

**PENGARUH DERAJAT PENGAPIAN TERHADAP KINERJA DAN
EMISI GAS MOTOR BAKAR 6 LANGKAH DENGAN TAMBAHAN
2 LANGKAH DURASI REAKSI PEMBAKARAN MENGGUNAKAN
BAHAN BAKAR ETANOL**

UJIAN TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK MESIN
MINAT KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik



MISRU RAZI

NIM. 176060200111017

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2019



TESIS

PENGARUH DERAJAT PENGAPIAN TERHADAP KINERJA DAN EMISI GAS MOTOR BAKAR 6 LANGKAH DENGAN TAMBAHAN 2 LANGKAH DURASI REAKSI PEMBAKARAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR ETANOL

Oleh:

MISRU RAZI
NIM. 176060200111017

Telah dipertahankan di depan penguji
Pada tanggal 6 Desember 2019
Dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik Mesin

Komisi Pembimbing,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.

Malang, 18 DEC 2019

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin
Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. Lilis Yulianti, S.T., M.T.
MES/NIP. 197507022000032001

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 6 Desember 2019

Mahasiswa,



Nama : Misru Razi

NIM : 176060200111017





UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM MAGISTER

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 1448UN10.F07.12.21/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :
MISRU RAZI

Dengan Judul Tesis :
**PENGARUH DERAJAT PENGAPIAN TERHADAP KINERJA DAN EMISI GAS MOTOR
BAKAR 6 LANGKAH DENGAN TAMBAHAN 2 LANGKAH DURASI REAKSI PEMBAKARAN
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR ETANOL**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal
17 Desember 2019

Ketua Program Studi S2 Teknik Mesin



Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT
NIP. 19750702 200003 2 001



Dr. Priyatno S. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

IDENTITAS PENGUJI

JUDUL TESIS

Pengaruh Derajat Pengapian Terhadap Kinerja Dan Emisi Gas Motor Bakar 6 Langkah Dengan Tambahkan 2 Langkah Durasi Reaksi Pembakaran Menggunakan Bahan Bakar Etanol.

Nama Mahasiswa : Misru Razi

NIM : 176060200111017

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.

Pembimbing II : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.

Dosen Penguji II : Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

Tanggal Ujian : 06 Desember 2019

SK Penguji : -



RIWAYAT HIDUP

Misru Razi, lahir di Desa Langadai 13 Februari 1990, anak ke dua dari dua bersaudara dari ayah H. Samsiar (Alm) dan ibu Hj Janainah. Pendidikan SDN langadai 2 lulus pada tahun 2002, SMP Indocement Tarjun lulus pada tahun 2005, SMK Kodeco Batulicin lulus pada tahun 2008. Pada tahun 2010 melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi Universitas Negeri Makassar (UNM) jurusan Teknik Otomotif (D3) lulus pada tahun 2013, kemudian melanjutkan (S1) di Universitas Negeri Makassar (UNM) Jurusan Pendidikan Teknik Otomotif lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2017 melanjutkan pendidikan S2 di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, minat Konversi Energi di Universitas Brawijaya Malang.

Pengalaman kerja menjadi staff Pendidik di Politeknik Negeri Paser PDD Politeknik Negeri Samarinda dari tahun 2016 sampai sekarang.

Menikah pada tahun 2016 dengan Hasnani dan telah dikaruniai putra yang bernama Alfarizky Razi. Motto hidup **WAJA SAMPAI KAPUTING**.

Malang, Desember 2019

Penulis,

Misru Razi



UCAPAN TERIMA KASIH



RINGKASAN

Misru razi, Program Magister Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2019, *Pengaruh Derajat Pengapian Terhadap Kinerja Dan Emisi Gas Motor Bakar 6 Langkah Dengan Tambah 2 Langkah Durasi Reaksi Pembakaran Menggunakan Bahan Bakar Etanol*, Dosen Pembimbing: Eko Siswanto dan Widya Wijayanti.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja dan emisi gas buang motor bakar 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol. Kinerja yang diteliti meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar efektif, dan efisiensi termal efektif, sedangkan untuk emisi gas buang yaitu CO, CO₂, O₂ dan HC. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental nyata (*real experiment*). Pengapian menggunakan CDI dengan variasi sudut pengapian 24⁰, 26⁰(standar) dan 28⁰. Putaran *crank shaft* divariasikan setiap interval 600 rpm dari 7200 rpm sampai dengan 2400 rpm. Hasil yang diperoleh pada pengujian ini adalah pada sudut pengapian 28⁰ menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih tinggi dibandingkan dengan sudut pengapian 24⁰ dan 26⁰. Selain itu juga menghasilkan konsumsi bahan bakar paling rendah, sehingga menjadi lebih irit bahan bakar, efisiensi termal efektif sudut pengapian 28⁰ lebih besar dari pada sudut pengapian 26⁰ dan 24⁰. Sedangkan untuk emisi gas buang pengapian mempengaruhi kadar emisi gas buang CO, O₂, O₂ dan HC yang dihasilkan pada pembakaran motor 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol. Semakin maju derajat pengapian maka kadar emisi gas buang CO₂ dan O₂ semakin meningkat dan sebaliknya kadar emisi gas buang CO dan HC semakin menurun.

Kata kunci: Derajat pengapian, kinerja, emisi gas buang, etanol

SUMMARY

Misru razi, Magister Program of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, November 2019, influence *degree of ignition to performance and emissions of Gas fuel 6 step with additional 2 step duration of combustion reaction using material Ethanol fuel*, Advisor Lecturer: Eko Siswanto and Widya Wijayanti.

The purpose of the study is to know how much the degree of ignition is to the performance and emission of 6-step exhaust gas using ethanol fuel. Performance researched includes torque, effective power, effective fuel consumption, and effective thermal efficiency, while for exhaust gas emissions i.e. CO, CO₂, O₂, and HC. The method used in this research is a real experimental research method (real experiment). Ignition uses CDI with variations of ignition angles 24°, 26° (Standart) and 28°. The crank round of the shaft is variasics nevery interval 600 rpm from 7200 rpm to 2400 rpm. The results obtained at this test are at the 28° ignition angle resulting in higher torque and effective power compared to the ignition angle of 24° and 26°. In addition it also generates the lowest fuel consumption, thereby becoming More fuel-efficient, effective thermal efficiency of the 28° ignition angle greater than the ignition angle of 26° and 24°. As for the exhaust emission of the ignition gas affects the exhaust emission levels of CO, O₂, O₂ and HC are generated on the combustion of 6-step motors using ethanol fuel. The more advanced the degree of ignition then the emission levels of CO₂ and O₂ exhaust gases are increasing and otherwise the emission levels of gas CO and HC are decreasing.

Keywords: degrees of ignition, performance, emissions of exhaust gases, ethanol



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, dan hidayah –Nya yang telah diberikan sehingga atas izin-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan penulisan Tesis ini tepat pada waktunya. Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di program Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan judul **“Pengaruh Derajat Pengapian Terhadap Kinerja dan Emisi Gas Motor Bakar 6 Langkah Dengan Tambahan 2 Langkah Durasi Reaksi Pembakaran Menggunakan Bahan Bakar Etanol”**.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi penyempurnaan dimasa yang akan datang. Tesis ini dapat diselesaikan tak lepas dari campur tangan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Ibu Dr.Eng. Lilis Yuliati, ST., MT., selaku Ketua Program studi Magister Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT., selaku Pembimbing I dan Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT., selaku pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan arahan selama proses penyelesaian tesis ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M. Eng.Sc., selaku penguji I dan bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku penguji II yang telah memberikan saran dan masukan selama proses penyelesaian tesis ini.
5. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan masukan-masukan selama proses perkuliahan.
6. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memeberikan pelayanan terbaik selama proses perkuliahan.
7. Kepada orang tua, kakak, istri dan anak, yang selalu memberikan doa, motivasi dan dukungan untuk menyelesaikan tesis ini.
8. Seluruh teman-teman S2 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2017 atas semangat, doa, dukungan, motivasi dan saran selama menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, penulis mengucapkan mohon maaf apabila ada kekurangan dan kehilafan dalam tesis ini. Semoga penelitian tesis ini dapat diterima dan memberikan manfaat bagi kita semua.

Malang, November 2019

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
RINGKASAN	xv
SUMARRY	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Teori pembakaran	7
2.2.1 Proses pembakaran	7
2.2.2 Proses terjadinya tenaga	8
2.3 Prinsip Kerja Motor Bakar	8
2.3.1 Motor 2 langkah	9
2.3.2 Motor 4 Langkah	9
2.4 Motor Bakar 6 Langkah	11
2.4.1 Prediksi P-V Diagram Motor Bakar 6 Langkah	12
2.4.2 Motor Bakar 6 Langkah Berbasis Penambahan difusi massa dan termal campuran	13
2.4.3 Pengaruh Venturi Karburator Terhadap Kinerja Enam-Stroke 125 cc <i>Combustion Engine</i>	14
2.4.4 Performa Motor Bakar 6 Langkah	15
2.5 Karburator	17

2.6 Sistem Pengapian.....	18
2.6.1 Sistem Pengapian CDI.....	19
2.6.2 Sudut Pengapian.....	20
2.7 Bahan Bakar.....	22
2.7.1 Karakteristik Bahan Bakar.....	22
2.7.1 <i>Ethanol</i>	24
2.7.2 Sifat Fisik <i>Ethanol</i>	25
2.8 Parameter unjuk Kerja Motor.....	26
2.8.1 Torsi.....	26
2.8.2 Daya Efektif.....	27
2.8.3 Konsumsi bahan bakar spesifik.....	27
2.8.4 Efisiensi Termal.....	27
2.9 Emisi Gas Buang.....	28
2.9.1 Hidrokarbon.....	30
2.9.2 Karbon monoksida.....	30
2.9.3 Karbondioksida.....	31
2.9.4 Oksigen.....	31
2.10 Gas Analyzer.....	31
BAB III KERANGKA KONSEP.....	33
3.1 Kerangka Pikir.....	33
3.2 Hipotesis.....	38
BAB IV METODE PENELITIAN.....	39
4.1 Metode Penelitian.....	39
4.2 Variabel Penelitian.....	39
4.2.1 Variabel Bebas.....	39
4.2.2 Variabel Terikat.....	39
4.2.3 Variabel Terkontrol.....	40
4.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	40
4.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	40
4.4.1 Alat yang Digunakan dalam Penelitian.....	40
4.4.2 Bahan Dalam Penelitian.....	46
4.5 Instalasi Penelitian.....	47
4.6 Proses Pengujian Kinerja Motor Bakar.....	47
4.7 Prosedur Penelitian.....	48

4.7.1	Prosedur Pengujian Prestasi Motor Bakar	48
4.8	Diagram Alir Penelitian	49
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		53
5.1	Analisa Data	53
5.1.1	Data dan Hasil Pengujian	53
5.1.2	Pengolahan Data	53
5.1.3	Hasil Pengujian Emisi Gas Buang	55
5.2	Pembahasan	55
5.2.1	Hubungan antara Putaran Mesin dengan Torsi Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol	55
5.2.2	Hubungan antara Putaran Mesin Dengan Daya Efektif Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol	57
5.2.3	Hubungan antara Putaran Mesin dengan SFCe Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol	59
5.2.4	Hubungan antara Putaran Mesin dengan Efisiensi Termal Efektif Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol	61
5.2.5	Predeksi Diagram P-V Motor Bakar 6 Langkah Dua Kali Pembakaran	63
5.2.6	Hubungan antara Putaran Mesin dengan Emisi Gas Buang CO Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol	65
5.2.7	Hubungan antara Putaran Mesin dengan Emisi Gas Buang CO ₂ Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol	66
5.2.8	Hubungan antara Putaran Mesin dengan Emisi Gas Buang O ₂ Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol	68
5.2.9	Hubungan antara Putaran Mesin dengan Emisi Gas Buang HC Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol	69
BAB VI PENUTUP		71
6.1	Kesimpulan	71
6.2	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA		73
LAMPIRAN		77



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Batas Emisi Bermotor Menurut Kepmen LH No 5 2006.....	28
Tabel 2.2	Emisi gas buang Bermotor.....	29
Tabel 5.1	Data pengujian konstan.....	53
Tabel 5.2	Hasil pengujian Emisi Gas Buang.....	55





Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Proses Pembakaran	7
Gambar 2.2	Prinsip kerja motor 2 langkah	9
Gambar 2.3	Prinsip kerja motor 4 Langkah.....	10
Gambar 2.4	Prediksi P-V diagram motor bakar 4 langkah.....	11
Gambar 2.5	Prediksi diagram P-V ideal motor bakar 6 langkah.....	12
Gambar 2.6	Skema siklus motor bakar 6 langkah	13
Gambar 2.7	hubungan antara putaran <i>crankshaft</i> terhadap torsi	14
Gambar 2.8	hubungan antara putaran mesin dan konsumsi bahan bakar spesifik.....	15
Gambar 2.9	efektif <i>power</i> Ne pada 6 <i>stroke</i> dan 4 <i>stroke</i>	15
Gambar 2.10	<i>Specific fuel consumption</i> (SFC) pada 6 <i>stroke</i> dan 4 <i>stroke</i>	16
Gambar 2.11	<i>Thermal efficiency</i> pada 6 <i>stroke</i> dan 4 <i>stroke</i>	16
Gambar 2.12	Grafik Hubungan antara Putaran Mesin dengan Daya Efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah.....	17
Gambar 2.13	Karburator	18
Gambar 2.14	Diagram sirkuit dasar CDI.....	18
Gambar 2.15	skema CDI	20
Gambar 2.16	Diagram Tekanan Saat Pengapian Terlalu Awal, Tepat dan Terlalu Lambat	21
Gambar 2.17	Hubungan Waktu Pengapian Terhadap Putaran Mesin.....	22
Gambar 2.18	Proses Pembuatan Etanol.....	25
Gambar 2.19	Grafik AFR terhadap kandungan emisi CO dan HC.....	31
Gambar 2.20	Grafik AFR Terhadap 4 gas Prodak Pembakaran.....	33
Gambar 3.1	Skema kerangka konsep.....	37
Gambar 4.1	Motor Bakar 6 Langkah	41
Gambar 3.2	<i>PonyDiksBrake</i>	41
Gambar 4.3	<i>Tachometer mastech</i> (MS6208A)	41
Gambar 4.4	<i>Stopwatch Krisbow</i>	42
Gambar 4.5	Gelas ukur (0.5 ml)	42
Gambar 4.6	<i>Fan krisbow</i>	43
Gambar 4.7	CDI-DC	44
Gambar 4.8	Stargas <i>analyzer</i>	44



Gambar 4.9	Anemometer	45
Gambar 4.10	Multimeter	46
Gambar 4.11	Bahan Bakar <i>Ethanol</i>	48
Gambar 4.12	Skema instalasi penelitian	48
Gambar 4.13	Diagram alir penelitian	50
Gambar 5.1	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi motor bakar 6 langkah bahan bakar bukaan <i>trotle</i> 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°	56
Gambar 5.2	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar bukaan <i>trotle</i> 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°	58
Gambar 5.3	Grafik Hubungan antara Putaran Mesin dengan SFCE motor bakar 6 langkah bahan bakar bukaan <i>trotle</i> 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°	59
Gambar 5.4	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar bukaan <i>trotle</i> 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°	61
Gambar 5.5	Prediksi diagram P-V siklus ideal motor bakar 6 langkah berbahan bakar etanol dengan variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°	63
Gambar 5.6	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas buang CO motor bakar 6 langkah bahan bakar bukaan <i>trotle</i> 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°	65
Gambar 5.6	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas buang CO ₂ motor bakar 6 langkah bahan bakar bukaan <i>trotle</i> 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°	67
Gambar 5.7	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas buang O ₂ motor bakar 6 langkah bahan bakar bukaan <i>trotle</i> 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°	68
Gambar 5.8	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas buang O ₂ motor bakar 6 langkah bahan bakar bukaan <i>trotle</i> 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°	69

DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Daya	Horsepower atau hp	N
Torsi	kilogram meter atau kg·m	F
Massa	kilogram atau kg	m
Panjang	meter atau m	L
Temperatur dalam celcius	derajat celcius atau °C	T
Tekanan	Pascal atau Pa	Ps
Volume	cubic centimeter atau cc	V
Kecepatan Putar	<i>Revolutions per minute</i> atau rpm	n
Debit	kilogram per jam atau kg·jam ⁻¹	Q
Konsumsi spesifik	kilogram per jam daya atau kg·jam ⁻¹ ·hp ⁻¹	SFC _e
Kecepatan Linear	meter per sekon atau m·s ⁻¹	v
Kecepatan Anguler	radian per sekon atau rad·detik ⁻¹	ω
Nilai Kalor Bahan bakar rendah	kilokalori per kilogram atau kkal·kg ⁻¹	LHV _{bb}
Diameter	millimeter atau mm	Ø
Waktu	sekon atau s	t
Kelembapan relatif	persen atau %	φ
Massa jenis bahan bakar	kilogram per meter kubik atau Kg/m ³	ρ _f
Sudut pengapian	derajat	



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Motor Bakar 6 Langkah Buka <i>Throttle</i> 35% Menggunakan Bahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 24°, 26° dan 28°	77
Lampiran 2	Data Hasil Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 24°	77
Lampiran 3	Data Hasil Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 26°	77
Lampiran 4	Data Hasil Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 28°	78
Lampiran 6	Data AFR Etanol Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol Variasi sudut Pengapian 26° Buka <i>Throttle</i> 35%	79
Lampiran 7	Data AFR Etanol Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 24° Buka <i>Throttle</i> 35%	80
Lampiran 8	Data Panas Gas Buang Motor Bakar	81
Lampiran 9	Data Emisi Gas Buang Motor 4 Langkah Menggunakan Bahan Bakar Etanol Murni Pada Sepeda Motor Supra x 125 cc	81
Lampiran 10	Data Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Ethanol 99%	81



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring globalisasi saat ini dan meningkatnya mobilitas dan jumlah penduduk di Indonesia, penggunaan kendaraan bermotor terus bertambah dari tahun ke tahun. Hal ini ditunjukkan dari data survei badan pusat statistik Indonesia yaitu jumlah kendaraan bermotor per tahun 2017 adalah sebagai berikut. Mobil penumpang 14.435.423 unit, bus 3.286.343 unit, truk 6.615.495 unit, sepeda motor 38.732.652 unit, dan total semua mencapai 630.118.969 unit (Badan Pusat Statistik Indonesia 2017). Jumlah tersebut sangat berbanding terbalik dengan kesediaan bahan bakar minyak (BBM) data EIA AS (*Energi Information Administration*) menunjukkan konsumsi secara global penggunaan minyak bumi mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, seperti tahun 2017 total konsumsi dunia 98.55 juta barel per hari dan pada tahun 2018 mengalami kenaikan menjadi 100 juta barel per hari, sehingga menyebabkan kelangkaan dan harga BBM menjadi lebih mahal.

Pertambahan jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya tidak bisa diimbangi dengan pertumbuhan ruas jalan yang hanya sebesar 2.5% per tahunnya (Saepudin dan Admono, 2005). Kemacetan merupakan salah satu faktor utama penyebab polusi udara meningkat tajam. Pencemaran udara dari kendaraan transportasi memiliki persentase tertinggi mencapai 70%, sektor industri memiliki persentase pencemaran udara 25%, dan sampah memiliki persentase pencemaran terendah sebesar 5% (Soedomo *et al*, 1983). Dewasa ini bahan bakar minyak (BBM) yang merupakan bahan bakar fosil (premium, pearlite, pertamax) masih mendominasi untuk penggunaan kendaraan bermotor. Namun karena sifatnya yang termasuk dalam energi tak terbarukan maka tidak bisa terus-menerus mengandalkan bahan bakar minyak sebagai energi utama. Berbagai macam cara dilakukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar dari minyak bumi dikarenakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*), sehingga salah satu jalan penghematan penggunaan bahan bakar minyak bumi adalah beralih ke sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*). Oleh karena itu perlu adanya inovasi bahan bakar alternatif untuk kendaraan bermotor. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan adalah etanol.

Ethanol dapat diproduksi dari produk fermentasi pertanian seperti ubi kayu, tebu, jagung, dll sehingga *ethanol* termasuk energi yang dapat diperbaharui (*renewable*). Proses pembuatan *ethanol* memiliki keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar fosil karena biaya yang dibutuhkan untuk proses pembuatan lebih murah, etanol memiliki unsur senyawa hidrokarbon yang kecil sehingga polusi yang dihasilkan lebih kecil, angka oktana 111 sehingga mampu rasio tinggi hingga 13:1, Selain itu *ethanol* memiliki perbedaan dengan *gasoline*, dimana *ethanol* termasuk dalam *oxygenated fuel* yang di dalam setiap senyawanya memiliki kandungan 35% oksigen dan keunggulannya saat dijadikan bahan bakar adalah dapat mereduksi emisi gas buang (Demirbas, 2005).

Tidak bisa diungkiri bahwa saat ini kendaraan bermotor dalam hal ini sepeda motor menjadi sebuah alat transportasi pilihan oleh sebagian besar masyarakat Indonesia bahkan di dunia. Motor adalah kendaraan yang praktis dan efisien sehingga sesuai dengan kebutuhan masyarakat pada umumnya. Eko Siswanto, et al. (2014), melakukan pengembangan motor bakar dengan siklus 6 langkah berbasis penambahan durasi difusi massa campuran udara - bahan bakar dan durasi difusi termal dari dinding silinder ke campuran udara - bahan bakar. Penelitian tersebut menampilkan sebuah konsep baru penambahan dua langkah terhadap siklus Otto 4 langkah. Hal ini memungkinkan untuk terjadinya peningkatan homogenitas maupun temperatur dari campuran udara - bahan bakar jelang terbakar untuk mendapatkan energi ekspansi yang lebih baik. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa konsep motor bakar 6 langkah tersebut memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai suatu alternatif baru teknologi motor bakar masa depan.

Usaha agar performa motor bakar lebih efisiensi dan memiliki performa tinggi maka terus dilakukan Penelitian sebelumnya motor bakar 4 langkah menggunakan sistem pengapian konvensional (Platina) kelemahan dari sistem pengapian ini waktu pengapian ke posisi yang bisa membuat mesin yang bekerja optimal. Jika pengapian terlalu mundur maka tenaga yang dihasilkan menurun dikarenakan tidak mencapai tekanan maksimum. Mundurnya waktu pengapian menyebabkan banyak kerugian, yaitu langkah usaha campuran bahan bakar yang tidak terbakar sepenuhnya (Sadiq 2016). Seiring dengan perkembangan teknologi sistem pengapian konvensional diubah menjadi sistem pengapian CDI (*Capacitor Discharge Ignition*). CDI *programmable* ialah sistem pengapian pada mesin pembakaran dalam ruang bakar berfungsi sebagai penghubung dan pemutus arus agar waktu percikan di busi yang akan membakar campuran bahan bakar dan udara yang telah dikompresi oleh piston. Maka dari itu, perlu dilakukannya penelitian untuk mendapatkan sudut pengapian CDI pada mesin 6 langkah dengan menggunakan

programmable yang nantinya derajat pengapian bisa diatur sehingga mendapatkan derajat yang lebih pas dengan penelitian sebelumnya. Berdasarkan latar belakang di atas, maka peneliti akan melakukan penelitian tentang pengaruh derajat pengapian terhadap unjuk kerja motor 6 langkah dengan tambahan 2 langkah durasi reaksi pembakaran dan emisi gas buang dengan pengapian CDI menggunakan bahan bakar etanol.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dirumuskan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja (torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi termal efektif) motor 6 langkah dengan tambahan 2 langkah durasi reaksi pembakaran menggunakan bahan bakar etanol?
2. Bagaimana Pengaruh derajat pengapian terhadap emisi gas buang (CO, HC CO₂ dan O₂) motor 6 langkah dengan tambahan 2 langkah durasi reaksi pembakaran menggunakan bahan bakar etanol?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan terfokus dan tidak meluas, maka perlu diberi batasan sebagai berikut.

1. Mesin dalam kondisi baik.
2. Mesin dalam kondisi ideal.
3. Pengambilan data dilakukan pada kondisi lingkungan yang tetap.
4. Bahan bakar menggunakan etanol.
5. Tidak membahas konstruksi mesin.
6. Pengujian mesin dalam keadaan *stasioner*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari yang dicapai dalam penulisan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh derajat Pengapian 24°, 26°(*standard*), dan 28° terhadap kinerja (torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi termal efektif) motor 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol.
2. Mengetahui Pengaruh derajat pengapian 24°, 26°(*Standard*), dan 28° terhadap emisi gas buang (CO, HC CO₂ dan O₂) motor 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh derajat Pengapian 24° , 26° , dan 28° terhadap kinerja (torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik) motor 6 langkah dengan tambahan 2 langkah durasi reaksi pembakaran menggunakan bahan bakar etanol.
2. Mengetahui Pengaruh derajat pengapian 24° , 26° , dan 28° terhadap emisi gas buang (CO , CO_2 , O_2 , dan HC) motor 6 langkah dengan tambahan 2 langkah durasi reaksi pembakaran menggunakan bahan bakar etanol.
3. Bisa menjadi sarana untuk pengembangan motor 6 langkah dimasa depan secara maksimal
4. Untuk referensi penelitian selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Syahrir et al (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi unjuk derajat pengapian terhadap kerja mesin. Pada derajat pengapian yang dimajukan dari standarnya, diperoleh peningkatan nilai prestasi pada mesin, dibanding derajat pengapian standar. Hal ini dapat dilihat dari nilai torsi dan daya poros yang lebih besar pada derajat pengapian yang dimajukan 6° dari standarnya. Siswanto dan Efendi (2015) melakukan penelitian mengenai peningkatan performa sepeda motor dengan variasi CDI *programmable*. Penelitian ini menyatakan bahwa dengan memajukan waktu pengapian CDI *programmable* sebesar 2° dari standarnya, daya mesin meningkat sebesar 0.2 HP dan torsi meningkat sebesar 0.21 Nm.

Nanlohy (2012) meneliti tentang perbandingan variasi derajat pengapian terhadap efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar otto engine BE50. Campuran bensin dan etanol memiliki peluang yang besar untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin Otto. Penelitian ini membahas tentang pengaruh dari variasi derajat pengapian terhadap efisiensi termal, konsumsi bahan bakar pada motor bensin. Penelitian menunjukkan bahwa waktu pengapian optimal bensin ada pada 9° BTDC dan BE50 pada 12° BTDC. Kinerja mesin berbahan bakar BE50 dibandingkan bahan bakar bensin menghasilkan SFC 4,06%; η_{th} 5,61% dan EC turun 22,84%.

Purwiga (2018) melakukan penelitian pengaruh sudut pengapian CDI pada motor 6 langkah dengan bahan bakar etanol dengan variasi sudut pengapian 24° , 26° , dan 28° . Putaran *crank shaft* divariasikan interval 600 rpm dari putaran 2400 rpm sampai 7200 rpm. Hasil yang diperoleh pada pengujian ini adalah pada sudut pengapian 28° menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih tinggi dibandingkan dengan sudut pengapian 26° , dan 24° . Hal ini disebabkan karena penggunaan bahan bakar etanol yang mengakibatkan kecepatan pembakaran menjadi lebih lambat sehingga perlu memajukan sudut pengapian agar daya ledak campuran udara bahan bakar lebih besar.

Sadiq (2016) meneliti tentang pengaruh waktu pembakaran pada unjuk kerja mesin dan emisi dari petrol engine. Pada mesin SI dengan memajukan waktu pengapian sebesar 4° dapat meningkatkan torsi dan daya mesin. Dengan memajukan waktu pengapian tidak mempengaruhi emisi gas buang CO dan CO₂. Waktu pembakaran yang terlalu mundur akan

menyebabkan menurunnya performa mesin dan meningkatkan emisi HC dan konsumsi bahan bakar.

