emisi gas buang pada Toyota *Prius Plug In Hybrid Electric Vehicle*, Toyota *Prius Hybrid Electric Vehicle* dan Toyota Corolla Altis.
8. Pengolahan data yaitu dengan melakukan perhitungan data hasil pengujian yang meliputi daya, torsi, SFC, efisiensi thermal.

3.4 Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi

Dalam eksperimen ini dilakukan pembagian kelompok sebagai berikut :

Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang, bahan bakar campuran bioetanol dan pertamax turbo dengan variasi kadar campuran, variasi kendaraan uji dan variasi load cell. Pada variasi loadcell, tiap beban loadcell yang diberikan memiliki interval 1A dimana setiap penambahan 1A pada loadcell maka daya yang diberikan bertambah sebesar 96 Watt.

1. Pengujian control 1, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan bahan bakar Pertamina Turbo murni (E0) dengan variasi pembebanan load cell dari 1A sampai 10A selama 10 tahap.
2. Pengujian control 2, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar E5 dimana Pertamina Turbo (95%) dan Bioetanol (5%) dengan variasi pembebanan load cell dari 1A sampai 10A selama 10 tahap.
3. Pengujian control 3, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar E10 dimana Pertamina Turbo (90%) dan Bioetanol (10%) dengan variasi pembebanan load cell dari 1A sampai 10A selama 10 tahap.
4. Pengujian control 4, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar E15 dimana Pertamina Turbo (85%) dan Bioetanol (15%) dengan variasi pembebanan load cell dari 1A sampai 10A selama 10 tahap.
5. Pengujian control 5, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar E20 dimana Pertamina

Turbo (80%) dan Bioetanol (20%) dengan variasi pembebanan load cell dari 1A sampai 10A selama 10 tahap.

Berikut merupakan matrik rancangan pengujian :

Tabel 3.1 Matrik Rancangan Pengujian Bahan Bakar Kontrol

Parameter Input				Parameter Output	
Konstan	Variasi			Diukur	Dihitung
	Bahan Bakar	Load Cell	Kendaraan Uji		
<ul style="list-style-type: none"> • Tipe dynamometer • Volume campuran bahan bakar (bioetanol dan pertamax turbo) • Kondisi <i>full throttle</i> 	E0	<ul style="list-style-type: none"> • 1A hingga 10A dengan interval 1 A (96W - 960W) • Variable Speed 	Prius PHEV, Prius HEV dan Corolla Altis	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu konsumsi bahan bakar (s) • Temperatur exhaust ($^{\circ}\text{C}$) • Temperatur engine ($^{\circ}\text{C}$) • Kadar UHC (ppm) • Kadar CO (% Vol) 	<ul style="list-style-type: none"> • Daya • Torsi • SFC • Efisiensi Thermal
	E5				
	E10				
	E15				
	E20				

Lalu data-data yang didapatkan dituangkan dalam bentuk table di bawah ini:

Tabel 3.2 Pengambilan Data Dynotest Prius Plug-In Hybrid dan Prius **Hybrid**

Beban (Ampere)	Bahan Bakar			Temp. Engine	Temp. Gas Buang	Daya	Torque
	Fuel Economy (L/100 km)	Waktu (s)	Odometer (km)				

Tabel 3.3 Pengambilan Data Dynotest Corolla Altis Grande

Beban (Ampere)	Bahan Bakar			Temp. Engine	Temp. Gas Buang	Daya	Torque
	Fuel Cons. (km/L)	Waktu (s)	Odometer (km)				

Tabel 3.4 Pengambilan Data Emisi

<i>Star Gas Analyzer</i>	
UHC (ppm)	CO (% Vol)

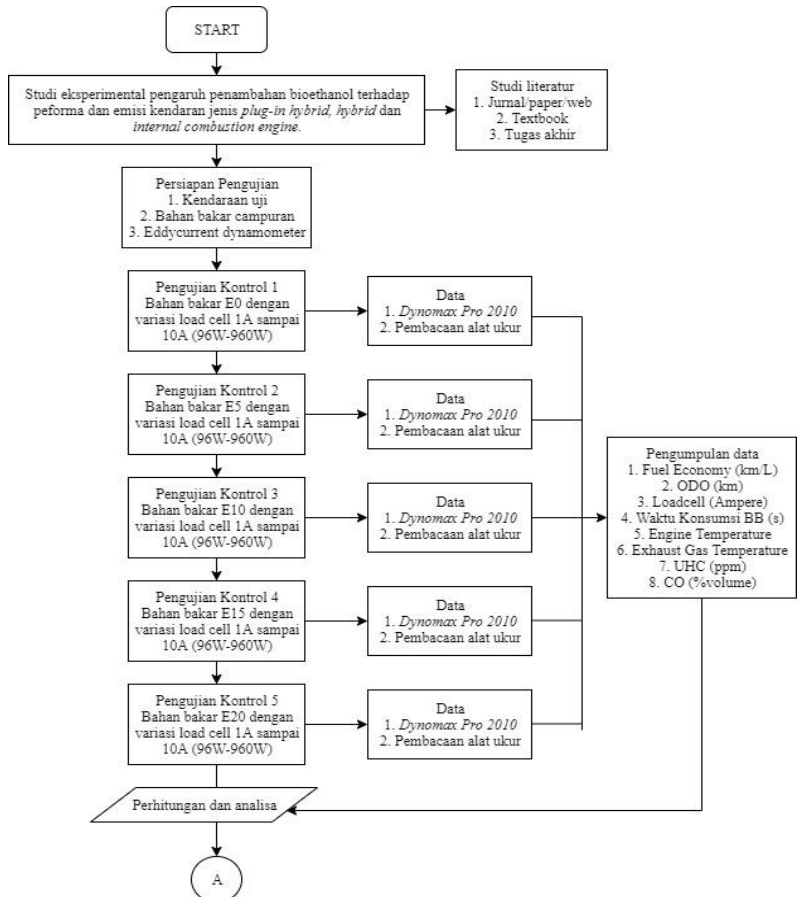
3.5 Metode Analisa Data

Metode analisa data yang digunakan pada penelitian ini dilakukan dengan perhitungan menggunakan rumus teoritis yang telah dijelaskan pada bab tinjauan pustaka. Adapun parameter pada performa kendaraan yang dianalisis adalah torsi, daya, SFC, efisiensi thermal dan temperature. Sedangkan pada emisi kendaraan yang dianalisis adalah emisi HC dan CO.

3.6 Flowchart Penelitian

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

a. Flowchart Dynotest

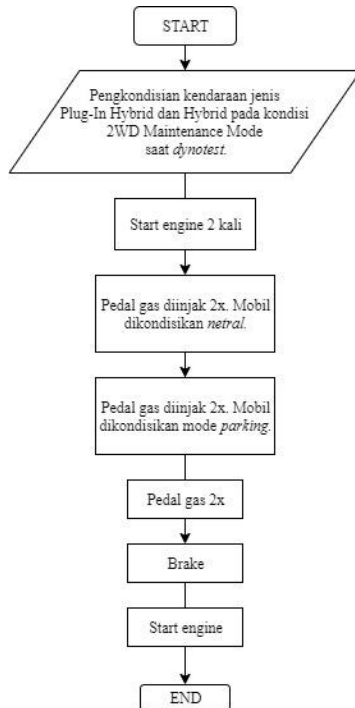


Gambar 3.5 Flowchart Uji Performa dan Emisi



Gambar 3.5 Flowchart Uji Performa dan Emisi (Lanjutan)

- b. Flowchart 2WD Maintenance Mode pada *Plug-in Hybrid* dan *Hybrid*



Gambar 3.6 Flowchart 2WD Maintenance Mode Hybrid

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas mengenai hasil dari penelitian, berikut dengan proses-proses perhitungan, data pendukung dan pembahasan dari hasil yang didapatkan. Adapun hasil akhir dari penelitian ini adalah unjuk kerja mesin tiga jenis mobil yang meliputi daya, torsi, BSFC, efisiensi thermal dan temperature kerja pada engine dan *exhaust gas*. Serta Analisa emisi gas buang meliputi kadar CO dan HC.

4.1 Hasil Persiapan Bahan Bakar dan Uji Properties

Pengujian properties bahan bakar dilakukan dengan parameter uji yaitu berat jenis atau gravimetri dan nilai kalor. Hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Properties

No	Bahan Bakar	Notasi	Densitas (g/mL)	LHV (kJ/kg)
1	100% Pertamina Turbo	E0	0,7449	45946,2
2	95% Pertamina Turbo + 5% Bioetanol	E5	0,7492	45794,5
3	90% Pertamina Turbo + 10% Bioetanol	E10	0,7510	45731,5
4	85% Pertamina Turbo + 15% Bioetanol	E15	0,7514	45717,6
5	80% Pertamina Turbo + 20% Bioetanol	E20	0,7546	45606,4

(Sumber : Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi Baristand Industri Surabaya)

Pengujian properties bahan bakar dilakukan di Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya pada Laboratorium Kimia dan Lingkungan. Hasil pengujian properties bahan bakar menunjukkan nilai densitas bahan bakar naik seiring dengan bertambahnya campuran bioetanol pada pertamax turbo. Nilai

densitas pada campuran pertamax turbo dan bioethanol berada pada nilai densitas bahan bakar pembentuknya yaitu bioethanol sebesar 0,796 g/mL dan pertamax turbo sebesar 0,7449 g/mL. Besarnya nilai densitas berakibat pada jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Sedangkan nilai *lower heating value* turun seiring dengan penambahan kadar bioethanol. *Lower heating value* dari bahan bakar campuran menurun karena bioethanol dengan rumus kimia C_2H_5OH merupakan senyawa kimia yang mengandung molekul *hydroxyl* (OH) yang berikatan dengan *carbon* (C) sehingga terdapat kandungan oksigen pada bioethanol. Kandungan oksigen tersebut menyebabkan turunnya *lower heating value* pada bahan bakar campuran. (Pal, 2014)

4.2 Contoh Perhitungan Unjuk Kerja Kendaraan

Contoh perhitungan unjuk kerja kendaraan menggunakan data kondisi operasi sebagai berikut:

- a. Bahan Bakar : E10
- b. Beban : 5 Ampere
- c. Kendaraan : *Plug-in Hyrid Electric Vehicle*

Pada proses pengujian unjuk kerja kendaraan memerhatikan nilai dari fuel economy, odometer, waktu, daya dan torsi yang tertera pada software *DynoMax Pro 2010*. Dari parameter-parameter tersebut didapatkan nilai *fuel consumption*, \dot{m}_{bb} , *specific fuel consumption* dan efisiensi thermal.

Tabel 4.2 Contoh Data Hasil Pengujian Dynotest Kendaraan PHEV

Beban (Ampere)	Bahan Bakar			Daya (Kw)	Fuel Cons (L)
	Fuel Economy (L/100Km)	Odometer (km)	Waktu (s)		
5	11,8	0,660	20,75	47,802	0,07786

Tabel 4.2 Contoh Data Hasil Pengujian Dynotest PHEV (Lanjutan)

Konsumsi per Waktu (L/s)	Densitas Bahan Bakar (kg/L)	Laju Massa Bahan Bakar (kg/s)	SFC (kg/kwh)
0,003752	0,751	0,00282	0,212

4.2.1 Daya Kendaraan PHEV

Daya mesin adalah daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan oleh *eddy current* pada proses *dynotest*. Daya yang dihasilkan oleh mesin dapat diperoleh pada pembacaan software *DynoMax Pro 2010*.

