

**PENGARUH SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK KERJA
MOTOR BAKAR 6 LANGKAH BERBAHAN BAKAR *ETHANOL***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK KERJA
MOTOR BAKAR 6 LANGKAH BERBAHAN BAKAR *ETHANOL***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



IGAT PURWA AULIA
NIM: 135060201111035

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 13 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

[Signature]

[Signature]

Dr. Eng Eko Siswanto, ST., MT.
NIP. 19701017 199802 1 001

Winarto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19710710 200012 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak pernah 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 Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 13 Juli 2018

Mahasiswa,



Iga Purwa Aulia

NIM. 135060201111035

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 070/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :



**PENGARUH SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK KERJA MESIN 6 LANGKAH
BERBAHAN ETHANOL**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **05 JUL 2018**

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001



PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah dan hidayahnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pengaruh Sudut Pengapian Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar *Ethanol*”**, yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan kali ini, Penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Gatot Julianto dan Ibu Ana Isawati serta seluruh anggota keluarga yang senantiasa memberi dukungan nasihat, doa, semangat dan segalanya yang terbaik bagi penulis.
2. Bapak Dr.Eng. Eko Siswanto, ST.,MT. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak sekali memberikan bimbingan yang mencerahkan, pengalaman yang menantang, nasihat yang menyejukkan, dan motivasi luar biasa bagi penulis.
3. Bapak Winarto, ST, MT., Ph.D selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang sangat membantu dan bermanfaat dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT, Ph.D. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Bapak Dr.Eng, Mega Nur Sasongko, ST., MT. Selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
9. Rekan penelitian, pradana, razan, dan rega, yang selalu menjalin kekompakan dalam keadaan suka maupun duka sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
10. Saudaraku seperjuangan Tim Gokart UB dan Tim Majapahit Milleage yang selalu menemani, memberikan semangat tiada henti, dan saran yang membangun.

11. Saudara-saudaraku M13 yang telah menjadi keluarga hangat, memberikan banyak pelajaran, dan dalam menjelajahi kehidupan kampus. Semoga persaudaraan ini terjaga, selalu diberi kesehatan dan kesuksesan dalam setiap urusan.
12. Saudara-saudaraku “Kontrakan 42” yang telah menjadi keluarga ke dua di malang, memberikan canda gurainya, dan saling menyemangati kuliah selama dimalang.
13. Mbak Us Trijaya yang telah membantu dalam kelancaran penyelesaian skripsi serta seluruh pihak untuk bantuannya yang tidak dapat disebut satu-persatu dan yang sangat berperan dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna baik dari isi maupun format penulisan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar kedepannya menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, memunculkan ide baru dan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.



Malang, April 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Proses Pembakaran.....	5
2.3 Proses Terjadinya Tenaga.....	6
2.4 Prinsip Kerja Motor Bakar.....	7
2.4.1 P-V Diagram <i>Ekpansion 4 stroke</i> Akibat bukaan Katup Buang.....	7
2.5 Motor Bakar 6 Langkah.....	8
2.5.1 Prediksi P-V Diagram Motor Bakar 6 Langkah Dua Kali Pembakaran.....	9
2.5.2 Motor Bakar 6 Langkah Berbasis Penambahan Difusi Massa dan Termal Campuran.....	10
2.5.3 Pengaruh Diameter Venturi Karburator Terhadap Kinerja Enam-Stroke 125 CC Combustion Engine.....	11
2.5.4 Performa Motor bakar 6 langkah.....	12
2.6 Injeksi.....	14
2.7 Sistem Pengapian.....	15
2.7.1 Sistem Pengapian CDI.....	16
2.7.2 Sudut Pengapian.....	17
2.8 Bahan Bakar.....	19
2.8.1 <i>Ethanol</i>	19

2.8.2 Sifat Fisik Etanol.....	20
2.9 Pengenalan Perangkat Lunak FetecPB	21
2.10 Parameter Unjuk Kerja Motor Bakar	24
2.10.1 Torsi	24
2.10.2 Daya Efektif	23
2.10.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif	25
2.10.4 Efisiensi Termal Efektif	25
2.11 Hipotesis	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Metode Penelitian.....	27
3.2 Variabel Penelitian.....	27
3.2.1 Variabel Bebas	27
3.2.2 Variabel Terikat	27
3.2.3 Variabel Terkontrol.....	28
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.4.1 Alat yang Digunakan dalam Penelitian.....	28
3.5 Instalasi Penelitian	34
3.6 Proses Menguji Kinerja Motor Bakar.....	35
3.7 Prosedur Penelitian	36
3.7.1 Prosedur Pengujian Prestasi Motor Bakar	36
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	41
3.8.1 Diagram Alir Penelitian.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Analisa Data.....	45
4.1.1 Data Hasil Pengujian.....	45
4.1.2 Pengolahan Data	45
4.2 Pembahasan Data	47
4.2.1 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Torsi	47
4.2.2 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Daya Efektif.....	49
4.2.3 Hubungan antara Putaran Mesin dengan <i>specific Fuel Consumption Effective</i>	51
4.2.4 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Efisiensi <i>Thermal</i> Efektif.....	53
BAB V PENUTUP	55

5.1 Kesimpulan 55
5.2 Saran..... 55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Motor Bakar 6 Langkah yang Diuji	28
Tabel 3.2	Spesifikasi Injeksi	29
Tabel 3.3	Spesifikasi <i>Pony Disk Brake</i>	30
Tabel 3.4	Spesifikasi <i>Tachometer</i>	30
Tabel 3.5	Spesifikasi <i>Stopwatch</i>	31
Tabel 3.6	Spesifikasi Gelas Ukur	31
Tabel 3.7	Spesifikasi <i>Fan</i>	32
Tabel 3.8	Spesifikasi Bahan Bakar <i>Ethanol</i>	33
Tabel 4.1	Data pengujian konstan.....	45



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi proses pembakaran.....	6
Gambar 2.2	Prediksi P-V diagram motor bakar 4 langkah.....	7
Gambar 2.3	Prediksi diagram P-V ideal motor bakar 6 langkah.....	9
Gambar 2.4	Skema siklus motor bakar 6 langkah.....	10
Gambar 2.5	Hubungan antara putaran <i>crankshaft</i> terhadap torsi.....	11
Gambar 2.6	Hubungan antara putaran motor bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik	12
Gambar 2.7	efektif power N_e pada 6 <i>stroke</i> dan 4 <i>stroke</i>	12
Gambar 2.8	<i>Specific fuel consumption</i> (SFC) pada 6 <i>stroke</i> dan 4 <i>stroke</i>	13
Gambar 2.9	<i>Thermal efficiency</i> η_t pada 6 <i>stroke</i> dan 4 <i>stroke</i>	13
Gambar 2.10	Injeksi.....	14
Gambar 2.11	Diagram sirkuit dasar CDI.....	15
Gambar 2.12	skema CDI.....	17
Gambar 2.13	Sudut pengapian dan letak piston saat pengapian terjadi.....	18
Gambar 2.14	Hubungan waktu pengapian terhadap putaran mesin.....	19
Gambar 2.15	Proses pembuatan ethanol.....	20
Gambar 2.16	Windows Software <i>FittecPB_32Dmap-v6.00.05</i>	21
Gambar 2.17	<i>Curren data list</i> (1 st <i>Run</i>).....	22
Gambar 2.18	Windows 3D <i>ignition mapping</i>	22
Gambar 3.1	Motor bakar 6 langkah.....	29
Gambar 3.2	<i>Throttle</i> Injeksi.....	29
Gambar 3.3	<i>Prony Disk Brake</i>	30
Gambar 3.4	<i>Tachometer mastech</i> HT 331.....	30
Gambar 3.5	<i>Stopwatch</i> krisbow.....	31
Gambar 3.6	Gelas Ukur.....	31
Gambar 3.7	<i>Fan</i> Krisbow.....	32
Gambar 3.8	Skema dan alat CDI-AC.....	32
Gambar 3.9	Bahan bakar <i>ethanol</i>	33
Gambar 3.10	ECU <i>programmable</i>	34
Gambar 3.11	Instalasi penelitian.....	34
Gambar 3.12	Pastikan setingan regional <i>english</i> US.....	36
Gambar 3.13	<i>Installing</i> USB2.0- <i>serial</i>	37
Gambar 3.14	Driver masih belum terinstal.....	37

Gambar 3.15	<i>Update driver software</i>	37
Gambar 3.16	<i>Browser my computer For Driver Software</i>	38
Gambar 3.17	<i>Browser tempat pengimanan file driver</i>	38
Gambar 3.18	USB-Serial CH340 telah terinstal	38
Gambar 3.19	Tulisan warna merah “status READ” FINISH	39
Gambar 3.20	<i>Window 3D injection mapping</i>	40
Gambar 3.21	Diagram alir penelitian	42
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah	47
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah	49
Gambar 4.3	Diagram tekanan saat pengapian terlalu awal, tepat dan terlalu lambat	50
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan SFCE motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah.....	51
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah	53



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Instalasi Pengujian	91
Lampiran 2	<i>Throttle Body</i>	97
Lampiran 3	<i>CDI Programmable</i>	103
Lampiran 4	<i>ECU Programmable</i>	113
Lampiran 5	Wujud Bahan Bakar <i>Ethanol</i>	113
Lampiran 6	Data Hasil Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar <i>Ethanol</i> Variasi Sudut Pengapian 28	113
Lampiran 7	Data Hasil Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar <i>Ethanol</i> Variasi Sudut Pengapian 26	113
Lampiran 8	Data Hasil Pengujian Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar <i>Ethanol</i> Variasi Sudut Pengapian 24	113
Lampiran 9	Data Hasil AFR <i>Ethanol</i>	113
Lampiran 10	Data Hasil Penelitian Sebelumnya Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Pertamax	113
Lampiran 11	Grafik Hubungan Antara Putaran Mesin Dengan Torsi Motor Bakar 6 Langkah Bahan Bakar Etanol Dengan Bahan Bakar Pertamax Dan Motor Bakar 4 Langkah	113
Lampiran 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	113
Lampiran 13	Grafik Hubungan Antara Putaran Mesin Dengan Sfce Motor Bakar 6 Langkah Bahan Bakar Etanol Dengan Bahan Bakar Pertamax Dan Motor Bakar 4 Langkah	113
Lampiran 14	Grafik Hubungan Antara Putaran Mesin Dengan Efisiensi Termal Efektif Motor Bakar 6 Langkah Bahan Bakar Etanol Dengan Bahan Bakar Pertamax Dan Motor Bakar 4 Langkah	113
Lampiran 15	Cara Pengoperasian Motor Bakar 6 Langkah	113

RINGKASAN

Iga Purwa Aulia, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, April 2018, Pengaruh Sudut Pengapian Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar *Ethanol*. Dosen Pembimbing : Eko Siswanto dan Winarto.

Di zaman yang modern ini perkembangan teknologi sangat pesat sekali. Salah satunya dibidang otomotif. Inovasi di dunia otomotif baik roda 2 maupun roda 4 sangat cepat dalam beberapa tahun. Teknologi yang dikembangkan pun sangat beragam dan kompetitif di kelasnya. Perkembangan terbaru motor bakar adalah dengan siklus 6 langkah yang berbasis penambahan durasi difusi massa campuran udara ,bahan bakar dan durasi difusi termal dari dinding silinder ke campuran bahan bakar. Ini memungkinkan terjadinya peningkatan homogenitas maupun temperature dari campuran udara bahan bakar untuk mendapatkan daya ekspansi yang lebih baik.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental nyata (*real eksperiment*). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut pengapian pada motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar *ethanol*. pengapian menggunakan CDI (*capasitor discharge ignition*) dengan variasi sudut pengapian 24° , 26° dan, 28° . Putaran *crank shaft* divariasikan interval 600 rpm dari putaran 7200 rpm sampai dengan 2400 rpm. motor bakar 6 langkah yang diamati adalah torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar efektif, dan efisiensi termal efektif.