Mursalin (2011) meneliti unjuk kerja dan emisi gas buang mesin bensin dengan bahan bakar campuran bensin ethanol. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa bensin dengan campuran etanol 10% dan 20% memiliki torsi dan daya yang lebih baik serta menghasilkan emisi gas buang dengan kandungan CO dan HC yang cukup rendah. Penggunaan bahan bakar yang dicampur etanol memiliki nilai ekonomis dibandingkan dengan bahan bakar murni, nilai bahan bakar bensin yang dicampur etanol nilai oktannya akan lebih tinggi sebanding dengan pertamax.

Hsieh (2002) melakukan penelitian pada performa dan emisi gas buang mesin bensin menggunakan campuran bahan bakar bensin dan *ethanol* dengan kemurnian 99,9%. Campuran bahan bakar yang divariasikan yaitu dengan kadar *volume ethanol* 10%, 5%, 10%, 20%, dan 30%. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan meningkatnya campuran kadar *ethanol* maka nilai oktan bahan bakar akan meningkat sehingga nilai torsi dan konsumsi bahan bakar juga mengalami peningkatan. Seiring dengan bertambahnya kadar *ethanol* pada campuran bahan bakar maka dapat menurunkan emisi gas buang CO dan HC, sedangkan kadar emisi CO₂ mengalami peningkatan karena proses pembakaran yang lebih baik.

Fauzi (2015) meneliti pengaruh *bioethanol* terhadap emisi gas buang pada sepeda motor 4 tak satu silinder dengan bahan bakar premium. Variasi penambahan kadar *volume bioethanol* sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *bioethanol* dapat menurunkan kadar CO dan meningkatkan kadar CO₂ seiring dengan naiknya putaran mesin. Sedangkan untuk kadar emisi HC, penambahan *bioethanol* paling efektif adalah E20 karena menghasilkan nilai emisi HC terendah diantara semua variasi penambahan *bioethanol* dan putaran mesin.

Iriyanto (2008) menganalisa performa dan emisi sepeda motor 4 langkah 1 silinder *fuel injection* 125cc terhadap variasi campuran pertamax-*ethanol* (E10-E30) dengan kemurnian *ethanol* 99% dan variasi putaran 3500-7000 RPM interval 500 RPM. Hasil penelitian menunjukkan dengan semakin bertambahnya *ethanol* maka emisi CO dan HC mengalami penurunan dibandingkan dengan pertamax. Untuk kandungan CO₂ dan O₂ semakin ditambahkannya *ethanol* maka akan semakin meningkatkan CO₂ dan O₂.

Elfasakhany (2016) melakukan penelitian performa dan emisi dengan menggunakan bahan bakar campuran aseton (C₃H₅OH) dan bensin pada mesin bensin dengan memvariasikan kadar *volume* campuran aseton yaitu 0%, 3%, 7%, 10%. Hasilnya didapatkan

bahwa dengan penambahan aseton pada bensin dapat meningkatkan torsi, daya, dan efisiensi dari mesin. Untuk emisi gas buang dari CO dan HC mengalami penurunan seiring meningkatnya putaran mesin, sedangkan kadar CO₂ semakin meningkat.

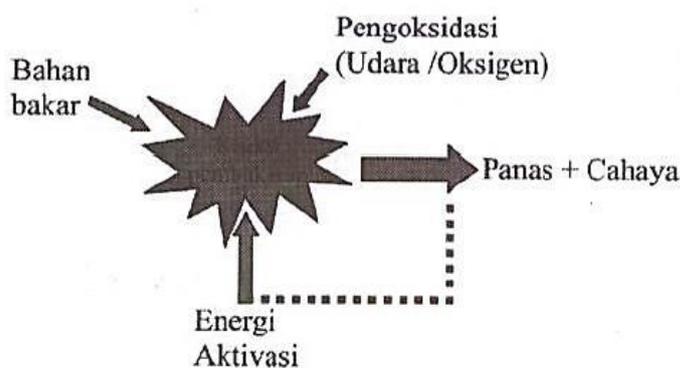
Razan (2018) melakukan penelitian tentang variasi campuran bahan bakar *gasoline-ethanol(gasohol)* terhadap emisi gas buang motor bakar Otto 6 langkah yang digunakan yaitu bensin (pertamax 92) dan *ethanol* dengan kadar kemurnian 99%. Variasi *ethanol* yang ditambahkan pada campuran bahan bakar adalah 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30) dan variasi interval putaran 600 rpm dari putaran 3000 rpm sampai dengan 7200 rpm. Didapatkan hasil kesimpulan semakin banyak penambahan kadar *ethanol* pada campuran bahan bakar semakin menurunkan emisi CO dan HC pada gas buang. Sifat *ethanol* yang termasuk *oxygenated fuel* menyebabkan pada campuran bahan bakar dengan kadar *ethanol* yang lebih banyak menghasilkan kandungan O₂ yang lebih tinggi.

2.2 Teori Pembakaran

Menurut Wardana (1989:252) pembakaran adalah proses secara fisik yang terjadi didalam silinder selama pembakaran terjadi. Hal ini berhubungan dengan peningkatan *temperature* dan tekanan didalam silinder. Komposisi utama dari bahan bakar adalah karbon, hidrogen, dan sulfur. Pembakaran dapat dikatakan sempurna apabila kandungan karbon (C) dalam bahan bakar terbakar habis dan membentuk karbondioksida (CO₂), hidrogen (H) terbakar membentuk uap air (H₂O), dan sulfur (S) terbakar membentuk sulfuroksida (SO₂). Apabila kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka pembakaran dikatakan tidak sempurna.

2.2.1 Proses Pembakaran

Proses pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan bakar yang menghasilkan cahaya dan menghasilkan kalor. Kalor tersebutlah yang merupakan energi.



Gambar 2.1 Ilustrasi proses pembakaran

Sumber: Wardana (2008:3)

Pada Gambar 2.1 menjelaskan tentang ilustrasi proses pembakaran. Proses pembakaran akan terjadi apabila bahan bakar dan udara bercampur kemudian diberikan energi aktivasi berupa percikan bunga api melalui busi dan menghasilkan panas dan cahaya untuk menghasilkan suatu kerja. Proses pembakaran yang ideal adalah pembakaran yang dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna. Kondisi ini disebut juga dengan kondisi stoikiometri. Pembakaran dikatakan sempurna apabila campuran bahan bakar dan oksigen mempunyai perbandingan yang tepat, sehingga tidak diperoleh sisa.

Suatu proses pembakaran selalu diusahakan untuk terjadinya pembakaran yang sempurna, karena itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Penguapan yang efisien dari bahan bakar.
2. Digunakan cukup udara.
3. Harus terjadi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Apabila salah satu syarat ini tidak terpenuhi maka tidak akan terjadi pembakaran yang sempurna (Soetiari, 1990:35). Akibat dari pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan oksida yang menimbulkan polusi udara dan menurunkan efisiensi serta dilihat dari faktor ekonomis juga akan merugikan.

2.2.2 Proses Terjadinya Tenaga

Sebuah kendaraan bisa bergerak membutuhkan energi gerak untuk melawan gesekan ban dengan jalan, gesekan udara, gesekan antara bagian yang berputar. Alat yang dapat membangkitkan energi gerak disebut penggerak utama yang dikenal dengan nama motor.

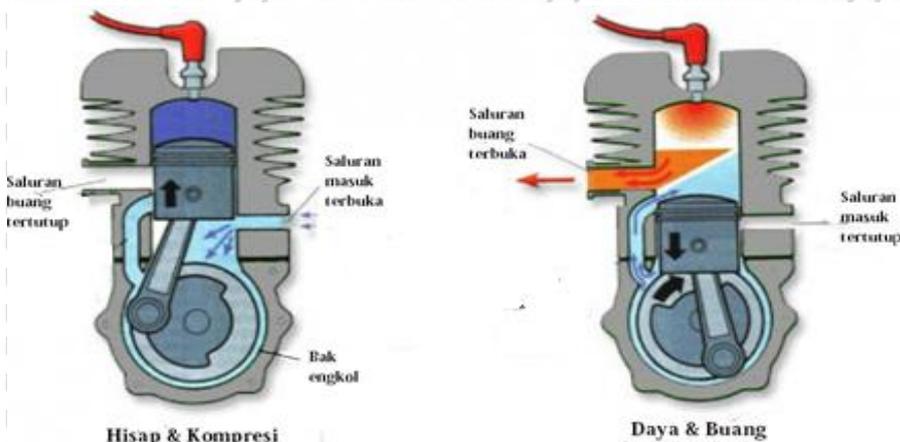
Motor harus melakukan proses pembakaran agar terjadi energi gerak. Pembakaran yang terjadi pada motor menghasilkan CO₂, H₂O, energi cahaya, energi panas. Energi panas yang timbul itulah yang digunakan oleh motor untuk menghasilkan tenaga sebagai penggerak dengan cara merubah gerak translasi menjadi rotasi. Kesimpulannya adalah motor berfungsi untuk mengubah energi panas dari hasil pembakaran menjadi energi gerak atau energi mekanik.

2.3 Prinsip Kerja Motor Bakar

Pada motor bakar berdasarkan sistem penyalanya terbagi *spark ignition* dan *compression ignition*. Philip Kristanto (2015) mengklasifikasikan siklus operasi dari motor pembakaran dalam menjadi motor dua langkah dan motor empat langkah.

2.3.1 Motor Dua Langkah

Motor dua langkah menghasilkan kerja pada setiap putaran poros engkol, yang artinya hanya dibutuhkan putaran *crankshaft* sebanyak satu kali untuk menyelesaikan satu siklus. Motor dua langkah mengganti katup dengan menggunakan lubang saluran di dinding silinder. Gerakan naik turun dari torak itulah yang akan membuka dan menutup lubang saluran di dinding silinder sebagai pengganti katup (Kristanto, 2015). Gambar 2.2 menunjukkan prinsip kerja dari motor dua langkah.



Gambar 2.2 Prinsip kerja motor 2-langkah
Sumber: Kristanto (2015:10)

1. Hisap & kompresi. Torak bergerak ke titik mati atas (TMA) dan saluran masuk terbuka sehingga udara terhisap masuk dan bercampur dengan bahan bakar. Pergerakan dari torak ke TMA menyebabkan campuran udara-bahan bakar termampatkan di dalam ruang bakar.
2. Daya & buang. Sebelum torak mencapai TMA, busi menyalakan campuran udara-bahan bakar sehingga menyebabkan terjadinya proses pembakaran dan torak terdorong ke titik mati bawah (TMB) untuk melakukan langkah daya. Pada saat mendekati akhir langkah dari piston, saluran buang terbuka dan gas sisa pembakaran terbuang keluar.

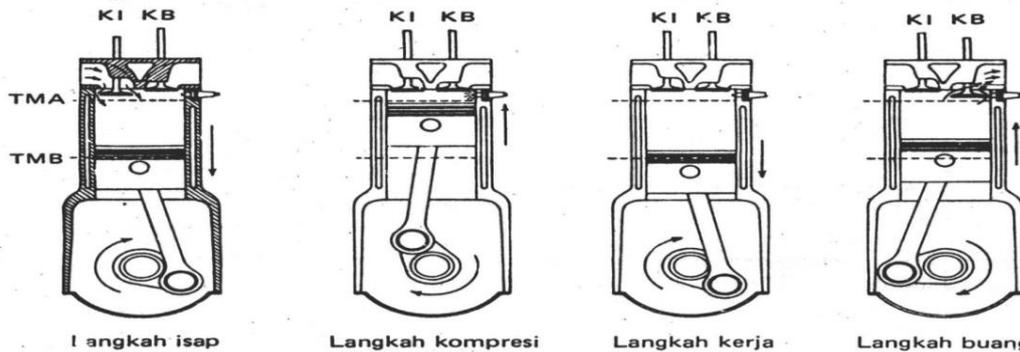
2.3.2 Motor Empat Langkah

Motor empat langkah dalam satu siklusnya membutuhkan dua kali putaran *crankshaft* di dalam silinder. Motor otto empat langkah melakukan proses pencampuran bahan bakar dan udara pada saat langkah isap. Berbeda dengan motor diesel yang pencampurannya terjadi pada saat akhir langkah pemampatan (Arends & Berenschot, 1994). Prinsip kerja motor empat langkah ditunjukkan pada Gambar 2.3.

Sistem penyalan *spark ignition* (SI) merupakan metode penyalan bahan bakar dengan bantuan api dari luar. Penyalan ini menggunakan busi sebagai sumber api. Setelah

campuran udara dan bahan bakar mencapai kompresi tertentu, dan dengan tekanan dan temperatur tertentu maka busi dinyalakan sehingga terjadi reaksi pembakaran dan menghasilkan tenaga untuk mendorong torak ke posisi semula. Compression ignition (CI) merupakan penyalan campuran bahan bakar dengan kalor kompresi yang sangat tinggi sehingga mencapai temperatur dan tekanan yang cukup tinggi yang memungkinkan terjadinya pembakaran sendiri yang akan menghasilkan tenaga untuk mendorong piston.

Adapun siklus otto yang terjadi pada motor bensin 4 langkah adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Prinsip kerja motor 4-langkah

Sumber: Arismunandar (1983:8)

1. Langkah hisap. Torak bergerak dari TMA ke TMB, katup isap (KI) terbuka dan katup buang (KB) tertutup sehingga campuran udara-bahan bakar terhisap ke dalam silinder.
2. Langkah kompresi. Torak bergerak dari TMB ke TMA dan kedua katup tertutup, campuran udara-bahan bakar dalam silinder diperkecil volumenya dan dimampatkan sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur di silinder naik.
3. Langkah kerja atau ekspansi. Sebelum torak mencapai TMA pada langkah kompresi, pada motor bensin busi dinyalakan sehingga terjadi proses pembakaran yang menyebabkan tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi dan mendorong torak ke TMB untuk melakukan langkah kerja atau langkah ekspansi.
4. Langkah buang. Torak bergerak dari TMB ke TMA dengan KI tertutup dan KB terbuka. Gas sisa hasil pembakaran terbuang keluar sistem oleh torak saat bergerak ke TMA.

Motor bakar 4 langkah yang konstruksinya terdiri dari *piston, connecting rod, crankshaft, cylinder blok, klep in, klep out, head, pin piston, ring piston* dan *fly wheel*. Didalam motor bakar 4 langkah bahwa campuran antara udara dan bensin dibakar untuk memperoleh energi panas. Energi panas diubah menjadi energi mekanik

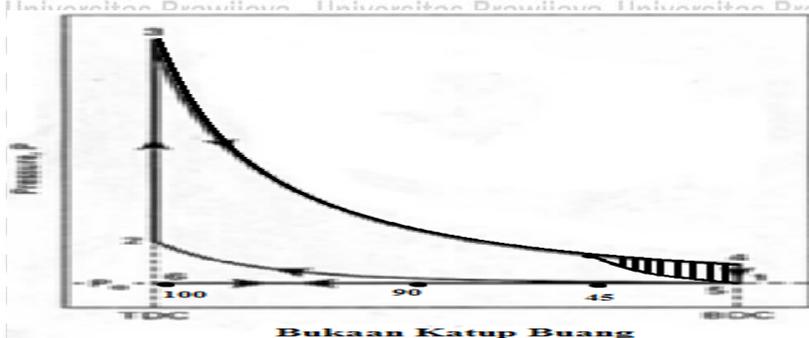
Jadi agar motor bakar dapat bekerja, harus melakukan beberapa proses kerja, yaitu

1. Menghisap campuran udara – bahan bakar masuk ke dalam *cylinder*
2. Mengompresi gas campuran udara – bahan bakar agar diperoleh tekanan pembakaran yang tinggi

3. Pengapian pada saat yang tepat
4. Meneruskan gaya tekan hasil pembakaran sehingga dapat diubah menjadi energi gerak
5. Membuang gas sisa pembakaran keluar dari ruang pembakaran.

Proses tersebut terjadi dalam suatu proses kerja yang disebut siklus. Satu siklus terjadi terjadi 4 proses kerja yang masing – masing proses kerja dilakukan oleh satu langkah piston sehingga satu kali usaha pada motor bakar diperlukan 4 langkah piston.

2.3.1 P-V Diagram *Ekpansian* 4 stroke Akibat bukaan Katup Buang



Gambar 2.4 Prediksi P-V diagram motor bakar 4 langkah
Sumber: Pulkrabek (2004:90)

Bisa dilihat Gambar 2.4 saat titik mati bawah, katup buang terbuka pada sudut 45° mengakibatkan bahan bakar sudah terbang melalui *exhaust*. Maka dari itu, sisa bahan bakar yang terbang tersebut seperti yang diarsir bisa dimanfaatkan kembali untuk motor bakar 6 langkah, sehingga efisiensinya lebih tinggi dari pada 4 langkah.

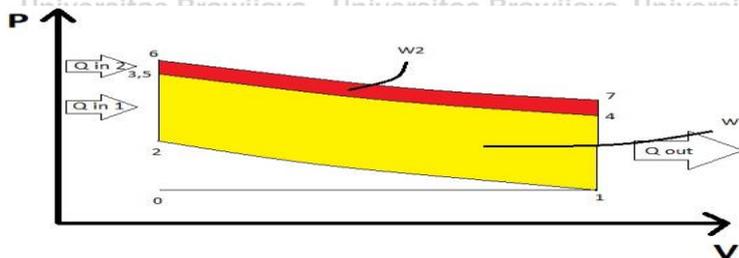
2.4 Motor bakar 6 Langkah

Skema dari motor bakar 6 langkah ini didukung oleh beberapa literatur. Seperti rendahnya tingkat homogenitas dari campuran udara–bahan bakar maupun homogenitas temperatur pada campuran pada ruang bakar. Relatif rendahnya kedua homogenitas ini terutama saat putaran tinggi dikarenakan rendahnya kecukupan durasi difusi bahan bakar ke dalam seluruh udara pembakar (Liakos, Founti & N.C., 2000), dan kecukupan durasi difusi termal dari dinding silinder keseluruh campuran udara–bahan bakar. Kedua kondisi ini mengakibatkan terdapat lokal-lokal area pembakaran yang tidak sempurna di dalam ruang bakar. Ketidak cukupan durasi ini telah diterangkan oleh Khovakh (1979), bahwa untuk 3000 rpm putaran motor waktu yang tersedia untuk pencampuran hanya sekitar 0.02 detik, sehingga kualitas campuran yang baik sulit diperoleh.

Keunggulan lain yaitu dalam 1 siklus ada 3 putaran *crankshaft* dengan 1 bahan bakar masuk. Maksudnya yaitu efisiensi bahan bakar yang lebih baik dari motor bakar 4 langkah dikarenakan bisa 3 putaran dalam 1 siklus. Sedangkan motor 4 langkah 2 putaran *crankshaft*

dalam satu siklus dan motor 2 langkah 1 putaran *crankshaft* dalam satu siklus. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa konsep motor bakar 6 langkah memiliki potensi yang sangat besar untuk masa depan.

2.4.1 Prediksi P-V Diagram Motor Bakar 6 Langkah Dua Kali Pembakaran



Gambar 2.5 Prediksi diagram P-V ideal motor bakar 6 langkah

Pada kondisi yang ideal diasumsikan semua campuran udara-bahan bakar dianggap telah terbakar habis, namun pada kenyataannya masih menyisakan campuran udara - bahan bakar yang tidak terbakar sempurna. Sehingga proses pembakaran motor bakar 6 langkah didapatkan langkah siklus sebagai berikut:

1. (0-1) = Langkah hisap (isobarik), menerima energi dari lingkungan dalam bentuk kerja (*intake work*).
2. (1-2) = Langkah kompresi 1 (isentropik), menerima energi dalam bentuk kerja (*compression work*).
3. (2-3) = Penambahan kalor $1/Q_{in 1}$ (isokhorik), menerima energi dalam bentuk kalor.
4. (3-4) = Langkah ekspansi 1 (isentropik), melepas energi dalam bentuk kerja (*expansion work*).
5. (4-5) = Langkah kompresi 2 (isentropik), menerima energi dalam bentuk kerja (*compression work*).
6. (5-6) = Penambahan kalor $2/Q_{in 2}$ (isokhorik), menerima energi dalam bentuk kalor.
7. (6-7) = Langkah ekspansi 2 (isentropik), melepas energi dalam bentuk kerja (*expansion work*).
8. (7-1) = Pelepasan kalor Q_{out} (isokhorik), melepas energi dalam bentuk kalor.
9. (1-0) = Langkah kompresi (isobarik), menerima energi dalam bentuk kerja (*exhaust work*).

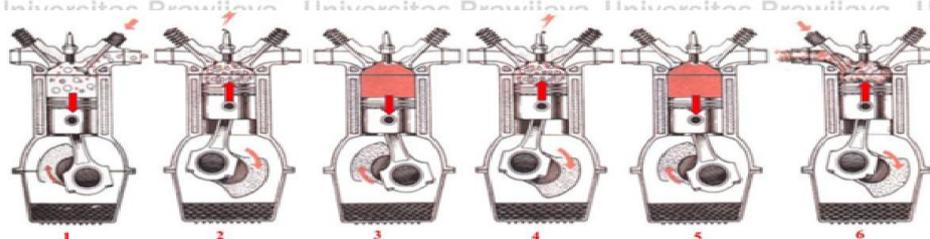
Sedangkan untuk luas usaha dari diagram P-V ideal pada motor bakar 6 langkah yaitu:

$$\text{Luas usaha ideal: } W_{net} = W_1 + W_2$$

$$= 1-2-6-7 \text{ (bidang)}$$

2.4.2 Motor Bakar 6 Langkah Berbasis Penambahan Difusi Massa dan Termal Campuran

Berbeda dengan konsep motor bakar 6 langkah sebelumnya, Eko Siswanto, et al (2014) menyampaikan suatu konsep baru yang tidak hanya menggunakan 1 langkah kerja pada satu siklus, tidak memerlukan sinkronisasi langkah kerja dan juga mengganti 2 langkah penyempurnaan pembuangan setelah langkah buang menjadi 2 langkah difusi jelang pembakaran, atau langkah kerja. Siklus motor bakar 6 langkah dalam penelitian ini terdiri dari:



Gambar 2.6 Skema siklus motor bakar 6 langkah
Sumber: Fikri (2015:22)

Seperti terlihat pada Gambar 2.6 penambahan 2 langkah terhadap siklus Otto 4 langkah yang dilakukan bertujuan untuk menambah durasi difusi bahan bakar terhadap udara masuk. Dengan penambahan tersebut, memungkinkan untuk meningkatkan homogenitas dan temperatur dari campuran udara-bahan bakar sebelum terbakar untuk mendapatkan daya ekspansi yang lebih baik.

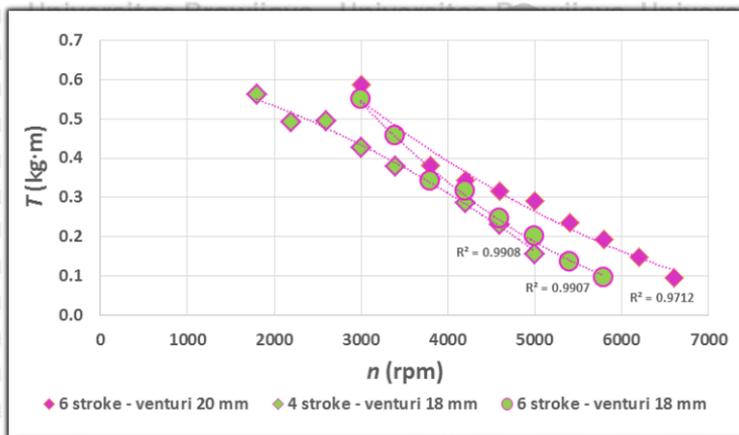
Dengan penambahan 2 langkah tersebut, secara teoritis dapat disimpulkan kualitas dari kerja ekspansi yang terjadi memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada motor bakar 4 langkah biasa. Dengan peningkatan kualitas tenaga per siklus ini, motor selain dapat menurunkan rasio konsumsi bahan bakar terhadap putaran, juga diharapkan mampu meningkatkan rasio energi ekspansi terhadap *losses* masa bahan bakar yang tidak terbakar dengan tidak mengorbankan rasio energi ekspansi terhadap rugi gesekan.

Karena kalor pada dinding silinder, kepala silinder, dan piston terdifusi kedalam campuran bahan bakar dan udara lebih lama maka operasi motor bakar 6 langkah ini juga diharapkan mampu menurunkan temperatur dinding silinder, kepala silinder dan piston yang berarti dapat menyederhanakan desain sistem pendingin atau dapat meningkatkan keandalan komponen-komponen motor. Difusi secara sederhana dipahami sebagai perpindahan massa karena adanya perbedaan konsentrasi, perpindahan terjadi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Kemudian yang mempengaruhi kecepatan difusi agar cepat seimbang dipengaruhi oleh penambahan 2 langkah yaitu *diffusion's compression stroke* semakin kecil jarak antar kosentrasi bahan bakar dan udara maka semakin cepat difusi yang

terjadi. Pada langkah *diffusion's ekspansion stroke* dimana udara dan bahan bakar mendapatkan energi panas sehingga kecepatan difusi meningkat. Dengan mempercepat difusi maka bahan bakar dan udara bisa menjadi lebih homogen sehingga pembakaran yang terjadi semakin baik.

2.4.3 Pengaruh Diameter Venturi Karbureter Terhadap Kinerja Enam-Stroke 125 Cc Combustion Engine

Performa motor bakar 6 tak dipengaruhi juga oleh diameter venturi. Diameter yang digunakan yaitu 18 mm dan 20 mm.

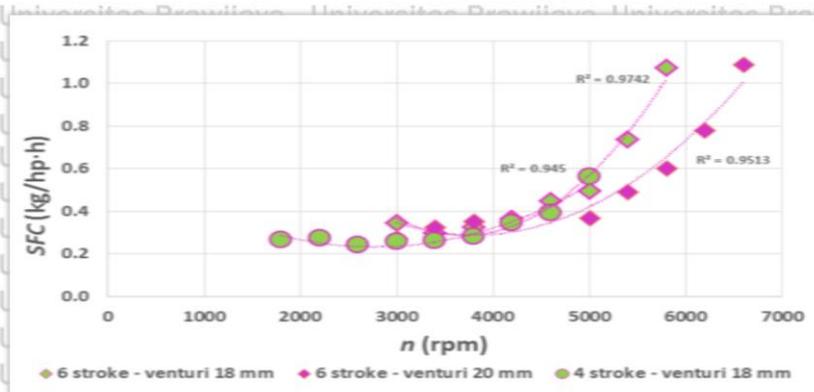


Gambar 2.7 Hubungan antara putaran *crankshaft* terhadap torsi
Sumber: E. Siswanto (2016:4)

Bisa dilihat pada gambar bahwa torsi menurun ketika rpm naik. Hal ini disebabkan naiknya pembebanan pada rem kecepatan putaran bisa diatur sesuai keinginan. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar beban pengereman maka semakin besar torsi. Hubungan antara beban F dan torsi T dapat ditulis

$$T = F \times L$$

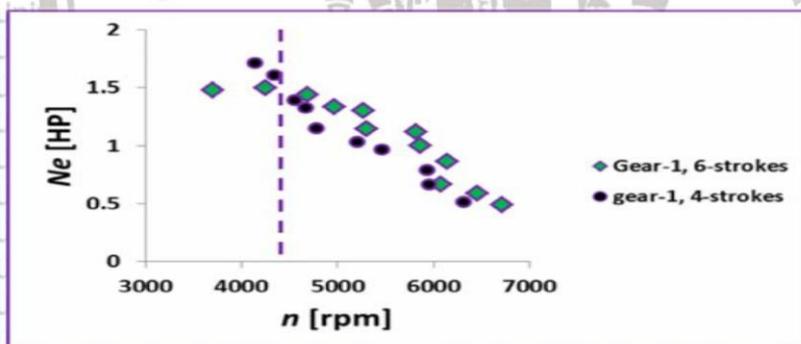
Dilain sisi, gerakan translasi piston dan akselerasi juga meningkat sehingga menghasilkan gaya gesek antara dinding piston dan silinder. Katup *intake* meningkat diiringi putaran engkol yang tinggi sehingga campuran massa bahan bakar udara yang masuk ke silinder menurun mengakibatkan tekanan efektif pembakaran berkurang.