4.2.2 Torsi Kendaraan PHEV

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil pembagian daya dalam satu menit dengan putaran mesin (rpm) sehingga memiliki satuan Nm. Besarnya nilai torsi dapat diperoleh pada pembacaan software *DynoMax Pro 2010*.

4.2.3 Specific Fuel Consumption Kendaraan PHEV

Specific Fuel Consumption (SFC) adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 *horsepower* (1 Hp) selama satu jam. Langkah perhitungan sebagai berikut :

1. Perhitungan *Fuel Consumption*

$$Fuel\ Consumption$$

$$= Fuel\ Economy \times Odometer$$

$$Fuel\ Consumption = 11,8 \frac{L}{100\ Km} \times 0,660\ km$$

$$Fuel\ Consumption = 0,07788\ L$$

Selanjutnya setelah mendapatkan besar konsumsi bahan bakar, dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar per waktu.

2. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar per waktu

$$\frac{Fuel\ Cons}{s} = \frac{Fuel\ Cons}{t}$$

s

t

$$\frac{Fuel\ Cons}{s} = \frac{0,07788\ L}{20,75\ s}$$

$$\frac{Fuel\ Cons}{s} = 0,003753\ L/s$$

3. Perhitungan \dot{m}_{bb}
 Berdasarkan table 4.1 diketahui nilai densitas bahan bakar E10 sebesar $\rho_{bb} = 0,751\ g/mL = 0,751\ kg/L$. Sehingga besar \dot{m}_{bb} dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\dot{m}_{bb} = \frac{Fuel\ Cons.}{s} \times \rho_{bb}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,003753\ \frac{L}{s} \times 0,751\ \frac{kg}{L}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,002818\ \frac{kg}{s}$$

4. Perhitungan *Specific Fuel Consumption*
 Laju massa bahan bakar telah didapat, selanjutnya dapat dihitung nilai SFC dengan persamaan sebagai berikut :

$$sfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{bhp} \left(\frac{kg}{kW \cdot jam} \right)$$

$$sfc = 3600 \frac{0,002818}{47,802} \left(\frac{kg}{kW \cdot jam} \right)$$

$$sfc = 0,212$$

Dari perhitungan didapatkan nilai *specific fuel consumption* yang dihasilkan kendaraan jenis plug in hybrid electric vehicle dengan variasi bahan bakar E10 pada pembebanan 5 Ampere sebesar 0,212 kg/Kwh

4.2.4 Efisiensi Thermal

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran

dalam. Langkah perhitungan nilai efisiensi thermal sebagai berikut

1. Perhitungan *Specific Gravity* (SG)

Berdasarkan table 4.1 diketahui nilai densitas bahan bakar E10 sebesar $\rho_{bb} = 0.751$ kg/L. Sehingga besar SG dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$SG = \frac{\rho_{BB}}{\rho_{air}} = \frac{0,751 \text{ kg/L}}{0,997 \text{ kg/L}}$$

$$SG = 0,753$$

Selanjutnya setelah mendapatkan nilai SG dilanjutkan perhitungan API Gravity.

2. Perhitungan API Gravity

Nilai API Gravity didapatkan dengan perhitungan sebagai berikut

$$API = \left(\frac{141,5}{SG} \right) - 131,5$$

$$API = \left(\frac{141,5}{0,753} \right) - 131,5$$

$$API = 56,41$$

3. Perhitungan LHV

Setelah mendapatkan nilai API Gravity, besar nilai LHV dapat ditemukan dengan perhitungan sebagai berikut

$$LHV = kJ/kg$$

$$LHV = (16280 + 60 \times API) \times 2,326$$

$$LHV = (16280 + 60 \times 56,415) \times 2,326$$

$$LHV = 45731,5 \text{ kJ/kg}$$

4. Perhitungan η_{th}

$$\eta_{th} = \frac{\text{Daya efektif yang dihasilkan}}{\dot{m} \text{ bahan bakar} \times \text{LHV bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{47,802 \text{ kW}}{0,002818 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 45731,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 37,08 \%$$

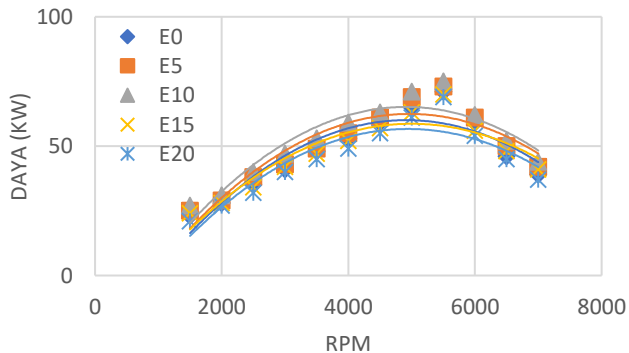
Dari perhitungan didapatkan nilai efisiensi thermal yang dihasilkan kendaraan jenis *plug in hybrid electric vehicle* dengan variasi bahan bakar E10 pada pembebanan 5 Ampere sebesar 37,08 %.

4.3 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Kendaraan Jenis *Plug-In Hybrid Electric Vehicle*

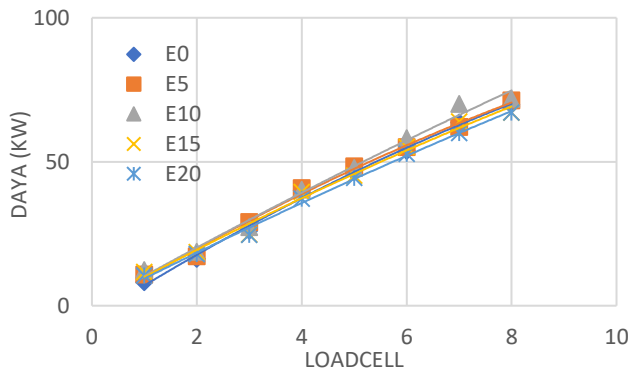
Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang ini menggunakan bahan bakar campuran bioetanol dengan pertamax turbo dengan variasi bahan bakar E0, E5, E10, E15, E20 pada kendaraan jenis *plug in hybrid electric vehicle*. Parameter performa seperti daya, torsi, *specific fuel consumption*, dan efisiensi thermal dihitung dari parameter observasi dan ditunjukkan dalam bentuk grafik. Parameter performa lain yaitu *exhaust gas temperature*, *engine temperature*, dan emisi gas buang yakni *unburnt hydrocarbon* dan *carbon monoxide* ditunjukkan dalam bentuk grafik dari nilai yang terukur.

4.3.1 Daya

Daya yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Grafik daya terhadap putaran mesin PHEV



Gambar 4.2 Grafik daya terhadap loadcell dyno PHEV

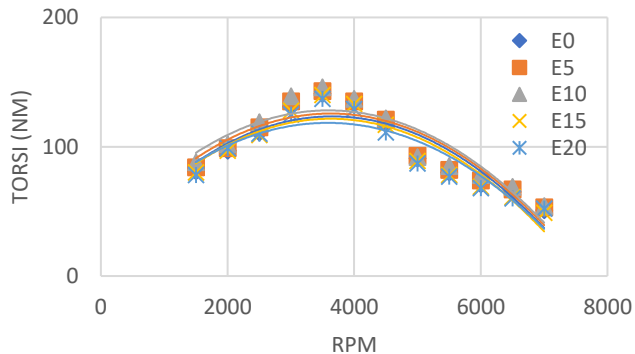
Dari gambar 4.1 dapat dilihat grafik yang menunjukkan daya yang dihasilkan oleh kendaraan uji pada setiap campuran bahan bakar terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.2 merupakan grafik yang menunjukkan daya terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik daya terhadap putaran mesin, nilai daya pada kendaraan PHEV cenderung naik seiring meningkatnya putaran engine mulai dari putaran rendah hingga mencapai daya maksimum pada putaran tertentu, selanjutnya daya mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan akibat kerugian gesek (*friction losses*) terjadi ketika putaran mesin terus meningkat. Selain akibat *friction losses*, penurunan nilai daya juga bisa terjadi akibat kenaikan temperature ruang bakar seiring meningkatnya putaran engine. Pada grafik daya terhadap loadcell, daya meningkat seiring bertambahnya beban loadcell. Kenaikan daya tertinggi ada pada bahan bakar dengan campuran 10% bioetanol dan 90% pertamax turbo (E10). Penambahan campuran bioetanol meningkatkan nilai daya pada kendaraan PHEV. Bioethanol memiliki angka oktan sebesar RON 111,

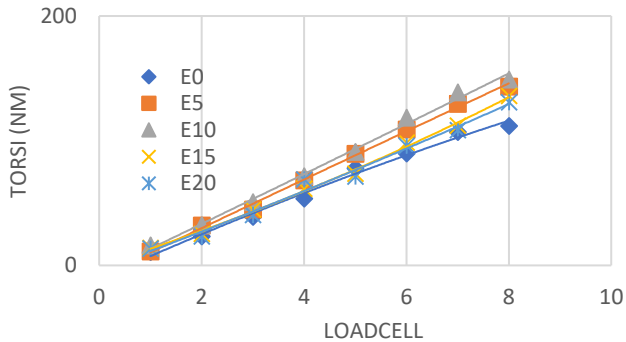
lebih tinggi daripada bahan bakar bensin sebesar RON 98. Hal ini akibat adanya kandungan oksigen yang melekat pada bioethanol sehingga meningkatkan angka oktan pada bahan bakar campuran. Angka oktan yang tinggi meningkatkan rasio kompresi dari engine, sehingga terjadi kenaikan daya pada kendaraan. Selain itu bioethanol memiliki nilai *latent heat of evaporation* yang jauh lebih tinggi daripada bahan bakar bensin. Semakin besarnya nilai *latent heat of evaporation* menyebabkan bahan bakar cenderung mengambil kalor dalam udara untuk menguap sehingga temperature udara pada engine mengalami penurunan. Temperature engine yang turun berakibat meningkatnya densitas pada bahan bakar sekaligus menaikkan nilai efisiensi volumetris. Besarnya efisiensi volumetris ini yang menimbulkan kenaikan daya pada kendaraan.