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 *ethanol* yang mengakibatkan kecepatan pembakaran lebih lambat sehingga perlu memajukan sudut pengapian agar daya ledak campuran udara – bahan bakar lebih besar. Selain itu, juga menghasilkan konsumsi bahan bakar paling rendah, sehingga menjadi lebih irit bahan bakar dibandingkan menggunakan sudut pengapian 26° dan 24° . Dan juga efisiensi termal efektif sudut pengapian 28° lebih besar daripada sudut pengapian 26° dan 24° .

Kata Kunci : sudut pengapian, Motor Bakar 6 Langkah, Unjuk Kerja, CDI *Programmable*

SUMMARY

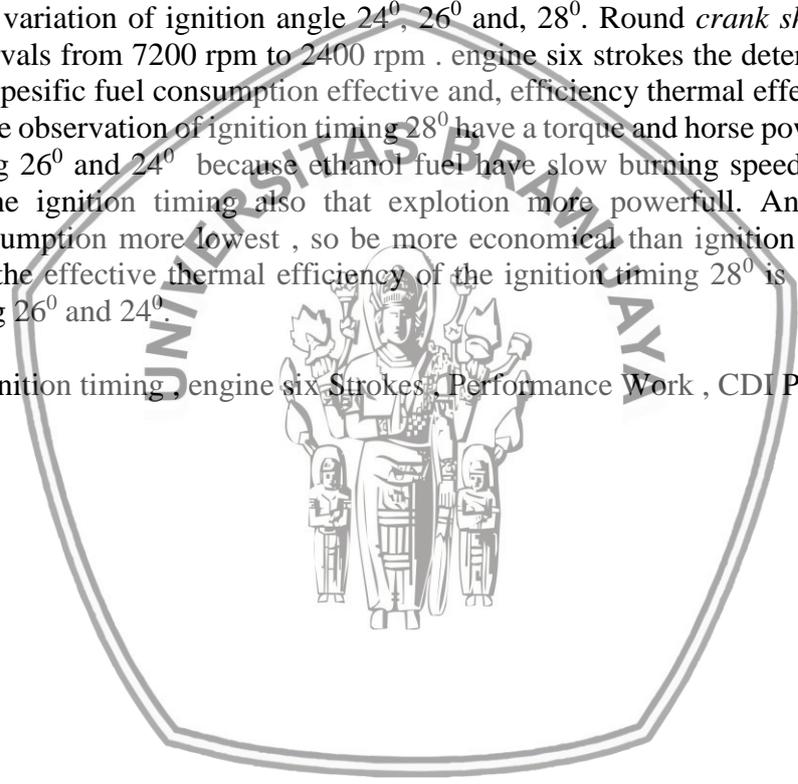
Iga Purwa Aulia, Mechanical Engineering, Faculty Engineering, University of Brawijaya, April 2018, Influence Of Ignition Timing Toward 6 Strokes Engine Performance Using Ethanol Fuel. Lecturer Counselor : Eko Siswanto and Winarto.

In this modern era the development of technology is very rapid. One of them is in the otomotif division. Innovation in the automotive field both in two wheel and four wheel is very fast in a few years. The developed technology is very varied and competitive. The latest developments in an internal combustion engine is with six strokes cycle. Engine with six strokes increases duration time for diffusion and air fuel mix ratio. This will enhance homogeneity of air fuel mixture, therefore it will increase combustion proses.

The method is used real experiment. This research was influence of ignition timing variable on six strokes engine using ethanol fuel. ignition using CDI (capasitor discharge ignition) with variation of ignition angle 24° , 26° and, 28° . Round *crank shaft* varied 600 rpm with intervals from 7200 rpm to 2400 rpm. engine six strokes the determine a torque, horse power, spesific fuel consumption effective and, efficiency thermal effektive.

Results the observation of ignition timing 28° have a torque and horse power higher than ignition timing 26° and 24° because ethanol fuel have slow burning speed so it needs to advance of the ignition timing also that explotion more powerfull. And than it also produces consumption more lowest, so be more economical than ignition timing 26 and 24. And also the effective thermal efficiency of the ignition timing 28° is so greater than ignition timing 26° and 24° .

Keywords: ignition timing, engine six Strokes, Performance Work, CDI Programmable



Halaman ini sengaja dikosongkan



JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH SUDUT PENGAPIAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR BAKAR 6
LANGKAH BERBAHAN BAKAR *ETHANOL*.

Nama Mahasiswa : Iga Purwa Aulia
NIM : 135060201111035
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Teknik Konvensi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.
Pembimbing II : Winarto, ST., MT., Ph.D.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng Yudy Surya Irawan, ST, M.Eng.
Dosen Penguji 2 : Dr. Femiana Gapsari Madhi Fitri, ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Fransisca Gayuh Utami, ST., MT.

Tanggal Ujian : 21 Mei 2018
SK Penguji : 1065/UN.10F07/SK/2018



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman yang modern ini perkembangan teknologi sangat pesat sekali. Salah satunya dibidang otomotif. Dalam dunia otomotif di roda 2 maupun roda 4 sangat cepat sekali dalam berinovasi sehingga sering sekali dalam beberapa tahun ada model terbaru yang dikeluarkan oleh perusahaan itu sendiri karena persaingan sangat ketat di bidang pemasarannya. Teknologi yang dikembangkan pun sangat beragam dan kompetitif di kelasnya.

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 dan juga menghasilkan 3 kali putaran *crankshaft* dalam satu siklus. 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.

Semakin tingginya tuntutan akan unjuk kerja motor itu sendiri sehingga dibutuhkan berbagai macam cara. Salah satunya adalah menggunakan bahan bakar yang terbarukan sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar minyak yang semakin hari semakin habis yaitu dengan cara penggunaan bahan bakar *ethanol*. *Ethanol* sendiri memiliki nilai oktan lebih tinggi dari pada bahan bakar bensin. *Ethanol* juga bisa dibuat dengan cara fermentasi glukosa yang berasal dari tumbuhan seperti tebu, singkong, jagung. Dengan adanya bahan bakar terbarukan diharapkan bisa meminimalisir pemakaian bahan bakar minyak tanpa mengurangi performa dan efisiensi motor.

Ethanol atau alkohol adalah cairan kimia yang mudah menguap berasal dari minyak bumi dan tumbuhan yang mengandung glukosa. Sebagian besar tersusun dari senyawa hidrokarbon dan oksigen serta digunakan pada bahan medis dan bisa juga dipakai dalam mesin pembakaran dalam sebagai bahan bakar terbarukan. Mengapa harus *ethanol*? Karena *ethanol* memiliki unsur senyawa hidrokarbon yang kecil sehingga polusi yang dihasilkan

lebih kecil dari pada bahan bakar bensin. Bahan bakar *ethanol* memiliki angka oktan hingga 111 sehingga mampu menggunakan rasio kompresi hingga 13:1. Dan salah satu kelebihan dari bahan bakar *ethanol* adalah bahan bakar yang *renewable energy* karena bisa dibuat dari bahan yang mengandung glukosa seperti tebu, singkong, jagung.

Usaha agar performa motor bakar lebih efisiensi dan memiliki performa tinggi maka terus dilakukan pengembangan, antara lain dengan menggunakan sistem pengapian CDI *programmable*. *Capacitor Discharge Ignition* ialah sistem pengapian pada mesin pembakaran dalam ruang bakar. berfungsi sebagai penghubung dan pemutus arus agar waktu percikan di busi yang akan membakar kabut campuran bahan bakar dan udara yang telah di kompresi 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 sudut pengapian yang lebih tepat dengan penelitian sebelumnya. Dari latar belakang tersebut peneliti tertarik mengadakan penelitian dengan judul “Pengaruh Sudut Pengapian Terhadap Unjuk Kerja Motor bakar 6 Langkah Berbahan Bakar *Ethanol*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang mendapatkan permasalahan yaitu bagaimana pengaruh variasi sudut pengapian dengan menggunakan bahan bakar *ethanol* dalam unjuk kerja motor 6 langkah.

1.3 Batasan Masalah

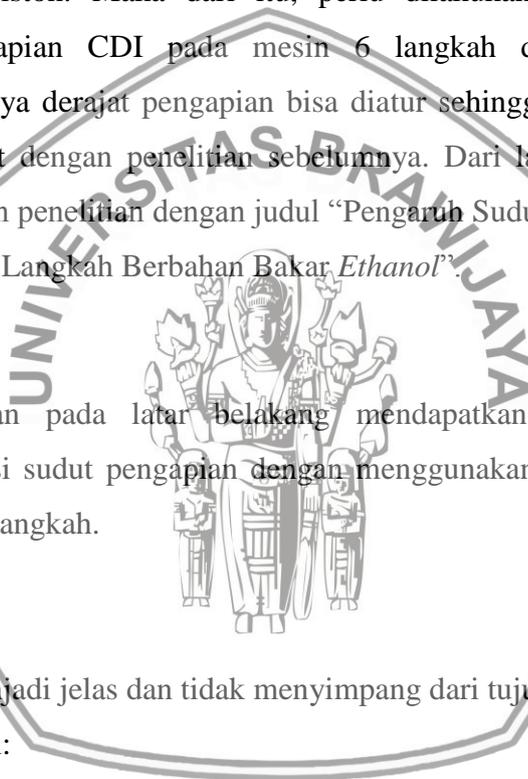
Agar penelitian ini menjadi jelas dan tidak menyimpang dari tujuan maka perlu adanya batasan masalah, antara lain:

1. Mesin yang digunakan penelitian adalah mesin dengan kapasitas 125 cc
2. Bahan bakar yang digunakan adalah *ethanol* 99%
3. Pengujian mesin dalam keadaan *stationery*

1.4 Tujuan Penelitian

Berhubungan dengan rumusan masalah, sehingga tujuan yang dibahas adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi sudut pengapian terhadap bahan bakar *ethanol* pada kinerja motor bakar 6 langkah.
2. Mengetahui nilai sudut pengapian yang pas terhadap bahan bakar *ethanol* untuk kinerja motor bakar 6 langkah.



1.5 Manfaat Penelitian

Setelah dilaksanakan penelitian di dapatkan yaitu:

1. Untuk peneliti, mengetahui performa motor bakar 6 langkah menggunakan bahan bakar *ethanol*
2. Untuk peneliti, bisa mengetahui sudut pengapian yang lebih tepat untuk motor 6 langkah dengan bahan bakar *ethanol*
3. Bisa digunakan sebagai literatur agar meningkatkan minat terhadap inovasi teknologi terbaru di bidang otomotif
4. Bisa menjadi sarana untuk pengembangan motor bakar 6 langkah di masa depan secara maksimal.







BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Nana dan Taufik (2015) meneliti tentang uji performa motor 4 langkah berbahan bakar LPG dengan variasi *ignition timing*. Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data tentang pengaruh perubahan *ignition timing* terhadap unjuk kerja sepeda motor berbahan bakar LPG data hasil pengujian torsi tertinggi diperoleh pada sudut pengapian 32° sebesar 5,97 Nm pada putaran 4500 rpm Untuk hasil pengujian daya tertinggi diperoleh pada sudut pengapian 30° sebesar 4,1 Hp pada putaran 6000 rpm dan 32° sebesar 4,1 Hp pada putaran 5750 rpm.