Gambar 2.8 Hubungan antara putaran motor bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik
Sumber: E. Siswanto (2016:5)

Pada kondisi seperti gambar diatas pada putaran poros tinggi menyebabkan pembakaran sempurna dan menghasilkan tenaga yang lebih besar. Sehingga menunjukkan kecenderungan konsumsi bahan bakar (SFC) dari putaran awal sampai putaran putaran tinggi meningkat. Disebabkan rotasi yang lebih tinggi maka jumlah siklus ikut tinggi. Sehingga didapat diameter venturi 20 mm memberi peningkatan torsi rata – rata 21 % pada 3000 rpm sebesar 68 kg.m, daya efektif sebesar 2.84 (hp) dan, efisiensi termal tertinggi berada 29.78%

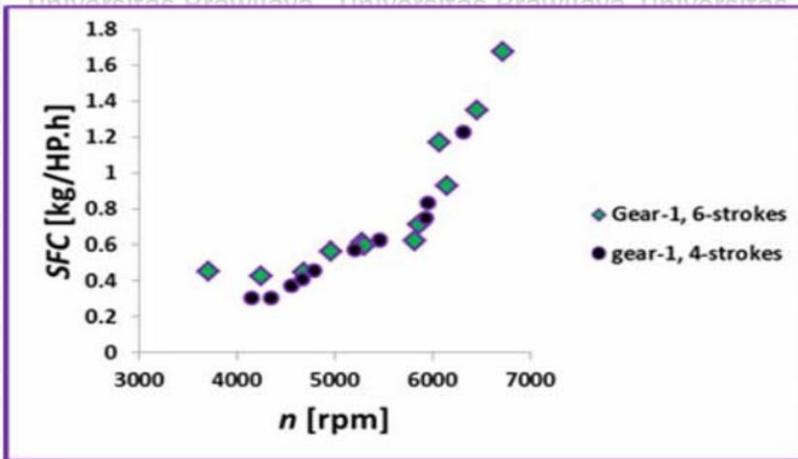
2.4.4 Performa Motor Bakar 6 Langkah



Gambar 2.9 Efektif power Ne pada 6 stroke dan 4 stroke
Sumber: E Siswanto (2017:10)

Gambar 2.9 adalah penjelasan tentang perbandingan antara performainternal combustion engine six stroke dan internal combustion engine four stroke.

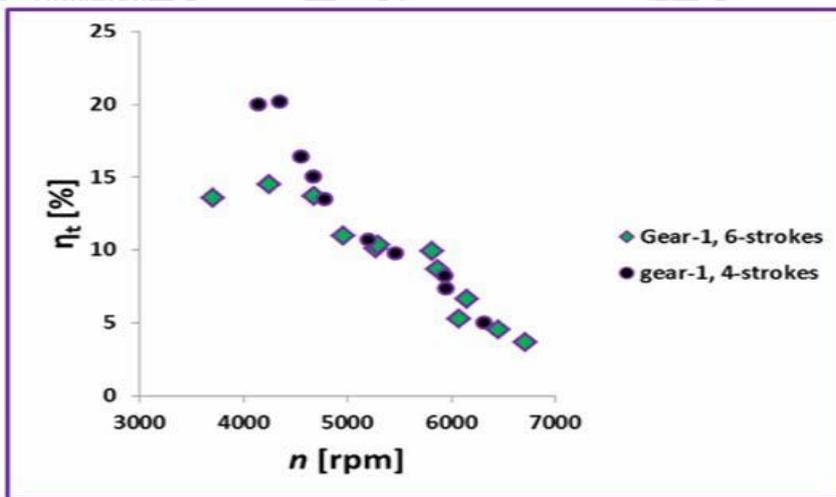
Pada rpm 4500, diberikan garis putus putus tanda bahwa kekuatan motor bakar 6 stroke adalah sebesar 1.10 HP. Sedangkan rata-rata yang dimiliki 4 stroke sebesar 0.99 HP. Maka dari itu, motor bakar 6 tak memiliki nilai yang lebih tinggi pada *power density* atau *ratio power to wight* pada *engine*. Daya efektif yang besar (N_e) dikarenakan campuran difusi yang lebih baik pada silinder dan efisiensi volumetrisnya juga besar. Semakin baik difusi menyebabkan homogenitas campuran udara bahan bakar lebih tinggi.



Gambar 2.10 Specific fuel consumption (SFC) pada 6 stroke dan 4 stroke

Sumber: E. Siswanto (2017:12)

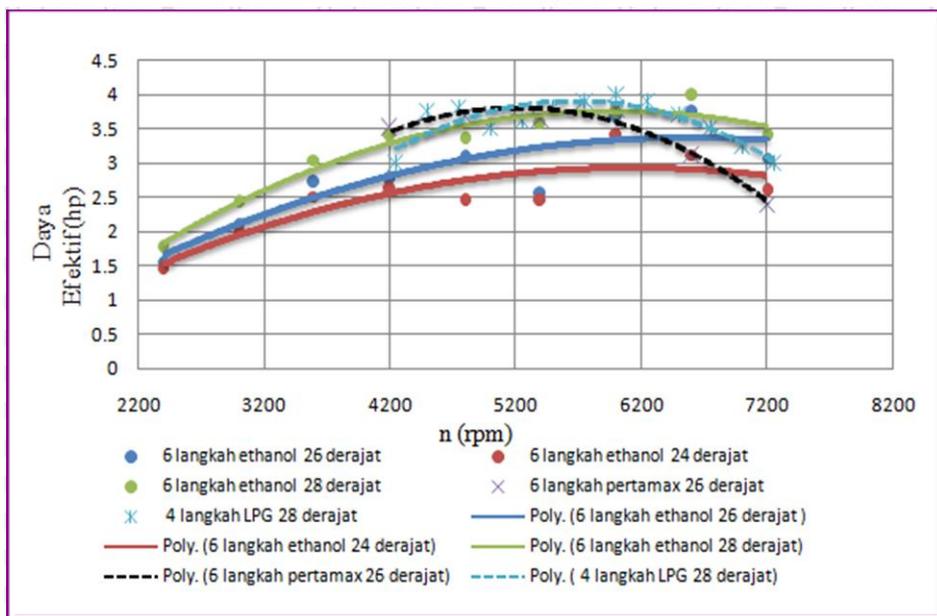
Pada rpm 4500 sampai rpm 6500 dari 6 stroke menghasilkan SFC rata rata 0.78 kg/HP.h. pada 4 stroke berada pada 0.66 kg/HP.h. jika dilihat nilai *Specific fuel consumption* (SFC) pada motor bakar 6 stroke lebih boros sekitar 15.4%.



Gambar 2.11 Thermal efficiency η_t pada 6 stroke dan 4 stroke

Sumber E. Siswanto (2017:14)

Bisa dilihat motor bakar 6 stroke memiliki efisiensi termal lebih rendah dari pada 4 stroke pada rpm 3600 sampai rpm 4500. Efisiensi termal berbanding terbalik dengan bahan bakar spesifik dan berbanding lurus pada daya efektif.



Gambar 2.12 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah

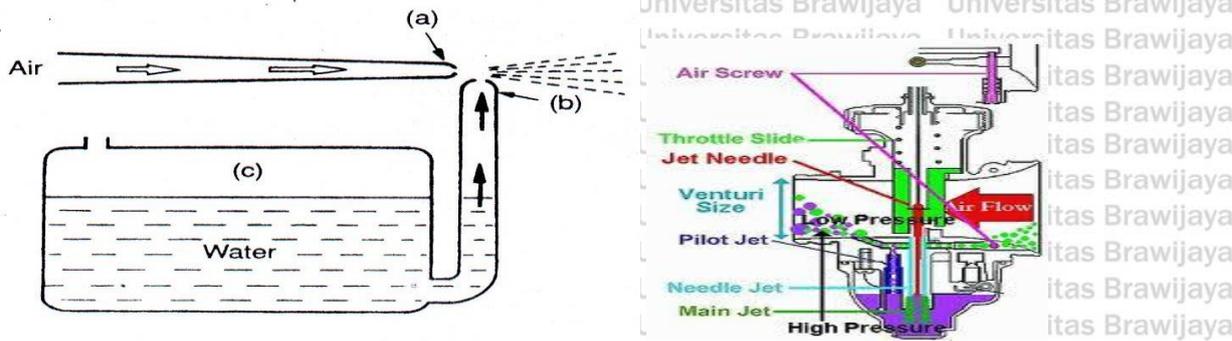
Sumber: Iga purwa aulia (2018:47)

2.5 Karburator

Karburator dibuat untuk membuat campuran udara dan bahan bakar pada perbandingan campuran yang tepat dan memberikan semprotan campuran ke ruang pembakaran dan dikompresikan oleh gerakan piston ke atas sehingga dimampatkan dan mudah terbakar. Oleh karena itu karburator sebagai penyemprot. Fungsi dari karburator:

1. Mencampur bahan bakar
2. Mengkabutkan bahan bakar dan udara
3. Menakar bahan bakar
4. Merubah fasa bahan bakar
5. Menyalurkan bahan bakar ke ruang bakar

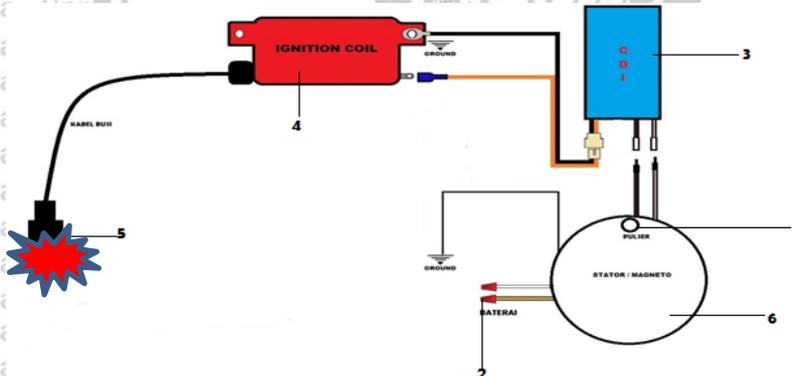
Pada gambar dibawah ini diterangkan prinsip dari penyemburan. Sebagai akibat dari derasnya tiupan angin di (a), suatu kondisi vacuum (tekanan dibawah atmosfer) terjadi di (b). Perbedaan tekanan antara vacuum dan atmosfer udara di (c) mengakibatkan semburan terjadi pada gasoline (b). Berdasarkan proses ini, maka semakin cepat aliran udara (a) mengakibatkan semakin besar vacuum yang terjadi pada (b), dan semakin banyak gasoline yang disemprotkan/disemburkan.



Gambar 2.13 prinsip kerja karburator
Sumber: Buku Pedoman reparasi Honda (2010)

2.6 Sistem Pengapian

CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) ialah system alat pengapian elektrik yang digunakan pada motor bakar untuk menyimpan energi sementara dan akan dikeluarkan ketika waktunya pas untuk dialirkan ke koil dengan tegangan 12 volt untuk dinaikkan tegangannya hingga 15.000 volt, dengan output tegangan tinggi ini menghasilkan percikan api pada busi. Pada busi tergantung pada besarnya percikan api didalam kapasitor. Campuran bahan bakar dan udara juga sangat berpengaruh terhadap kinerja motor bakar. Karena campuran bahan bakar dan udara serta percikan api yang bagus akan menghasilkan energi yang besar pula.



Gambar 2.14 Diagram sirkuit dasar CDI
Sumber: Techno, Sains (2016)

Bagian-bagian pada gambar 2.14 yang bisa ditemui disuatu pengapian CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) yaitu:

1. Kumparan pemacu (*pulser coil*)

Pulser adalah alat memberi aba-aba pada cdi untuk memantikkan listrik dari magnet yang akan dirubah menjadi api dibusi.

2. Baterai (*battery*)

Baterai adalah alat yang merubah energi kimia menjadi energi listrik. Kegunaan dari baterai itu sebagai penyimpan energi listrik dan mengeluarkan energi listrik ketika dibutuhkan yang contohnya untuk CDI.

3. CDI (*Capacitor Discharge Ignition*)

CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) adalah Sistem pengapian elektrik pada motor bakar untuk melakukan pembakaran.

4. Kumaran pengapian (*ignition coil*)

Ignition coil adalah alat yang digunakan untuk merubah arus 12 volt menjadi 15000-30000 volt agar memperkuat pengapian motor untuk memercikan api ke busi.

5. Busi

Busi berupa percikan api berguna untuk membakar bensin yang sudah di kompresi oleh piston.

6. Magnet / stator

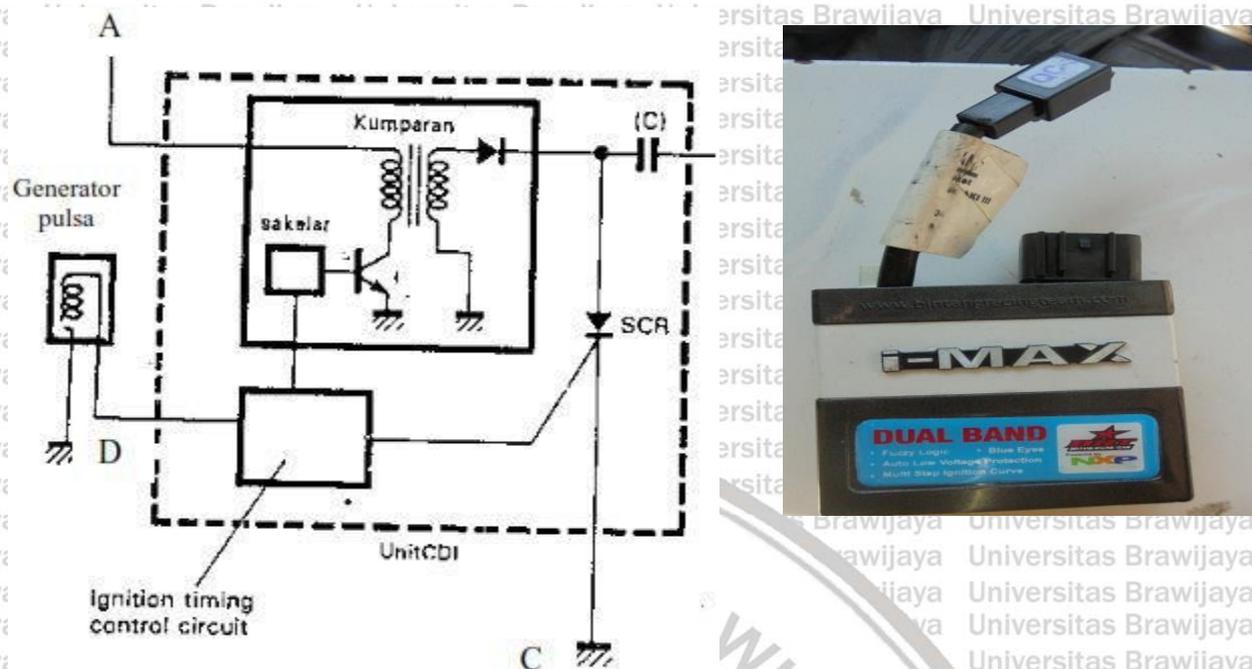
Magnet adalah kumaran untuk menghasilkan energi untuk mengisi baterai.

2.6.1 Sistem Pengapian CDI

Pada saat magnet berputar akan menghasilkan tegangan AC (bolak - balik) dalam bentuk induksi listrik yang berasal dari kumaran atau biasa disebut *spool*. Arus akan dikirimkan ke CDI dengan tegangan antara 100-400 volt, tergantung putaran *crankshaft* motor bakar Selanjutnya arus bolak balik (AC) yang berasal dari kumaran dijadikan arus searah (DC) oleh diode dan disimpan di kapasitor pada CDI unit. Kapasitor tidak akan melepas arus sebelum komponen yang bertugas menjadi pintu (SCR) bekerja, bekerjanya SCR apabila telah mendapatkan sinyal pulsa dari kumaran pulser CDI (*pulser coil*) yang menandakan saatnya pengapian.

Dengan berfungsinya SCR menyebabkan kapasitor melepaskan arus (*discharge*) dengan cepat. Kemudian arus mengalir ke kumaran primer koil pengapian dengan tegangan 100-400 volt, kemudian terjadi induksi dalam kumaran sekunder dengan tegangan sebesar 15000-30000 volt. Tegangan tinggi tersebut selanjutnya mengalir ke busi dalam bentuk loncatan bunga api yang akan membakar campuran udara dan bahan bakar. Kelebihannya dari CDI model ini bisa diprogram waktu pengapiannya sehingga menghasilkan ledakan pada waktu yang diinginkan. Bahan bakar yang kaya membutuhkan derajat lebih maju karena bahan bakar tersebut susah dibakar sehingga membutuhkan pemajuan waktu pengapian dan begitu bahan bakar miskin maka derajat pengapiannya dimundurkan. Jika

bahan bakar diubah menjadi etanol dengan angka oktan yang tinggi maka pengapian harus dimajukan karena bahan bakar etanol susah dibakar.



Gambar 2.15 skema CDI

Sumber: Text Book, Suzuki 6:12

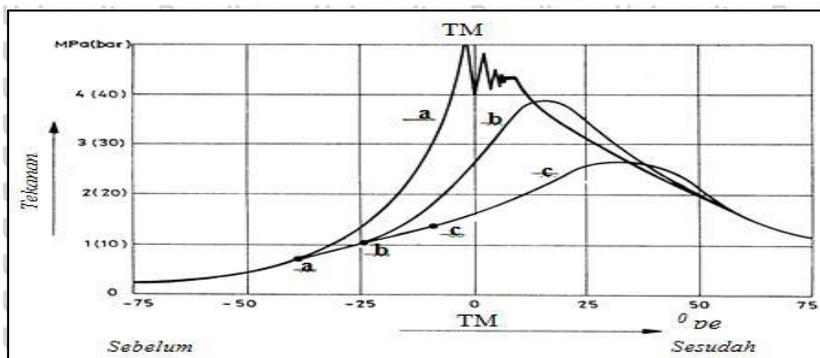
Keterangan:

- A : Kabel oranye dihubungkan ke baterai
- B : kabel putih gari biru dihubungkan ke kumparan primer koil pengapian
- C : Kabel hitam garis putih dihubungkan ke massa
- D : Kabel biru garis kuning

2.6.2 Sudut Pengapian

Proses pembakaran yang terjadi pada ruang bakar sangat cepat. Namun ada selang waktu sesaat awal penyalaan busi sampai udara dan bahan bakar terbakar habis. Nyala api akan merambat kesegala arah dengan kecepatan yang tinggi antara 20 m/s – 50 m/s. (Arismunandar, 2005:82).

Ignition timing adalah saat terjadinya percikan busi pada waktu beberapa derajat sebelum TMA pada akhir langkah kompresi. Pada proses pembakaran dibutuhkan waktu bagi api untuk merambat pada ruang bakar.



Gambar 2.16 Diagram tekanan saat pengapian terlalu awal, tepat dan terlalu lambat
Sumber: Heywood (1988:374)

Untuk mendapatkan performa yang maksimal, *ignition timing* harus pas. Arends & berenscot (1994), jika *ignition timing* terlalu maju, bisa mengakibatkan detonasi dikarenakan ledakan terjadi saat piston sebelum melewati TMA. Hal itu sangat merugikan. Apabila *ignition timing* terlambat, mengakibatkan menurunnya daya. Volume ruang bakar pada akhir pembakaran sudah meningkat sehingga mengakibatkan sisa kalor akan terbawa gas buang.

Ignition timing juga memiliki variabel yang bisa berubah sesuai keinginan peneliti.

Contohnya:

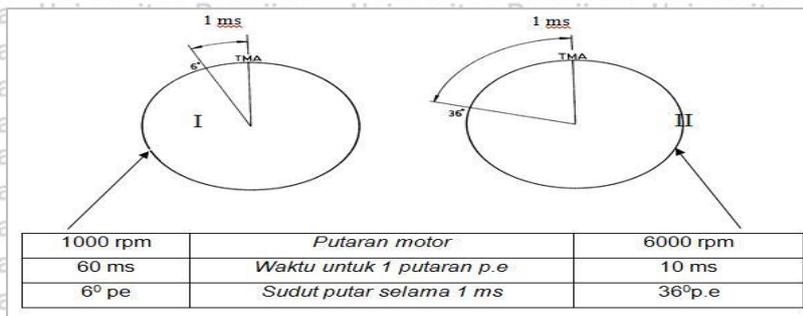
1. Kecepatan rambat api

Sudut pengapian yang dibutuhkan sangat dipengaruhi oleh kecepatan rambat api.

Kecepatan rambat api dipengaruhi oleh konsentrasi campuran bahan bakar dan udara, campuran kaya atau basah membutuhkan waktu lebih lama untuk terbakar daripada campuran miskin atau kering. Nilai oktan dari bahan bakar juga mempengaruhi terhadap kecepatan rambat api, semakin tinggi nilai oktan yang dimiliki bahan bakar akan memiliki waktu lebih lama untuk terbakar daripada bahan bakar yang memiliki nilai oktan rendah.

2. Kecepatan putaran

Sudut pengapian pada putaran rendah memiliki nilai sudut yang berbeda dengan putaran tinggi dikarenakan kecepatan piston akan meningkatkan putaran poros engkol, namun waktu yang dibutuhkan api terbakar tetap. Maka dari itu pada putaran tinggi dibuat lebih maju dari putaran rendah. Hal ini disarankan untuk diaplikasikan pada dikarenakan jika tidak diubah bisa mengakibatkan menurunnya daya motor bakar itu sendiri.



Gambar 2.17 Hubungan waktu pengapian terhadap putaran mesin

2.7 Bahan bakar

Bahan bakar adalah semua zat yang bisa dijadikan energi. *Hydrocarbon* merupakan bahan bakar yang sering digunakan sebagai bahan bakar. Senyawa *hydrocarbon* saling berikatan hingga membentuk rantai. *Hydrocarbon* yang memiliki panjang rantai beda memiliki sifat yang berbeda juga. Pada kondisi tekanan kamar, C₁ – C₄ berwujud gas, sedangkan C₅ – C₁₈ berwujud cair dan, C₁₉ keatas berbentuk padat.

2.7.1 Karakteristik Bahan Bakar

Unjuk kerja dari mesin berpengapian busi (*SI Engine*) sangat dipengaruhi oleh bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar mesin. Bahan bakar yang digunakan pada pengoperasian mesin berpengapian busi harus memenuhi beberapa karakteristik penting dari bahan bakar meliputi:

1. Angka Oktan (*octane number*)

Oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan maksimum yang bias diberikan di dalam mesin sebelum bensin terbakar secara maksimum. Kualitas oktan etanol yang tinggi menunjukkan kemampuannya yang bagus dalam menghambat terjadinya *knocking* pada *engine*. Hal ini didukung oleh *autoignition temperature* etanol yang dua kali lebih tinggi, yaitu 423°C dibandingkan dengan bensin yang hanya 257°C, artinya etanol mampu dipanaskan hingga temperatur yang lebih tinggi. Hasilnya adalah dengan bahan bakar etanol dimungkinkan untuk menggunakan *engine* dengan rasio kompresi yang lebih tinggi dibanding kendaraan bermotor yang berbahan bakar bensin sehingga akan memperbaiki *effisiensi thermis* dan meningkatkan daya *engine*.

2. Kemudahan menguap (*volatility*)

Kemudahan menguap (*volatility*) menjadi salah satu pertimbangan penting dalam pemilihan bahan bakar karena berkenaan dengan pembentukan campuran antara bahan bakar dan udara yang tepat di dalam karburator. Mudah tidaknya bahan bakar untuk

menguap akan mempengaruhi performa *engine* karena menentukan kemudahan *starting*.

Sifat bahan bakar yang berhubungan erat dengan *volatility* adalah titik nyala (*flash point*). Titik nyala didefinisikan sebagai temperatur minimum cairan dimana pada temperatur tersebut cairan menghasilkan sejumlah uap yang dapat membentuk campuran dengan udara sehingga mampu terbakar. Hambatan penggunaan etanol sebagai bahan bakar adalah titik nyalanya yang tinggi, yaitu 13°C sedangkan pada bensin -43°C . Bensin memiliki titik nyala yang lebih rendah. Karena mengandung lebih banyak hidrokarbon dengan titik didih (*boiling point*) sangat rendah. Titik nyala yang tinggi akan menghambat penguapan dan menyebabkan *cold starting* yang sulit.

3. Titik beku (*Freezing Point*)

Suhu pada saat bahan bakar mulai membeku disebut titik beku. Sifat ini sangat penting terutama pada bahan bakar pesawat terbang, mengingat kemungkinan penjelajahannya ke daerah-daerah dingin. Bila di dalam bahan bakar terdapat kadar aromatik yang cukup tinggi, maka pada suhu tertentu, aromatik-aromatik itu akan mengkristal sehingga saluran-saluran bahan bakar dapat tersumbat. Karena itu mesin-mesin yang bekerja di daerah dingin, titik beku bahan bakarnya harus rendah. Titik beku etanol adalah -114°C sedangkan bensin pesawat terbang berada di sekitar $+50^{\circ}\text{C}$.

4. Kandungan Energi (*Energy Content*)

Semakin tinggi kandungan energi bahan bakar maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan *engine*. Kandungan energi bahan bakar ditunjukkan oleh nilai kalornya (*lower heating value*). Nilai kalor etanol tidak lebih dari setengah nilai kalor bensin, yaitu $21,1 \text{ MJ/L}$ dibanding $30-33 \text{ MJ/L}$ sehingga untuk menghasilkan daya yang sama *engine* mengkonsumsi etanol satu setengah kali lebih banyak daripada konsumsi bensin. Hal tersebut dipengaruhi oleh adanya kandungan oksigen di dalam etanol. Adanya kandungan oksigen dalam etanol tersebut menyebabkan stoichiometric AF ratio etanol satu setengah dari yang dimiliki bensin, yaitu 9 dibanding 14.7.

5. Panas Penguapan Laten (*Latent Heat of Vaporization*)

Panas penguapan laten etanol sekitar 3, 4 kali lebih besar dibanding bensin dalam unit massa. Keuntungannya adalah panas penguapan laten yang tinggi dapat mendinginkan udara masukan (*intake air*) yang kemudian meningkatkan densitasnya sehingga memungkinkan lebih banyak volume udara masukan. Hal tersebut membentuk campuran bahan bakar-udara yang lebih miskin sehingga mengurangi kadar CO gas

buangnya sebagai hasil pembakaran yang lebih sempurna. Panas penguapan laten yang tinggi juga dapat mendinginkan temperatur pembakaran sehingga menurunkan kecenderungan terjadinya *autoignition* serta mengurangi kadar NO_x gas buangnya.