4.3.2 Torsi

Torsi yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.3 Grafik torsi terhadap putaran mesin PHEV



Gambar 4.4 Grafik torsi terhadap load cell dyno PHEV

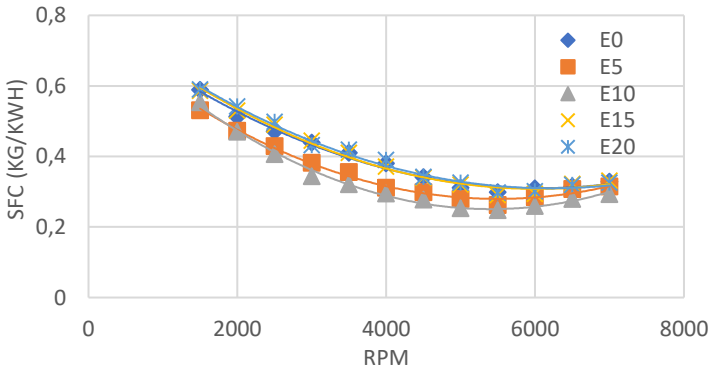
Dari gambar 4.3 dapat dilihat grafik yang menunjukkan torsi yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.4 merupakan grafik yang menunjukkan daya terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik daya terhadap putaran mesin, nilai torsi pada kendaraan PHEV cenderung naik seiring meningkatnya putaran engine mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu, selanjutnya daya mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan akibat kerugian gesek (*friction losses*) terjadi ketika putaran mesin terus meningkat. Selain akibat *friction losses*, penurunan nilai torsi juga bisa terjadi akibat kenaikan temperature ruang bakar seiring meningkatnya putaran engine. Pada grafik torsi terhadap beban, nilai torsi pada kendaraan PHEV cenderung naik seiring penambahan beban. Kenaikan tertinggi terjadi pada campuran bahan bakar E10. Nilai torsi mengalami kenaikan akibat dari penambahan kadar bioetanol. Penambahan kadar bioetanol membuat campuran bahan bakar menjadi lebih miskin dan nilai air fuel ratio semakin naik. Sehingga didapatkan hasil pembakaran

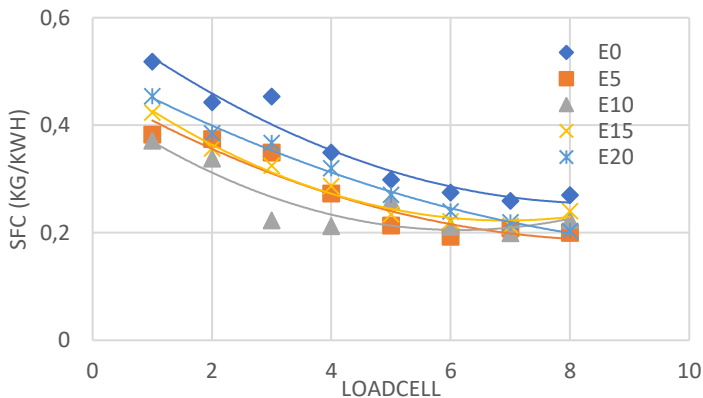
yang lebih efisien. Selain itu bertambahnya kadar bioetanol pada bahan bakar meningkatkan nilai angka oktan dari bahan bakar. Semakin tinggi nilai angka oktan akan meminimalisir terjadinya knocking di ruang bakar sehingga tekanan pembakaran yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Meningkatnya tekanan pembakaran memicu meningkatnya nilai torsi.

4.3.3 *Specific Fuel Consumption*

Specific fuel consumption yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Grafik sfc terhadap putaran mesin PHEV



Gambar 4.6 Grafik sfc terhadap load cell dyno PHEV

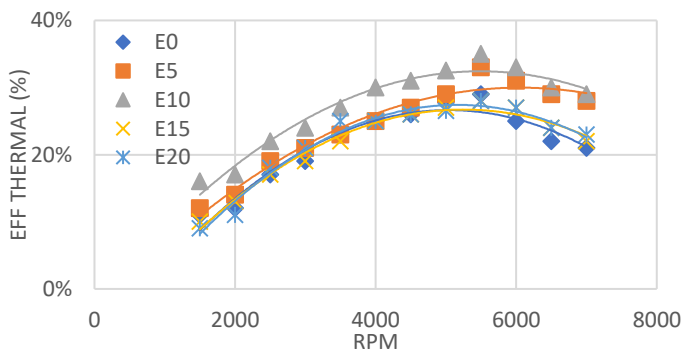
Dari gambar 4.5 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.6 merupakan grafik yang menunjukkan sfc terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik sfc terhadap putaran mesin, nilai sfc cenderung turun hingga putaran tertentu kemudian naik. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran mesin maka kemungkinan terjadinya friction losses juga semakin meningkat. Pada grafik sfc terhadap loadcell, nilai sfc juga cenderung turun. Nilai sfc terbaik ketika bahan bakar menggunakan E10. Besarnya nilai sfc sangat ditentukan oleh besarnya flowrate bahan bakar dan daya dihasilkan oleh engine. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran engine maka terjadinya friction loss juga semakin besar sehingga menyebabkan sfc juga meningkat. Secara umum dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran menyebabkan kenaikan konsumsi bahan bakar, karena untuk menghasilkan keluaran daya yang sama, dengan nilai *low heating value*

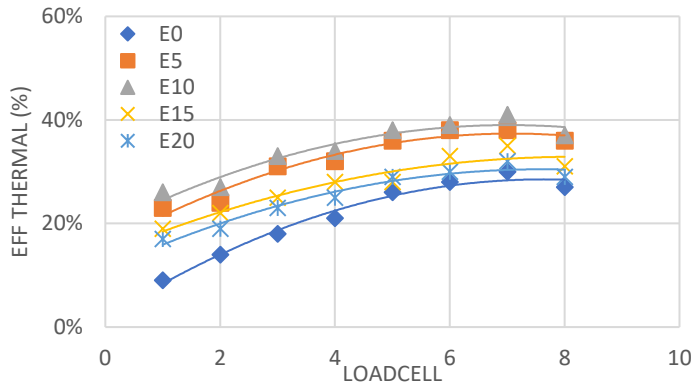
bioetanol yang kecil menyebabkan konsumsi bahan bakar cenderung meningkat. Adapun kecenderungan tren grafik E10 yang nilainya lebih rendah dibanding tren grafik sfc bensin bisa disebabkan efisiensi volumetris pada E10 yang lebih baik sehingga efisiensi pembakaran juga akan ikut naik. Efisiensi pembakaran yang naik ini dapat diakibatkan oleh kadar oksigen dalam bioetanol yang cukup tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar turun.

4.3.4 Effisiensi Thermal

Effisiensi thermal yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.7 Grafik efisiensi thermal terhadap putaran mesin PHEV



Gambar 4.8 Grafik efisiensi thermal kendaraan terhadap loadcell PHEV

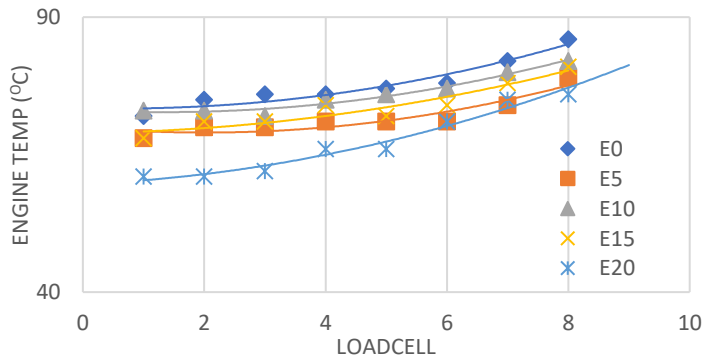
Dari gambar 4.7 dapat dilihat grafik yang menunjukkan nilai efisiensi thermal terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.2 merupakan grafik yang menunjukkan daya terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik efisiensi thermal terhadap putaran mesin, nilai efisiensi thermal pada kendaraan PHEV cenderung naik seiring meningkatnya putaran engine mulai dari putaran rendah hingga mencapai nilai maksimum pada putaran tertentu, selanjutnya efisiensi thermal mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan akibat kerugian gesek (*friction losses*) terjadi ketika putaran mesin terus meningkat. Selain akibat *friction losses*, penurunan nilai efisiensi thermal juga bisa terjadi akibat kenaikan temperature ruang bakar seiring meningkatnya putaran engine. Pada grafik efisiensi thermal terhadap beban, nilai efisiensi thermal pada kendaraan PHEV cenderung naik seiring penambahan beban. Nilai efisiensi optimum tertinggi didapatkan ketika kendaraan menggunakan bahan bakar E10. Nilai

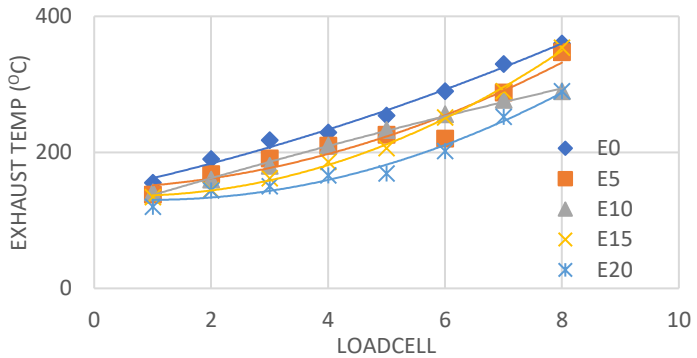
effisiensi thermal cenderung meningkat akibat penambahan bioethanol karena bioethanol memiliki nilai *flame temperature* yang lebih kecil daripada bahan bakar bensin. Besar *flame temperature* dari bioethanol sebesar 2197 K dan bahan bakar bensin sebesar 2266 K. Nilai *flame temperature* yang rendah mengurangi *heat losses* yang terjadi pada engine dan meningkatkan efisiensi thermal. Peningkatan nilai efisiensi thermal pada bahan bakar juga dapat disebabkan perbedaan nilai *latent heat of evaporation* dimana bioethanol sebesar 207 kcal/kg dibandingkan dengan bahan bakar bensin sebesar 70-100 kcal/kg. nilai *latent heat of evaporation* yang tinggi akan meningkatkan efisiensi volumetris pada ruang bakar, sehingga terjadi kenaikan efisiensi thermal.

4.3.5 Temperatur Engine dan Exhaust Gas

Temperature yang didapat pada engine dan exhaust gas dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.9 dan 4.10.



Gambar 4.9 Grafik temperature engine terhadap loadcell PHEV



Gambar 4.10 Grafik temperature exhaust terhadap loadcell PHEV

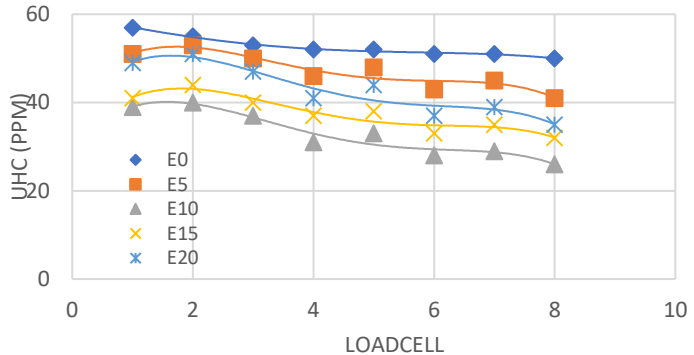
Dari gambar 4.9 dan 4.10 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperatur yang didapatkan pada *engine* dan *exhaust gas* pada setiap bahan bakar campuran terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder engine dan temperatur *exhaust gas* merupakan pembacaan pada knalpot.

Terlihat untuk semua jenis bahan bakar, temperatur *engine* dan *exhaust gas* yang didapatkan cenderung meningkat seiring dengan penambahan beban loadcell pada *engine*. Dimana, temperatur terendah didapatkan pada bahan bakar E20. Sedangkan temperatur engine untuk bahan bakar campuran yang lain cenderung menurun seiring dengan penambahan prosentase bioethanol. Temperature engine dan exhaust pada bahan bakar pertamax turbo cenderung lebih tinggi daripada bahan bakar campuran bioethanol. Hal ini karena bioethanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah daripada pertamax turbo. Sehingga kalor yang

dilepaskan oleh bioethanol lebih rendah dibandingkan pertamax turbo.