Maulana ishaq (2017) meneliti tentang pengaruh bukaan throttle terhadap motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi. Berdasarkan hasil penelitian, analisa dan pembahasan pada pengujian variasi bukaan throttle terhadap unjuk kerja motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi adalah torsi terbesar didapat pada putaran 4200 sebesar 0,60 kg.m. daya efektif sebesar 3,79 hp pada 6000 rpm. SFCe didapat 0,261 pada 7200 rpm dan efisiensi thermal efektif didapat sebesar 44,85 %

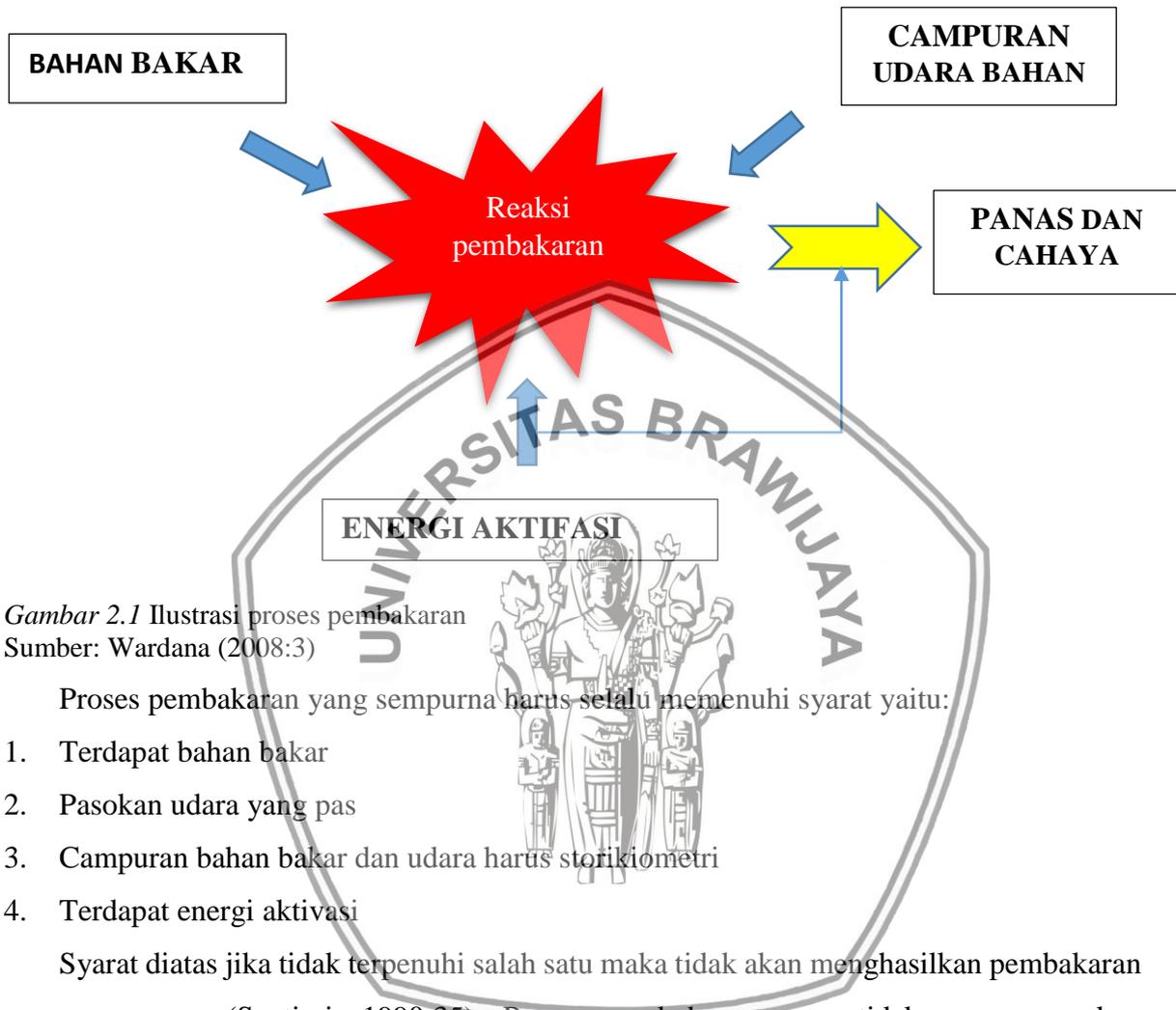
Saidut, dkk (2012) merangkum teknologi yang melakukan pemanfaatan kembali energi pada motor bakar. Diantaranya terdapat beberapa rangkuman dari beragam jenis motor bakar 6 langkah yang menggunakan pemanfaatan kembali energi termal dari gas buang. Pemanfaatan ini dapat meningkatkan unjuk kerja motor bakar dibanding motor bakar Otto 4 langkah konvensional. Hal ini yang menginspirasi desain motor bakar secara umum, bahwa motor bakar 6 langkah (dengan penambahan 2 langkah dari siklus Otto) akan memiliki unjuk kerja yang lebih baik dari motor bakar 4 langkah Otto.

Ivan Surya Kartika dan Philip Kristanto (2012) meneliti pengkonversian bahan bakar bensin menjadi etanol pada motor bakar 4 langkah hasil penelitiannya menunjukkan etanol dapat diterapkan pada motor 4 langkah dengan ubahan rasio kompresi 11,2:1 dengan pengapian maju (advance) 5 derajat sebelum TMA. tenaga yang dihasilkan naik menjadi 7,6 HP dari 6,6 HP pada kondisi standart.

2.2 Proses Pembakaran

Pembakaran adalah proses reaksi kimia dimana bahan bakar, udara dan energi aktivasi untuk menghasilkan cahaya dan panas sehingga menyebabkan naiknya temperatur. Proses pembakaran terjadi disaat ada bahan bakar, udara dan energi aktivasi. Campuran bahan bakar

dan udara harus seimbang agar mampu menghasilkan pembakaran yang dimaksud storiometri, setelah itu kedua komposisi tersebut akan diberikan suatu energi percikan untuk memicu proses terjadinya pembakaran (Wardana, 2008:3). Bisa dilihat pada proses pembakaran: Gambar 2.1 ilustrasi.



Gambar 2.1 Ilustrasi proses pembakaran

Sumber: Wardana (2008:3)

Proses pembakaran yang sempurna harus selalu memenuhi syarat yaitu:

1. Terdapat bahan bakar
2. Pasokan udara yang pas
3. Campuran bahan bakar dan udara harus storiometri
4. Terdapat energi aktivasi

Syarat diatas jika tidak terpenuhi salah satu maka tidak akan menghasilkan pembakaran yang sempurna (Soetiari, 1990:35). Proses pembakaran yang tidak sempurna akan menyebabkan polusi udara.

2.3 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 CO_2 , H_2O , 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.

2.4 Prinsip Kerja Motor Bakar

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*

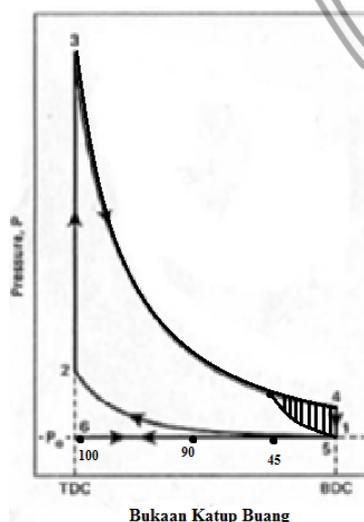
Di dalam motor bakar 4 langkah bahwa campuran antara udara dan bensin dibakar untuk memperoleh energi panas. Energi panas diubah menjadi energi mekanik

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*.

2.4.1 P-V Diagram *Ekpansion* 4 Stroke Akibat Bukaannya Katup Buang



Gambar 2.2 Prediksi P-V diagram motor bakar 4 langkah.
Sumber: Pulkrabek (2004:90)

Bisa dilihat Gambar 2.2 saat titik mati bawah, katup buang terbuka pada sudut 45° mengakibatkan bahan bakar sudah terbuang melalui *exhaust*. maka dari itu, sisa bahan bakar yang terbuang tersebut seperti yang diarsir bisa dimanfaatkan kembali untuk motor bakar 6 langkah, sehingga efisiensinya lebih tinggi daripada 4 langkah

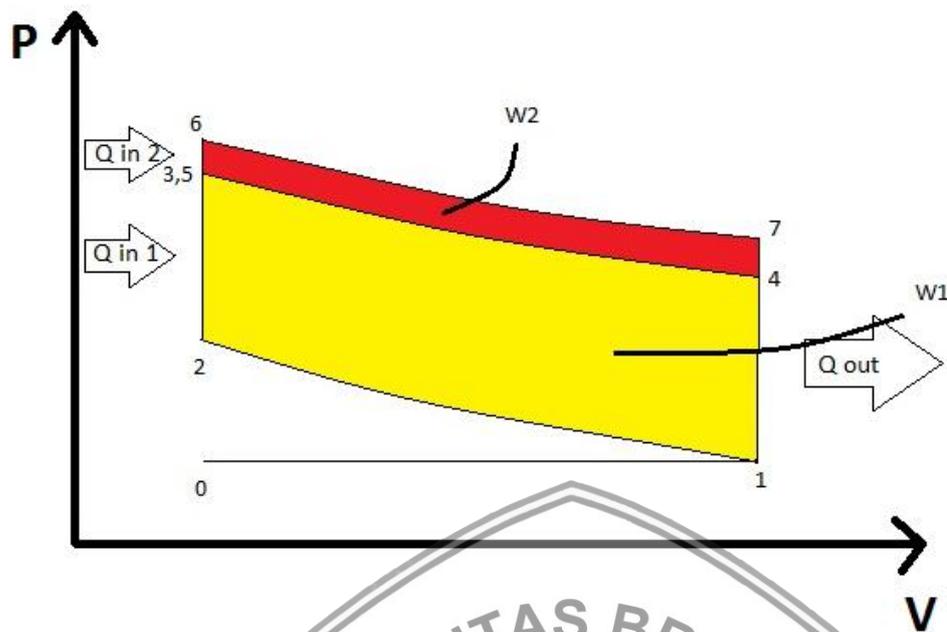
2.5 Motor Bakar 6 Langkah

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 keseluruhan 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.