6. Berat jenis (*Specific Gravity*)

Perbandingan berat sejumlah tertentu suatu zat terhadap berat air murni pada volume dan suhu yang sama, dinamakan berat jenis zat itu. Jika perbandingan berat sejumlah tertentu suatu zat dibandingkan dengan volume zat tersebut tanpa membandingkan dengan berat air murni dengan volume dan suhu yang sama disebut massa jenis. Berat jenis atau massa jenis suatu zat terutama yang berwujud gas atau cair dipengaruhi oleh suhu atau temperatur zat tersebut. Semakin tinggi temperatur zat tersebut maka semakin rendah berat jenis atau massa jenis zat tersebut karena volume zat tersebut akan naik seiring dengan kenaikan temperatur zat tersebut. Demikian juga dengan penurunan temperatur suatu zat maka berat jenis atau massa jenis zat tersebut akan naik karena volume zat tersebut akan turun seiring dengan turunnya temperatur zat tersebut. Berat jenis etanol adalah 0.796 sedangkan bensin yang dipakai sebagai bahan bakar berkisar dari 0.69 s/d 0.79.

7. Keausan dan Korosifitas

Jika menggunakan etanol murni sebagai bahan bakar akan rawan terjadi keausan pada dinding silinder dan ring piston. Oli yang melapisi *engine* dapat tersapu oleh cairan etanol selama cold starting sehingga menimbulkan kontak antarmaterial. Keausan juga dapat terjadi karena pembentukan asam format selama proses pembakaran yang langsung menyerang material sehingga menyebabkan korosi. Untuk mencegah atau mengurangi keausan material di atas maka dilakukan pelapisan dengan *chrome* atau dengan menambahkan bahan *additive*.

2.7.1 Ethanol

Ethanol berasal dari kata *etil-alcohol* yaitu senyawa hidro carbon yang bisa digunakan untuk bahan bakar. *Ethanol* memiliki nama kimia C₂H₅OH. Yaitu diperoleh dari peragian gula, sehingga banyak terdapat dan melimpah di alam seperti tebu, jagung, casava. Proses peragian etanol dari gula seperti persamaan reaksi dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Proses pembuatan ethanol

Sumber: Dokumen pribadi

Etanol memiliki bau yang khas dan sering digunakan di laboratorium dan salah satunya dipakai sebagai bahan bakar. *Ethanol* dikategorikan mudah terbakar dan memiliki api biru warnanya dengan nilai kalor ata (HHV) 30,610 kJ/Kg dan titik nyala pada suhu 76,67°C.

Keuntungan pemakaian etanol yaitu:

- emisi gas buangnya kecil
 - memiliki kerapatan energi tinggi
 - bisa dicampur di air
- Sehingga memiliki kekurangan
- mudah menguap
 - korosif

2.7.2 Sifat Fisik Etanol

Etanol memiliki sifat fisik yaitu (Perry,1999):

- Rumus molekul : C_2H_5OH
- Angka oktan : 111
- Massa molar : 46.06844 g/mol
- Densitas : 0.7893 g/cm^3
- Titik didih : 78.29°C
- Titik lebur : -11.14°C
- Keasamaan (pKa) : 15.9
- Vikositas : $1.17 \text{ cP (20}^\circ\text{C)}$
- Nilai kalor : 29.847 MJ/kg
- Flash point : 78°C

Penggunaan etanol untuk bahan bakar harus melakukan beberapa perubahan terhadap motor bakar yang digunakan dikarenakan setiap bahan bakar memiliki *ignition lag* yang

berbeda dengan bahan bakar bensin, *ignition lag* adalah waktu dimana pengapian menyala hingga terjadi pembakaran. *Ignition lag* dipengaruhi dari beberapa hal diantaranya AFR, LHV dan oktan *number*. Ketika *ignition lag* terlalu lama maka mengakibatkan hilangnya tenaga dan sebaliknya semakin cepat *ignition lag* maka bisa menyebabkan *knocking*. Etanol dengan unsur senyawa C_2H_5OH memiliki nilai LHV sebesar $5643.35 \text{ kkal kg}^{-1}$ sedangkan pertamax yang memiliki unsur senyawa C_8H_{18} memiliki nilai LHV sebesar $10186.32 \text{ kkal kg}^{-1}$ semakin tinggi nilai LHV maka semakin mudah bahan bakar tersebut terbakar.

Etanol merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dijadikan sebagai energi alternatif dari bahan bakar nabati (BBN). Etanol mempunyai beberapa kelebihan dari pada bahan bakar lain seperti premium antara lain sifat etanol yang dapat diperbaharui, memiliki kandungan oksigen 34% dari beratnya, menghasilkan gas buangan yang ramah lingkungan karena gas CO_2 yang dihasilkan rendah Shahir (2014).

2.8 Parameter Unjuk Kerja Motor Bakar

Pengujian dari suatu motor bahan bakar adalah mengetahui kinerja dari motor bakar itu sendiri. Parameter - parameter yang dibahas untuk mengetahui kinerja motor bakar dalam penelitian motor bakar enam langkah ini meliputi:

1. Torsi (T)
2. Daya efektif (Ne)
3. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe)
4. Efisiensi termal efektif

2.8.1 Torsi

Torsi merupakan momen putar yang dihasilkan oleh poros motor bakar. Besarnya torsi dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *dynamometer*, yang akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros, sehingga harga torsi dapat dicari dari hubungan antara perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Besar torsi dapat dirumuskan sebagai berikut

$$T = F \times L \dots \dots \dots (2-1)$$

Dengan:

T = Torsi yang dihasilkan (kg.m)

F = Besarnya beban pengereman (kg)

L = Panjang lengan *dynamometer* (m)

2.8.2 Daya Efektif

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif ini dibangkitkan oleh daya indikasi, yaitu suatu daya yang dihasilkan oleh torak. Daya efektif didapatkan dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan angular poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.5} \dots \dots \dots (2-2)$$

Dengan:

Ne = Daya efektif (hp)

T = Torsi (kg.m)

ω = Kecepatan angular poros (rad.detik⁻¹)

N = Putaran poros (rpm)

dapat juga daya efektif dicari dengan:

$$Ne = Ni - Nm$$

Dimana:

Ne = Daya efektif (hp)

Ni = Daya indikatif (hp)

Nm = Daya mekanis yang hilang (hp)

2.8.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif selama 1 jam. *Specific fuel consumption effective* (SFCe) dengan persamaan sebagai berikut

$$SFCe = \frac{Fc}{Ne} \dots \dots \dots (2-3)$$

Dengan:

SFCe = *Specific fuel consumption effective* (kg.hp⁻¹.jam⁻¹)

Fc = Konsumsi bahan bakar (kg.jam⁻¹)

Ne = Daya efektif (hp)

2.8.4 Efisiensi Termal Efektif

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara banyaknya kalor yang dihasilkan bahan bakar dengan daya efektif yang dihasilkan oleh motor bakar. Nilai ini

digunakan sebagai ukuran ekonomis atau tidaknya penggunaan bahan bakar. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut,

$$\eta_{te} = \frac{Q_c}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{F_c / N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\% \quad (2-4)$$

dengan:

$$1 \text{ hp} = 632 \text{ (kkal} \cdot \text{jam}^{-1}\text{)}$$

$$\eta_e = \text{Efisiensi termal efektif (\%)}$$

$$LHV_{bb} = \text{Nilai kalor dari bahan bakar (kkal} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$$

$$F_c = \text{Konsumsi bahan bakar (kg} \cdot \text{jam}^{-1}\text{)}$$

$$N_e = \text{Daya efektif (hp)}$$

$$SFC_e = \text{Konsumsi bahan bakar spesifik (kg} \cdot \text{hp}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1}\text{)}$$

2.9 Emisi Gas Buang

Di setiap negara memiliki standar penetapan untuk emisi gas buang dari kendaraan bermotor yang berbeda-beda parameter dan nilainya. Negara Indonesia sendiri memiliki ketetapan terkait dengan pengendalian emisi kendaraan bermotor yang telah diatur dalam peraturan perundang-undangan mengenai lingkungan hidup. Menteri Negara Lingkungan Hidup telah memutuskan dalam Kep. No. 35/MENLH/10/1993 tentang ketetapan ambang batas gas buang kendaraan bermotor kandungan CO dan HC dan juga peraturan no. 05 tahun 2006 tentang batas emisi kendaraan bermotor.

Tabel 2.1

Batas Emisi Kendaraan Bermotor Menurut Kepmen LH No. 5 Tahun 2006

Kategori	Tahun	Parameter Kadar Emisi	
		CO (%)	HC (ppm)
Kendaraan	Pembuatan		
Sepeda motor 2 langkah (L)	< 2010	4.5	12000
Sepeda motor 4 langkah (L)	< 2010	4.5	2400
Sepeda motor 2 langkah & 4 langkah (L)	> 2010	4.5	2000
Motor bakar cetus api/bensin (M, N, O)	< 2007	4.5	1200
	> 2007	1.5	200

Sumber: Arifin & Sukoco (2009:54)

Keterangan:

- Kendaraan kategori L: kendaraan beroda kurang dari empat

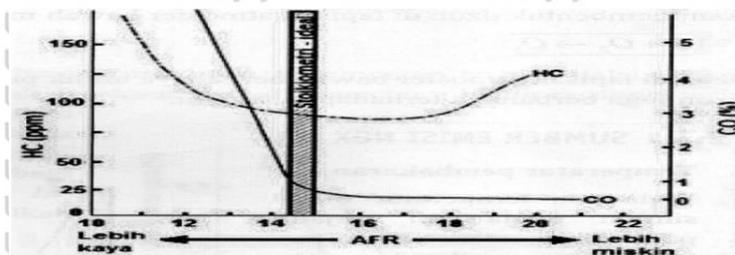
- Kendaraan kategori M: kendaraan beroda empat/mobil penumpang

- Kendaraan kategori N: kendaraan angkutan barang

- Kendaraan kategori O: kendaraan penarik untuk gandengan/tempel

Gas buang umumnya tersusun oleh gas yang tidak beracun seperti N₂ (nitrogen), CO₂ (Karbon dioksida), dan H₂O (Uap Air) tetapi terdapat juga gas yang beracun seperti NO_x,

HC, dan CO yang menyebabkan pencemaran udara dan berbahaya bagi manusia. Pengujian emisi kendaraan bermotor menunjukkan data bahwa gas buang terdiri dari 72% N_2 , 18.1% CO_2 , 8.2% H_2O , 1.2% gas argon (gas mulia), 1.1% O_2 dan 1.1% gas beracun yang terdiri dari 0.13% NO_x , 0.09% HC dan 0.9% CO (Arifin & Sukoco, 2009). Rasio udara-bahan (AFR) bakar berpengaruh terhadap efisiensi proses pembakaran.



Gambar 2.19 Grafik AFR terhadap kandungan emisi CO dan HC

Sumber: Kristanto (2015:201)

Menurut Nugraha (2007) emisi gas buang kendaraan pada umumnya terdiri dari gas beracun dan gas yang tidak beracun. Gas beracun terdiri dari senyawa hidrokarbon (HC), karbonmonoksida (CO), dan oksidanitrogen (NO_x) dan gas yang tidak beracun terdiri dari nitrogen (N_2), karbondioksida (CO_2) uap air (H_2O), Gas Argon (gas mulia) dan Oksigen (O_2). Sutiman (2004) menyatakan bahwa emisi gas buang kendaraan bermotor terdiri dari karbonmonoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksidanitrogen (NO_x), karbondioksida (CO_2) dan oksigen (O_2).

Tabel 2.2

Emisi Gas Buang K endaraan Bermotor, Proses Terbentuknya dan Bahayanya Bagi Manusia

Emisi Gas Buang	Proses Terbentuknya	Bahaya Bagi Manusia
CO	Dihasilkan dari pembakaran yang diakibatkan oleh kurangnya oksigen pada proses pembakaran (campuran bensin dan udara kaya) atau pembakaran tidak sempurna	- Rasa sakit pada mata, saluran pernafasan
HC	Terbentuk dari bahan bakar mentah yang tidak terbakar selama proses yang tidak terbakar selama proses pembakaran	- kanker dan penurunan kecerdasan
NO_x	Dihasilkan akibat adanya N_2 dalam campuran udara dan bahan bakar, serta suhu pembakaran yang tinggi dari dalam silinder sehingga terjadi pembentukan NO_x	- Gangguan iritasi mata, hidung, paru-paru, saluran pernafasan
CO_2	Semakin rendah kadar CO_2 dalam gas buang menandakan bahwa efisiensi pembakaran tidak bagus atau tidak sempurna	- Terasa pedih di mata
O_2	Oksigen yang terdapat dalam gas buang merupakan oksigen sisa yang tidak ikut terbakar selama proses pembakaran	- Tidak berbahaya namun dapat menyebabkan efek rumah kaca

Sumber: Sutiman (2004)

2.9.1 Hidrokarbon (HC)

Gas buang yang dihasilkan motor bensin memiliki kandungan hidrokarbon sebesar 6000 ppm dan setara dengan 1-1,5% bahan bakar, dimana 40% diantaranya merupakan bensin yang tidak terbakar (Kristanto, 2015). Dari gambar 2.19 ditunjukkan emisi gas HC terendah saat AFR sedikit lebih tinggi dibanding stoikiometri ideal. Sedangkan saat campuran terlalu kaya atau terlalu miskin maka emisi HC akan mengalami peningkatan. Pada campuran kaya, jumlah hidrogen dan karbon tidak sama dengan jumlah oksigen sehingga tidak dapat bereaksi secara sempurna dan menghasilkan HC pada gas buang. Saat terlalu miskin, campuran tidak dapat terbakar karena disebabkan kegagalan pembakaran. Kegagalan pembakaran juga bisa dipengaruhi karena rendahnya temperatur udara yang masuk ruang bakar sehingga proses campuran udara-bahan bakar menjadi lemah (Arifin & Sukoco, 2009).

Dampak dari adanya hidrokarbon di lingkungan adalah dapat menyebabkan terjadinya hujan asam dan bisa menimbulkan penyakit kanker.

2.9.2 Karbonmonoksida (CO)

Karbonmonoksida (CO) adalah gas beracun yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mudah larut dalam air (Arifin & Sukoco, 2009). Gas karbonmonoksida merupakan gas beracun yang berbahaya bagi tubuh manusia. Apabila CO masuk ke tubuh maka bisa bereaksi dengan hemoglobin (Hb) dalam darah dan menjadi karboksihemoglobin (COHb). Dengan masuknya CO dalam darah menyebabkan kemampuan darah sebagai pentransfer oksigen akan menurun.



Emisi CO pada motor bakar dipengaruhi oleh rasio udara-bahan bakar (AFR). Ketika oksigen (O₂) tidak tercukupi untuk mengubah karbon (C) menjadi karbondioksida (CO₂), maka terjadi proses pembakaran tidak sempurna yang menyebabkan beberapa bahan bakar tidak terbakar dan menghasilkan CO pada pembuangan (Kristanto, 2015).

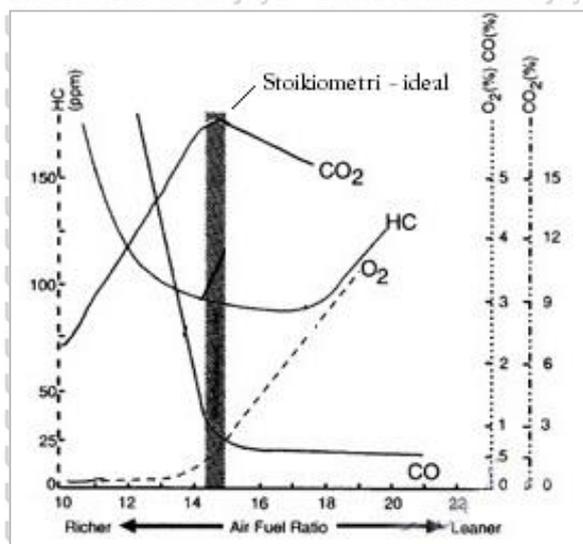
Kandungan CO tertinggi terdapat pada saat campuran kaya Namun pada saat campuran udara-bahan bakar berada pada kondisi ideal/stoikiometri ataupun miskin, beberapa CO masih terkandung pada gas buang.

2.9.3 Karbondioksida (CO₂)

Karbondioksida dihasilkan dari karbon yang teroksidasi secara sempurna dan merupakan hasil pembakaran yang ingin dicapai dalam suatu reaksi pembakaran. Reaksi dari terbentuknya karbondioksida adalah sebagai berikut:



Semakin besar CO₂ yang dihasilkan maka menunjukkan bahwa performa motor lebih efisien. Faktor yang menyebabkan rendahnya CO₂ yang dihasilkan adalah karena ketidakseimbangan rasio udara-bahan bakar (AFR). Nilai CO₂ yang tertinggi terdapat pada (AFR) ideal (stoikiometri) seperti yang ditunjukkan Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Grafik AFR terhadap 4 gas produk pembakaran
Sumber: Kristanto (2015:204)

2.9.4 Oksigen (O₂)

Nilai oksigen (O₂) berbanding terbalik dengan nilai karbonmonoksida (CO).Semakin tinggi O₂ yang dihasilkan oleh gas buang, maka semakin rendah CO yang dihasilkan dan semakin miskin campuran udara-bahan bakar.

2.10 Gas Analyzer

Gas analyzer adalah suatu alat instrumentasi yang digunakan untuk mengukur komposisi gas dan menganalisa gas sisa dari proses pembakaran. *Gas analyzer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *stargas analyzer*. *Stargas analyzer* mampu mengukur kadar CO, CO₂, O₂, HC, dan udara berlebih (*excess air*) dari gas buang. *Stargas analyzer* telah memiliki sistem kalibrasi (*auto zero*) sehingga data pengujian lebih akurat dan telah dilengkapi dengan mesin printer untuk mencetak langsung data hasil pengujian.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III KERANGKA KONSEP

3.1 Kerangka pikir

Sebuah kendaraan bisa bergerak membutuhkan energi gerak untuk melawan gesekan ban dengan jalan, gesekan udara, gesekan antara bagian yang berputar. Alat yang dapat membangkitkan energi gerak disebut penggerak utama yang dikenal dengan nama motor.

Motor harus melakukan proses pembakaran agar terjadi energi gerak. Pembakaran yang terjadi pada motor menghasilkan CO₂, H₂O, energi panas. Energi panas yang timbul itulah yang digunakan oleh motor untuk menghasilkan tenaga sebagai penggerak dengan cara merubah gerak translasi menjadi rotasi. Kesimpulannya adalah motor berfungsi untuk mengubah energi panas dari hasil pembakaran menjadi energi gerak atau energi mekanik.

Siklus pembakaran motor empat langkah secara berurutan, yaitu: (1) langkah isap, (2) langkah kompresi, (3) langkah ekspansi, (4) langkah buang. Saat langkah isap dan langkah kompresi merupakan proses terjadinya difusi. Berdasar kondisi tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan penambahan dua langkah dengan dilakukan perubahan sudut camshaft dan penambahan gear pereduksi dari poros engkol ke camshaft. Dengan perubahan tersebut maka siklus berubah menjadi motor enam langkah, yaitu: (1) langkah isap, (2) langkah kompresi –pembakaran – tenaga, (3) langkah ekspansi pertama, (4) langkah kompresi – pembakaran, (5) langkah ekspansi - tenaga, (6) langkah buang.

Pengertian dari Bahan bakar adalah bahan-bahan yang digunakan dalam proses pembakaran. Tanpa adanya bahan bakar tersebut pembakaran tidak akan mungkin berlangsung (Suprpto, 2004:6). Berdasarkan dari asalnya bahan bakar dapat dibagi menjadi tiga golongan, yaitu: (1) bahan bakar nabati, (2) bahan bakar mineral, (3) bahan bakar fosil. Apabila dilihat dari bentuknya, maka bahan bakar dibagi menjadi tiga bentuk, yaitu: (1) bahan bakar padat, (2) bahan bakar cair dan, (3) bahan bakar gas.

Bahan bakar etanol merupakan salah satu jenis bahan bakar alternatif yang terbarukan. Ada dua cara memproduksi etanol yaitu dengan fermentasi senyawa karbohidrat dan hidrasi senyawa *ethylene* yaitu senyawa *hydrocarbon* dengan struktur paling sederhana atau dikenal dengan alkena (C₂H₂). Fermentasi karbohidrat menjadi etil alkohol dibantu dengan menumbuhkan sel-sel atau *yeasts* atau ragi pada bahan bakunya. Bahan baku utama untuk fermentasi untuk produksi alkohol industri adalah tanaman gula seperti tebu dan

tanaman biji bijian seperti jagung. Sedangkan hidrasi etilena dicapai dengan melewati campuran etilena dan uap yang berlebih pada suhu tinggi dan tekanan pada katalis asam.

Etanol atau etil alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang tidak beracun. Etanol adalah cairan jernih yang mudah terbakar.

Etanol memiliki banyak manfaat bagi masyarakat karena memiliki sifat yang tidak beracun. Selain itu ethanol juga memiliki sifat –sifat, baik secara fisika maupun kimia.

Adapun sifat fisik ethanol sebagai berikut (Perry, 1999).

1. Rumus molekul : C_2H_5OH
2. Angka oktana : 111
3. Massa molar : 46.06844 g/mol
4. Densitas : 0.7893 g/cm³
5. Titik didih : 78.29 0C
6. Titik lebur : -11.14°C
7. Kesamaan (pKa) : 15.9
8. Viskositas : 1.17 cP (20°C)
9. Nilai kalor : 29.847 MJ/kg
10. *Flash point* : 78°C

Etanol yang digunakan adalah etanol yang tersedia di pasaran dengan kemurnian sebesar 99.7% (*hydrated alcohol*) data RON (*Research Octane Number*) diatas angka 111, berarti pada saat dilakukan pengujian, hingga mencapai angka RON 111, Mesin CFR (*Coordinating Research Fuel*) tidak mengindikasikan akan terjadinya *knocking*. Dengan mempertimbangkan faktor keamanan dari mesin, keuntungan karena etanol mempunyai polaritas yang tinggi sehingga dapat mengekstrak bahan lebih banyak dibandingkan jenis pelarut organik yang lain

Etanol memiliki satuan molekul OH dalam susunan molekulnya, oksigen yang inhiren di dalam molekul etanol tersebut membantu penyempurnaan pembakaran antara campuran udara dan bahan bakar dalam silinder. Pendeknya rantai karbon menyebabkan emisi UHC pada pembakaran etanol relatif rendah dibandingkan dengan bensin yakni berselisih hingga 130 ppm (yukset *et al.* 2004). Etanol merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dijadikan sebagai energi alternatif dari bahan bakar nabati (BBN). Etanol mempunyai beberapa kelebihan dari pada bahan bakar lain seperti premium antara lain sifat etanol yang dapat diperbaharui, memiliki kandungan oksigen 34% dari beratnya, menghasilkan gas buangan yang ramah lingkungan karena gas CO₂ yang dihasilkan rendah Shahir (2014).

Penggunaan etanol untuk bahan bakar harus melakukan beberapa perubahan terhadap motor bakar yang digunakan dikarenakan setiap bahan bakar memiliki *ignition lag* yang berbeda dengan bahan bakar bensin, *ignition lag* adalah waktu dimana pengapian menyala hingga terjadi pembakaran. *Ignition lag* dipengaruhi dari beberapa hal diantaranya AFR, LHV dan oktan *number*. Ketika *ignition lag* terlalu lama maka mengakibatkan hilangnya tenaga dan sebaliknya semakin cepat *ignition lag* maka bisa menyebabkan *knocking*. Etanol dengan unsur senyawa C_2H_5OH memiliki nilai LHV sebesar $5643.35 \text{ kkal kg}^{-1}$ sedangkan pertamax yang memiliki unsur senyawa C_8H_{18} memiliki nilai LHV sebesar $10186.32 \text{ kkal kg}^{-1}$ semakin tinggi nilai LHV maka semakin mudah bahan bakar tersebut terbakar.

Sistem pengapian merupakan sistem yang sangat penting dalam sepeda motor. Sistem tersebut berfungsi sebagai penghasil bunga api pada busi untuk membakar campuran bahan bakar dan udara yang telah terkompresi. Sistem pengapian ini sangat berpengaruh pada tenaga dan daya yang dibangkitkan oleh mesin tersebut. (Arif Prabowo, 2005). Sistem pengapian CDI merupakan penyempurnaan dari sistem pengapian magnet konvensional (sistem pengapian dengan kontak platina) yang mempunyai kelemahan - kelemahan sehingga akan mengurangi efisiensi kerja mesin. Sebelumnya sistem pengapian pada sepeda motor menggunakan sistem pengapian konvensional. Dalam hal ini sumber arus yang dipakai ada dua macam, yaitu dari baterai dan ada pula yang dari generator. Perbedaan yang mendasar dari sistem pengapian tersebut adalah pada sistem pengapian baterai menggunakan baterai (aki) sebagai sumber tegangan, sedangkan untuk sistem pengapian magnet menggunakan arus listrik AC (*alternating current*) yang berasal dari alternator. (Arif Prabowo, 2005).

Performa motor banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah waktu pengapian dan jenis bahan bakar yang digunakan. Perbedaan waktu pengapian dan penggunaan jenis bahan bakar pearlite dan pertamax plus pada motor bensin dapat mempengaruhi performa motor yaitu meliputi besarnya daya, torsi dan konsumsi bahan bakar spesifik. Bahan bakar jenis pearlite dan pertamax 26 plus memiliki angka oktana yang berbeda-beda. Waktu pengapian sangat berpengaruh terhadap performa mesin, pengapian yang tepat akan membuat tekanan pembakaran maksimum, dimana hal ini akan membuat tenaga yang dihasilkan lebih optimal. Berbeda ketika pengapian terlalu maju atau terlalu awal, tentu akan membuat daya mesin tidak optimal dan bisa berakibat terjadinya engine knocking, ini terjadi karena tekanan pembakaran maksimum terjadi pada saat piston belum melewati titik mati atas. Untuk mendapatkan performa yang maksimal, *ignition timing* harus pas. Arends & berenscot (1994), jika *ignition timing* terlalu maju, bisa

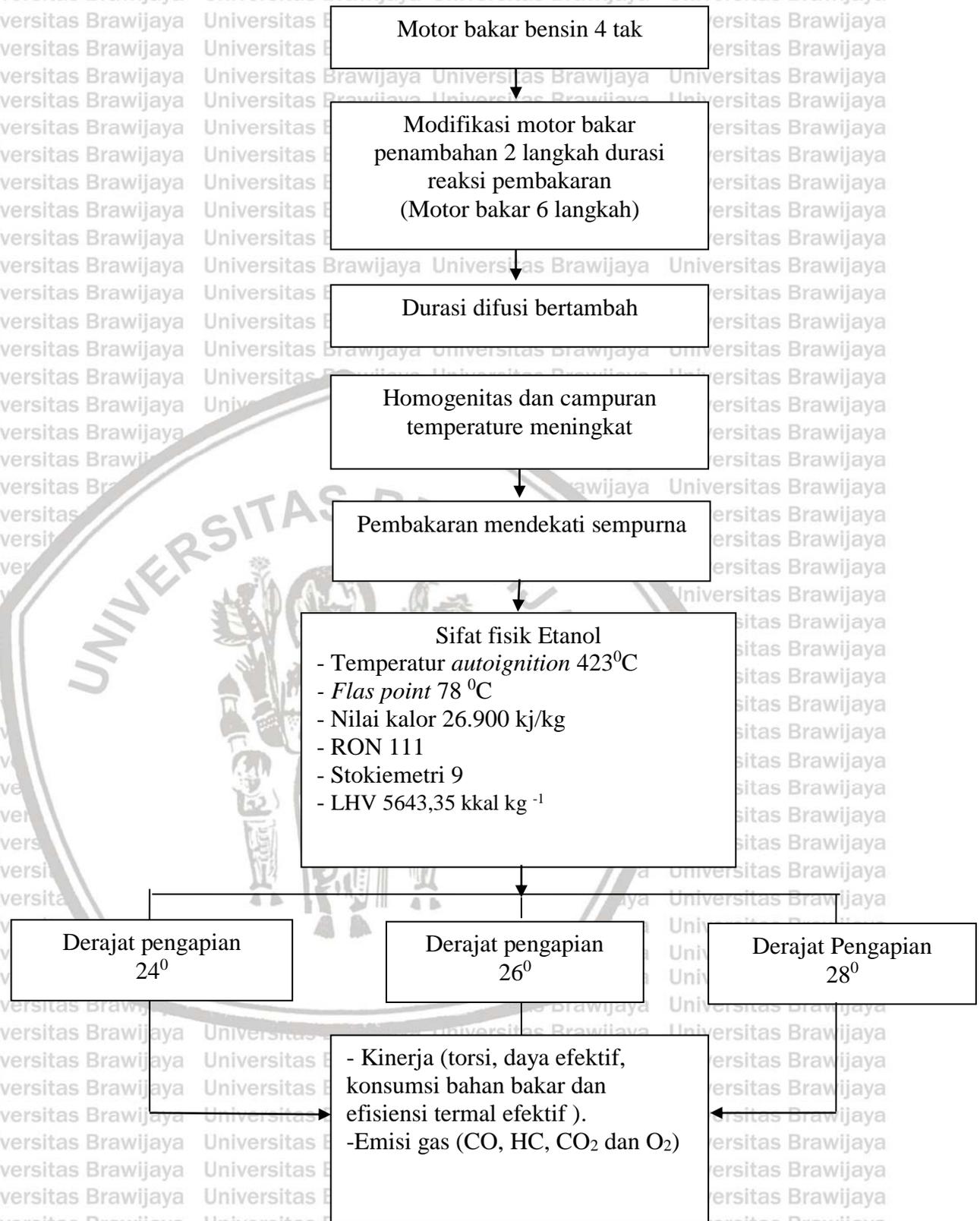
mengakibatkan detonasi dikarenakan ledakan terjadi saat piston sebelum melewati TMA. Hal itu sangat merugikan. Apabila *ignition timing* terlambat, mengakibatkan menurunnya daya. Volume ruang bakar pada akhir pembakaran sudah meningkat sehingga mengakibatkan sisa kalor akan terbawa gas buang.