4.3.6 Kadar HC dan CO

Kadar unburnt hydrocarbon dan CO dari hasil pengujian emisi ditunjukkan pada gambar 4.11



Gambar 4.11 Grafik UHC PHEV

Dari gambar 4.11 dapat dilihat grafik yang emisi UHC terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Emisi HC timbul akibat bahan bakar tidak terbakar seluruhnya akibat pembakaran yang kurang sempurna. Nilai HC pada kendaraan berbahan bakar pertamax turbo lebih tinggi daripada kendaraan berbahan bakar campuran bioetanol. Hal ini disebabkan ketika pertamax turbo bercampur dengan bioetanol meningkatkan nilai AFR. Emisi UHC turun seiring bertambahnya nilai AFR. Selain itu, bioetanol memiliki kandungan oksigen yang memperkaya campuran bahan bakar.

Nilai emisi CO yang dihasilkan bernilai 0, hal ini terjadi akibat adanya *close coupled catalyc converter* pada system exhaust kendaraan PHEV. *Close coupled*

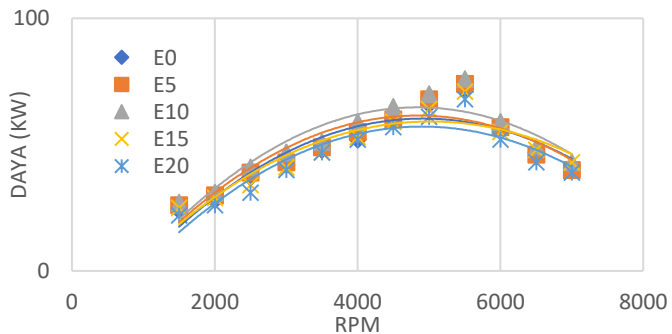
catalyc converter memiliki 2 katalis dimana salah satunya terbuat dari platinum dan palladium. Pada katalis tersebut terjadi peristiwa oksidasi dimana emisi CO cenderung mengikat atom oksigen sehingga berubah menjadi CO₂. Sehingga tidak ditemukan kandungan CO pada emisi kendaraan.

4.4 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Kendaraan Jenis *Hybrid Electric Vehicle*

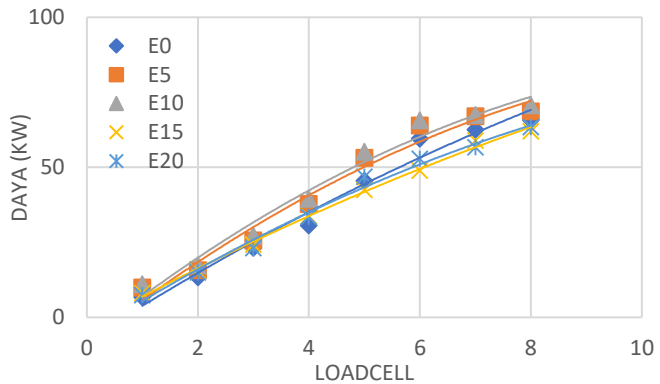
Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang ini menggunakan bahan bakar campuran bioetanol dengan pertamax turbo dengan variasi bahan bakar E0, E5, E10, E15, E20 pada kendaraan jenis *hybrid electric vehicle*. Parameter performa seperti daya, torsi, *specific fuel consumption*, dan efisiensi thermal dihitung dari parameter observasi dan ditunjukkan dalam bentuk grafik. Parameter performa lain yaitu *exhaust gas temperature*, *engine temperature*, dan emisi gas buang yakni *unburnt hydrocarbon* dan *carbon monoxide* ditunjukkan dalam bentuk grafik dari nilai yang terukur.

4.4.1 Daya

Daya yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.12 dan 4.13



Gambar 4.12 Grafik daya terhadap putaran mesin HEV



Gambar 4.13 Grafik daya terhadap load cell HEV

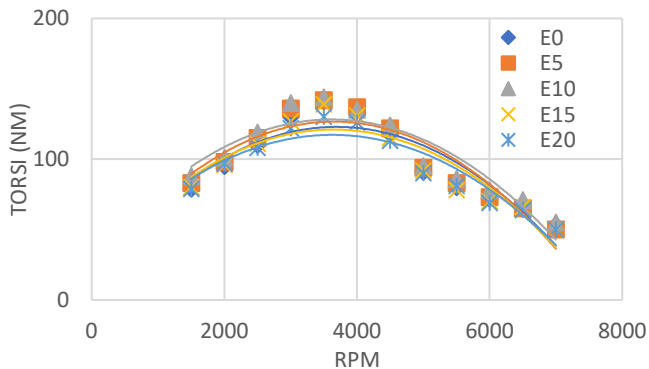
Dari gambar 4.12 dapat dilihat grafik yang menunjukkan daya yang dihasilkan oleh kendaraan uji pada setiap campuran bahan bakar terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.13 merupakan grafik yang menunjukkan daya terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik daya terhadap putaran mesin, nilai daya pada kendaraan HEV cenderung naik seiring meningkatnya putaran engine mulai dari putaran rendah hingga mencapai daya maksimum pada putaran tertentu, selanjutnya daya mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan akibat kerugian gesek (*friction losses*) terjadi ketika putaran mesin terus meningkat. Selain akibat *friction losses*, penurunan nilai daya juga bisa terjadi akibat kenaikan temperature ruang bakar seiring meningkatnya putaran engine. Pada grafik daya terhadap loadcell, daya meningkat seiring bertambahnya beban loadcell. Kenaikan daya tertinggi ada pada bahan bakar dengan campuran 10% bioetanol dan 90% pertamax turbo (E10). Bioethanol memiliki angka oktan sebesar RON 111, lebih tinggi daripada bahan bakar bensin

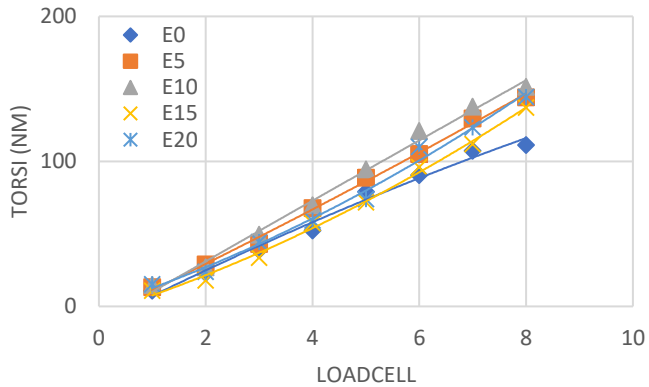
sebesar RON 98. Hal ini akibat adanya kandungan oksigen yang melekat pada bioethanol sehingga meningkatkan angka oktan pada bahan bakar campuran. Angka oktan yang tinggi akan meningkatkan rasio kompresi dari engine, sehingga terjadi kenaikan daya pada kendaraan. Selain itu bioethanol memiliki nilai *latent heat of evaporation* yang jauh lebih tinggi daripada bahan bakar bensin. Semakin besarnya nilai *latent heat of vaporation* menyebabkan bahan bakar cenderung mengambil kalor dalam udara untuk menguap sehingga temperature udara pada engine mengalami penurunan. Temperature engine yang turun berakibat meningkatnya densitas pada bahan bakar sekaligus menaikkan nilai efisiensi volumetris. Besarnya efisiensi volumetris ini yang menimbulkan kenaikan daya pada kendaraan.

4.4.2 Torsi

Torsi yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.14 dan 4.15



Gambar 4.14 Grafik torsi terhadap putaran mesin HEV



Gambar 4.15 Grafik torsi terhadap load cell HEV

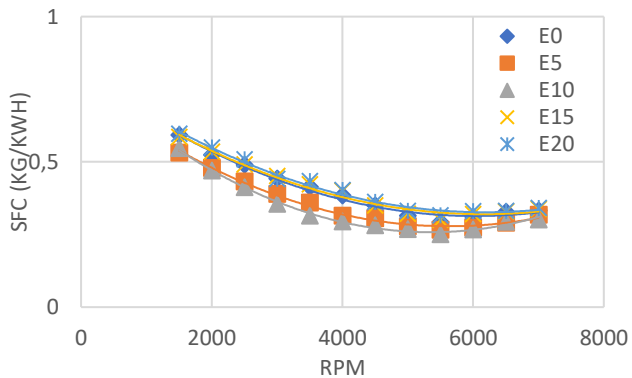
Dari gambar 4.14, dapat dilihat grafik yang menunjukkan torsi yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.15 merupakan grafik yang menunjukkan torsi terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik daya terhadap putaran mesin, nilai torsi pada kendaraan HEV cenderung naik seiring meningkatnya putaran engine mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu, selanjutnya daya mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan akibat kerugian gesek (*friction losses*) terjadi ketika putaran mesin terus meningkat. Selain akibat *friction losses*, penurunan nilai torsi juga bisa terjadi akibat kenaikan temperature ruang bakar seiring meningkatnya putaran engine. Pada grafik torsi terhadap beban, nilai torsi pada kendaraan HEV cenderung naik seiring penambahan beban. Kenaikan tertinggi terjadi pada campuran bahan bakar E10. Nilai torsi mengalami kenaikan akibat dari penambahan kadar bioetanol. Penambahan kadar bioetanol membuat campuran bahan

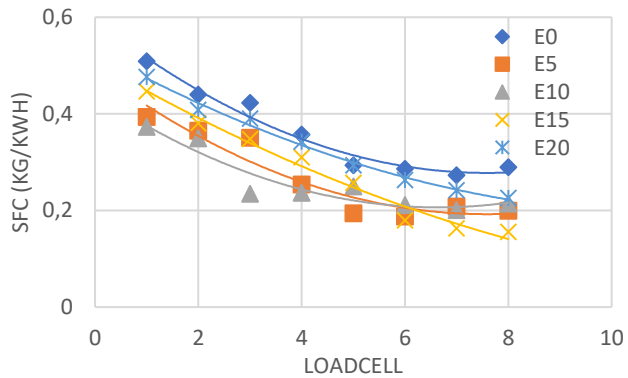
bakar menjadi lebih miskin dan nilai air fuel ratio semakin naik. Sehingga didapatkan hasil pembakaran yang lebih efisien. Selain itu bertambahnya kadar bioetanol pada bahan bakar meningkatkan nilai angka oktan dari bahan bakar. Semakin tinggi nilai angka oktan akan meminimalisir terjadinya knocking di ruang bakar sehingga tekanan pembakaran yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Meningkatnya tekanan pembakaran memicu meningkatnya nilai torsi.

4.4.3 *Specific Fuel Consumption*

Specific fuel consumption yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.16 dan 4.17.