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



Gambar 2.3 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)
2. (1-2) = Langkah kompresi 1 (adiabatik)
- (2-3) = Penambahan kalor $1/Q_{in 1}$ (isokhorik)
3. (3-4) = Langkah ekspansi 1 (adiabatik)
4. (4-5) = Langkah kompresi 2 (adiabatik)
- (5-6) = Penambahan kalor $2/Q_{in 2}$ (isokhorik)
5. (6-7) = Langkah ekspansi 2 (adiabatik)
- (7-1) = Pelepasan kalor/ Q_{out} (isokhorik)
6. (1-0) = Langkah buang (isobarik)

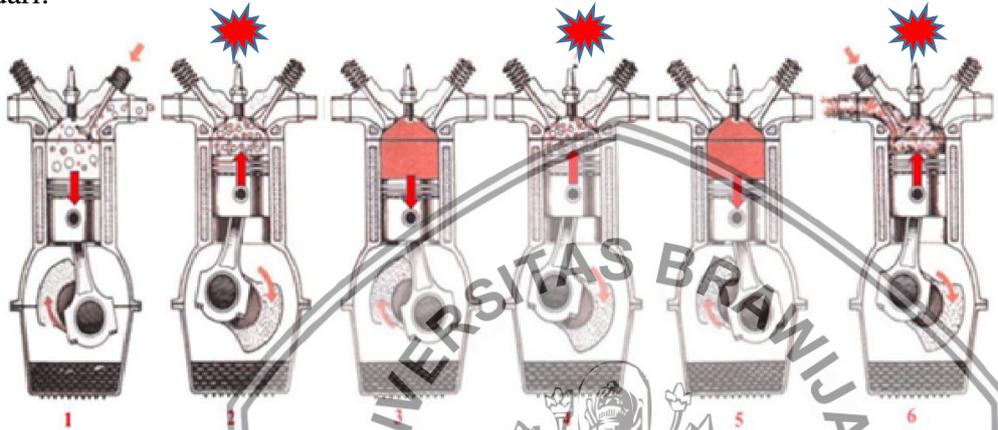
Sedangkan untuk luas usaha dari diagram P-V ideal pada motor bakar 6 langkah yaitu:

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

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

2.5.2 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 2.4 Skema siklus motor bakar 6 langkah

Sumber: Fikri (2015:22)

Seperti terlihat pada Gambar 2.4 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.

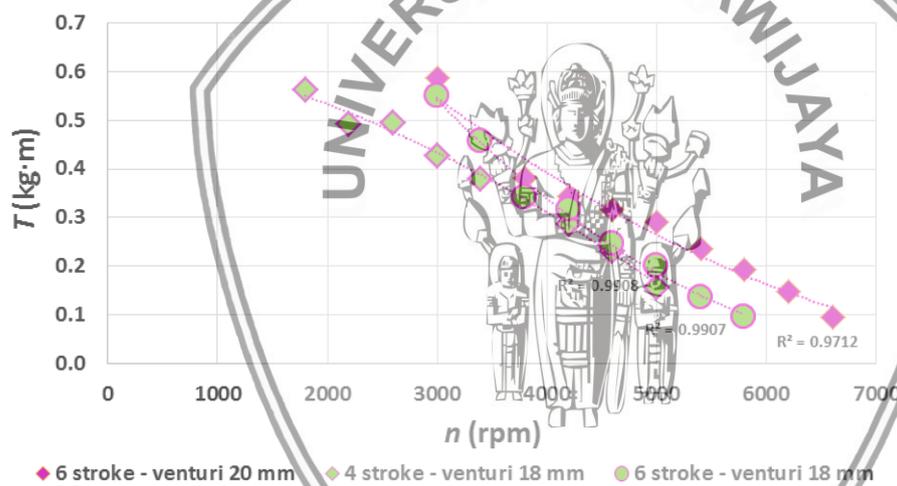
Dengan penambahan 2 langkah tersebut, secara teoritis dapat disimpulkan kualitas dari kerja ekspansi yang terjadi akan memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada motor bakar 4 langkah biasa. Dengan peningkatan kualitas tenaga per siklus ini, motor selain dapat menurunkan rasio konsumsi bahan bakar terhadap 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 konsentrasi 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.

2.5.3 Pengaruh Diameter Venturi Karburetor 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.

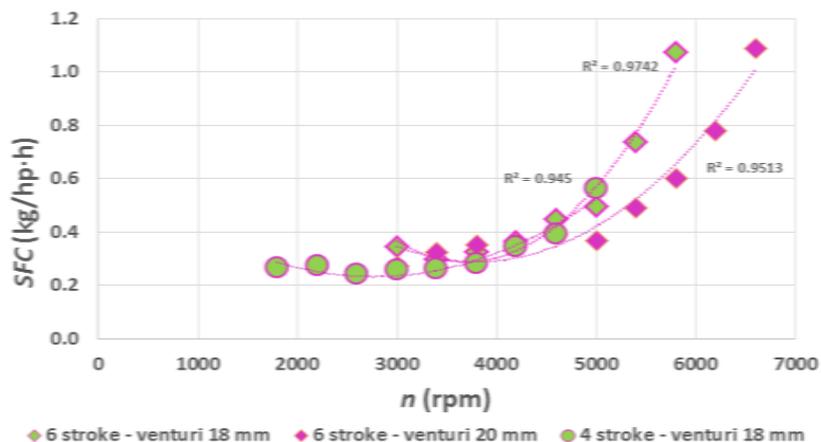


Gambar 2.5 hubungan antara putaran *crankshaft* terhadap torsi
 Sumber: E. Siswanto (2016:4)

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:

$$T = F \times L$$

Di lain 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.



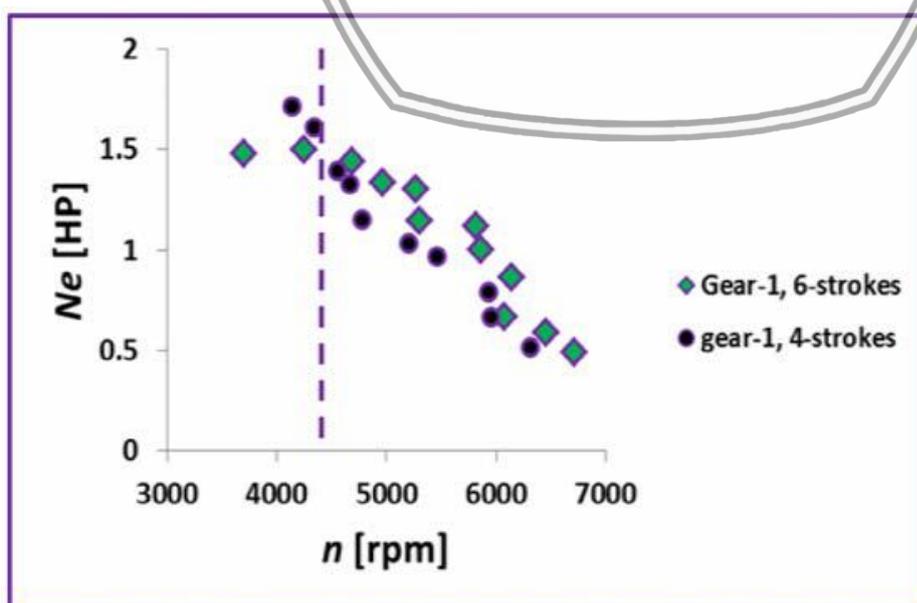
Gambar 2.6 hubungan antara putaran motor bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik
 Sumber: E. Siswanto (2016:5)

Pada kondisi seperti gambar diatas pada putaran poros tinggi menyebabkan pembakaran sempurna dan menghasilkan tenaga yang lebih besar. Sehingga menunjukkan kecenderungan konsumsi balm 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% .

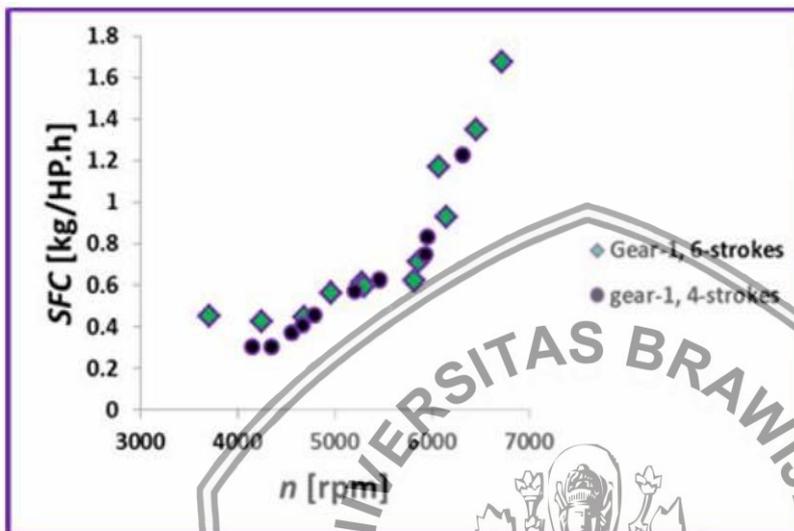
2.5.4 Performa Motor Bakar 6 Langkah

Di bawah ini adalah penjelasan tentang perbandingan antara performa *internal combustion engine six stroke* dan *internal combustion engine four stroke*.



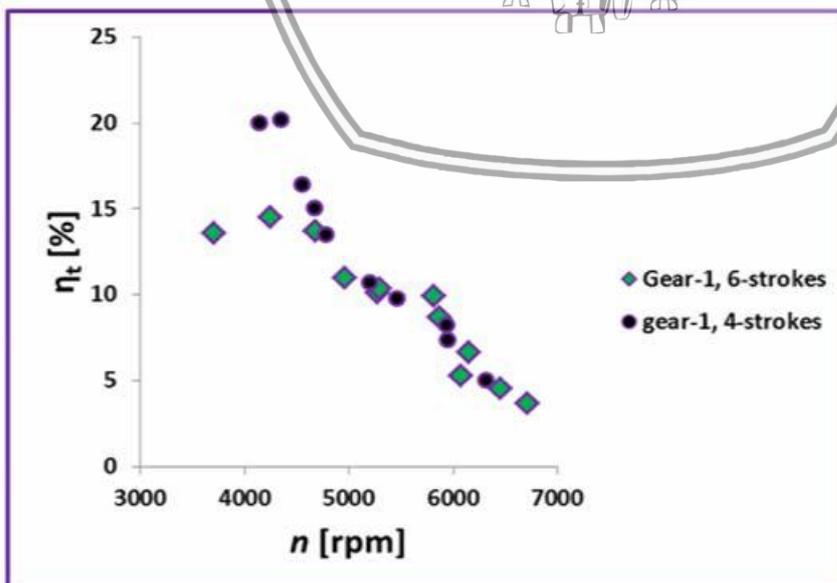
Gambar 2.7 efektif power Ne pada 6 stroke dan 4 stroke
 Sumber: E Siswanto (2017:10)

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 2.8 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%.

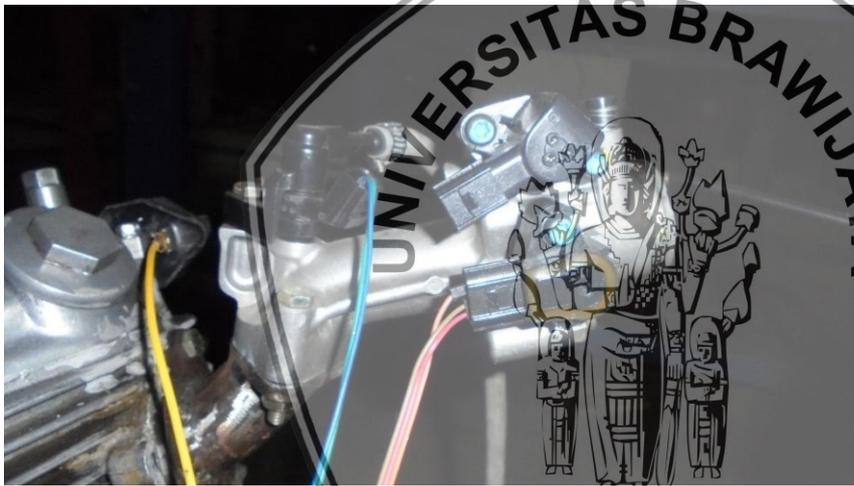


Gambar 2.9 Thermal efficiency η_t pada 6 stroke dan 4 stroke
Sumber: E. Siswanto (2017:14)

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.