Purwa iga (2018) melakukan penelitian pengaruh sudut pengapian CDI pada motor 6 langkah dengan bahan bakar etanol dengan variasi sudut pengapian 24° , 26° , dan 28° . Putaran *crank shaft* divariasika interval 600 rpm dari putaran 2400 rpm sampai 7200 rpm.

Hasil yang diperoleh pada pengujian ini adalah pada sudut pengapian 28° menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih tinggi dibandingkan dengan sudut pengapian 26° , dan 24° .

Hal ini disebabkan karena penggunaan bahan bakar etanol yang mengakibatkan kecepatan pembakaran menjadi lebih lambat sehingga perlu memajukan sudut pengapian agar daya ledak campuran udara bahan bakar lebih besar.

Razan (2018) melakukan penelitian tentang variasi campuran bahan bakar *gasoline-ethanol (gasohol)* terhadap emisi gas buang motor bakar Otto 6 langkah yang digunakan yaitu bensin (pertamax 92) dan *ethanol* dengan kadar kemurnian 99%. Variasi *ethanol* yang ditambahkan pada campuran bahan bakar adalah 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30) dan variasi interval putaran 600 rpm dari putaran 3000 rpm sampai dengan 7200 rpm. Didapatkan hasil kesimpulan semakin banyak penambahan kadar *ethanol* pada campuran bahan bakar semakin menurunkan emisi CO dan HC pada gas buang. Sifat *ethanol* yang termasuk *oxygenated fuel* menyebabkan pada campuran bahan bakar dengan kadar *ethanol* yang lebih banyak menghasilkan kandungan O_2 yang lebih tinggi.



Gambar 3.1 Skema kerangka konsep penelitian

3.2 Hipotesis

Berdasarkan teori yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sementara sudut pengapian mempengaruhi hal sebagai berikut.

1. Dengan menggunakan derajat pengapian 28° berbahan bakar etanol bisa meningkatkan kinerja (torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi termal efektif) pada motor bakar 6 langkah dengan 2 tambahan reaksi pembakaran.
2. Menggunakan derajat 28° berbahan bakar etanol pada motor bakar 6 langkah dengan 2 tambahan reaksi pembakaran maka proses pembakaran menjadi lebih sempurna sehingga menurunkan kadar karbonmonoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) pada emisi gas buang.



BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental langsung dengan menguji pada objek yang dituju. Dengan cara melakukan pengamatan pada objek dengan mencari data sebab dan akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga mendapatkan data hasil pengujian. Untuk mengetahui pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja dan emisi gas buang pada motor bakar 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas, variabel terikat dan, terkontrol.

4.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah-ubah dengan metode tertentu untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga dapat diperoleh hubungan keduanya (Murdalis, 2006:20). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

1. Derajat pengapian

Variasi derajat pengapian yang digunakan adalah 24°, 26°(standar), 28°

2. Putaran *crankshaft* dengan interval 600 rpm dari putaran 2400 rpm sampai 7200 rpm.

4.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan (Murdalis, 2006:20). Variabel yang terikat dalam penelitian ini adalah antara lain:

1. Torsi

2. Daya

3. Konsumsi bahan bakar

4. Efisiensi termal efektif

5. Emisi gas buang.

4.2.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikendalikan konstan (Murdalis, 2006:20). Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah:

1. *Throttle* dibuka 35%.
2. Pengujian menggunakan karburator
3. Bahan bakar menggunakan *ethanol*
4. Motor bakar 6 langkah dengan 125cc sebagai keadaan modifikasi
5. Tidak membahas konstruksi mesin
6. Mesin dalam keadaan ideal

4.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada periode maret 2019 – selesai. Bertempat di Laboratorium Proses Manufaktur 1 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

4.4 Alat dan Bahan Penelitian

4.4.1 Alat yang Digunakan dalam Penelitian

1. *Prototype* Motor Bakar 6 Langkah

Spesifikasi serta gambar motor bakar 6 langkah yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.

Spesifikasi Motor Bakar 6 Langkah yang diuji

Merek : Honda (*modified*)

Model : N/A

Negara pembuat : Indonesia

Tipe mesin : 6 Langkah SOHC

Jumlah silinder : 1 (satu)

Bore diameter : 57 mm

Stroke length : 49 mm

Volume langkah : 124, 97 cc

Rasio kompresi : 11.2:1

Pendingin : Udara

Daya poros : N/A



Gambar 4.1 Motor bakar 6 langkah

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2019)

2. *Prone Disk Brake*

Dynamometer berfungsi sebagai alat ukur besarnya gaya pengereman (BHP) sehingga bisa mengetahui besarnya torsi. Spesifikasi serta gambar *Dynamometer* yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.

Spesifikasi:

Neraca pegas : 100 kg

Ukuran torsi maksimum : 12.5 kg

Panjang lengan : 125 mm



Gambar 4.2 Prony disk brake

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2019)

3. *Tachometer*

Tachometer pada Gambar 4.4 berfungsi mengukur kecepatan putar mesin dalam (*revolutions per-minute*).

Spesifikasi:

Range : 0.1 rpm (0.5-999.9 rpm)

Power/Battery life : Baterai AAA pemakaian kontinu 50 jam.

Accuracy : 0.05 % + 1 digit



Gambar 4.4 Stopwatch krisbow

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2019)

1. Gelas Ukur

Gelas ukur pada Gambar 4.5 digunakan mengukur debit bahan bakar yang dikonsumsi selama penelitian.

Spesifikasi:

Skala : 10 ml:0.1



Gambar 4.5 Gelas ukur

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2019)

2. Fan

Fan/kipas angin pada Gambar 4.6 berfungsi mendinginkan karena proses pengujian berlangsung pada kondisi diam (*stationery*).

Spesifikasi:

Voltage : 220/240 V

Watts : 520 W

Frequency : 50/60 Hz

Speed : 2800/3300 rpm

Size : 300 mm



Gambar 4.6 Fan krisbow

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2019)

3. CDI (*Capacitor Discharger Ignition*)

Gambar 4.7 digunakan dalam penelitian motor bakar 6 langkah untuk sistem pengapian.

Spesifikasi:

CDI Type	: DIGITAL DC system
Operating Voltage	: 8 s/d 18 VDC
Mikroprosesor	: Philips Semiconductor
Current Consumption	: 0.05 s/d 0.75 A
Output Max	: 300 Volt
Operation Temp	: -15° to 80°C
Operation Freq	: 400 to 20.000 RPM
Pemakaian	: Semi tune up dan racing
Bahan bakar	: Pertamina, avgas dan racing fuel
Kondisi mesin	: Semi tune up s/d full modifikasi
Perbandingan kompresi	: 10.5: 1 s/d 13.8: 1
Cam Shaft/No ken As	: Standard/Modifikasi
Knalpot	: Standard/racing
Spuyer	: Penyesuaian
Negara pembuat	: Indonesia



Gambar 4.7 CDI-DC

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2019)

4. Stargaze Analyzer

Gambar 4.8 digunakan untuk mengukur emisi gas buang sisa hasil pembakaran dari pengujian.

Spesifikasi:

Tipe	: STARGAS 898
Merek	: Techno test
Negara pembuat	: Italia
Jangkauan pengukuran	
- CO	: 0 ÷ 15.000 % Vol (res. 0.001)
- CO ₂	: 0 ÷ 20.00 % Vol (res. 0.01)
- HC	: 0 ÷ 30000 ppm Vol (res. 1)
- O ₂	: 0 ÷ 25.00 % Vol (res. 0.01)
- Lambda	: 0.5 ÷ 2.000 (res. 0.001)



Gambar 4.8 Stargaze analyzer

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya (2019)

5. *Anemometer*

Gambar 4.9 digunakan untuk mengukur atau menentukan kecepatan angin.

Spesifikasi:

Macam Pengukuran : Kecepatan udara, Temperatur udara

Jangkauan Pengukuran : Kecepatan udara: 0~30 m/s, 0~90 km/h, 0~5860 ft/min,

0~55 knots, 0~65 mph (Accuracy: $\pm 5\%$)

temperatur udara: -10~45°C, 14~113°F (Accuracy: $\pm 2^\circ\text{C}$)

Resolusi : 0.2°C, 0.2m/s

Sensor : sensor kecepatan udara, temperatur sensor

Negara pembuat : Indonesia



Gambar 4.9 Anemometer

6. *Multimeter Digital*

Gambar 4.10 digunakan untuk mengukur suhu gas buang.

Spesifikasi:

Akurasi dasar (DCV) : 0.5%

NCV *detector* : 80-1000 V (50-60 Hz) dan 160-1000 V (50-60 Hz)

DC/AC *voltage* : 0.1 mV sampai 1000 V

DC/AC *current* : 1 mA sampai 10 A

Resistensi : 0.1 Ω sampai 40 M Ω

Kapasitansi : 1 nF sampai 10 mF

Frekuensi : 0.01 Hz sampai 100 kHz

Suhu (Tipe K) : -200 C - 8000 C

Uji diode : 1.5 V

Kontinuitas : *Audible* dan *Visual*

Ukuran : 6.5x3.2x1.7" (164 x 82 x 44 mm)

Berat : 5.9 oz (450 g)
 Negara pembuat : Taiwan



Gambar 4.10 Multimeter

4.4.2 Bahan yang Digunakan Dalam Penelitian

1. Etanol

Etanol dalam Gambar 4.11 digunakan untuk bahan bakar pengujian motor bakar 6 langkah.

Spesifikasi:

Warna : Bening

Densitas : 0.7893 g/cm^3

Titik lebur : -11.14

Titik didih : 78.29

Tekanan uap : 58 kpa pada 20°C

Viskositas : 1.17 cP

Flash point : 16.6°C

Nilai oktan riset : 111

Massa molar : 46.06844 g/mol

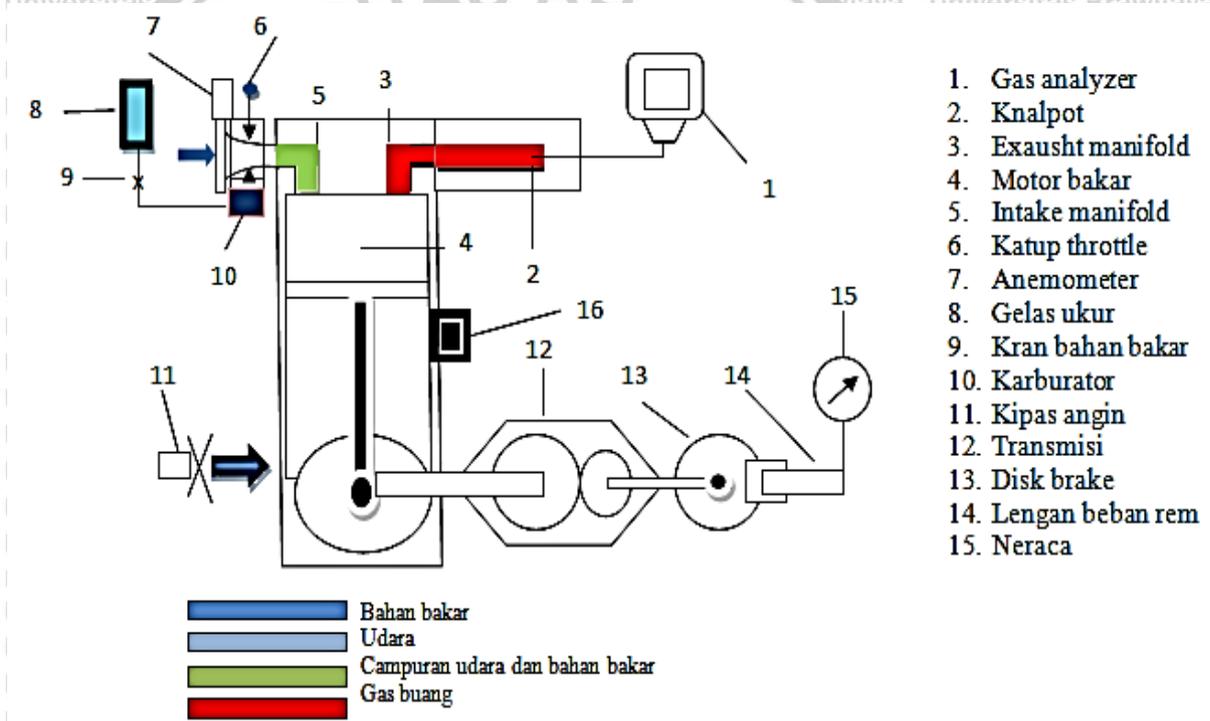


Gambar 4.11 Bahan bakar etanol

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya (2019)

4.5 Instalasi Penelitian

Gambar 4.12 merupakan instalasi penelitian dalam skripsi ini.



Gambar 4.12 Instalasi penelitian

4.6 Proses Pengujian Kinerja Motor Bakar

Proses evaluasi performa kerja dilakukan dengan menggunakan *prone disk brake*, dimana *caliper* rem dihubungkan dengan neraca ukur pegas supaya beban pengereman pada piringan dapat terukur pada neraca tersebut.

4.7 Prosedur Penelitian

4.7.1 Prosedur Pengujian Prestasi Motor Bakar

Dengan kombinasi beban pengereman dan kecepatan putar dari piringan rem sehingga dihitung daya dan torsi dari piringan rem. Lalu daya dan torsi pada *crankshaft* ditentukan dari reduksi transmisi kecepatan rotasi antara piringan rem dan *crankshaft*.

Pengukuran performa motor bakar dilakukan dengan prosedur pengujian putaran berubah dengan pembebanan bertambah. Prosedurnya adalah:

1. Persiapan sebelum mesin beroperasi
 - a. Mempersiapkan mesin dan alat-alat yang diperlukan dalam pengujian.
 - b. Memastikan semua alat terpasang dan bekerja sesuai fungsinya.
 - c. Pastikan alat – alat berada pada tempatnya agar terhindar kerusakan akibat panas, gesekan dan, gelombang elektromagnetik liar
2. Cara menyetting CDI *programmable*
 - a. Hubungkan CDI dengan *remote* pemrograman (dalam keadaan tidak terhubung listrik/tombol “off”)
 - b. Hidupkan tombol on sehingga terbaca “READY“ pada *remote*
 - c. Tekan menu 2X untuk mengatur limiter rpm
 - d. Tekan enter untuk mengubah limiter
 - e. Tekan ▲/▼ untuk menaikkan/menurunkan limiter
 - f. Tekan enter untuk menyimpan sampai tertulis “SAVED“ lalu *ready*
 - g. Tekan menu kembali untuk menyetting kurva derajat pengapian
 - h. Tekan enter untuk step 1
 - i. Tekan edit untuk mengibah rpm
 - j. Tekan edit untuk mengubah ignition timing
 - k. Tekan enter untuk step 2
 - l. Lakukan proses i dan j dengan rpm dan ignition sama
 - m. Lanjutkan *step* 3 – 24 dengan proses yang sama seperti langkah h,i dan, j
 - n. Jika selesai akan muncul tulisan “SAVED“ lalu muncul “READY“
 - o. Tekan tombol “off”
 - p. Cabut *remote*
 - q. Hidupkan kembali tombol on dan CDI siap dipakai
3. Cara Menghidupkan Mesin
 - a. Setelah persiapan terpenuhi.
 - b. Aktifkan tombol on pada *fan* sebagai pendingin mesin.

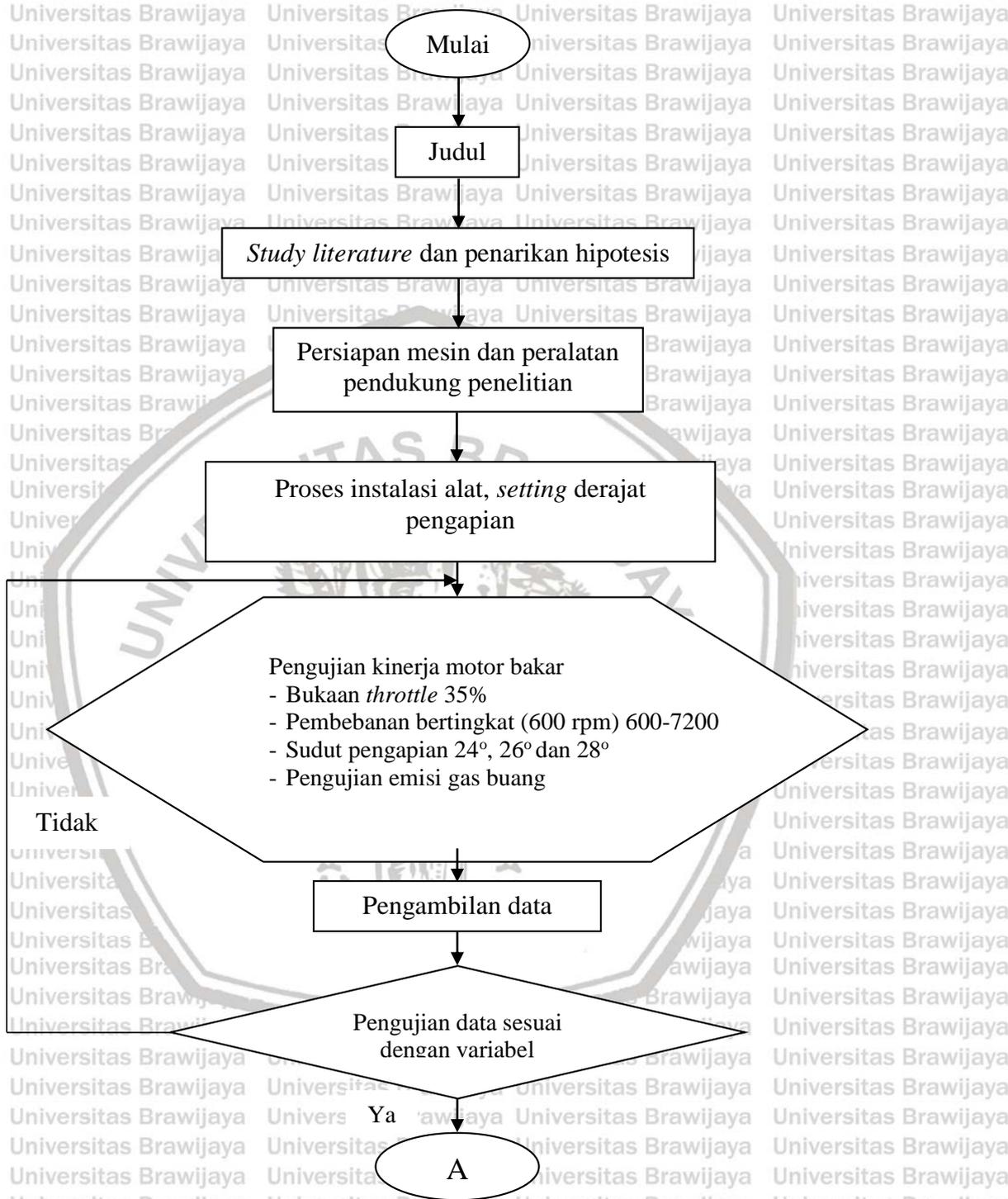
- c. Lakukan penyelaan dengan starter *electric*.
 - d. Setelah mesin menyala, tunggu beberapa saat agar mesin beroperasi sampai kondisi stasioner untuk menstabilkan kondisi mesin.
4. Cara Mengambil Data
- a. Atur tingkatan *throttle* pada bukaan yang diinginkan (35%).
 - b. Atur beban pengereman (kg) dengan mengatur pengereman pada dinamometer sampai mendapatkan interval putaran yang diinginkan (rpm).
 - c. Tunggu kondisi mesin stabil kemudian lakukan pengambilan data (beban dari *prone brake*, waktu konsumsi 0.5 ml bahan bakar dengan *stopwatch*).
 - d. Untuk pengamatan selanjutnya, beban pengereman dinaikkan hingga tercapai penurunan putaran interval 600 rpm kemudian diambil data seperti pada poin c, dan tidak merubah bukaan *throttle*.
 - e. Mengulangi langkah poin b-d sebanyak dua kali, sehingga total percobaan tiga kali.
 - f. Ulangi prosedur 3a-3e pada setiap settingan derajat pengapian 24°, 26°, 28°.
 - g. Atur Putaran sampai dengan rpm tertinggi yaitu 7200 RPM kemudian lakukan pengereman sesuai interval 600 RPM sampai dengan putaran 3000 RPM, tunggu kondisi pada variasi putaran rpm stabil kemudian lakukan pengambilan data.
 - h. Ukur emisi gas buang yang meliputi:
 - Karbon monoksida (CO)
 - Hidrokarbon (HC)
 - Karbondioksida (CO₂)
 - Oksigen (O₂)

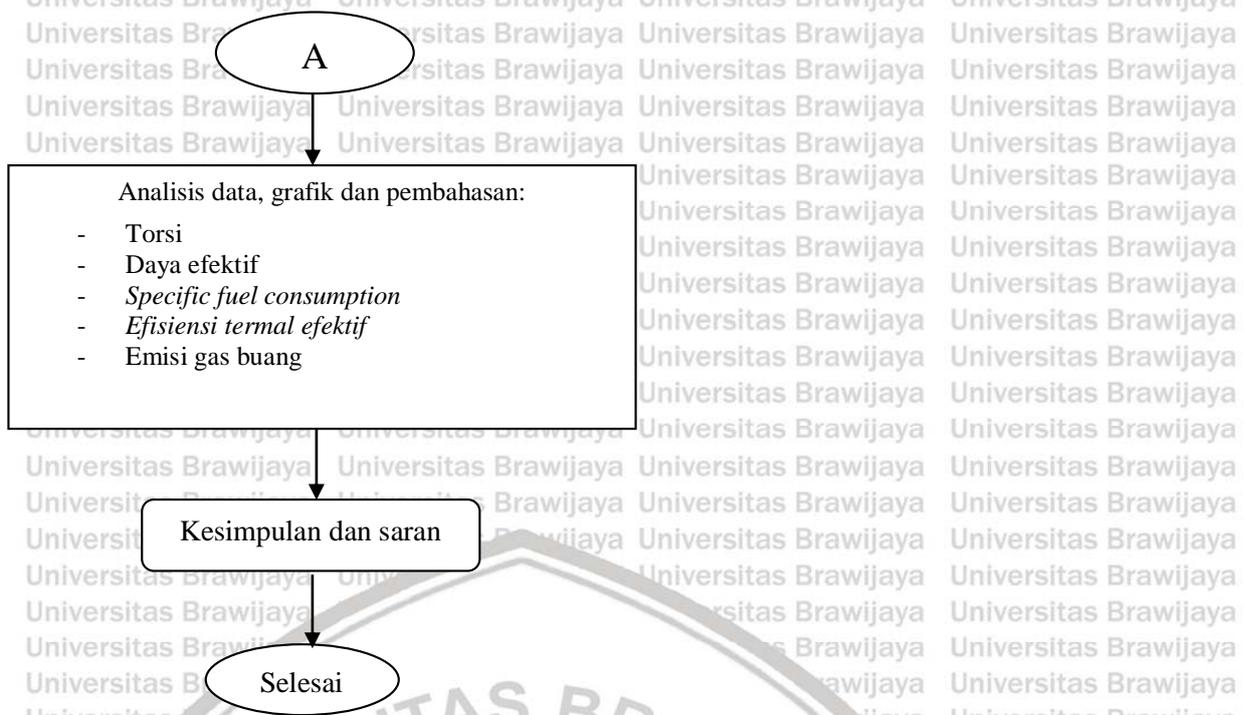
4.8 Diagram Alir Penelitian

Seperti pada Gambar 4.12 urutan proses pelaksanaan penelitian dari awal sampai selesai. Tahap pertama adalah mencari masalah dari penelitian mesin motor bakar 6 langkah, lalu persiapan uji komponen dari penelitian yang diambil, dan melakukan proses proses instalasi atau pemasangan alat CDI-DC kemudian itu melakukan penelitian dengan pengambilan data bukaan *throttle* 35% dan melakukan pembebanan dengan penurunan interval 600 dari RPM yang ditentukan. Dari data tersebut dicatat dalam grafik dari persamaan rumus dan menyimpulkan penelitian dan diberikan saran untuk penelitian yang akan datang.

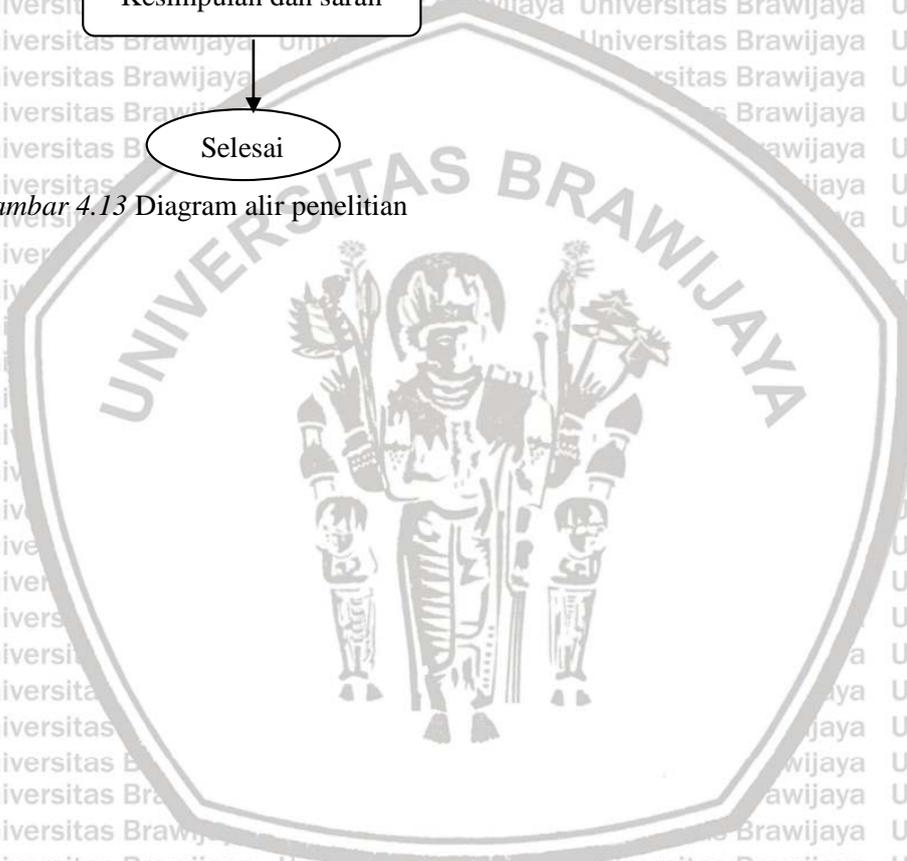
4.8.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 4.13 merupakan alur dalam penelitian ini.