Gambar 4.16 Grafik sfc terhadap putaran mesin HEV



Gambar 4.17 Grafik sfc terhadap load cell HEV

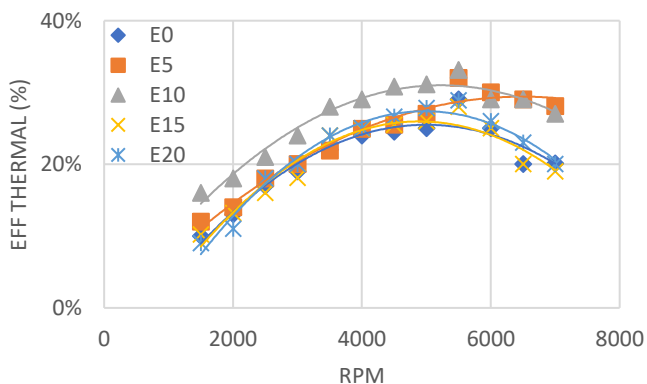
Dari gambar 4.16, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *specific fuel consumption* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.17 merupakan grafik yang menunjukkan sfc terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik sfc terhadap putaran mesin, nilai sfc cenderung turun hingga putaran tertentu kemudian naik. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran mesin maka kemungkinan terjadinya *friction losses* juga semakin meningkat. Pada grafik sfc terhadap loadcell, nilai sfc juga cenderung turun. Nilai sfc terbaik ketika bahan bakar menggunakan E10. Besarnya nilai sfc sangat ditentukan oleh besarnya *flowrate* bahan bakar dan daya dihasilkan oleh *engine*. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran *engine* maka terjadinya *friction loss* juga semakin besar sehingga menyebabkan sfc juga meningkat. Secara umum dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran menyebabkan kenaikan konsumsi bahan bakar, karena untuk menghasilkan keluaran daya yang sama, dengan nilai *low heating value* bioetanol yang kecil menyebabkan konsumsi bahan

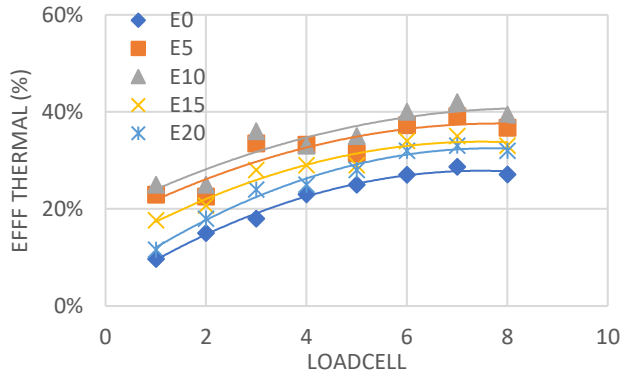
bakar cenderung meningkat. Adapun kecenderungan tren grafik E10 yang nilainya lebih rendah dibanding tren grafik sfc bensin bisa disebabkan efisiensi volumetris pada E10 yang lebih baik sehingga efisiensi pembakaran juga akan ikut naik. Efisiensi pembakaran yang naik ini dapat diakibatkan oleh kadar oksigen dalam bioetanol yang cukup tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar turun.

4.4.4 Effisiensi Thermal

Effisiensi thermal yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.18 dan 4.19.



Gambar 4.18 Grafik efisiensi thermal terhadap putaran mesin HEV



Gambar 4.19 Grafik efisiensi thermal kendaraan HEV

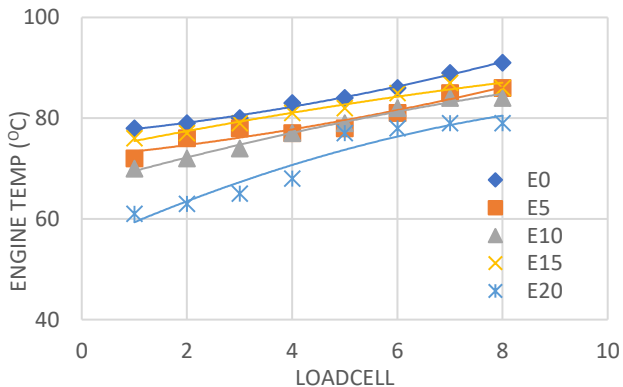
Dari gambar 4.18 dapat dilihat grafik yang menunjukkan nilai efisiensi thermal terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.19 merupakan grafik yang menunjukkan efisiensi thermal terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik efisiensi thermal terhadap putaran mesin, nilai efisiensi thermal pada kendaraan PHEV cenderung naik seiring meningkatnya putaran engine mulai dari putaran rendah hingga mencapai nilai maksimum pada putaran tertentu, selanjutnya efisiensi thermal mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan akibat kerugian gesek (*friction losses*) terjadi ketika putaran mesin terus meningkat. Selain akibat *friction losses*, penurunan nilai efisiensi thermal juga bisa terjadi akibat kenaikan temperature ruang bakar seiring meningkatnya putaran engine. Pada grafik efisiensi terhadap beban, nilai efisiensi pada kendaraan PHEV cenderung naik seiring penambahan beban. Nilai efisiensi optimum tertinggi didapatkan ketika kendaraan menggunakan bahan bakar E10. Nilai efisiensi thermal cenderung meningkat akibat

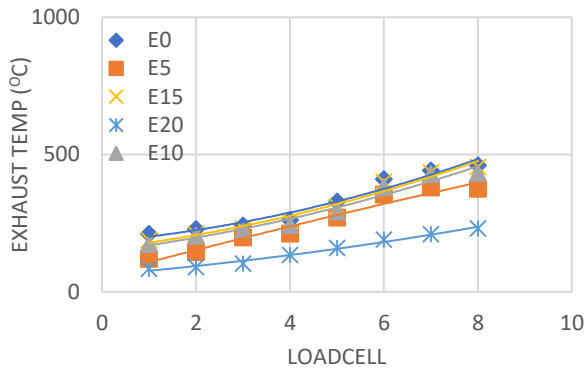
penambahan bioethanol karena bioethanol memiliki nilai *flame temperature* yang lebih kecil daripada bahan bakar bensin. Besar *flame temperature* dari bioethanol sebesar 2197 K dan bahan bakar bensin sebesar 2266 K. Nilai *flame temperature* yang rendah mengurangi *heat losses* yang terjadi pada engine dan meningkatkan efisiensi thermal. Peningkatan nilai efisiensi thermal pada bahan bakar juga dapat disebabkan perbedaan nilai *latent heat of evaporation* dimana bioethanol sebesar 207 kcal/kg dibandingkan dengan bahan bakar bensin sebesar 70-100 kcal/kg. nilai *latent heat of evaporation* yang tinggi akan meningkatkan efisiensi volumetris pada ruang bakar, sehingga terjadi kenaikan efisiensi thermal.

4.4.5 Temperatur Engine dan Exhaust Gas

Temperature yang didapat pada engine dan exhaust gas dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.20 dan 4.21.



Gambar 4.20 Grafik temperature engine terhadap load cell HEV



Gambar 4.21 Grafik temperature exhaust terhadap load cell HEV

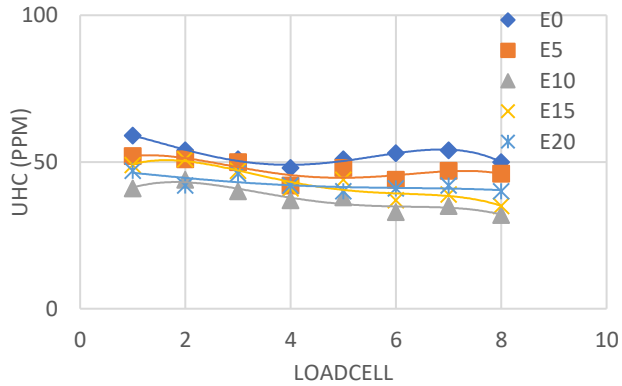
Dari gambar 4.20 dan 4.21 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperatur yang didapatkan pada *engine* dan *exhaust gas* pada setiap bahan bakar campuran terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder *engine* dan temperatur *exhaust gas* merupakan pembacaan pada knalpot.

Terlihat untuk semua jenis bahan bakar, temperatur *engine* dan *exhaust gas* yang didapatkan cenderung meningkat seiring dengan penambahan beban loadcell pada *engine*. Dimana, temperatur terendah didapatkan pada bahan bakar E20. Sedangkan temperatur *engine* untuk bahan bakar campuran yang lain cenderung menurun seiring dengan penambahan prosentase bioethanol. Temperatur *engine* dan *exhaust* pada bahan bakar pertamax turbo cenderung lebih tinggi daripada bahan bakar campuran bioethanol. Hal ini karena bioethanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah daripada pertamax turbo. Sehingga kalor yang

dilepaskan oleh bioethanol lebih rendah dibandingkan pertamax turbo.

4.4.6 Kadar HC dan CO

Kadar unburnt hydrocarbon dan CO dari hasil pengujian emisi ditunjukkan pada gambar 4.22



Gambar 4.22 Grafik UHC HEV

Dari gambar 4.22 dapat dilihat grafik yang emisi UHC terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Emisi HC timbul akibat bahan bakar tidak terbakar seluruhnya akibat pembakaran yang kurang sempurna. Nilai HC pada kendaraan berbahan bakar pertamax turbo lebih tinggi daripada kendaraan berbahan bakar campuran bioethanol. Hal ini disebabkan ketika pertamax turbo bercampur dengan bioethanol meningkatkan nilai AFR. Emisi UHC turun seiring bertambahnya nilai AFR. Selain itu, bioethanol memiliki kandungan oksigen yang memperkaya campuran bahan bakar.

Nilai emisi CO yang dihasilkan bernilai 0, hal ini terjadi akibat adanya *close coupled catalytic converter* pada system exhaust kendaraan PHEV. *Close coupled*

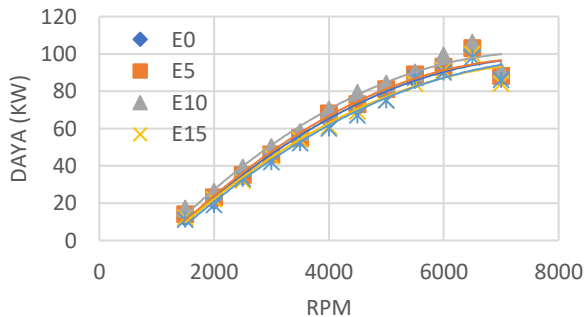
catalyc converter memiliki 2 katalis dimana salah satunya terbuat dari platinum dan palladium. Pada katalis tersebut terjadi peristiwa oksidasi dimana emisi CO cenderung mengikat atom oksigen sehingga berubah menjadi CO₂. Sehingga tidak ditemukan kandungan CO pada emisi kendaraan.

4.5 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Kendaraan Jenis *Internal Combustion Engine*

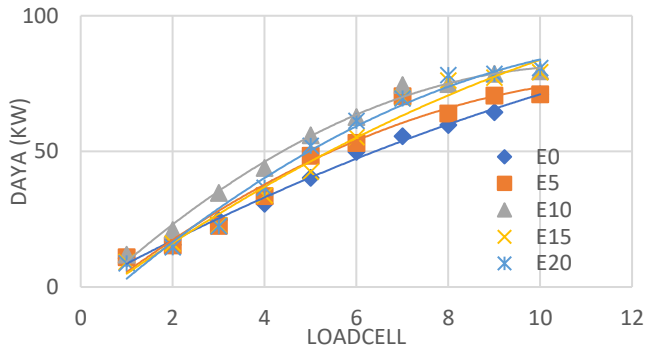
Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang ini menggunakan bahan bakar campuran bioetanol dengan pertamax turbo dengan variasi bahan bakar E0, E5, E10, E15, E20 pada kendaraan jenis *internal combustion engine*. Parameter performa seperti daya, torsi, *specific fuel consumption*, dan efisiensi thermal dihitung dari parameter observasi dan ditunjukkan dalam bentuk grafik. Parameter performa lain yaitu *exhaust gas temperature*, *engine temperature*, dan emisi gas buang yakni *unburnt hydrocarbon* dan *carbon monoxide* ditunjukkan dalam bentuk grafik dari nilai yang terukur.