2.6 Injeksi

Injeksi adalah seperangkat alat penerus dari sistem karburator. Injeksi berfungsi sebagai pencampur bahan bakar dan udara dengan perbandingan yang diinginkan sehingga menghasilkan pembakaran yang sempurna. Injeksi ini membutuhkan perangkat yaitu injector. Injector inilah yang bertugas menyuplai bahan bakar disemprotkan ke *throttle body*. *Throttle body* ini berfungsi mencampur udara-bahan bakar. Penggunaan sistem injeksi bisa meningkatkan tenaga pada motor bakar jika dibandingkan dengan karburator karena bisa membuat bahan bakar tercampur secara homogen terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.10 injeksi

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2016)

Part-part pada injeksi beserta fungsinya:

1. *Throttle body*

Mengatur atau mengontrol bukaan katup agar udara masuk terkendali

2. *Engine control module* (ECM)

Berfungsi untuk menerima sinyal dari berbagai sensor sehingga nantinya datanya diolah dan dibandingkan dengan parameter yang ada sehingga bisa memberikan apa yang dibutuhkan *engine*

3. *Manifold absolute pressure* (MAP)

Pendeteksi kevakuman di daerah *intake manifold*

4. *Injector*

berfungsi untuk menyemburkan bahan bakar ke *intake manifold* untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar

5. *Fuel pump*

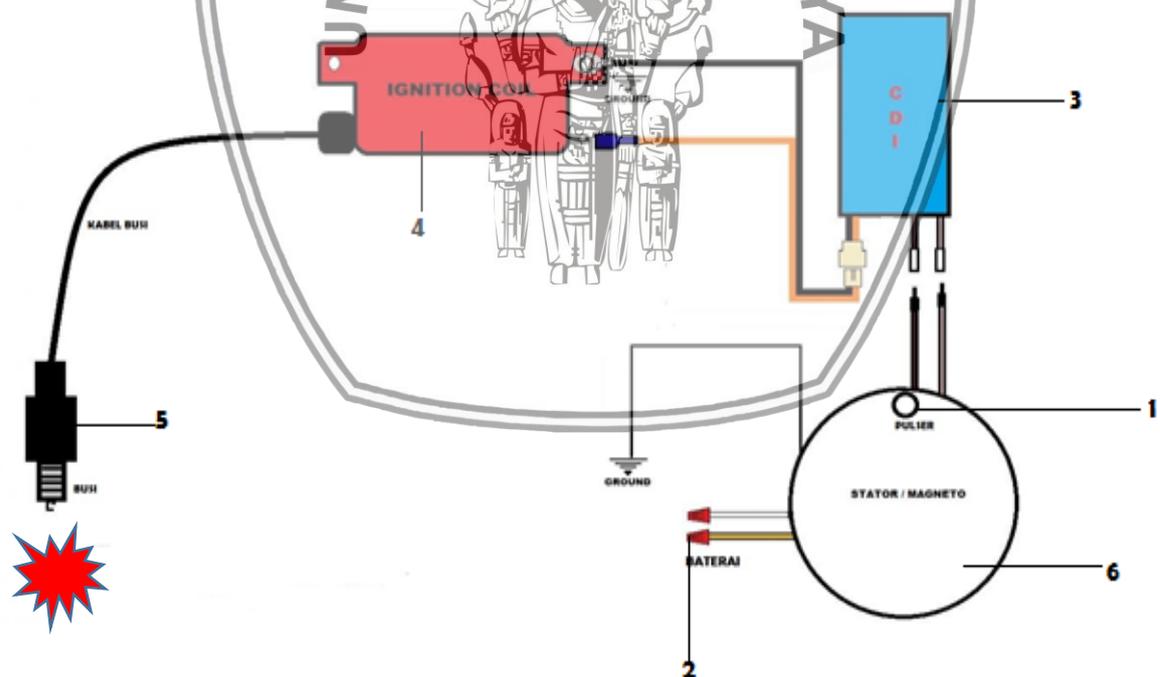
Memompa dan mengalirkan bahan bakar dari tangki bahan bakar menuju *injector*

6. *Engine oil sensor*

Pendeteksi panasnya oli motor

2.7 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. Campuraan 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 2.11 Diagram sirkuit dasar CDI
Sumber: Techno, Sains (2016)

Bagian-bagian pada gambar 2.6 yang bisa ditemui disuatu pengapian CDI (*Capacitor Discharge Ignition*) yaitu:

1. Kumparan Pemicu (*pulser coil*)

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

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. *Capacitor Discharge Ignition* (CDI)

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

4. Kumbaran 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.

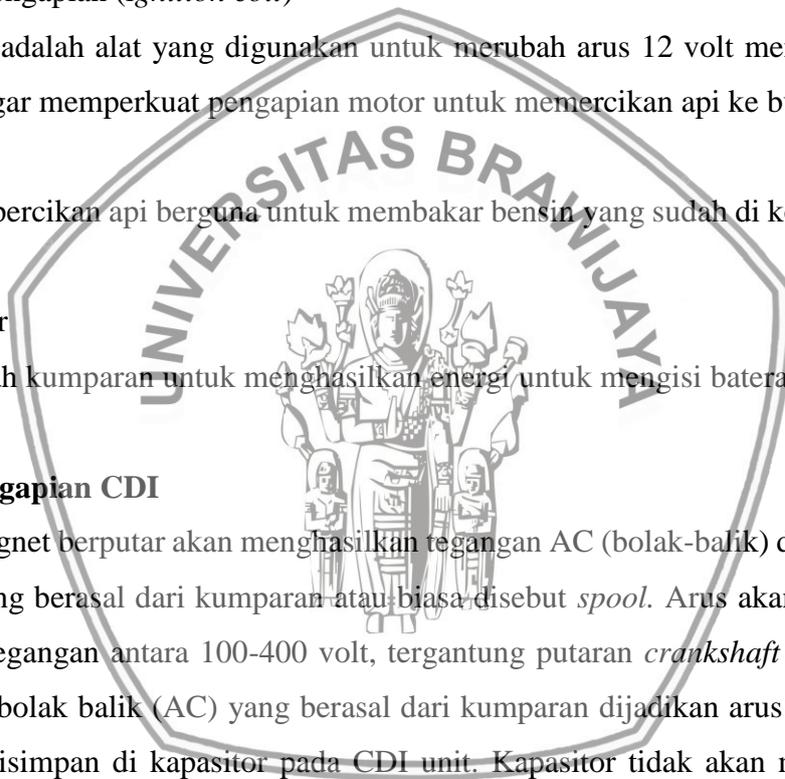
6. Magnet/stator

Magnet adalah kumparan untuk menghasilkan energi untuk mengisi baterai.

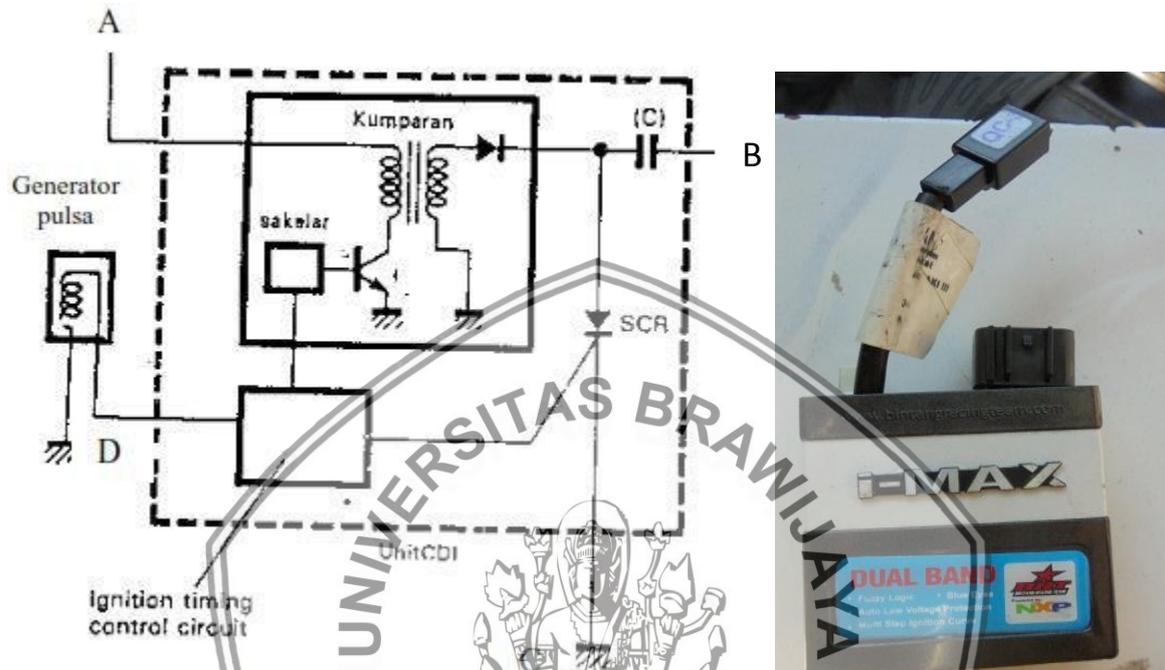
2.7.1 Sistem Pengapian CDI

Pada saat magnet berputar akan menghasilkan tegangan AC (bolak-balik) dalam bentuk induksi listrik yang berasal dari kumparan 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 kumparan 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 kumparan pulser CDI (*pulser coil*) yang menandakan saatnya pengapian.

Dengan berfungsinya SCR menyebabkan kapasitor melepaskan arus (*discharge*) dengan cepat. Kemudian arus mengalir ke kumparan primer koil pengapian dengan tegangan 100-400 volt, kemudian terjadi induksi dalam kumparan 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 deprogram 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 memiliki jeda waktu pembakaran lebih lama daripada bensin dan sejenisnya.



Gambar 2.12 Skema CDI
Sumber: *Text Book*, Suzuki 6:12

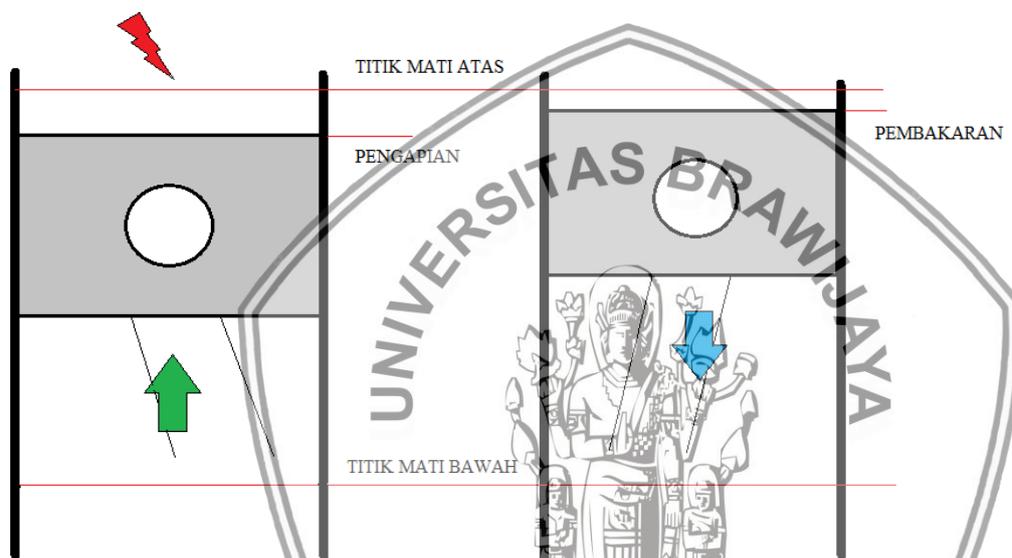
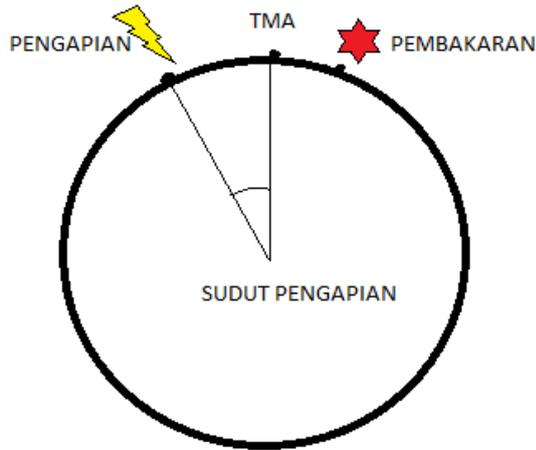
Keterangan:

- 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

2.7.2 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 2.13 Sudut pengapian dan letak piston saat pengapian terjadi
Sumber: Dokumen pribadi

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:

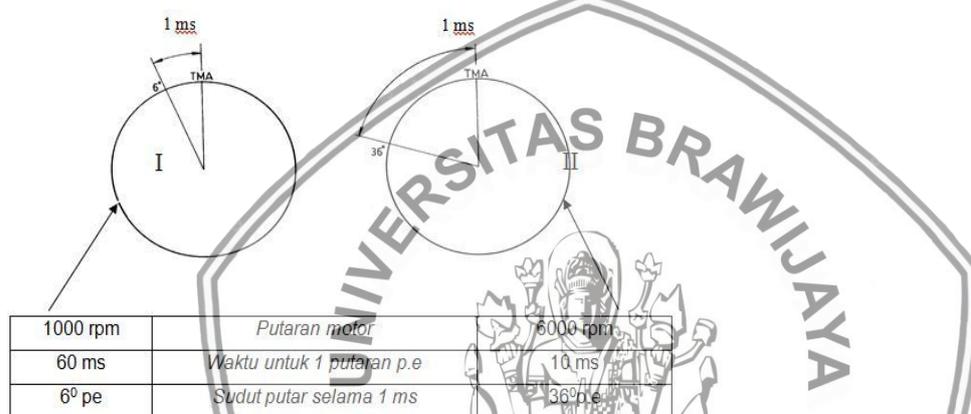
1. Kecepatan rambat api

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 kecepatan putaran poros engkol, namun waktu yang dibutuhkan api untuk terbakar tetap. Maka dari itu pada putaran tinggi dibuat lebih maju dari putaran rendah. Hal ini disarankan untuk diaplikasikan pada mesin dikarenakan, jika tidak diubah, bisa mengakibatkan menurunnya daya motor bakar itu sendiri.



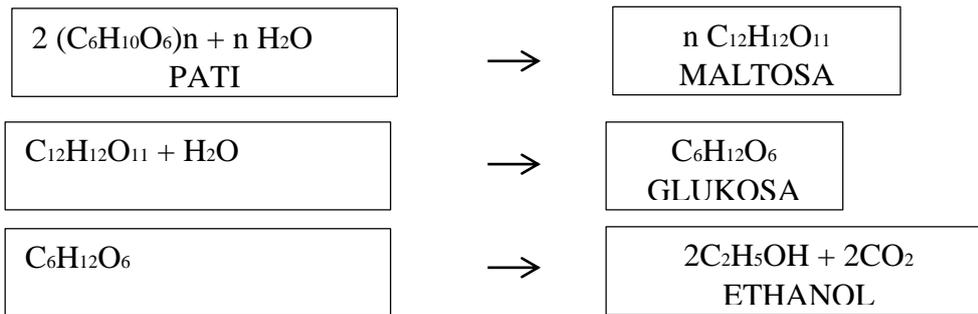
Gambar 2.14 Hubungan waktu pengapian terhadap putaran mesin
Sumber : Dokumen pribadi

2.8 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.

2.8.1 Ethanol

Ethanol berasal dari kata *etil-alcohol* yaitu senyawa hydrocarbon yang bisa digunakan untuk bahan bakar. Ethanol memiliki unsur C₂H₅OH. Ethanol bisa diperoleh dari peragian gula, sehingga banyak terdapat dan melimpah di alam seperti tebu, jagung, casava. Proses peragian ethanol dari gula seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Proses pembuatan ethanol
Sumber: Dokumen pribadi

Ethanol 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 atau (HHV) 30,610 kJ/Kg dan titik nyala pada suhu 76,67°C.

Keuntungan pemakaian ethanol yaitu:

1. Emisi gas buangnya kecil
2. Memiliki kerapatan energi tinggi
3. Bisa dicampur di air

Namun juga memiliki kekurangan

1. Mudah menguap
2. Korosif

Penggunaan bahan bakar *ethanol* sudah banyak digunakan pada negara-negara seperti Amerika dan Brazil dengan cara mencampurkannya dengan bahan bakar bensin.

Penggunaan *ethanol* 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 seperti AFR, LHV dan, oktan *number*. Ketika *ignition lag* terlalu lama maka mengakibatkan hilangnya tenaga dan sebaliknya semakin cepat *ignition lag* maka bisa mengakibatkan *knocking*. *Ethanol* dengan unsur senyawa C_2H_5OH memiliki nilai LHV sebesar $5643,35 \text{ kkal}\cdot\text{kg}^{-1}$ sedangkan pertamax yang memiliki unsur senyawa C_8H_{18} memiliki nilai LHV sebesar $10186,32 \text{ kkal}\cdot\text{kg}^{-1}$ semakin tinggi nilai LHV maka semakin mudah bahan bakar tersebut terbakar.

2.8.2 Sifat Fisik Etanol

Etanol memiliki sifat fisik yaitu:

1. Rumus molekul : C_2H_5OH
2. Angka Oktan Riset : 111

3. $\Delta \hat{H}_m$: 5,021 KJ/gmol
4. $\Delta \hat{H}_v$: 38,6 KJ/gmol
5. Massa molar : 46,06844 g/mol
6. Densitas : 0,7893 g/cm³
7. Titik didih : 78,29 0C
8. Titik lebur : -11,14 °C
9. Keasamaan (pKa) : 15,9
10. Viskositas : 1,17 cP (20 °C)
11. Nilai kalor : 29,847 MJ/kg
12. *Flash point* : 16,60 °C
13. LHV : 5643,35 kkal·kg⁻¹

Sumber: Perry (1997:648)

2.9 Pengenalan Perangkat Lunak *FittecPB*

FittecPB merupakan *software* yang bisa diinstal di komputer maupun laptop. Fungsinya yaitu untuk menampilkan data yang dihasilkan oleh sensor yang sudah terpasang pada motor bakar 6 langkah. Dengan adanya alat bantu, peneliti dipermudah dalam mengetahui kondisi putaran mesin, jumlah bahan bakar yang disemprotkan, dan juga bisa digunakan untuk mengubah pengaturan volume bahan bakar yang disemprotkan. Karena sistemnya sudah digital, maka data yang sudah digunakan bisa disimpan sehingga bisa digunakan kembali.



Gambar 2.16 Window *software fittecPB_32Dmap-v6.00.05*

Sumber: *Engine Management System*

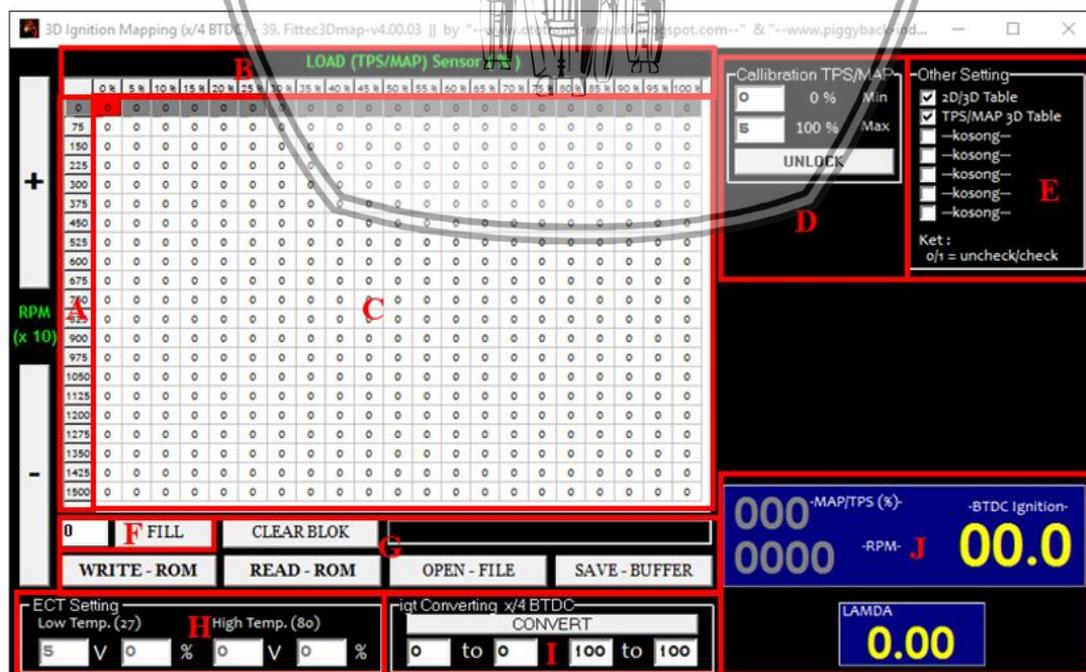
Tampilan *Window Software Fittec PB_32Dmap-v6.00.05*. Pada *software* ini Menu Bar yang digunakan hanya pada menu View yang terdiri dari:

1. Curren Data List (1st Run)



Gambar 2.17 Curren data list (1st Run)
 Sumber: Engine Management System

2. Window 3D injection Mapping



Gambar 2.18 Window 3D Ignition Mapping
 Sumber: Engine Management System



Keterangan Gambar 2.11:

- a. Bagian A adalah nilai *RPM* dimulai dari 0-1500 x 10.
- b. Bagian B adalah nilai *LoadTPS/MAP* dimulai dari 0%-100%.
- c. Bagian C adalah bagian nilai derajat pengapian, akan tetapi yang tertulis pada kolom ini bukanlah nilai derajat yang sebenarnya karena nilai yang digunakan pada kolom 3D *mapping* adalah 0-255, maka nilai derajat yang akan diisi dikalikan dengan 4. Semisal ingin menulis nilai 8 derajat berarti $8 \times 4 = 32$, nilai 32 ini yang ditulis pada kolom lalu klik *FILL*. Setelah semua data terisi klik *WRITEROM* pada *window 3D IgnitionMapping* maka data akan dituliskan ke dalam *ROM*.
- d. Bagian D adalah kalibrasi nilai tegangan minimum dan maksimum dari *sensorTPS/MAP*.
- e. Bagian E tidak digunakan.
- f. Bagian F adalah bagian untuk menuliskan nilai derajat pengapian. Ketika hendak menulis pilih kolom pada bagian C, lalu tuliskan nilai derajat yang diinginkan pada kolom *FILL* setelah terisi lalu klik *FILL*. Apabila penulisan sudah selesai klik *WRITE-ROM* untuk menulis nilai tersebut ke dalam *EEPROM*.
- g. Pada bagian G terdapat beberapa pilihan yang pertama *CLEARBLOK* berfungsi untuk menghapus 1 kolom pada bagian C atau beberapa kolom. *WRITE-ROM* berfungsi untuk menuliskan setingan-setingan yang telah dibuat pada *window 3D IgnitionMapping* ke dalam *EEPROM*. *READ-ROM* berfungsi untuk membaca isi *EEPROM*. *SAVE-BUFFER* berfungsi untuk menyimpan setingan-setingan pada *window 3D IgnitionMapping* dalam bentuk *fileformat* (.3DM). *OPEN-FILE* berfungsi untuk membuka *file* setingan yang telah dibuat.
- h. Bagian H adalah bagian kalibrasi nilai tegangan *sensorECT* ketika kondisi dingin dan kondisi panas tetapi pada *window 3D Ignition Mapping* tidak digunakan.
- i. Bagian I adalah bagian untuk mengganti nilai derajat pengapian yang telah dipilih secara diblok pada kolom bagian C dan nilai derajat dalam kolom akan ditambahkan dengan nilai yang telah ditulis pada kolom *IGTConverting*.
- j. Bagian J adalah bagian tampilan *realtime* nilai derajat pengapian, dan nilai *RPM*. Untuk lamda tidak digunakan.