Gambar 4.13 Diagram alir penelitian





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Data

5.1.1 Data Dan Hasil Pengujian

Data yang didapatkan dari pengujian motor bakar 6 langkah dengan variasi sudut pengapian dengan bahan bakar etanol adalah sebagai berikut:

Data Pengujian awaal dapat dilihat pada tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1
Pengujian yang Dianggap Konstan atau tetap

Data Konstan						
v	L	l	m caliper	Kelembaban relatif(ϕ)	Pa	T _{st}
(l)	(mm)	(mm)	(kg)	(%)	(kpa)	(°C)
0.001	250	220	6	0.71	715	26

5.1.2 Pengolahan Data

Dari data hasil pengujian motor bakar 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol 28⁰ maka dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan menggunakan data dari pengujian motor bakar 6 langkah gigi 2 terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

1. Gigi Transmsi 2, (factor reduksi) = 1/18.656
2. Panjang lengan *dynamometer* (L) = 0.25 m
3. Besarnya beban *caliper* rem (f) = 6 kg
4. Panjang lengan *mounting caliper* (l) = 0.22 m
5. Massa jenis bahan bakar etanol $\rho_f = 790 \text{ Kg/m}^3$
6. Nilai kalor bahan bakar (LHV etanol) = 5643,35 kkal·kg⁻¹
7. Putaran mesin (n) = 7200 rpm
8. Waktu konsumsi bahan bakar (t) = 2.52 detik
9. Volume konsumsi bahan bakar (b) = 0,001 liter
10. Pembebanan pengereman = 5 kg

Dari hasil data pengujian tersebut dilakukan perhitungan sebagai berikut.

1. Torsi (T)

Rumus torsi sesuai persamaan berikut.

$$T_d = (F \times L) + (f \times l)$$

$$= (5 \text{ kg} \times 0.25 \text{ m}) + (6 \text{ kg} \times 0.22 \text{ m})$$

$$= 2,57 \text{ (kg.m)}$$

Nilai torsi di atas adalah perhitungan torsi pada poros roda belakang, sehingga untuk torsi pada poros engkol dibagi dengan factor reduksi sehingga:

$$T_c = T_d / \text{faktor reduksi}$$

$$= 2.57 \text{ kg.m} / 18.656$$

$$= 0.137 \text{ (kg.m)}$$

2. Daya efektif (N_e)

Rumus daya efektif sesuai persamaan berikut.

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2}$$

$$= \frac{0.137 \text{ kg.m} \times 7200}{716.2}$$

$$= 1.384 \text{ (hp)}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe)

Untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar spesifik efektif, diperlukan perhitungan awal konsumsi bahan bakar dengan:

$$FC = \frac{b}{t} \cdot \rho_f \cdot \frac{3600}{1000000}$$

$$= \frac{0.0011}{2.52 \text{ s}} \cdot 790 \text{ Kg/m}^3 \cdot \frac{3600}{1000}$$

$$= 1,12 \text{ (kg.jam}^{-1}\text{)}$$

Pada hasil perhitungan konsumsi bahan bakar kita biasa melanjutkan perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik. Contoh perhitungan sebagai berikut:

$$SFCe = \frac{Fc}{N_e}$$

$$= \frac{1,12 \text{ kg/jam}}{3.540 \text{ hp}} = 0.814 \text{ (kg.hp}^{-1}\text{.jam}^{-1}\text{)}$$

4. Efisiensi Termal Efektif (η_e), diperoleh :

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{F_c / N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFCe \cdot LHV_{bb}} \times 100\%$$

$$= \frac{632}{0.814 \text{ kg/hp.jam} \times 5643.35 \text{ kkal/kg}} \times 100\%$$

$$= 13.74 \%$$

5.1.3 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang

Proses pengambilan data emisi gas buang dilakukan dengan menggunakan stargas analyzer 898. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data emisi gas buang karbonmonoksida (CO), karbondioksida (CO₂), oksigen (O₂), dan hidrokarbon (HC), dengan variasi putaran 2400-7200 RPM menggunakan bahan bakar etanol sudut pengapian 24°, 26° dan 28°. Berikut data hasil pengujian emisi gas buang

Tabel 5.2

Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Motor Bakar 6 Langkah Bukan *Throttle* 35% Menggunakan Bahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 24°, 26° dan 28°

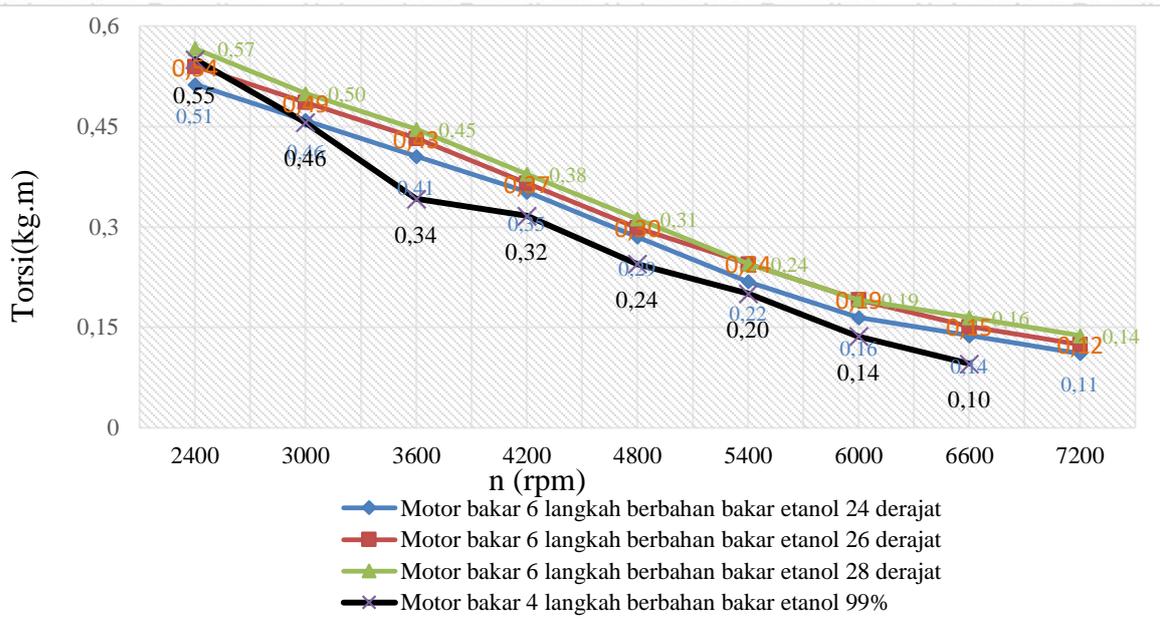
RPM	CO (%)			CO ₂ (%)			O ₂ (%)			HC (PPM)		
	24°	26°	28°	24°	26°	28°	24°	26°	28°	24°	26°	28°
2400	2.129	1.418	0.978	6.8	7.3	7.47	6.16	6.13	6.57	154	132	113
3000	1.431	1.228	0.927	7.3	7.37	7.56	6.71	6.43	6.43	147	126	104
3600	1.442	1.303	0.814	7.13	7.53	7.87	6.53	7.14	6.54	159	117	73
4200	1.321	1.115	0.415	7.83	8.19	8.56	7.18	7.38	7.34	119	89	52
4800	1.134	1.104	0.319	8.23	8.53	9.38	7.59	7.28	8.07	93	93	43
5400	1.02	0.978	0.213	8.43	9.18	10.16	7.83	8.18	8.63	95	84	49
6000	1.013	0.864	0.172	9.54	10.37	11.08	8.26	8.68	9.14	73	63	31
6600	0.943	0.82	0.117	10.12	10.56	11.27	9.17	9.23	9.27	68	43	27
7200	0.912	0.607	0.109	9.73	11.08	11.34	8.19	9.84	10.12	63	28	19
Σ	1.26	1.05	0.45	8.35	8.90	9.41	7.51	7.81	8.01	107.89	86.11	56.78

5.2 Pembahasan

Dari hasil penelitian didapat hasil perhitungan data variasi sudut pengapian yang berbeda antara 24°, 26° dan, 28° didapat karakteristik yang berbeda pada motor 6 langkah berbahan bakar etanol. Kemudian perhitungan variasi sudut pengapian yang berbeda ditampilkan kedalam bentuk grafik untuk mempermudah menganalisa perhitungan data.

5.2.1 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Torsi Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol

Pada Gambar 5.1 grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran mesin maka semakin kecil torsi yang diperoleh. Dikarenakan pada saat pengujian dimulai dari putaran tertinggi lalu diturunkan dengan penambahan beban pengereman pada poros. Sehingga menyebabkan torsi yang dihasilkan semakin kecil sejalan dengan tingginya putaran mesin.



Gambar 5.1 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi motor bakar 6 langkah bukaan throttle 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°,26°,28° dan 4 tak berbahan bakar etanol 99%

Hubungan antara gaya pengereman (F) dengan torsi (T) ditulis dengan rumus (2-1) :

$$T_c = \frac{T_d}{(\text{faktor reduksi})}$$

Dengan:

T_c = torsi yang dihasilkan *crank shaft* (kg.m)

T_d = torsi yang dihasilkan poros pengereman / *disk brake* (kg.m)

Factor reduksi = perbandingan putaran poros *disk brake* dengan *crankshaft*

Pada Gambar 5.1 grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi dapat dilihat bahwa kecenderungan grafik torsi relatif hampir sama, yang terlihat torsi tertinggi pada motor bakar 6 langkah dengan 3 variasi derajat pengapian yaitu 1 (sudut pengapian 28°), variasi 2 (sudut pengapian 26° standar) dan, variasi 3 (sudut pengapian 24°) dan motor 4 tak berbahan bakar etanol 99%.

Hal ini dapat dibuktikan dari data perhitungan torsi pada variasi 1 (sudut pengapian 28°).

Torsi terbesar yang didapatkan pada pengujian motor bakar 6 langkah dengan menggunakan bahan bakar etanol 3 variasi derajat pengapian yaitu (1) pada putaran 2400 rpm sebesar 0.57 kg.m dan torsi terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 0.14 kg.m. Untuk variasi (2) torsi tertinggi pada putaran 2400 rpm sebesar 0.54 kg.m dan torsi terendah pada putaran 7200 rpm sebesar 0.12 kg.m. Untuk variasi (3) torsi tertinggi pada putaran 2400 rpm sebesar 0.51 kg.m dan torsi terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 0.11 kg.m. Sedangkan untuk motor 4 langkah berbahan bakar etanol tertinggi pada putaran 2400 rpm sebesar 0,55

kg.m terendah pada putaran 6600 rpm sebesar 0,10 kg.m. Namun jika dibandingkan dengan mesin 4 langkah berbahan etanol, kecenderungan grafik yang dihasilkan hampir serupa dengan hasil torsi motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar etanol. Torsi yang dihasilkan motor bakar 6 langkah dibandingkan motor 4 langkah pada putaran yang sama mendapatkan nilai torsi dengan retaan yang lebih tinggi.

Pada 3 variasi (sudut pengapian 28°) didapat torsi tertinggi bisa terjadi dikarenakan pada variasi 1 sudut pengapianya mendekati tepat atau sesuai dengan kebutuhan mesin pada saat itu, sehingga menyebabkan ledakan bahan bakar dan udara mendekati sempurna, dan menghasilkan gaya dorong yang lebih besar pada piston yang menyebabkan torsi yang dihasilkan menjadi lebih besar. Selain itu, sejalan dengan penelitian yang dilakukan Chandra (2018) diasumsikan karena durasi difusi massa relatif lebih lama sehingga homogenitas campuran bahan bakar-udara juga menjadi lebih baik. Kemudian penambahan durasi difusi termal akan mampu menaikkan temperatur campuran bakar motor 6 langkah dan daya hasil proses pembakaran cenderung lebih baik. (Dedy Hendrawan *et al.* 2014) meneliti Pengaruh Variasi Waktu Pengapian Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah 1 Silinder 100 cc Dengan Bahan Bakar Etanol 96%, etanol mampu bekerja pada putaran motor yang lebih tinggi sehingga pada putaran 4500 rpm hingga 6000 rpm motor bisa memberi daya yang lebih besar pada pengapian 20° sebelum TMA, dibandingkan dengan bensin pada waktu pengapian 15° sebelum TMA.

5.2.2 Hubungan antara Putaran Mesin Dengan Daya Efektif Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol

Pada Gambar 5.2 grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif terlihat bahwa semakin tinggi putaran mesin mengakibatkan semakin kecil daya efektif yang didapatkan. Hal tersebut disebabkan karena nilai dari daya efektif berbanding lurus dengan nilai torsi (T) dan putaran (n). Sesuai dengan rumus (2-2) :

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,5}$$

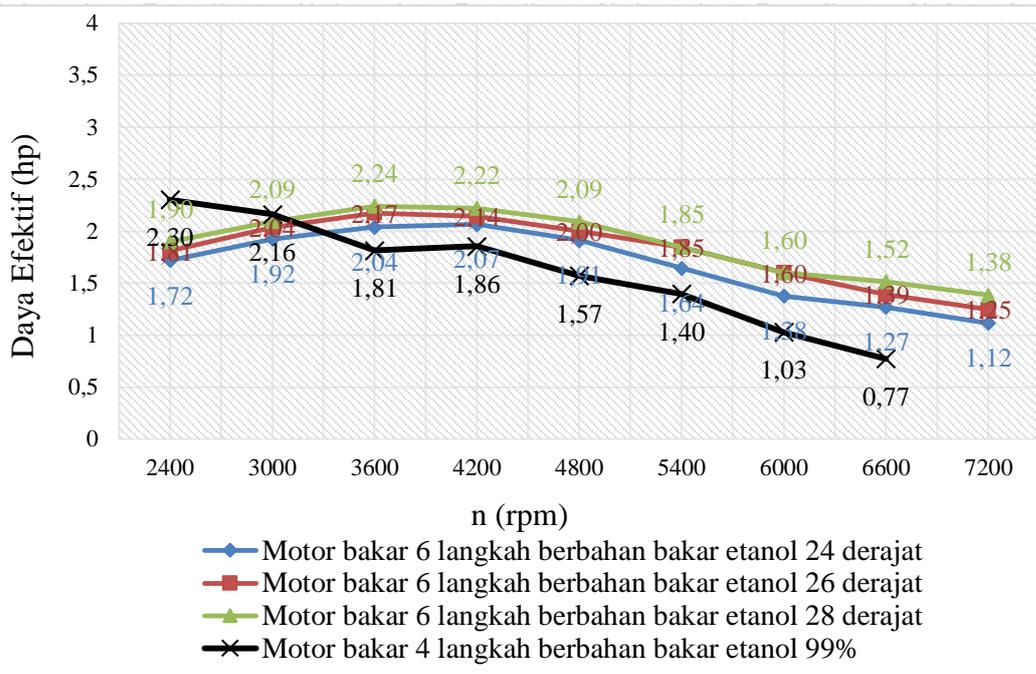
dengan:

N_e = daya efektif (hp)

T = torsi (kg.m)

ω = kecepatan angular poros ($\text{rad} \cdot \text{detik}^{-1}$)

n = putaran poros (rpm)



Gambar 5.2 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif motor bakar 6 langkah bukaan throttle 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26°, 28° dan 4 tak berbahan bakar etanol 99%

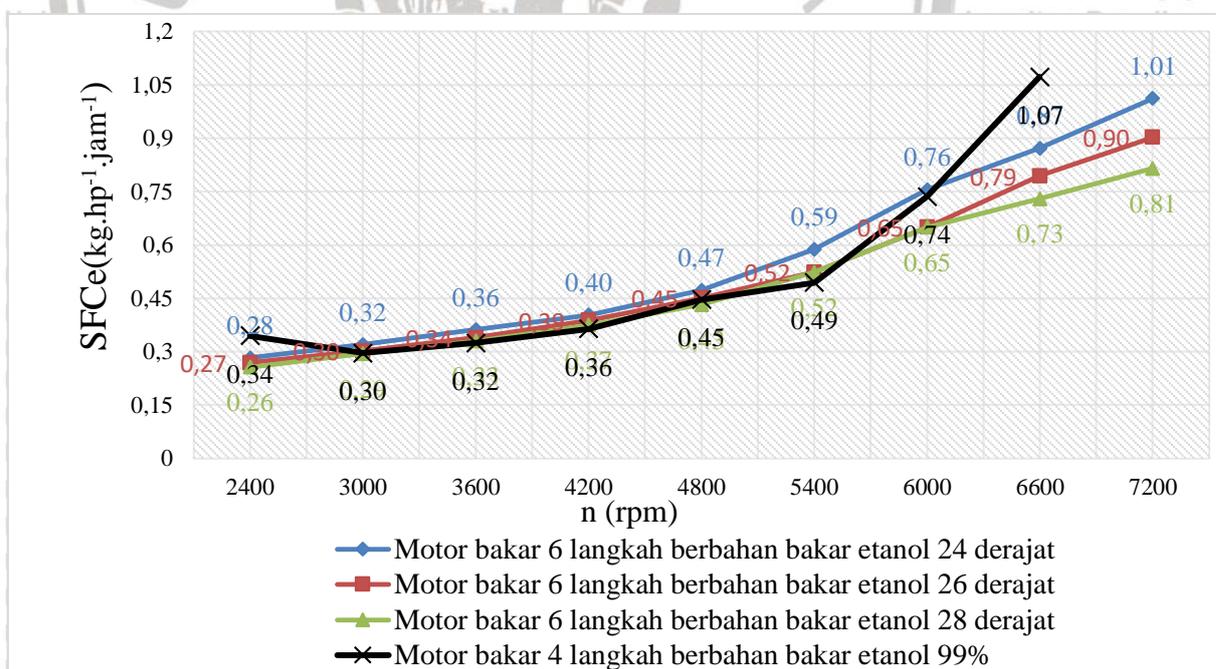
Dapat dilihat dari persamaan rumus (2-2) bahwa nilai daya efektif sangat dipengaruhi oleh nilai putaran torsi. Pada pembahasan ini didapatkan bahwa semakin tinggi nilai putaran mengakibatkan gesekan antara torak dan dinding silinder semakin meningkat sehingga kerugian mekanis yang dihasilkan semakin meningkat. Daya efektif yang besar dikarenakan campuran difusi yang lebih baik pada silinder dan efisiensi volumetrisnya juga besar. Semakin baik difusi menyebabkan homogenitas campuran udara dan bahan bakar menjadi lebih baik. Selain itu, sejalan dengan penelitian yang dilakukan Amrullah (2015) nilai kalor yang tinggi dari bahan bakar etanol itu sendiri yang terkompresi sempurna sehingga menghasilkan energi maksimal.

Untuk daya efektif terbesar yang didapat pada motor bakar 6 langkah dengan pada 3 variasi tertinggi yaitu (1) pada putaran 3600 rpm sebesar 2,24 hp dan terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 1,38 hp. Untuk variasi (2) yaitu putaran 3600 rpm sebesar 2,17 hp dan terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 1,25 hp. Untuk variasi (3) yaitu putaran 4200 rpm sebesar 2,07 hp dan terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 1,12 hp. Sedangkan untuk motor 4 langkah berbahan bakar etanol tertinggi pada putaran 2400 rpm sebesar 2,30 hp terendah pada putaran 6600 rpm sebesar 0,77 hp. Namun jika dibandingkan dengan mesin 4 langkah berbahan etanol 99%, kecenderungan grafik yang dihasilkan hampir serupa dengan hasil daya efektif motor bakar 6 langkah dengan bahan

bakar etanol. Daya efektif yang dihasilkan motor bakar 6 langkah dibandingkan motor 4 langkah pada putaran yang sama mendapatkan nilai daya dengan retaan yang lebih tinggi.

Pada gambar grafik 5.2 hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif dapat dilihat nilai yang diperoleh grafik tertinggi pada motor 6 langkah 3 variasi derajat pengapian yaitu 1 (sudut pengapian 28°), kemudian variasi 2 (sudut pengapian 26° standart), kemudian yang terkecil variasi 3 (sudut pengapian 24°) pada motor bakar 6 langkah dengan menggunakan bahan bakar etanol. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan memajukan atau mempercepat waktu pembakaran maka daya efektif yang dihasilkan motor bakar dengan menggunakan bahan bakar etanol semakin besar. Hal ini dikarenakan karakteristik pembakaran bahan bakar etanol dimana proses pembakaran lebih lambat dari bahan bakar standar yaitu bensin. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan Arwin (2019) dimana etanol murni memiliki nilai *ignition delay time* lebih tinggi dari pada bahan bakar bensin murni. Meski demikian sudut pengapian tidak disarankan terlalu maju atau *over advance* karena hal ini dapat menyebabkan tekanan puncak yang dihasilkan tidak optimal.

5.2.3 Hubungan antara Putaran Mesin dengan SFCE Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol



Gambar 5.3 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan konsumsi bahan bakar spesifik motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24° , 26° , 28° dan 4 tak bahan bakar etanol 99%

Pada Gambar 5.3 grafik hubungan antara putaran mesin dengan SFCE (*specific fuel consumption efektif*) dapat dilihat bahwa memiliki kecenderungan naik, semakin tinggi putaran poros maka SFCE yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan daya efektif sangat berpengaruh pada nilai SFCE karena konsumsi bahan bakar spesifik berbanding terbalik antara banyaknya bahan bakar yang digunakan dengan daya efektif (Ne) yang dihasilkan. Untuk SFCE terbesar pada motor bakar 6 langkah dengan menggunakan bahan bakar etanol yang diperoleh dari 3 variasi putaran yaitu (1) 7200 rpm sebesar 0,81 kg/hp.h dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 0,26 kg/hp.h. Untuk variasi (2) yaitu putaran 7200 rpm sebesar 0,90 kg/hp.h dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 0,27 kg/hp.h. pada variasi (3) memiliki nilai SFCE paling tinggi yaitu putaran 7200 rpm sebesar 1,01 kg/hp.h dan terendah pada putaran 2400 rpm sebesar 0,28 kg/hp.h. Sedangkan untuk motor 4 langkah berbahan bakar etanol tertinggi pada putaran 6600 rpm sebesar 0,87 kg/hp.h terendah pada putaran 3000 rpm sebesar 0,30 kg/hp.h. Namun jika dibandingkan dengan mesin 4 langkah berbahan etanol, kecenderungan grafik yang dihasilkan hampir serupa dengan hasil SFCE motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar etanol. SFCE yang dihasilkan motor bakar 6 langkah dibandingkan motor 4 langkah pada putaran yang sama mendapatkan nilai SFCE dengan retaan yang lebih rendah. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa variasi sudut pengapian berpengaruh terhadap SFCE hal ini dikarenakan nilai oktan dari bahan bakar etanol yang tinggi sehingga membutuhkan waktu pengapian yang lebih lama.

(Mohamad Rifa *et al* 2018) ketika etanol digunakan sebagai campuran bahan bakar pertalite dengan presentase dibawah 50% akan menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar. Hal ini dikarenakan etanol memiliki 35% kandungan oksigen sedang pertalite hanya mengandung 0-2% oksigen. Dengan kandungan oksigen ini menyebabkan pembakaran yang terjadi diruang bakar akan menjadi sempurna, sehingga meskipun jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar sedikit, akan menghasilkan power yang cukup besar untuk menggerakkan mekanisme motor. Dilain sisi SFCE berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar (FC). Sejalan penelitian yang dilakukan (Dwijo *et al*, 2017). Hal ini bisa terjadi karena bahan bakar bioetanol memiliki kalor laten yang tinggi, kalor laten tinggi tersebut menyebabkan temperatur udara yang memasuki ruang bakar menjadi menurun karena kalor dari udara akan diserap oleh bahan bakar bioetanol untuk menguap. Akibatnya, densitas udara menjadi lebih tinggi sehingga volume udara menjadi lebih kecil. Karena hal tersebut, maka pasokan udara yang memasuki ruang bakar akan lebih banyak akibat adanya ruang-ruang kosong yang disebabkan oleh mengecilnya volume udara di ruang bakar. Pada kondisi

ini, campuran antara bahan bakar dan udara disebut dengan campuran miskin. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan semakin besar dimana laju aliran bahan bakar semakin cepat sedangkan jumlah bahan bakar yang terbakar relatif sedikit sehingga energi yang dihasilkan juga rendah. Hal ini sesuai dengan persamaan (2-3):

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e}$$

dengan:

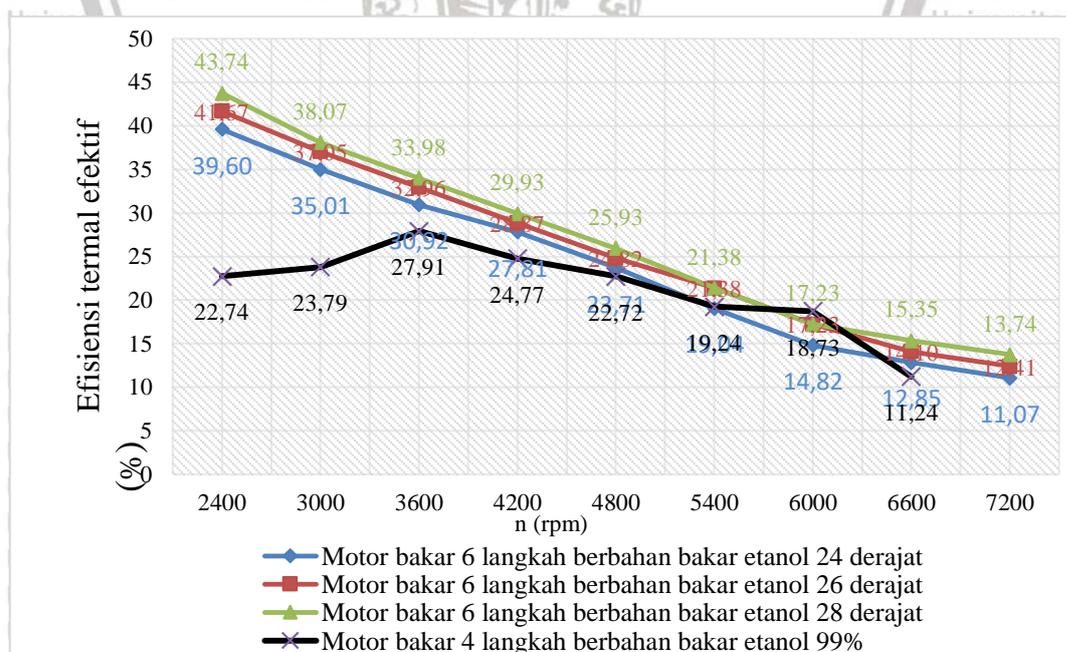
$$SFC_e = \text{Specific fuel consumption effective (kg} \cdot \text{hp}^{-1} \cdot \text{jam}^{-1})$$

F_c = konsumsi bahan bakar ($\text{kg} \cdot \text{jam}^{-1}$)

N_e = daya efektif (hp)

Pada grafik diperoleh bahwa dari 3 variasi sudut pengapian pada motor bakar 6 langkah dengan menggunakan bahan bakar etanol sudut pengapian 28° memiliki nilai terendah dibandingkan dengan variasi sudut pengapian 26° dan 24° . Hal ini sesuai dengan rumus diatas dimana apabila daya efektif yang dihasilkan semakin besar maka nilai SFC_e yang didapatkan semakin kecil namun itu juga tergantung dari nilai *Fuel Consumption* yang dihasilkan dan pengaruh *air fuel ratio* juga memiliki pengaruh terhadap *fuel consumption*.