4.5.1 Daya

Daya yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.23 dan 4.24.



Gambar 4.23 Grafik daya terhadap putaran mesin ICE



Gambar 4.24 Grafik daya terhadap load cell ICE

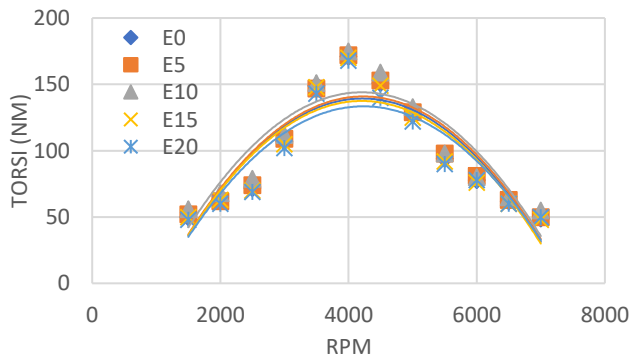
Dari gambar 4.23 dapat dilihat grafik yang menunjukkan daya yang dihasilkan oleh kendaraan uji pada setiap campuran bahan bakar terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.24 merupakan grafik yang menunjukkan daya terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik daya terhadap putaran mesin, nilai daya pada kendaraan ICE cenderung naik seiring meningkatnya putaran engine mulai dari putaran rendah hingga mencapai daya maksimum pada putaran tertentu, selanjutnya daya mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan akibat kerugian gesek (*friction losses*) terjadi ketika putaran mesin terus meningkat. Selain akibat *friction losses*, penurunan nilai daya juga bisa terjadi akibat kenaikan temperature ruang bakar seiring meningkatnya putaran engine. Pada grafik daya terhadap loadcell, daya meningkat seiring bertambahnya beban loadcell. Kenaikan daya tertinggi ada pada bahan bakar dengan campuran 10% bioetanol dan 90% pertamax turbo (E10). Penambahan campuran bioetanol meningkatkan nilai daya pada kendaraan ICE. Bioethanol memiliki angka oktan sebesar RON 111,

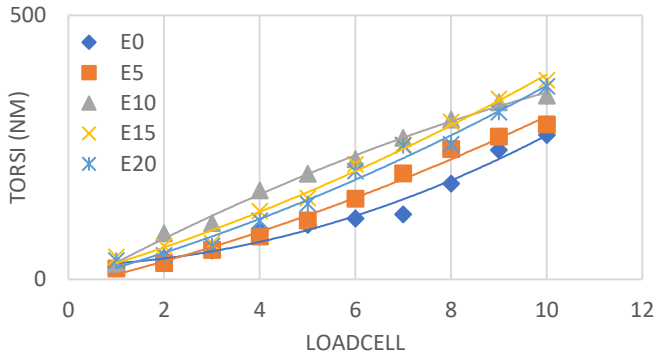
lebih tinggi daripada bahan bakar bensin sebesar RON 98. Hal ini akibat adanya kandungan oksigen yang melekat pada bioethanol sehingga meningkatkan angka oktan pada bahan bakar campuran. Angka oktan yang tinggi akan meningkatkan rasio kompresi dari engine, sehingga terjadi kenaikan daya pada kendaraan. Selain itu bioethanol memiliki nilai *latent heat of evaporation* yang jauh lebih tinggi daripada bahan bakar bensin. Semakin besarnya nilai *latent heat of vaporation* menyebabkan bahan bakar cenderung mengambil kalor dalam udara untuk menguap sehingga temperature udara pada engine mengalami penurunan. Temperature engine yang turun berakibat meningkatnya densitas pada bahan bakar sekaligus menaikkan nilai efisiensi volumetris. Besarnya efisiensi volumetris ini yang menimbulkan kenaikan daya pada kendaraan.

4.5.2 Torsi

Torsi yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.25 dan 4.26.



Gambar 4.25 Grafik torsi terhadap putaran mesin ICE



Gambar 4.26 Grafik torsi terhadap load cell ICE

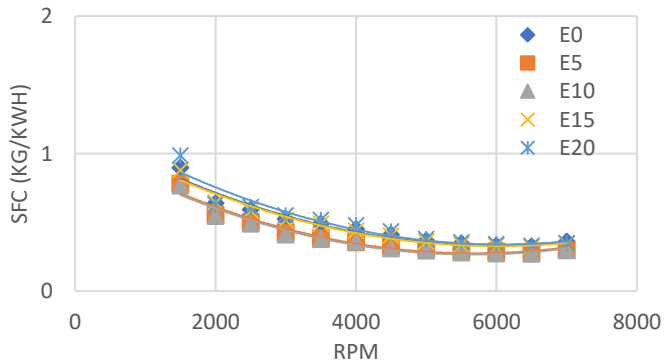
Dari gambar 4.25 dapat dilihat grafik yang menunjukkan torsi yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.26 merupakan grafik yang menunjukkan torsi terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik daya terhadap putaran mesin, nilai torsi pada kendaraan ICE cenderung naik seiring meningkatnya putaran engine mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu, selanjutnya daya mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan akibat kerugian gesek (*friction losses*) terjadi ketika putaran mesin terus meningkat. Selain akibat *friction losses*, penurunan nilai torsi juga bisa terjadi akibat kenaikan temperature ruang bakar seiring meningkatnya putaran engine. Pada grafik torsi terhadap beban, nilai torsi pada kendaraan ICE cenderung naik seiring penambahan beban. Kenaikan tertinggi terjadi pada campuran bahan bakar E10. Nilai torsi mengalami kenaikan akibat dari penambahan kadar bioetanol. Penambahan kadar bioetanol membuat campuran bahan bakar menjadi lebih miskin dan nilai air fuel ratio

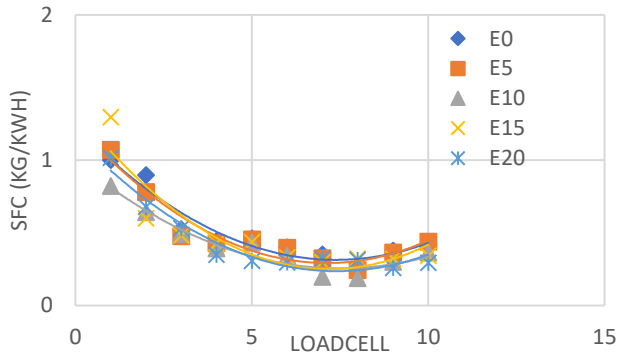
semakin naik. Sehingga didapatkan hasil pembakaran yang lebih efisien. Selain itu bertambahnya kadar bioetanol pada bahan bakar meningkatkan nilai angka oktan dari bahan bakar. Semakin tinggi nilai angka oktan akan meminimalisir terjadinya knocking di ruang bakar sehingga tekanan pembakaran yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Meningkatnya tekanan pembakaran memicu meningkatnya nilai torsi.

4.5.3 *Specific Fuel Consumption*

Specific fuel consumption yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.27 dan 4.28.



Gambar 4.27 Grafik sfc terhadap putaran mesin ICE



Gambar 4.28 Grafik sfc terhadap load cell ICE

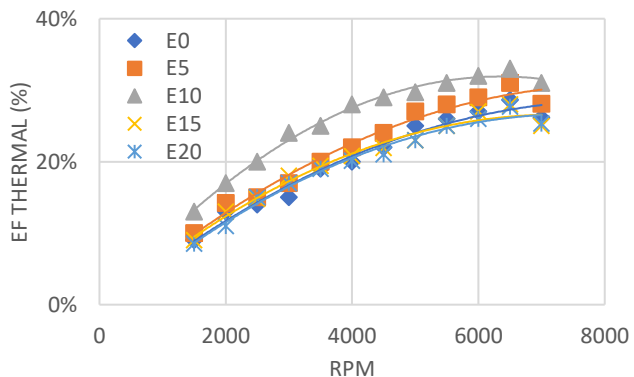
Dari gambar 4.27, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *specific fuel consumption* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.28 merupakan grafik yang menunjukkan sfc terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik sfc terhadap putaran mesin, nilai sfc cenderung turun hingga putaran tertentu kemudian naik. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran mesin maka kemungkinan terjadinya *friction losses* juga semakin meningkat. Pada grafik sfc terhadap loadcell, nilai sfc juga cenderung turun. Nilai sfc terbaik ketika bahan bakar menggunakan E10. Besarnya nilai sfc sangat ditentukan oleh besarnya *flowrate* bahan bakar dan daya dihasilkan oleh *engine*. Hal ini dikarenakan semakin besar putaran *engine* maka terjadinya *friction loss* juga semakin besar sehingga menyebabkan sfc juga meningkat. Secara umum dengan penambahan kadar bioetanol dalam campuran menyebabkan kenaikan konsumsi bahan bakar, karena untuk menghasilkan keluaran daya yang sama, dengan nilai *low heating value*

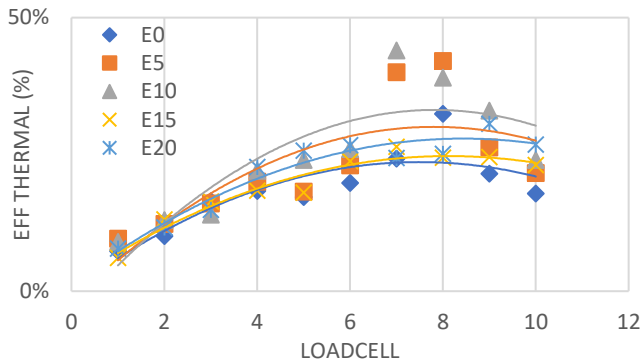
bioetanol yang kecil menyebabkan konsumsi bahan bakar cenderung meningkat. Adapun kecenderungan tren grafik E10 yang nilainya lebih rendah dibanding tren grafik sfc bensin bisa disebabkan efisiensi volumetris pada E10 yang lebih baik sehingga efisiensi pembakaran juga akan ikut naik. Efisiensi pembakaran yang naik ini dapat diakibatkan oleh kadar oksigen dalam bioetanol yang cukup tinggi menyebabkan konsumsi bahan bakar turun.