2.10 Parameter Unjuk Kerja Motor Bakar

Pengujian dari suatu motor bahan bakar adalah mengetahui kinerja dari motor bakar itu sendiri. Parameter-parameter yang akan 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

2.10.1 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.

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

Dengan:

T = Torsi yang dihasilkan (kg.m)

F = Besarnya beban pengereman (kg)

L = Panjang lengan dynamometer (m)

2.10.2 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:

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,5} \quad (2-2)$$

Dengan:

Ne = Daya efektif (hp)

T = Torsi (kg.m)

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

n = Putaran poros (rpm)

1 HP = 75 (Kg.m/s)

dapat juga daya efektif dicari dengan :

$$N_e = N_i - N_m$$

Dimana:

N_e = Daya efektif (hp)

N_i = Daya Indikatif (hp)

N_m = Daya mekanis yang hilang (hp)

2.10.3 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.

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e} \quad (2-3)$$

Dengan:

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

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

N_e = Daya efektif (hp)

2.10.4 Efisiensi Termal Efektif

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara banyaknya daya efektif yang dihasilkan oleh pembakaran dengan banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan. Nilai ini digunakan sebagai ukuran ekonomis atau tidaknya penggunaan bahan bakar. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{F_c / N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\% \quad (2-1)$$

Dengan:

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

η_e = Efisiensi termal efektif (%)

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

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

N_e = Daya efektif (hp)

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

2.11 Hipotesis

Dengan menjauhkan *ignition timing* atau sudut pengapian sebelum titik mati atas pada motor 6 langkah berbahan bakar *ethanol* bisa meningkatkan kinerja motor hingga maksimal pada rpm tertentu. Karena bahan bakar yang digunakan ethanol maka terjadi pembakaran yang lambat sehingga dengan memajukan derajat pengapian bisa menghasilkan waktu pembakaran yang sesuai dan menghilangkan terjadinya *knocking* dan *lohis* daya.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

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

3.2 Variabel Penelitian

Variable penelitian terdiri dari variable bebas, variable terikat dan, terkontrol.

3.2.1 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° (standart), 28°
2. Putaran *crankshaft* dengan interval 600 rpm dari putaran 2400 rpm sampai dengan 7200 rpm.

3.2.2 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 prestasi kerja motor bakar, antara lain:

1. Torsi
2. Daya
3. Konsumsi bahan bakar
4. Efisiensi termal efektif

3.2.3 Variabel Terkontrol

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

1. *Throttle* dibuka 35 %
2. Pengujian menggunakan sistem injeksi
3. Bahan bakar menggunakan *ethanol* 99 %
4. Motor bakar 6 langkah dengan 125cc sebagai keadaan modifikasi.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada periode Oktober 2017 – selesai. Bertempat di Laboratorium Proses Manufaktur 1 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 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 Tabel 3.1 dan Gambar 3.1.

Tabel 3.1

Spesifikasi motor bakar 6 langkah yang diuji.

Merk	Honda (<i>modified</i>)	Stroke length	49 mm
Model	N/A	Volume langkah	124, 97 cc
Negara pembuat	Indonesia	Rasio kompresi	11,2 : 1
Tipe mesin	6 Langkah SOHC	Pendingin	Udara
Jumlah silinder	1 (satu)	Daya Poros	N/A
Bore diameter	57 mm		



Gambar 3.1 Motor Bakar 6 Langkah

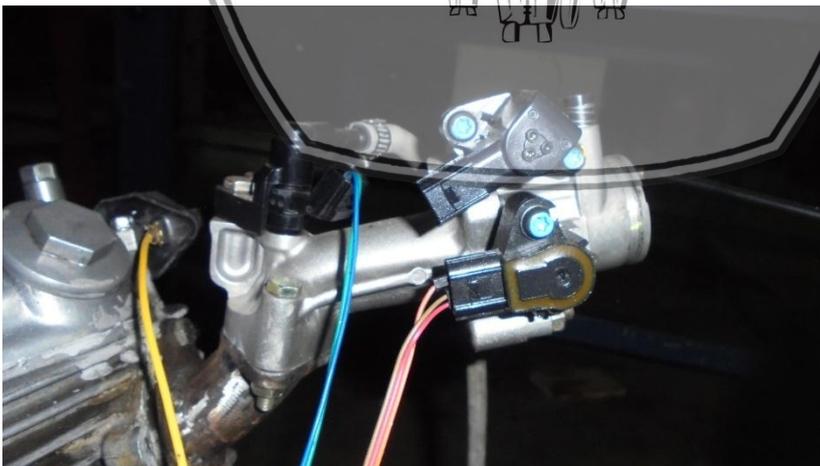
Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

2. Injeksi

Spesifikasi serta gambar injeksi yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.2
Spesifikasi injeksi

Injeksi	
Merk	AHM
Tipe	Butterfly throttle
Diameter ventur	18 mm
Tipe throttle	Lingkaran
Putaran stasioner	2.500 rpm



Gambar 3.2 Throttle Injeksi

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)



3. *Prony 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 Tabel 3.3 dan Gambar 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3

Spesifikasi *Prony Disk Brake*

Neraca Pegas	100 kg
Ukuran Torsi Maksimum	12.5 kg
Panjang Lengan	125 mm



Gambar 3.3 *Prony Disk Brake*

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

4. *Tachometer*

Tachometer berfungsi mengukur kecepatan putar mesin dalam (*revolutions per-minute*). Spesifikasi serta gambar *Tachometer* yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.4.

Tabel 3.4

Spesifikasi *Tachometer*

<i>Range</i>	0.1 rpm (<i>from 0.5 to 999.9 rpm</i>)
<i>Power / Battery life</i>	Baterai AAA pemakaian kontinu 50 jam.
<i>Accuracy</i>	0.05 % + 1 <i>digit</i>



Gambar 3.4 *Tachometer mastech (HT-331)*

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

5. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk mengetahui waktu konsumsi 1 ml bahan bakar per satuan waktu. Spesifikasi serta gambar *Stopwatch* yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.5.

Tabel 3.5

Spesifikasi *Stopwatch*

<i>Lap/Split</i>	300
<i>Water Resistant</i>	10 Bar



Gambar 3.5 *Stopwatch krisbow*

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

6. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan mengukur debit bahan bakar yang dikonsumsi selama penelitian. Spesifikasi serta gambar gelas ukur yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.6 berikut ini.

Tabel 3.6

Spesifikasi Gelas Ukur

Skala	10 ml : 0.1
-------	-------------



Gambar 3.6 Gelas ukur

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

7. *Fan*

Fan/Kipas angin berfungsi mendinginkan karena proses pengujian berlangsung pada kondisi diam (*stationery*). Spesifikasi serta gambar *fan* yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Gambar 3.6.

Tabel 3.7
Spesifikasi *Fan*

<i>Voltage</i>	220/240 V
<i>Watts</i>	520 W
<i>Frequency</i>	50/60 HZ
<i>Speed</i>	2800/3300 rpm
<i>Size</i>	300 mm



Gambar 3.7 *Fan krisbow*

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

8. *CDI (Capasitor Dischanger Ignition)*

CDI-AC digunakan dalam penelitian motor bakar 6 langkah untuk sistem pengapian. Spesifikasi serta gambar *CDI-AC* yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Skema dan alat *CDI-AC*

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

Keterangan sekma *CDI-AC*:

1. Massa
2. Pulser

3. Nol
4. Spul
5. Koil
9. Etanol 99%

Etanol digunakan untuk bahan bakar pengujian motor bakar 6 langkah. Spesifikasi serta gambar bahan bakar yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Gambar 3.9 berikut ini.

Table 3.8
Spesifikasi Bahan Bakar etanol

Etanol (C ₂ H ₅ OH)	
Warna	Bening
Densitas	0,7893 g/cm ³
Titik lebur	-11,14
Titik Didih	78,29
Tekanan Uap	58 kpa pada 20° C
Vikositas	1,17 cP
Flash point	16,6 °C
Nilai oktan riset	111
Massa molar	46,06844 g/mol

Sumber: Perry (1999)

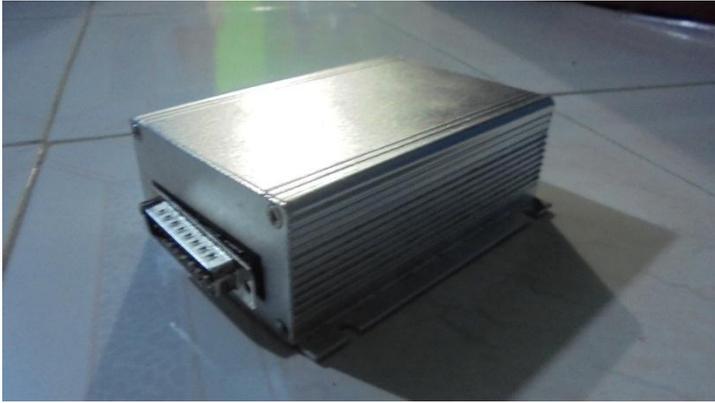


Gambar 3.9 Bahan bakar etanol

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

10. ECU Programmable

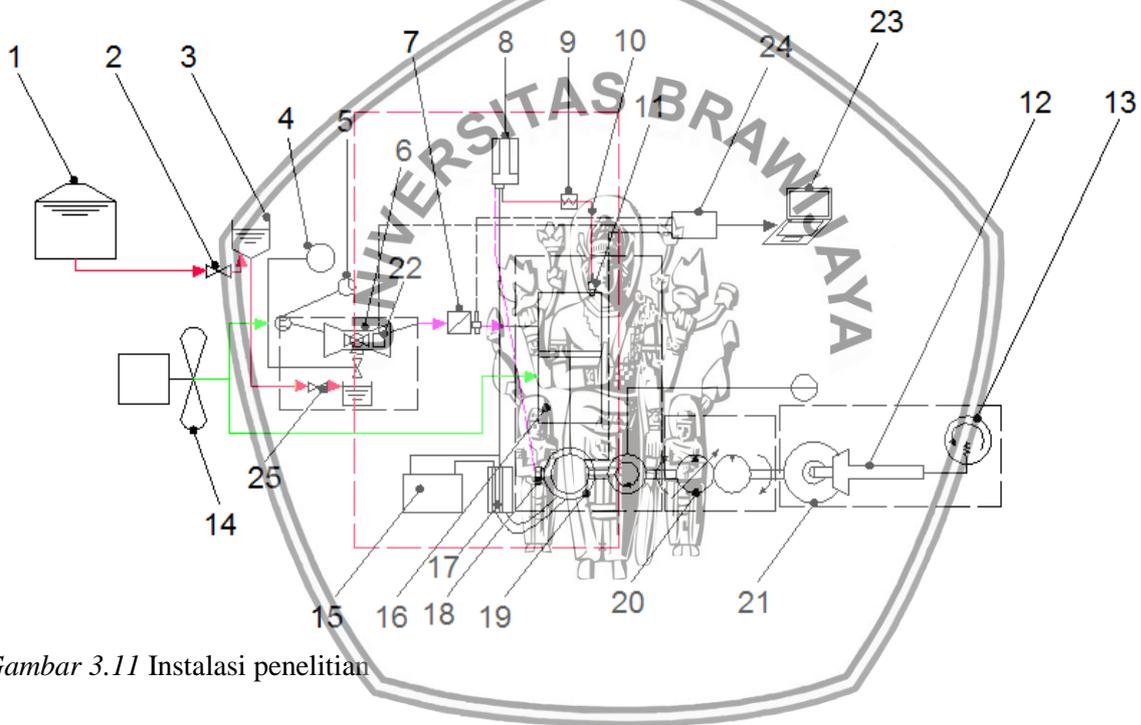
Merupakan alat elektronik yang mengatur suplay bahan bakar dan udara.