5.2.4 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Efisiensi Termal Efektif Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol



Gambar 5.4 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24° , 26° , 28° dan 4 tak dengan bahan bakar etanol 99%

Pada grafik 5.4 dapat dilihat bahwa dengan semakin tinggi putaran mesin maka secara umum efisiensi termal efektif yang dihasilkan akan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif.

Hubungan antara nilai efisiensi termal efektif (η_{te}), konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) ditulis dengan rumus (2-4) berikut:

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{F_c / N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\%$$

dengan:

$$1 \text{ hp} = 632 \text{ (kkal} \cdot \text{jam}^{-1}\text{)}$$

$$\eta_e = \text{Efisiensi termal efektif (\%)}$$

$$LHV_{bb} = \text{Nilai kalor dari bahan bakar (kkal} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$$

$$F_c = \text{Konsumsi bahan bakar (kg} \cdot \text{jam}^{-1}\text{)}$$

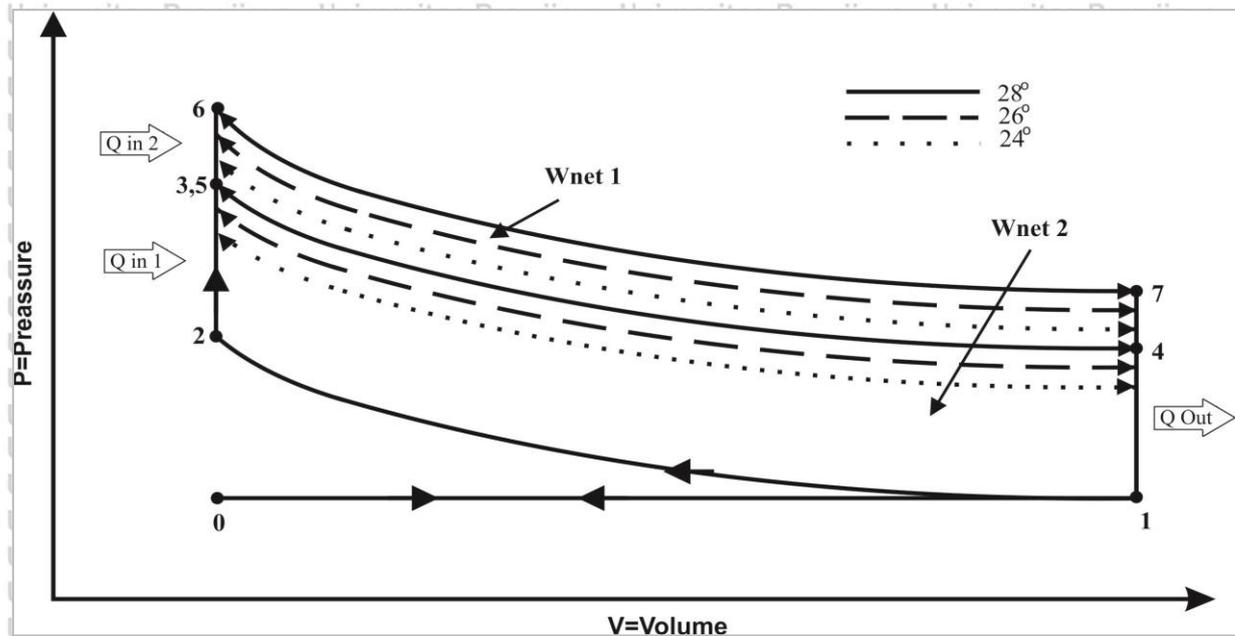
$$N_e = \text{Daya efektif (hp)}$$

Sebelumnya telah diketahui bahwa kenaikan putaran mesin cenderung meningkatkan nilai SFCe. Dari kecenderungan tersebut dan persamaan diatas, diperoleh bahwa grafik hubungan putaran dengan efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai SFCe. Hal ini disebabkan karena dengan putaran yang semakin tinggi maka gerakan bolak-balik piston juga semakin cepat sehingga kerugian mekanis semakin besar. Disamping itu waktu yang tersedia untuk membuka dan menutup katup isap semakin singkat, sehingga campuran udara dan bahan bakar yang dapat dimasukkan keruang bakar semakin berkurang. Hal tersebut menghasilkan jumlah energi kalor hasil pembakaran semakin menurun seiring meningkatnya putaran dan menurunkan daya efektif yang dihasilkan sehingga efisiensi termalnya ikut menurun.

Pada Gambar 5.4 dapat dilihat nilai rata-rata yang diperoleh grafik tertinggi dari 3 variasi (1 sudut pengapian 28°), kemudian variasi 2 (sudut pengapian 26° standar), kemudian variasi 3 (sudut pengapian 24°) pada motor bakar 6 langkah dengan menggunakan bahan bakar etanol. Untuk efisiensi termal efektif terbesar didapat pada motor bakar 6 langkah pada 3 variasi yaitu pada putaran (1) 2400 rpm sebesar 43.74%, kemudian pada variasi (2) yaitu pada putaran 2400 rpm sebesar 41.67%, pada variasi (3) didapat pada putaran 2400 rpm sebesar 39.60. Sedangkan untuk motor 4 langkah berbahan bakar etanol tertinggi pada putaran 3600 rpm sebesar 27.91% terendah pada putaran 6600 rpm sebesar 11.24%. Namun jika dibandingkan dengan mesin 4 langkah berbahan etanol, kecenderungan grafik yang dihasilkan hampir serupa dengan hasil efisiensi termal efektif motor bakar 6 langkah dengan

bahan bakar etanol. Efisiensi termal efektif yang dihasilkan motor bakar 6 langkah dibandingkan motor 4 langkah pada putaran yang sama mendapatkan nilai efisiensi termal efektif dengan retaan yang lebih tinggi.

5.2.5 Prediksi Diagram P-V Motor Bakar 6 Langkah Dua Kali Pembakaran



Gambar 5.5 Prediksi diagram P-V siklus ideal motor bakar 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol dengan variasi sudut pengapian 24° , 26° dan 28°

Gambar 5.5 secara umum menunjukkan prediksi diagram P-V siklus ideal motor bakar 6 langkah berdasar pada motor 4 langkah dengan penambahan 2 langkah torak setelah langkah ekspansi. Secara teoritis penambahan langkah torak didasarkan pada asumsi bahwa adanya campuran bahan bakar-udara yang masih tersisa pada akhir langkah ekspansi torak motor 4 langkah. Peningkatan nilai tekanan pada akhir pemasukan kalor ke-2 yaitu titik 6 yang menghasilkan kurva kerja bersih yang lebih besar (bidang 1-2-6-7) bila dibandingkan dengan pemasukan kalor ke-1 yaitu titik 4 (bidang 1-2-3-4). Meski hal ini memberi daya efektif rata yang lebih besar namun daya yang dihasilkan pada motor 6 langkah lebih kecil dibandingkan dengan motor 4 langkah. Ini dapat dipahami karena satu siklus termodinamika motor 6 langkah lebih banyak menghasilkan putaran, dari persamaan 5.1 dapat dilihat hubungan semakin banyak putaran persatu siklus maka daya yang dihasilkan motor semakin rendah untuk stiap putaran motor yang diberikan.

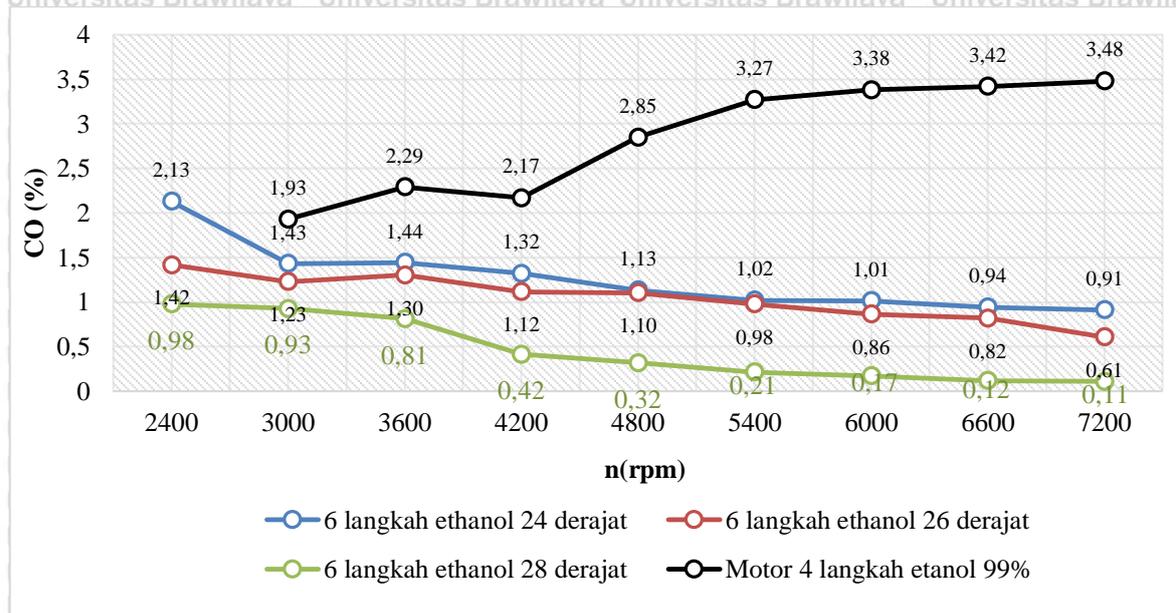
$$\dot{W}_{\text{net}} = \frac{W_{\text{net},n}}{n_{\text{rev}}} \quad (5-1)$$

Diagram pada Gambar 5.5 menunjukkan nilai tekanan yang diperoleh pada setiap akhir proses langkah torak. Terjadi perbedaan nilai tekanan yang dicapai pada titik 3, 4, 5 dan 6

disebabkan adanya variasi sudut pengapian pada motor bakar. Prediksi diagram P-v didasarkan pada hasil kinerja dan data temperatur gas buang dari pengujian yang telah dilakukan pada perolehan efisiensi maksimum setiap variasi sudut pengapian. Tekanan pada titik 4 dan 6 didasarkan pada nilai tekanan efektif (MEP) dan tekanan pada titik 7 didasarkan pada temperatur gas buang. Setelah terjadi proses pemasukan kalor terlihat bahwa terjadi perbedaan nilai tekanan yang diperoleh dari setiap variasi sudut pengapian. Tekanan paling tinggi diperoleh pada kondisi sudut pengapian 28° ditunjuk oleh garis *continuous line*, kemudian menurun pada sudut pengapian 26° ditunjuk dengan garis *dash line* dan tekanan paling rendah diperoleh pada variasi sudut pengapian 24° ditunjuk garis *dot line*. Merujuk pada persamaan gas ideal tentang hubungan antara tekanan dan temperatur maka fenomena tersebut menunjukkan temperatur yang lebih tinggi dapat dicapai pada sudut pengapian yang lebih besar. Bahan bakar etanol memiliki *ignition delay* yang lebih lama disebabkan panas laten penguapan yang lebih tinggi dibandingkan gasolin. Karena itu pada sudut pengapian 28° yang artinya waktu pengapian lebih cepat dimana waktu penyalaan menjadi lebih lama sesuai dengan karakteristik pembakaran dari etanol.

Hasil penelitian menunjukkan efisiensi termal siklus dapat ditingkatkan dengan memperbesar sudut pengapian menjadi 28° . Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan alsafour, dimana dilaporkan bahwa memperbesar sudut pengapian pada mesin dengan bahan bakar campuran etanol-gasolin dapat meningkatkan efisiensi termal. Perubahan sudut pengapian dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran dan karena itu akan menyebabkan kinerja mesin dan hasil pembakaran yang berbeda pula. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar sudut pengapian maka semakin tinggi tekanan puncak yang diperoleh. Namun secara teoritis perubahan sudut pengapian yang terlalu besar $>28^\circ$ memungkinkan tekanan di dalam *cylinder* naik terlalu cepat sebelum akhir langkah kompresi, kondisi ini menyebabkan kerugian langkah kerja kompresi dan mengakibatkan turunya kerja bersih dari siklus. Sebaliknya memperkecil sudut pengapian $<24^\circ$ dapat menyebabkan rendahnya *peak pressure* yang dicapai karena pembakaran terjadi sudah pada langkah ekspansi dan akibatnya mengurangi transfer kerja fluida gas pada torak. Kondisi optimum sudut pengapian akan menghasilkan pembakaran yang optimal dan tekanan yang tinggi di dalam silinder dimana terjadi sesaat setelah torak sampai pada TMA. Hal ini akan menjamin terjadinya kerja kompresi yang minimum dan ekspansi maksimum selama proses langkah torak terjadi.

5.2.6 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Emisi Gas Buang CO Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol



Gambar 5.6 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas buang (CO) motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26°, 28° dan motor 4 tak (standart) etanol

Grafik pada Gambar 5.6 menunjukkan hubungan antara berbagai putaran mesin terhadap kandungan emisi gas buang karbonmonoksida (CO) motor 6 langkah dan motor 4 tak standar berbahan bakar etanol. Dari grafik terlihat semakin meningkatnya putaran mesin, emisi karbonmonoksida (CO) cenderung mengalami penurunan. Pada sudut pengapian 24° karbondioksida maksimum diperoleh pada putaran 7200 rpm sebesar 0,91% dan karbondioksida minimum diperoleh pada putaran 2400 rpm sebesar 2,14%. Kemudian pada sudut pengapian 26° sudut standart nilai maksimum karbondioksida sebesar 1,42 % pada putaran 2400 rpm dan nilai minimum pada pada putaran 7200 rpm sebesar 0,61%. Sementara itu untuk sudut pengapian 28° karbondioksida diperoleh maksimum pada putaran 2400 rpm sebesar 0,98% dan nilai minimum pada putaran 7200 rpm sebesar 0,11%. Sedangkan pada 4 tak standart berbahan bakar etanol, kadar emisi CO cenderung mengalami peningkatan, hal ini kemungkinan disebabkan oleh rasio udara-bahan bakar dari campuran yang semakin kaya seiring dengan meningkatnya putaran.

Kecenderungan penurunan grafik CO dalam penelitian ini sesuai dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Ashraf Elfakhany (2016) yang dimana semakin meningkatnya putaran mesin maka emisi CO mengalami penurunan. Emisi CO yang dihasilkan gas buang merupakan kerugian pembakaran dikarenakan pada proses

pembakaran kekurangan oksigen sehingga yang terjadi adalah proses pembakaran tidak sempurna.



Ethanol memiliki sifat *oxygenated fuel* sehingga saat dilakukan penambahan *ethanol* pada pertamax menyebabkan kandungan oksigen yang semakin banyak. Berbeda dengan pertamax murni yang membutuhkan oksigen untuk proses pembakaran. Sehingga saat ditambahkannya *ethanol* pada pertamax mengakibatkan pembakaran lebih baik dan emisi CO mengalami penurunan yang signifikan dibanding pertamax murni. Sedangkan pada 4 tak berbahan bakar pertamax murni, kadar emisi CO cenderung mengalami peningkatan, hal ini kemungkinan disebabkan oleh rasio udara-bahan bakar dari campuran yang semakin kaya seiring dengan meningkatnya putaran.

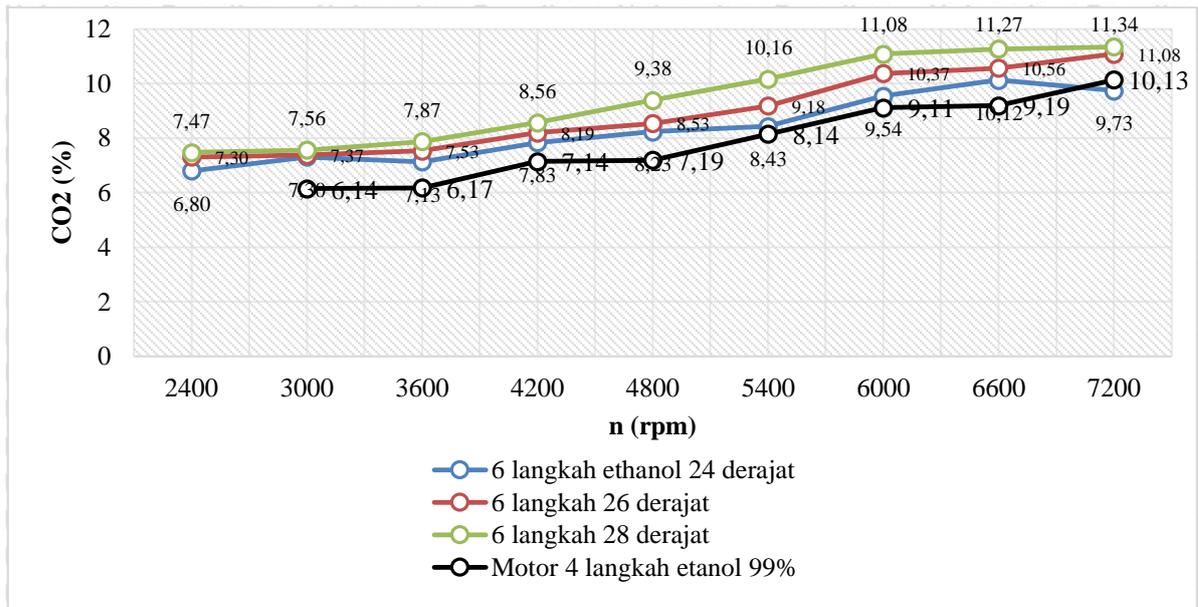
Emisi CO tertinggi pada sudut pengapian 24° terdapat pada putaran 2400 RPM sebesar 2,13% dan terendah pada putaran 7200 RPM pada derajat pengapian 28° sebesar 0,11%. Hal ini menjelaskan bahwa sudut pengapian 28° derajat dapat mengurangi emisi CO pada motor bakar 6 langkah berbahan bakar etanol. Pada sudut pengapian 28° mendekati sudut yang tepat dalam pembakaran dan sesuai dengan karakteristik bahan bakar etanol tersebut kecepatan pembakaran lebih lambat sehingga dengan memajukan sudut pengapian menghasilkan pembakaran lebih sempurna. Hal ini juga menunjukkan hasil emisi pemakaian bahan bakar etanol tidak melebihi ambang batas emisi kendaraan bermotor menurut Kepmen LH No. 5 tahun 2006.

5.2.7 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Emisi Gas Buang CO₂ Motor Bakar 6

Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol

Pada Gambar 5.7 menunjukkan hubungan antara putaran mesin (RPM) terhadap kandungan emisi gas buang karbondioksida (CO₂). Karbondioksida dihasilkan dari karbon yang teroksidasi secara sempurna dan terjadi proses pembakaran yang sempurna. Karbondioksida merupakan suatu hasil yang ingin dicapai dalam suatu reaksi pembakaran.

Nilai karbondioksida (CO₂) cenderung meningkat seiring bertambahnya putaran mesin dan pemajuan derajat pengapian. Kecenderungan peningkatan grafik CO₂ dalam penelitian ini sesuai dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Ashraf Elfakhany pada motor bakar 4 langkah dimana semakin meningkatnya putaran mesin maka emisi CO₂ semakin meningkat.



Gambar 5.7 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas buang (CO₂) motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26°, 28° dan motor 4 tak (standar) etanol

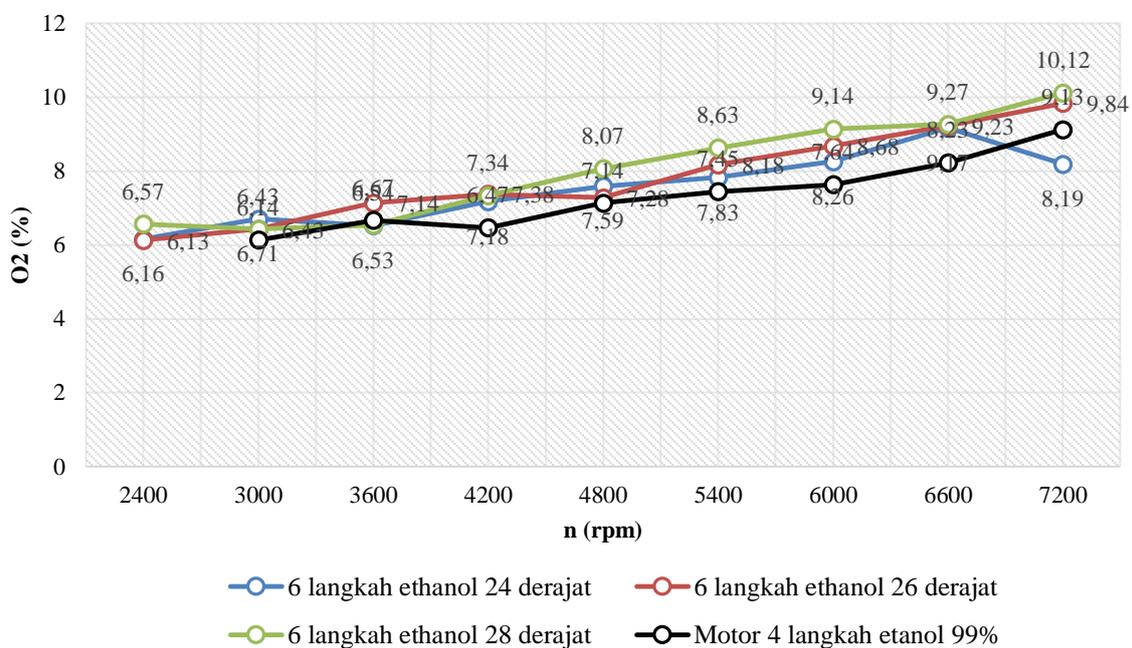
Hal ini dipengaruhi di masing-masing putaran yang telah diatur dan berkaitan juga dengan rasio udara-bahan bakar (AFR). Semakin tinggi AFR pada putaran tinggi maka semakin miskin campuran udara-bahan bakar dan menyebabkan nilai CO₂ semakin tinggi. Tingginya nilai CO₂ dikarenakan atom C telah terikat oleh oksigen dan menjadi karbondioksida (CO₂).



Sedangkan disaat campuran kaya, kadar karbondioksida masih tergolong rendah karena kurangnya oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran. Pada derajat pengapian 28° waktu pengapian lebih cepat sehingga menghindari terjadinya knocking hal ini menyebabkan kalor yang dihasilkan lebih banyak untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna. Sedangkan pada sudut 24°, 26° terlambat sehingga menyebabkan terjadinya pembakaran kurang sempurna. Emisi CO₂ terendah pada sudut pengapian 24° terdapat pada putaran 2400 RPM sebesar 6.80% dan tertinggi pada putaran 7200 RPM sebesar 10,12%. Pada pengapian 26° kadar emisi CO₂ terendah yaitu pada putaran 2400 RPM sebesar 7.30% dan tertinggi sebesar 11.08% pada putaran 7200 RPM. Untuk derajat pengapian 28° kadar emisi CO₂ terendah sebesar 7.47% pada putaran 2400 RPM dan tertinggi sebesar 11.34% pada putaran 7200 RPM. Secara keseluruhan emisi CO₂ terendah motor bakar 6 langkah terdapat pada derajat pengapian 24° pada putaran 2400 RPM sebesar 6.8% dan tertinggi terdapat pada derajat pengapian 28° putaran 7200 RPM sebesar 11.34%. Sedangkan pada motor 4 tak standar berbahan bakar etanol nilai CO₂ yang dihasilkan lebih rendah dari putaran yang sama

dengan motor bakar 6 langkah untuk putaran tertinggi pada 7200 RPM sebesar 10.13% dan terendah pada putaran 3000 RPM sebesar 6.14%. Hal ini disebabkan dengan sudut pengapian 28° waktu pembakaran lebih cepat sesuai dengan karakteristik bahan bakar etanol yang membutuhkan waktu penyalaan yang lebih lama. Sehingga proses pembakaran menjadi lebih sempurna dibandingkan dengan sudut pengapian 24° dan 26° . Hal berdasarkan pada reaksi pembakaran stokiometri pada etanol. $C_2H_5OH + (O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow 2 CO_2 + 3 H_2O + 11.28 N_2$

5.2.8 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Emisi Gas Buang O_2 Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol



Gambar 5.8 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas buang (O_2) motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24° , 26° , 28° dan motor 4 tak (standar) etanol

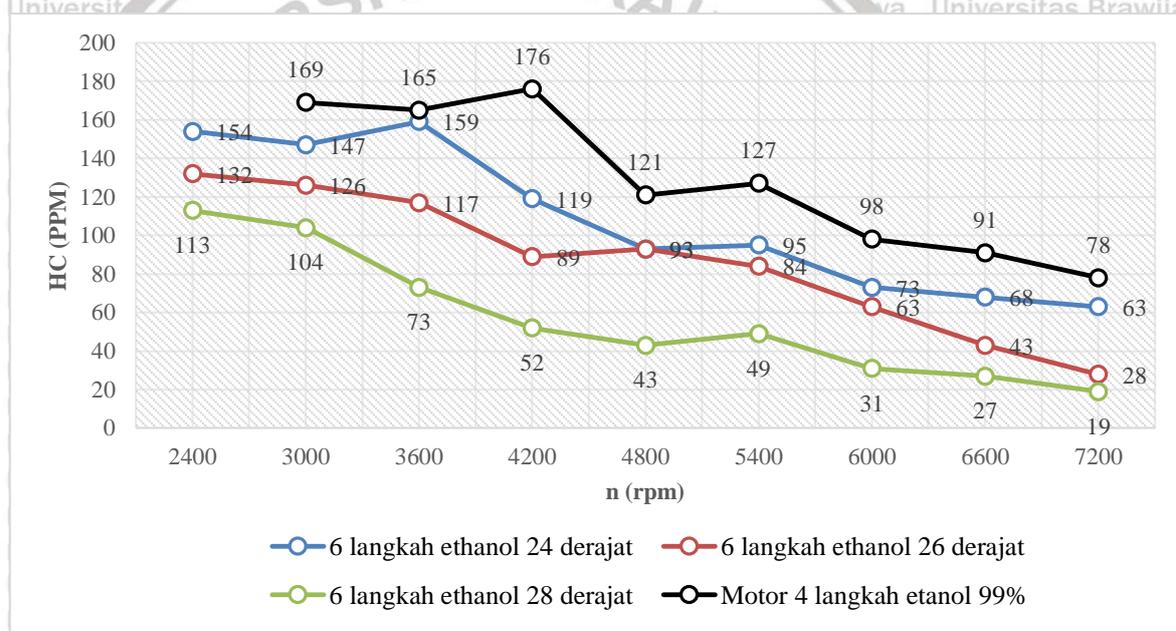
Gambar 5.8 menunjukkan hubungan antara putaran mesin (RPM) terhadap emisi gas buang oksigen (O_2). Dari grafik terlihat bahwa kecenderungannya mengalami peningkatan.

Persentase emisi oksigen berbanding terbalik dengan presentase emisi karbonmonoksida.