4.5.4 Efisiensi Thermal

Effisiensi thermal yang didapat dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.29 dan 4.30



Gambar 4.29 Grafik efisiensi thermal terhadap putaran mesin ICE



Gambar 4.30 Grafik efisiensi thermal terhadap loadcell ICE

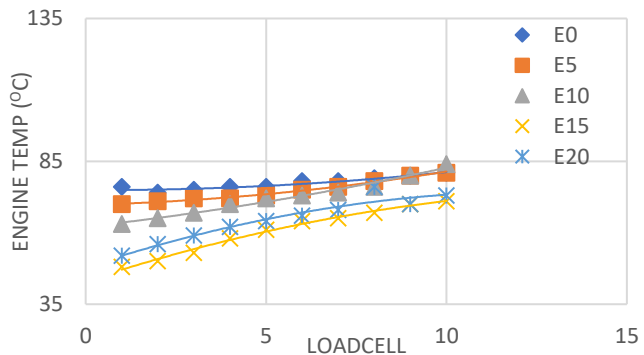
Dari gambar 4.29 dapat dilihat grafik yang menunjukkan nilai efisiensi thermal terhadap putaran mesin. Sedangkan pada gambar 4.30 merupakan grafik yang menunjukkan efisiensi thermal terhadap beban loadcell yang diberikan.

Pada grafik efisiensi thermal terhadap putaran mesin, nilai efisiensi thermal pada kendaraan ICE cenderung naik seiring meningkatnya putaran engine mulai dari putaran rendah hingga mencapai nilai maksimum pada putaran tertentu, selanjutnya efisiensi thermal mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan akibat kerugian gesek (*friction losses*) terjadi ketika putaran mesin terus meningkat. Selain akibat *friction losses*, penurunan nilai efisiensi thermal juga bisa terjadi akibat kenaikan temperature ruang bakar seiring meningkatnya putaran engine. Pada grafik efisiensi thermal terhadap beban, nilai efisiensi thermal pada kendaraan ICE cenderung naik seiring penambahan beban. Nilai efisiensi optimum tertinggi didapatkan ketika kendaraan menggunakan bahan bakar E10. Nilai efisiensi thermal cenderung meningkat akibat

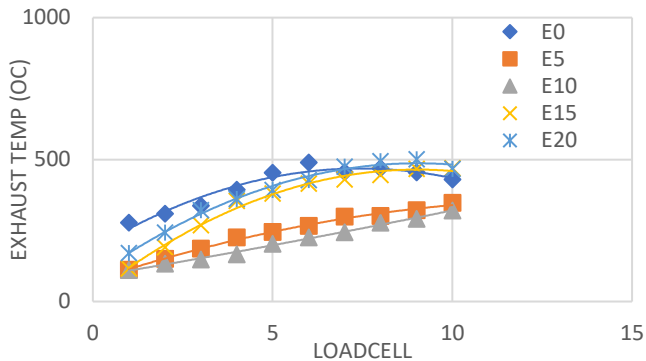
penambahan bioethanol karena bioethanol memiliki nilai *flame temperature* yang lebih kecil daripada bahan bakar bensin. Besar *flame temperature* dari bioethanol sebesar 2197 K dan bahan bakar bensin sebesar 2266 K. Nilai *flame temperature* yang rendah mengurangi *heat losses* yang terjadi pada engine dan meningkatkan efisiensi thermal. Peningkatan nilai efisiensi thermal pada bahan bakar juga dapat disebabkan perbedaan nilai *latent heat of evaporation* dimana bioethanol sebesar 207 kcal/kg dibandingkan dengan bahan bakar bensin sebesar 70-100 kcal/kg. nilai *latent heat of evaporation* yang tinggi akan meningkatkan efisiensi volumetris pada ruang bakar, sehingga terjadi kenaikan efisiensi thermal.

4.5.5 Temperatur *Engine* dan *Exhaust Gas*

Temperature yang didapat pada engine dan exhaust gas dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.31 dan 4.32



Gambar 4.31 Grafik temperature engine terhadap load cell ICE



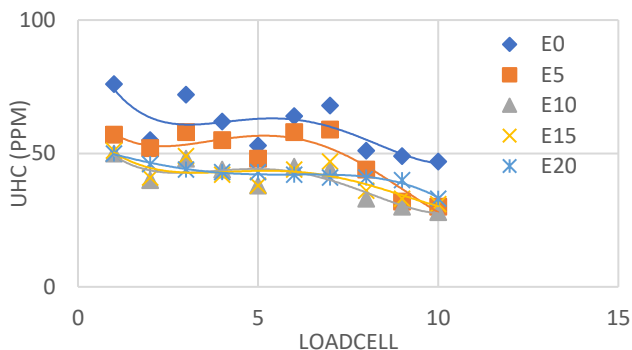
Gambar 4.32 Grafik temperature exhaust terhadap load cell ICE

Dari gambar 4.31 dan 4.32 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperatur yang didapatkan pada *engine* dan *exhaust gas* pada setiap bahan bakar campuran terhadap loadcell. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder *engine* dan temperatur *exhaust gas* merupakan pembacaan pada knalpot.

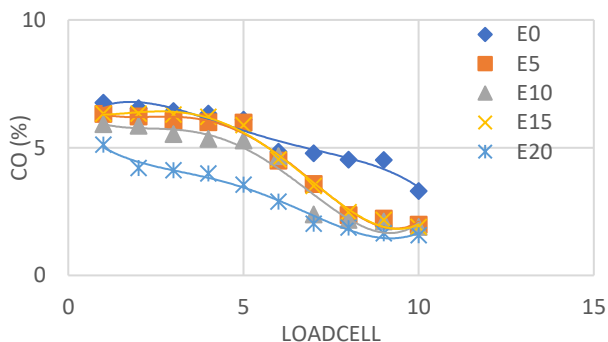
Terlihat untuk semua jenis bahan bakar, temperatur *engine* dan *exhaust gas* yang didapatkan cenderung meningkat seiring dengan penambahan beban loadcell pada *engine*. Dimana temperatur terendah pada *engine* dan *exhaust gas* berturut-turut didapatkan pada bahan bakar E15 dan E10. Sedangkan temperatur *engine* untuk bahan bakar campuran yang lain cenderung menurun seiring dengan penambahan prosentase bioethanol. Temperatur *engine* dan *exhaust gas* pada bahan bakar pertamax turbo cenderung lebih tinggi daripada bahan bakar campuran bioethanol. Hal ini karena bioethanol memiliki nilai kalor yang lebih rendah daripada pertamax turbo. Sehingga kalor yang dilepaskan oleh bioethanol lebih rendah dibandingkan pertamax turbo.

4.5.6 Kadar HC dan CO

Kadar *unburnt hydrocarbon* dan CO dari hasil pengujian emisi ditunjukkan pada gambar 4.33 dan 4.34.



Gambar 4.33 Grafik UHC ICE



Gambar 4.34 Grafik CO ICE

Dari gambar 4.33 dapat dilihat grafik emisi UHC terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Emisi HC timbul akibat bahan bakar tidak terbakar seluruhnya akibat pembakaran yang kurang sempurna. Nilai HC pada kendaraan berbahan bakar pertamax turbo lebih tinggi daripada kendaraan berbahan bakar

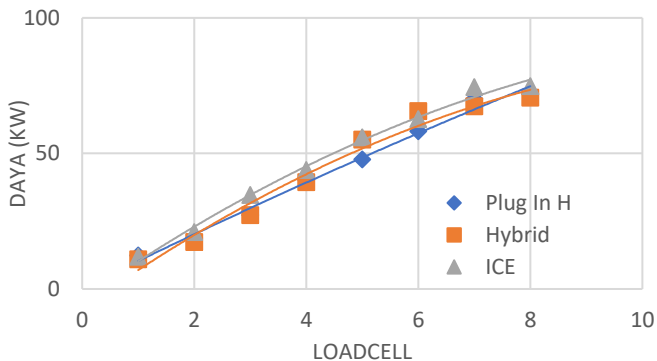
campuran bioetanol. Hal ini disebabkan ketika pertamax turbo bercampur dengan bioetanol meningkatkan nilai AFR. Emisi UHC turun seiring bertambahnya nilai AFR. Selain itu, bioetanol memiliki kandungan oksigen yang memperkaya campuran bahan bakar.

CO merupakan gas dari hasil pembakaran yang tidak sempurna. Penambahan kadar bioethanol pada bahan bakar bensin membuat pembakaran mendekati sempurna dan kadar CO akan berkurang. Hal ini terjadi karena bioethanol memiliki sifat *inherent oxygen* dimana banyak kandungan oksigen yang melekat pada bioethanol.

4.6 Perbandingan Performa Ketiga Jenis Kendaraan pada Bahan Bakar Terbaik

4.6.1 Daya

Perbandingan daya pada ketiga jenis kendaraan ditunjukkan pada gambar 4.35



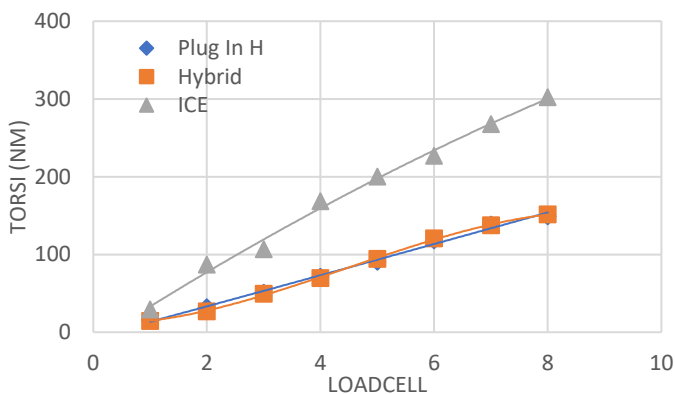
Gambar 4.35 Grafik perbandingan daya ketiga jenis kendaraan

Dari gambar 4.35 dapat dilihat grafik perbandingan daya diantara ketiga jenis kendaraan, PHEV, HEV dan ICE pada campuran bahan bakar terbaik yaitu E10.

Pada setiap jenis kendaraan terjadi kenaikan daya seiring kenaikan beban loadcell yang diberikan. Jika dibandingkan ketiganya, besar daya yang dihasilkan oleh kendaraan jenis ICE lebih besar dibandingkan dengan kendaraan jenis PHEV dan HEV. Nilai daya yang dihasilkan oleh kendaraan jenis PHEV dan HEV hampir sama akibat kesamaan engine pada kedua jenis kendaraan tersebut.

4.6.2 Torsi

Perbandingan torsi pada ketiga jenis kendaraan ditunjukkan pada gambar 4.36.

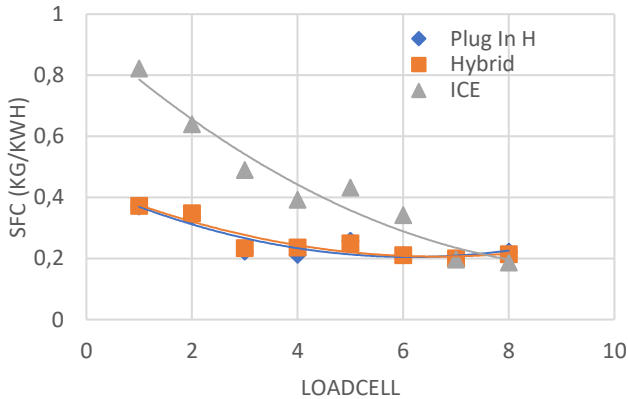


Gambar 4.36 Grafik perbandingan torsi pada ketiga jenis kendaraan

Dari gambar 4.36 dapat dilihat grafik perbandingan daya diantara ketiga jenis kendaraan, PHEV, HEV dan ICE pada campuran bahan bakar terbaik yaitu E10. Pada setiap jenis kendaraan terjadi kenaikan torsi seiring kenaikan beban loadcell yang diberikan. Jika dibandingkan ketiganya, besar torsi yang dihasilkan oleh kendaraan jenis ICE lebih besar dibandingkan dengan kendaraan jenis PHEV dan HEV. Nilai torsi yang dihasilkan oleh kendaraan jenis PHEV dan HEV hampir sama akibat kesamaan engine pada kedua jenis kendaraan tersebut.

4.6.3 Specific Fuel Consumption

Perbandingan nilai specific fuel consumption pada ketiga jenis kendaraan ditunjukkan pada gambar 4.37.

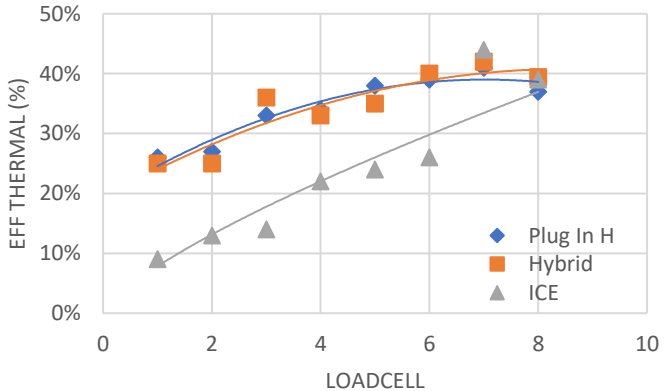


Gambar 4.37 Grafik perbandingan sfc pada ketiga jenis kendaraan

Dari gambar 4.37 dapat dilihat grafik perbandingan sfc diantara ketiga jenis kendaraan, PHEV, HEV dan ICE pada campuran bahan bakar terbaik yaitu E10. Pada setiap jenis kendaraan terjadi penurunan sfc seiring kenaikan beban loadcell yang diberikan. Jika dibandingkan ketiganya, besar sfc yang dihasilkan oleh kendaraan jenis PHEV dan HEV lebih baik daripada ICE. Nilai sfc yang dihasilkan oleh kendaraan jenis PHEV dan HEV hampir sama akibat kesamaan engine pada kedua jenis kendaraan tersebut.

4.6.4 Effisiensi Thermal

Perbandingan nilai effisiensi thermal pada ketiga jenis kendaraan ditunjukkan pada gambar 4.38.



Gambar 4.38 Grafik perbandingan effisiensi thermal pada ketiga jenis kendaraan

Dari gambar 4.38 dapat dilihat grafik perbandingan effisiensi thermal diantara ketiga jenis kendaraan, PHEV, HEV dan ICE pada campuran bahan bakar terbaik yaitu E10. Pada setiap jenis kendaraan terjadi kenaikan effisiensi thermal seiring kenaikan beban loadcell yang diberikan. Jika dibandingkan ketiganya, besar effisiensi thermal yang dihasilkan oleh kendaraan jenis PHEV dan HEV lebih baik daripada ICE. Nilai effisiensi thermal yang dihasilkan oleh kendaraan jenis PHEV dan HEV hampir sama akibat kesamaan engine pada kedua jenis kendaraan tersebut.

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian yaitu :

1. Penambahan bioetanol pada kendaraan *plug-in hybrid electric vehicle, hybrid electric vehicle, dan internal combustion engine* meningkatkan performa kendaraan. Daya, torsi, sfc, dan efisiensi thermal terbaik pada ketiga jenis kendaraan didapat ketika menggunakan campuran bahan bakar E10.
2. Penambahan bioethanol terhadap engine temperature dan exhaust gas temperature pada kendaraan *plug-in hybrid electric vehicle, hybrid electric vehicle, dan internal combustion engine* menurunkan nilai temperatur. Engine temperature terbaik berturut-turut ketika menggunakan bahan bakar E20, E20 dan E15. Sedangkan exhaust gas temperature terbaik berturut-turut ketika menggunakan bahan bakar E20, E20 dan E10.
3. Penambahan bioetanol pada kendaraan *plug-in hybrid electric vehicle, hybrid electric vehicle* dan internal combustion engine menurunkan nilai emisi. Nilai emisi UHC terbaik pada ketiga jenis kendaraan didapat ketika menggunakan campuran bahan bakar E10. Sedangkan emisi CO hanya timbul pada kendaraan *internal combustion engine* dengan bahan bakar terbaik E20.
4. Pada kendaraan **plug-in hybrid electric vehicle** dan **hybrid electric vehicle** tidak timbul emisi CO akibat **closed couple catalyc converter** yang ada pada system exhaust kedua kendaraan tersebut.

5.2 Saran

Dari penelitian yang dilakukan terdapat beberapa saran antara lain :

1. Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang pada kendaraan akan mendapatkan hasil yang lebih akurat apabila dynotest dilakukan dengan menggunakan 2 buah roller.
2. Dalam proses pengambilan data akan lebih baik bila menggunakan tangki bahan bakar eksternal agar perhitungan bahan bakar lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018. *Indonesia Energy Outlook 2018*. Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat ed. Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi.

Fuel Cell Works, 2017. *Fuel Cell Works*. [Online]
Available at: <https://fuelcellworks.com/news/nissan-completes-first-phase-of-testing-on-its-bio-ethanol-fuel-cell-vehicle-in-brazil>
[Accessed 22 January 2019].

Geetha, N. K., Bridjesh, P. & Sekar, P., 2019. Influence of Ethanol as Gasoline Blend on Spark Ignition Engine. *Oriental Journal of Chemistry*, Volume 35, pp. 1491-1499.

Heywood, J., 1988. *Internal Combustion Engine*. London: Mc. Graw Hill.

Kurniawan, A. D., Semin & Suprajitno, T., 2014. Analisa Penggunaan Bahan Bakar Bioetanol dari Batang Padi sebagai Campuran pada Bensin. *POMITS*.

Mi, C., Masrur, M. A. & Gao, D. W., 2011. *Hybrid Electric Vehicles : Principles and Applications with Practical Perspectives*. 1st ed. Chichester: A John Wiley & Sons, Ltd.

Pal, A., 2014. Blending of Ethanol on Gasoline : Impact on SI Engine Performance and Emissions. *International Journal of Thermal Technologies*, Volume 4, p. 1.

Praptijanto, A., Muharam, A., Arifin, N. & Putrasari, Y., 2014. Effect of Ethanol Percentage for Diesel Engine Performance Using Virtual Engine Simulation Tool. *ICSEEA*.

Wigdado, Y. D. & Sudarmanta, B., 2015. Uji Eksperimental Pengaruh Perubahan Rasio Kompresi dengan Variasi Campuran

Bahan Bakar Bensin-Bioetanol terhadap Unjuk Kerja Mesin Sinjai Port Injection. *POMITS*.

Wikipedia, n.d. *Pertamax Turbo*. [Online]

Available at: https://id.wikipedia.org/wiki/Pertamax_Turbo

[Accessed 20 Februari 2019].

Winanda, P. H. & Sudarmanta, B., 2016. Uji Unjuk Kerja dan Durability 5000 km Mobil Bensin 1497 cc Berbahan Bakar Campuran Bensin dan Bioetanol. *Jurnal Teknik ITS*, Volume 4.

Winarno, J., 2011. Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bioetanol pada Bahan Bakar Pertamax terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin.

LAMPIRAN

Lampiran 1

	Kementerian Perindustrian REPUBLIK INDONESIA
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI BARISTAND INDUSTRI SURABAYA Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480 http://baristandsurabaya.kemperin.go.id/	
LAPORAN HASIL UJI <i>TESTING REPORT</i> 08183-08187/19/LHU/1/IX/2019	
Nomor Analisa <i>Analyse Number</i>	: 2019P08183 s/d 2019P08187
Komoditi <i>Commodity</i>	: Campuran Ethanol Pertamina Turbo
Merk <i>Brand</i>	: E0, E5, E10, E15, E20
Dibuat untuk <i>Issued for</i>	: BAYU ADHI SAPUTRO
Alamat <i>Address</i>	: Jl. Joyoutomo V No. 42 Malang-Jawa Timur
Jenis usaha <i>Type of Business</i>	: -
Diterima tanggal <i>Date of Acceptance</i>	: 04-September-2019
Metode Uji <i>Testing Method</i>	: Terlampir
Metode Pengambilan Contoh <i>Sampling Method</i>	: -
Hasil Pengujian <i>Test Result</i>	: Terlampir
Uraian Sampel <i>Detail of Sample</i>	: 200 ml campuran ethanol dalam botol
Diterbitkan Tanggal 10-September-2019	
	
Kantor Widyaiswita ST, MT BARISTAND 082206041001	
Hal. 1 dari 2 (Page 1 of 2)	
<small>Perhatian : Laporan Hasil Uji hanya berlaku untuk contoh diatas Laporan Hasil Uji ini tidak boleh digandakan kecuali seterusnya, Kode Dok. : FM - 7.03.02 - 10</small>	

LAPORAN HASIL UJI

No. 08183-08187/19LHU/1/IX/2019

No. LHU : 08183 - 08187/19/LHU/1/IX/2019
No. Analisa : P08183 s/d P08187
Jenis Sampel : Campuran Ethanol Pertamina Tirbo
Parameter Uji : Berat Jenis (Gravimetri)
Hasil Uji :

No	No. Analisa	Kode	Hasil Uji	Satuan
1	P 08183	E0	0.7449	g/ml
2	P 08184	E5	0.7492	g/ml
3	P 08185	E10	0.7510	g/ml
4	P 08186	E15	0.7514	g/ml
5	P 08187	E20	0.7548	g/ml

Catatan: Parameter uji sesuai permintaan



BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Bayu Adhi Saputro dilahirkan di Malang, 26 Juni 1996. Penulis merupakan anak dari Alm. Priyono dan Suwarti yang merupakan anak ke-2 dari 2 bersaudara dimana memiliki saudari bernama Yeni Dian Ade Fatmawati. Pendidikan formal penulis dimulai di TK Sunan Giri Malang (2000-2002). Kemudian berlanjut di SDN Merjosari 2 Malang (2002-2008). Setelah lulus pendidikan sekolah dasar, penulis melanjutkan sekolah di SMPN 4 Malang (2008-2011) dan dilanjutkan ke sekolah menengah atas di SMAN 5 Malang (2011-2013). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama perkuliahan penulis tidak hanya duduk diam mendapatkan pendidikan formal di kelas, namun juga berusaha mengembangkan *softskill* dan *hardskill*. Menginjak tahun kedua dan ketiga perkuliahan, penulis aktif sebagai staff Hubungan Luar di Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin. Pada saat penulis berada di Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin, penulis turut aktif dalam beberapa kegiatan pengabdian masyarakat antara lain sebagai Mekanik Engine Tune Up 2015, Service Advisor Engine Tune Up 2017 dan Koordinator Wilayah Mechanical Skill's Competition di tahun 2016. Penulis juga sempat mengikuti program magang di PT Perikanan Nusantara cabang Sorong selama 6 bulan di tahun 2018.

Dengan diterbitkannya buku tugas akhir ini, penulis berharap akan dapat memberikan sumbangsih ilmu pengetahuan melalui media penelitian yang telah dilakukan. Info lebih lanjut terkait penelitian ini dapat menghubungi penulis melalui email saputro.bayuadhi@gmail.com.