Semakin tingginya persentase oksigen yang dihasilkan maka karbonmonoksida akan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual lebih rendah dari AFR stoikiometrinya sehingga proses pembakaran terjadi pada campuran miskin dimana oksigen yang tersedia lebih banyak dibanding bahan bakar. Namun dengan sifat dari *ethanol* yang termasuk *oxygenated fuel* dengan mengandung 35% oksigen sehingga menghasilkan kandungan emisi gas buang oksigen yang cukup banyak.

Emisi O_2 terendah pada derajat pengapian 24° pada putaran 2400 RPM sebesar 6,16% dan tertinggi pada putaran 6600 RPM sebesar 9,17%. Pada derajat pengapian 26° emisi O_2 terendah yaitu pada putaran 2400 RPM 6,13% dan tertinggi sebesar 9,84% pada putaran 7200 RPM. Untuk derajat pengapian 28° emisi O_2 terendah sebesar 6,43% pada putaran 3000 RPM dan tertinggi sebesar 10,12% pada putaran 7200 RPM. Namun pada grafik 4 tak terlihat kecenderungan grafik mengalami penurunan, hal ini sesuai dengan grafik CO pada 4 tak yang semakin meningkat. Dimana kadar O_2 berbanding terbalik dengan kadar CO. Menurunnya kadar O_2 kemungkinan disebabkan karena pada saat putaran naik pembakaran yang terjadi berada pada campuran kaya sehingga oksigen yang dibutuhkan kurang dan menyebabkan kadar O_2 yang dihasilkan rendah.

5.2.9 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Emisi Gas Buang HC Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol



Gambar 5.9 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas buang (HC) motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24° , 26° , 28° dan motor 4 tak (standar) etanol

Grafik pada Gambar 5.9 menunjukkan hubungan antara putaran mesin (RPM) terhadap emisi gas buang hidrokarbon (HC). Dari grafik dapat dilihat bahwa kadar hidrokarbon (HC) cenderung mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya putaran. Kecenderungan penurunan grafik HC dalam penelitian ini sesuai dengan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Elfasakhany pada motor bakar 4 langkah dimana semakin meningkatnya putaran mesin menyebabkan emisi HC semakin menurun.

Hal ini dikarenakan pada saat putaran rendah rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual lebih rendah dari AFR stoikiometrinya. Dimana jumlah massa bahan bakar lebih banyak dibanding dengan jumlah massa udara yang disediakan atau dengan kata lain campuran bahan bakar termasuk campuran kaya ($\Phi > 1$). Sehingga terdapat karbon (C) dan hidrogen (H) yang tidak terikat oleh oksigen (O_2) dalam proses pembakaran dan menyebabkan timbulnya HC pada pembuangan. Sedangkan saat putaran tinggi campurannya menjadi miskin karena AFR aktual lebih tinggi dibanding AFR stoikiometrinya sehingga massa udara yang disediakan lebih banyak untuk membakar massa bahan bakar dan menyebabkan menurunnya kadar HC pada pembuangan.

Emisi HC dari derajat pengapian 24° lebih tinggi dari emisi HC pada derajat pengapian 26° dan 28° karena mengalami keterlambatan dalam memercikan bunga api hal ini menyebabkan pembakaran kurang sempurna. Emisi HC tertinggi pada derajat pengapian 24° terdapat pada putaran 3600 RPM sebesar 159 ppm (*part per million*) dan terendah pada 7200 RPM sebesar 63 ppm. Pada derajat pengapian 26° pada kadar emisi HC tertinggi yaitu pada putaran 2400 RPM sebesar 132 ppm dan terendah sebesar 28 ppm pada putaran 7200 RPM. Untuk derajat pengapian 28° kadar emisi HC tertinggi sebesar 113 ppm pada putaran 2400 RPM dan terendah sebesar 19 ppm pada putaran 7200 RPM. Dapat disimpulkan sudut pengapian 28° mendekati pembakaran yang sempurna sehingga bisa menghasilkan HC yang lebih rendah dibandingkan dengan sudut pengapian 24° dan 26° . Sedangkan pada motor 4 tak standar berbahan bakar etanol nilai HC yang dihasilkan lebih tinggi dari putaran yang sama dengan motor bakar 6 langkah untuk putaran tertinggi pada 4200 RPM sebesar 176 ppm dan terendah pada putaran 7200 RPM sebesar 78 ppm, sehingga dapat disimpulkan hasil HC motor bakar 6 langkah lebih rendah dari 4 tak standar berbahan bakar etanol.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan. Pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar etanol adalah:
 - a. Torsi terbesar didapatkan pada variasi 1 (sudut pengapian 28°) dengan cara memajukan sudut pengapian 2° yaitu pada putaran 2400 rpm sebesar 0.57 kg.m.
 - b. Daya efektif terbesar juga dihasilkan pada variasi 1 (sudut pengapian 28°), yaitu pada putaran 3600 rpm sebesar 2.24 hp.
 - c. *Specific fuel consumption efektif* terkecil dihasilkan pada variasi 1 (sudut pengapian 28°) yaitu putaran 2400 sebesar 0.26 kg/hp.h.
 - d. *Efisiensi thermal efektif* terbesar dihasilkan pada variasi 1 (sudut pengapian 28°) yaitu pada putaran 2400 sebesar 43.74%.
2. Berdasarkan dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa derajat pengapian mempengaruhi kadar emisi gas buang CO, CO₂, O₂, dan HC yang dihasilkan pada pembakaran motor 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol. Dengan memajukan dua derajat pengapian maka kadar emisi gas buang CO₂ dan O₂ semakin meningkat dan sebaliknya kadar emisi gas bunag CO dan HC semakin menurun. Hasil emisi gas buang dapat dilihat pada Tabel 5.2.

6.2 Saran

1. Menggunakan peredam getaran alat ukur gaya pengereman dengan *shock absorber*.
2. Menggunakan papan panel untuk tempat pengoprasian agar lebih mudah dalam pengambilan data.
3. Perlu dilakukan perawatan komponen mesin yang terjadwal untuk mengoptimalkan keunggulan dari motor bakar otto 6 langkah.
4. Menggunakan busi recing yang sesuai dengan CDI yang dipakai.
5. Menggunakan karburator yang tidak memakai vakum.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, M, Syahrir, Januar, F. 2015. *Performance analysis of the engine with mixture of ethanol and premium fuels*. Science Direct Journal Renewable Energy, v. 97, n. pp 432-443.
- Arends, B. P. M., & H. Berenschot. 1994. *Benzinmotoren*. Terjemahan Umar Sukrisno. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Arifin, Z. & Sukoco. 2009. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung: Alfabeta.
- Arismunandar, Wiranto. 2005. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung: Penerbit ITB.
- Arwin. 2019. *Karakteristik Pembakaran Droplet Campuran bahan bakar Bensin-Etanol*, Tesis, Universitas Brawijaya Malang.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia. 2017. *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis 1949-2017*. BPS-Statistic Indonesia: Jakarta.
- Chandra, G, Siswanto, E, Yuliati, L. 2018. *Pengaruh Penambahan Langkah Kerja Terhadap Unjuk kerja Motor Bakar*, Tesis, Universitas Brawijaya, Malang.
- Dwijo, H, Marthen, P, Bambang, S. 2017. *Studi Eksperimental Pengaruh Mapping Waktu Pengapian dan Mapping Durasi Injeksi Serta Rasio Kompresi Terhadap Performansi dan Emisi Gas Buang Engine Honda Cb150r Berbahan Bakar E50*, Jurnal Teknik Mesin Indonesia, v. 12 No. 2, 81-86.
- Dedy, H, I Made Mara, Made, W. 2014. *Pengaruh Variasi Waktu Pengapian Terhadap Ujink Kerja Motor Bensin 4 Langkah 1 Silinder 100 cc Dengan Bahan Bakar Etanol 96%*, Jurnal Teknik Mesin Universitas Mataram, v. 14, 23-24.
- Demirbas, A. 2005. *Biodiesel production from vegetable oils vis catalytic and non catalytic supercritical methanol transesterification methods*, prog. Energ. Combust 31, 466-87.
- Elfasakhany, Ashraf. 2016. *Performance and Emissions Analysis Using Acetone-Gasoline Fuel Blends in Spark-Ignition Engine*. *Engineering Science and Technology*. 19: 1224-1232.
- Elfasakhany, Ashraf. 2016. *Performance and emissions Spark-Ignition Engine Using Ethanol-Methanol-Gasoline, n-Butanol-iso-Butanol-Gasoline and iso-Butanol-Ethanol-Gasoline Blends*. *Engineering Science and Technology*. 19: 2053-2059.
- Fauzi, Mukhamad. 2015. *Pengaruh Bioetanol terhadap Lambda dan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor Empat Tak Satu Silinder Berbahan Bakar Premium*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Hsieh, Wei-Dong. 2002. *Engine Performance and Pollutant Emission an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blendend Fuels*. *Atmospheric Environment*. 36: 403-410.
- Iriyanto, Sigit. 2008. *Analisa performa sepeda motor 4 langkah 1 silinder fuel injection 125cc terhadap variasi campuran pertamax-ethanol (E10-E30)*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Depok. Universitas Indonesia.

Intenational Energi Outlook. 2019. *U.S. EIA (Energi Information Administration), January 2019*. [https:// www.eia. Gov/outlooks/steo/report/global_oil.php](https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php).diakses 25 Maret 2019.

Jalius, Jama, 2008. *Teknik Sepeda Motor*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah kejuruan

Khovakh, M. 1979. *Motor Vehicle Engine*. Moscow: Mir Publisher.

Kristanto, Philip. 2015. *Motor BakarTorak (Teori dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.

Liakos, H.H., M. A. Founti, & Markatos N.C. 2000. *Modeling of Stretched Natural Gas Diffusion Flames*. *Applied Mathematical Modelling*, May 19: 419-435.

Mardalis. 2006. *Metode Penelitian (Suatu Pendekatan Proposal)*. Jakarta: Bumi Aksara.

Mursalin, 2011. *Pengaruh Campuran bahan bakar bensin degan etanol terhadap unju kerja dan emisi gas buang pada kendaraan supra x 125 cc*. Skripsi. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah.

Mohamad, R, Wawan, Rauf. 2018. *Analisis Penggunaan Bahan Bakar Etanol-Pertalite Pada Motor Honda Scoopy 110 cc*, *Journal of insfratructure & science Engineering*. v 1 No 1 april 2018

Nanlohy, H. Y., 2012. *Perbandingan Variasi Derajat Pengapian Terhadap Efisiensi Termal Dan Konsumsi Bahan Bakar Otto Engine Be50*, *Jurnal Dinamika* Vol. 3 No. 2 Mei 2012, Fakultas Teknik Universitas Halueleo. Kendari.

Prabowo, Arif. 2005. *sistem pengapian cdi pada honda gl pro 2005*. Tugas Akhir. Universitas Negeri Semarang.

Purwa, iga. 2018. *Pengaruh Sudut Pengapian Terhadap Unjuk Kerja Motor 6 Langkah Berbahan Bakar Ethanol*. Skripsi. Malang. Universitas Brawijaya.

Raharjo W. D dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Semarang: Universitas Semarang Press.

Muhammad Hadyan Baqi. 2018. *Pengaruh bahan ethanol kinerja motor bakar otto 6 langkah*. Skripsi. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Sadiq, Y. R., 2016. *A Study on Influence of Ignition Timing on Performance and Emission of Petrol Engine*. *Global Jurnal for Research analysis* Volume-5, Issue-2, Feb-2016. ISSN NO 2277-8160.

Saepudin, A., & Tri Admono. 2005. *Kajian Pencemaran Udara Akibat Emisi Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta*. *Jurnal Teknologi Indonesia*. 28 (2):29-39.

Soetiari, Tj. 1990. *Bahan Bakar dan Proses-Proses Kimia Pembakaran*. Malang: Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Suprpto. 2004. *Paparan Kuliah Bahan Bakar dan Pelumas*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

- Sharir, S.A. et al. 2014. *Feasibility of diesel-biodisel-ethanol/bioethanol blends as exiting CI engine fuel; as assessment of profertie, material compatibility, safety and combustion*. Universitas of malaya.
- Siswanto, Eko, Nurkholis Hamidi, Mega Nur Sasongko, & Denny Widhiyanuriyawan. 2014. *A Gasoline Six-stroke Internal Combustion Engine*. Patent Invention, Malang: Unpublished.
- Siswanto, Eko, Nurkholis Hamidi, Mega Nur Sasongko, & Denny Widhiyanuriyawan. 2014. *A Gasoline Six-stroke Internal Combustion Engine*. Patent Invention, Malang: Unpublished.
- Siswanto, Eko. 2016. *Metode Operasi Motor Pembakaran Dalam Siklus Enam Langkah*. IDP000040589.
- Siswanto, Eko., D. Widhiyanuriyawan. A. S. Widodo., N. Hamidi, D. B. Darmadi&Sudjito. 2016. On the Performance of Six-Stroke Single-Power Combustion Engine. *Journal of Heat and Mass Transfer*.14: 201-218.
- Siswanto, I. dan Efendi, Y. 2015. Peningkatan Performa Sepeda Motor dengan Variasi CDI Programmable, *Jurnal Science Tech LP2M UST Yogyakarta Vol 1 No 1*.
- Siswanto. 2017. *Analisa emisi gas buang kendaraan bermotor 4 tak berbahan bakar etanol murni pada sepeda motor supra x 125 cc. Skripsi*. Universitas Pancasakti Tegal.
- Syahril, M, Untoro, B.S, Sitorus. 2013. *Pengaruh variasi unjuk derajat pengapian terhadap kerja mesin*. *Jurnal teknik vol.3 no.1/april 2013 ISSN 2088 – 367*.
- Soedomo, M., Surihanto, I., Maxdoni & H. Tokkong. 1983. Pengukuran Emisi Pencemaran Udara Bersumber dari Lalu Lintas Perkotaan, Inventarisasi dan Identifikasi. *Laporan Penelitian*. Bandung: ITB.
- Tj. Soetiari. 1990. *Bahan Bakar dan Proses Proses Kimia Pembakaran*. Malang: Jurusan Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.
- Wardana, I. N. G. 2008. *Bahan Bakar&Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Danar Wijaya-Brawijaya University Press.

Lampiran 1 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Motor Bakar 6 Langkah Buka-an Throttle 35% Menggunakan Bahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 24°, 26° dan 28°

Putaran	CO (%)			CO2 (%)			O2 (%)			HC (PPM)		
	24°	26°	28°	24°	26°	28°	24°	26°	28°	24°	26°	28°
2400	2,129	1,418	0,978	6,8	7,3	7,47	6,16	6,13	6,57	154	132	113
3000	1,431	1,228	0,927	7,3	7,37	7,56	6,71	6,43	6,43	147	126	104
3600	1,442	1,303	0,814	7,13	7,53	7,87	6,53	7,14	6,54	159	117	73
4200	1,321	1,115	0,415	7,83	8,19	8,56	7,18	7,38	7,34	119	89	52
4800	1,134	1,104	0,319	8,23	8,53	9,38	7,59	7,28	8,07	93	93	43
5400	1,02	0,978	0,213	8,43	9,18	10,16	7,83	8,18	8,63	95	84	49
6000	1,013	0,864	0,172	9,54	10,37	11,08	8,26	8,68	9,14	73	63	31
6600	0,943	0,82	0,117	10,12	10,56	11,27	9,17	9,23	9,27	68	43	27
7200	0,912	0,607	0,109	9,73	11,08	11,34	8,19	9,84	10,12	63	28	19
Σ	1,26	1,05	0,45	8,35	8,90	9,41	7,51	7,81	8,01	107,89	86,11	56,78

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 24°

Motor bakar 6 langkah berbahan bakar etanol 24 derajat

RPM	F (kg)	L (m)	f (kg)	l (m)	T (kg.m)	faktor reduksi	Tc (kg.m)	ne (hp)	sfce(kg.hp-1.jam-1)	η_{t_e}	fc
2400	33	0,25	6	0,22	9,57	18,656	0,512972	1,718978	0,282815623	39,5983	0,48615
3000	29	0,25	6	0,22	8,57	18,656	0,45937	1,924196	0,319917789	35,0059	0,61558
3600	25	0,25	6	0,22	7,57	18,656	0,405768	2,039602	0,362179056	30,9212	0,7387
4200	21	0,25	6	0,22	6,57	18,656	0,352166	2,065199	0,402662954	27,8124	0,83158
4800	16	0,25	6	0,22	5,32	18,656	0,285163	1,911173	0,472409931	23,7061	0,90286
5400	11	0,25	6	0,22	4,07	18,656	0,21816	1,644884	0,588094262	19,0429	0,96735
6000	7	0,25	6	0,22	3,07	18,656	0,164558	1,378595	0,755666499	14,82	1,04176
6600	5	0,25	6	0,22	2,57	18,656	0,137757	1,269475	0,871710465	12,8472	1,10661
7200	3	0,25	6	0,22	2,07	18,656	0,110956	1,11545	1,011763619	11,0688	1,12857

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 26°

Motor bakar 6 langkah berbahan bakar etanol 26 derajat

RPM	F (kg)	L (m)	f (kg)	l (m)	T (kg.m)	faktor reduksi	Tc (kg.m)	ne (hp)	sfce(kg.hp-1.jam-1)	η_{t_e}	fc
2400	35	0,25	6	0,22	10,07	18,656	0,539773	1,808789	0,268773139	41,6671	0,48615
3000	31	0,25	6	0,22	9,07	18,656	0,486171	2,036459	0,302281748	37,0482	0,61558
3600	27	0,25	6	0,22	8,07	18,656	0,432569	2,174319	0,339739213	32,9635	0,7387
4200	22	0,25	6	0,22	6,82	18,656	0,365566	2,143783	0,387902582	28,8707	0,83158
4800	17	0,25	6	0,22	5,57	18,656	0,298563	2,000984	0,451206612	24,8201	0,90286
5400	13	0,25	6	0,22	4,57	18,656	0,244961	1,846958	0,523751345	21,3823	0,96735
6000	9	0,25	6	0,22	3,57	18,656	0,191359	1,603122	0,649830855	17,2337	1,04176
6600	6	0,25	6	0,22	2,82	18,656	0,151158	1,392965	0,794431168	14,0969	1,10661
7200	4	0,25	6	0,22	2,32	18,656	0,124357	1,250166	0,902737367	12,4056	1,12857

Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol Variasi Sudut Pengapian 28°

Motor bakar 6 langkah berbahan bakar etanol 28 derajat											
RPM	F (kg)	L (m)	f (kg)	l (m)	T (kg.m)	faktor reduksi	Tc (kg.m)	ne (hp)	sfce(kg.hp-1.jam-1)	η_{re}	fc
2400	37	0,25	6	0,22	10,57	18,656	0,566574	1,8986	0,256059178	43,736	0,48615
3000	32	0,25	6	0,22	9,32	18,656	0,499571	2,092591	0,294173332	38,0694	0,61558
3600	28	0,25	6	0,22	8,32	18,656	0,445969	2,241677	0,329530703	33,9847	0,7387
4200	23	0,25	6	0,22	7,07	18,656	0,378967	2,222367	0,374186084	29,929	0,83158
4800	18	0,25	6	0,22	5,82	18,656	0,311964	2,090795	0,431824885	25,9341	0,90286
5400	13	0,25	6	0,22	4,57	18,656	0,244961	1,846958	0,523751345	21,3823	0,96735
6000	9	0,25	6	0,22	3,57	18,656	0,191359	1,603122	0,649830855	17,2337	1,04176
6600	7	0,25	6	0,22	3,07	18,656	0,164558	1,516455	0,729738076	15,3466	1,10661
7200	5	0,25	6	0,22	2,57	18,656	0,137757	1,384882	0,814922448	13,7424	1,12857

Untuk mengetahui nilai AFR stoikiometri dari bahan bakar etanol dapat dihitung dari persamaan reaksi kimia sebagai berikut:



Massa atom dari masing-masing unsur:

$$C = 12, H = 1, O = 16, N = 14$$

Dari massa atom tersebut kemudian dapat ditentukan nilai AFR stoikiometri dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} AFR_{stoikiometri} &= \frac{N_{udara} M_{udara}}{N_{bahan bakar} M_{bahan bakar}} \\ &= \frac{3(16 \times 2) + 3,76(14 \times 2)}{1(12 \times 2) + ((1 \times 16) + (61 \times 1))} \\ &= \frac{3(32 + 3,76(28))}{46} \\ &= \frac{411,84}{46} = 8,95 \text{ kg udara / kg bb} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk menghitung nilai AFR aktual pada setiap putaran (RPM) maka harus menghitung massa alir (\dot{m}) udara dan juga massa alir (\dot{m}) bahan bakar. Berikut contoh perhitungan AFR aktual etanol pada putaran 6000 RPM.

Diketahui:

$$\text{Konsumsi bahan bakar} = 1 \text{ ml} = 0,001 \text{ liter}$$

$$\text{Diameter saluran masuk (d)} = 0,026 \text{ m}$$

$$\rho_{udara} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{Etanol} = 789 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kecepatan udara (v)} = 4,28 \text{ m/s}$$

Waktu konsumsi bahan bakar = 2,73 detik

a. Menghitung debit (Q) bahan bakar

$$\begin{aligned} \text{Debit (Q)} &= \frac{\text{Konsumsi bahan bakar}}{\text{Waktu konsumsi bahan bakar}} \times 60 \\ &= \frac{0,001}{2,73} \times 60 \\ &= 0,021978 \text{ liter/menit} \end{aligned}$$

b. Menghitung massa alir udara

$$\begin{aligned} \dot{m} \text{ udara} &= v \text{ udara} \times \pi r^2 \times \rho \text{ udara} \times 3600 \\ &= 4,28 \times (3,14 \times 0,13) \times 1,2 \times 3600 \\ &= 9,812 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

c. Menghitung massa alir bahan bakar

$$\begin{aligned} \dot{m} E &= \frac{Q \times \rho E \times 60}{1000} \\ &= \frac{0,021978 \times 789 \times 60}{1000} \\ &= 1,040 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

d. Menghitung AFR aktual

$$\begin{aligned} AFR &= \frac{\dot{m} \text{ udara}}{\dot{m} E \text{ etanol}} \\ &= \frac{9,812}{1,040} \\ &= 9,43 \text{ kg udara / kg bb} \end{aligned}$$

Lambran 5 Data AFR Etanol Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol Variasi sudut Pengapian 28° Bukan Throttle 35%

AFR Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol

Tacho (rpm)	Putaran (rpm)	velocity (m/s)	t (detik)	konsumsi (liter)	Q (liter/menit)	massa alir udara (kg/jam)	massa bb (kg/jam)	AFR
800	2400	2,24	5,85	0,001	0,01026	5,135	0,49	10,56
1000	3000	2,39	4,62	0,001	0,01299	5,479	0,62	8,90
1200	3600	3,17	3,85	0,001	0,01558	7,267	0,74	9,84
1400	4200	3,37	3,42	0,001	0,01754	7,726	0,83	9,29
1600	4800	3,62	3,15	0,001	0,01905	8,299	0,90	9,19
1800	5400	4,19	2,94	0,001	0,02041	9,605	0,97	9,93
2000	6000	4,28	2,73	0,001	0,02198	9,812	1,04	9,42
2200	6600	4,45	2,57	0,001	0,02335	10,201	1,11	9,22
2400	7200	5,23	2,52	0,001	0,02381	11,990	1,13	10,62

Lampiran 6 Data AFR Etanol Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol
Variasi Sudut Pengapian 26° Buka *Throttle* 35%

AFR Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol

Tacho (rpm)	Putaran (rpm)	velocity (m/s)	t (detik)	konsums i (liter)	Q (liter/menit)	massa alir udara (kg/jam)	massa bb (kg/jam)	AFR
800	2400	2,27	5,86	0,001	0,01024	5,204	0,49	10,72
1000	3000	2,42	4,63	0,001	0,01296	5,548	0,61	9,03
1200	3600	2,47	3,87	0,001	0,01550	5,662	0,73	7,71
1400	4200	3,74	3,43	0,001	0,01749	8,574	0,83	10,34
1600	4800	3,78	3,15	0,001	0,01905	8,665	0,90	9,60
1800	5400	4,25	2,93	0,001	0,02048	9,743	0,97	10,04
2000	6000	4,36	2,76	0,001	0,02174	9,995	1,03	9,70
2200	6600	4,47	2,59	0,001	0,02317	10,247	1,10	9,33
2400	7200	5,32	2,54	0,001	0,02362	12,196	1,12	10,89

Lampiran 7 Data AFR Etanol Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol
Variasi Sudut Pengapian 24° Buka *Throttle* 35%

AFR Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol

Tacho (rpm)	Putaran (rpm)	velocity (m/s)	t (detik)	konsums i (liter)	Q (liter/menit)	massa alir udara (kg/jam)	massa bb (kg/jam)	AFR
800	2400	2,29	5,89	0,001	0,01019	5,250	0,48	10,87
1000	3000	2,43	4,65	0,001	0,01290	5,571	0,61	9,11
1200	3600	2,51	3,79	0,001	0,01583	5,754	0,75	7,67
1400	4200	3,65	3,45	0,001	0,01739	8,367	0,82	10,15
1600	4800	3,75	3,17	0,001	0,01893	8,597	0,90	9,58
1800	5400	4,27	2,98	0,001	0,02013	9,789	0,95	10,26
2000	6000	4,37	2,79	0,001	0,02151	10,018	1,02	9,83
2200	6600	4,76	2,62	0,001	0,02290	10,912	1,09	10,05
2400	7200	5,37	2,57	0,001	0,02335	12,310	1,11	11,12

Lampiran 8 Data Panas Gas Buang Motor Bakar

6 Langkah Berbahan Bakar gas Etanol

Putaran	°C		
	24 ^o	26 ^o	28 ^o
2400	54	57	65
3000	56	59	70
3600	53	64	67
4200	50	61	68
4800	71	62	53
5400	73	76	79
6000	60	56	78
6600	65	47	66
7200	51	53	55
Σ	59,22	59,44	66,78

Lampiran 9 Data Emisi Gas Buang Motor 4 Langkah Menggunakan Bahan Bakar Etanol

Murni Pada Sepeda Sepeda Motor Supra x 125 cc.

Putaran	CO (%)	CO2 (%)	O2(%)	HC(PPM)
3000	1,93	6,14	6,14	169
3600	2,29	6,17	6,67	165
4200	2,17	7,14	6,47	176
4800	2,85	7,19	7,14	121
5400	3,27	8,14	7,45	103
6000	3,38	9,11	7,64	98
6600	3,42	9,19	8,23	91
7200	3,48	10,13	9,13	78
Σ	2,85	7,90	7,36	125,13

Sumber skripsi Siswantoro

Lampiran 10 Data Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Ethanol 99%

n (rpm)	Td (kg·m)	TC (kg·m)	P(hp)	FC (kg/h)	SFCe (kg/hp·h)	ηe %	AFR (kg air/kgfuel)
3000	10,195	0,55015	2,3035	0,80654394	0,344297	22,73695	5,494240459
3400	9,03875	0,455979	2,1638	0,60426394	0,295862	23,79252	7,777115084
3800	6,695	0,341967	1,8136	0,56418238	0,324379	27,90636	10,36136813
4200	6,0075	0,31656	1,8556	0,6557298	0,364128	24,77137	10,76457945
4600	4,710625	0,244757	1,5714	0,69766943	0,446354	22,71742	11,66492173
5000	3,82	0,200478	1,399	0,68578605	0,494024	19,24234	13,22855453
5400	2,55125	0,136497	1,0287	0,74827605	0,735768	18,72609	13,2322705
5800	1,7496875	0,095625	0,7741	0,80554558	1,072574	11,23895	12,77125952
6200	0	0	0	0,8865987	n/a	n/a	11,9380357

Sumber skripsi Muhammad Hadyan Baqi