Gambar 3.10 ECU programmable

Sumber: Laboratorium Proses Produksi Jurusan Mesin Universitas Brawijaya (2017)

3.5 Instalasi Penelitian



Gambar 3.11 Instalasi penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan dilakukan persiapan dan penyusunan alat-alat penelitian. Mempersiapkan instalasi utama yang dapat dilihat pada Gambar 3.11 diatas dan dirangkai menjadi satu kesatuan. Peralatannya terdiri dari:

- Bahan Bakar
- Udara dari fan
- Campuran udara dan bahan bakar

Keterangan gambar :

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. Tangki bahan bakar | 12. Dinamometer |
| 2. Keran bahan bakar | 13. Neraca |
| 3. Gelas ukur | 14. Fan pendingin |
| 4. Throttle valve control | 15. Baterai |
| 5. Anemometer | 16. Motor bakar 6 langkah |
| 6. Throttle body | 17. Kiprok |
| 7. Intake manifold | 18. Pulser |
| 8. CDI | 19. Magnet |
| 9. Koil | 20. Transmisi |
| 10. Kabel tegangan tinggi | 21. Discbrake |
| 11. Busi | 22. Throttle Position Sensor |
| | 23. Laptop |
| | 24. ECU |
| | 25. Pompa bahan bakar |

Pada gambar 3.11 diatas bahan bakar ditampung pada tangki bahan bakar. Saat mesin beroperasi keran bahan bakar dibuka untuk mengalirkan bahan bakar ke pompa bahan bakar, kemudian dari pompa bahan bakar mengalir ke injector sehingga mengalami proses injeksi bahan bakar, setelah udara dan bahan bakar bercampur mengalir ke dalam ruang silinder motor bakar melewati *intake manifold*. Kemudian bahan bakar dibakar oleh busi yang memiliki energi listrik tegangan tinggi yang dihasilkan oleh koil dan mendapat perintah dari CDI. CDI sendiri menerima perintah dari sensor pulser pada magnet yang ikut berputar bersama *crankshaft*. Didalam silinder terjadilah pros pembakaran sehingga terjadi gerakan bolak balik poros engkol dan menggerakkan *chain sprocket*. Lalu dilakukan pengereman di *prony diskbrake* sehingga terjadi pengereman agar dapat mengeluarkan hasil angka dineraca ukur pegas. Sisa hasil proses pembakaran keluar menuju *exhaust*.

3.6 Proses Pengujian Kinerja Motor Bakar

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

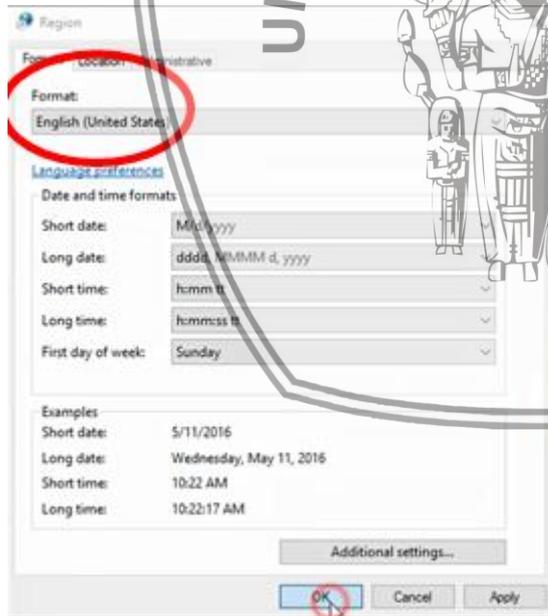
3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 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*.

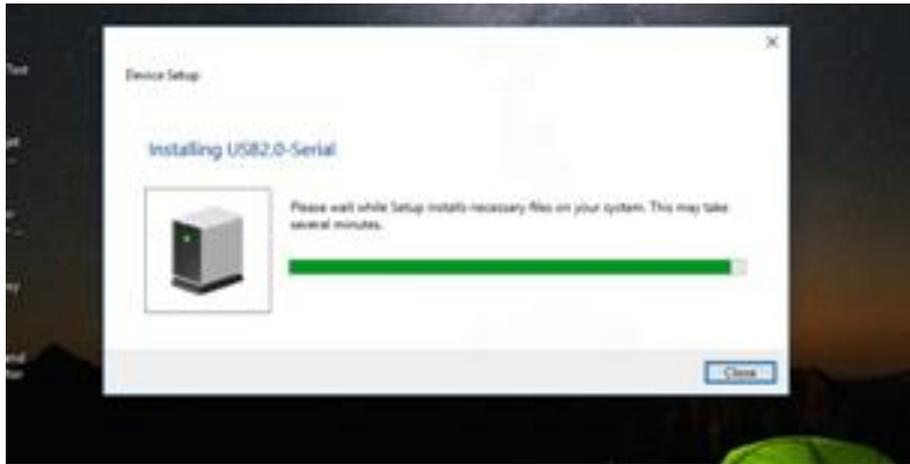
Pengukuran performa motor bakar dilakukan dengan prosedur pengujian putaran berubah dengan pembebanan bertambah. Prosedurnya adalah:

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. Instalasi software ECU
 - a. Menghubungkan modul *USB Serial CH340* ke *USB* Komputer.
 - b. Memastikan bahwa setingan *region* dari *OS* komputer menggunakan *region* format *English (United States)*.



Gambar 3.12 Pastikan setingan regional *english US*

- c. Ketika Modul serial terhubung dengan komputer maka komputer akan membaca. Akan muncul window *Installing USB2.0-Serial*.



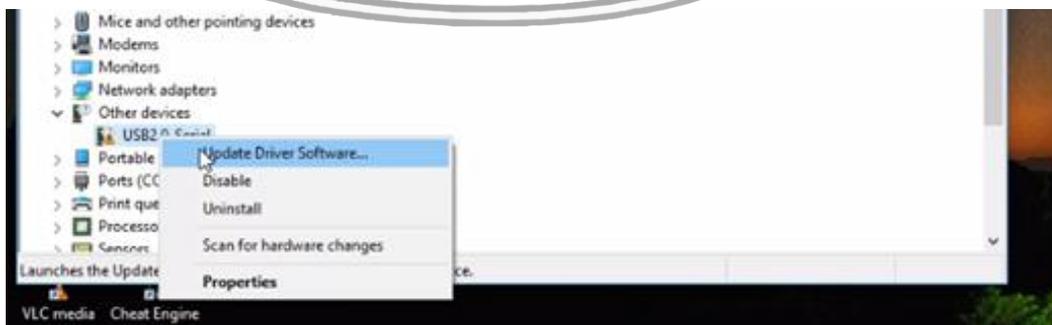
Gambar 3.13 Installing USB2.0-Serial

- d. Buka Device Manager terdapat tulisan USB2.0-serial dan terdapat icon tanda seru yang berarti drivernya belum terinstall.



Gambar 3.14 Driver masih belum terinstall

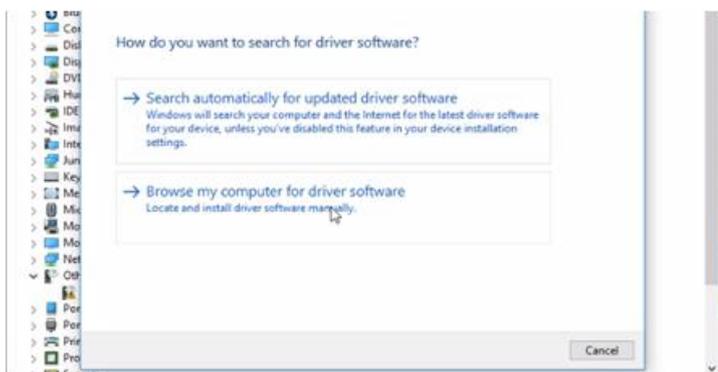
- e. Klik kanan pada USB2.0-serial. Lalu pilih update driver software.



Gambar 3.15 Update Driver Software

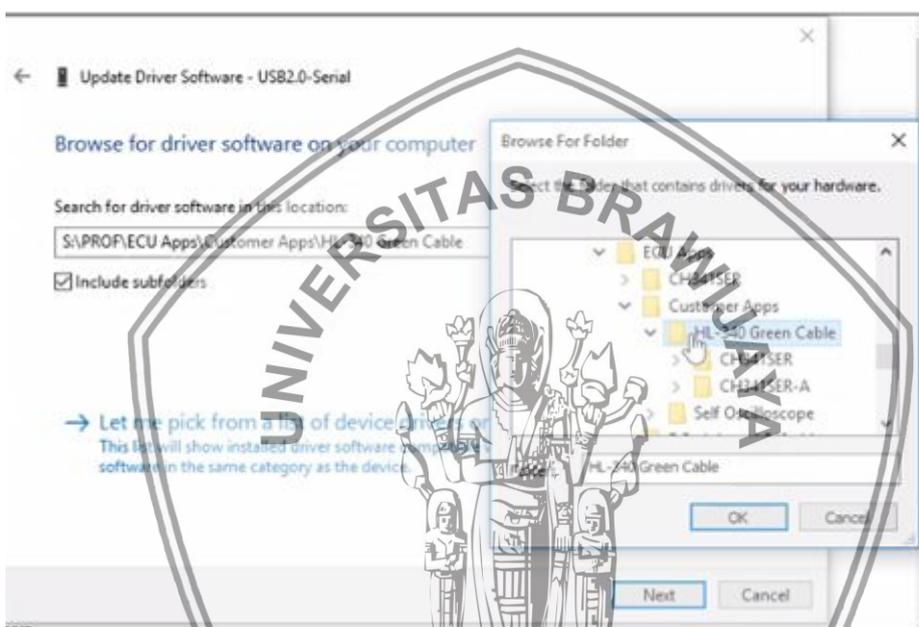
- f. Lalu Browse My Computer for Driver Software





Gambar 3.16 Browse My Computer for Driver Software

- g. Pilih folder tempat file driver berada. Pada folder “HL-340 Green Cable”.



Gambar 3.17 Browse Tempat Penyimpanan File Driver (pada folder HL-340 Green Cable)

- h. Setelah memilih foldernya klik ok maka secara otomatis driver akan terinstall.
- i. Setelah menginstal window Device Manager akan refresh dan akan muncul USB-Serial CH340 (COM7) telah terinstall.

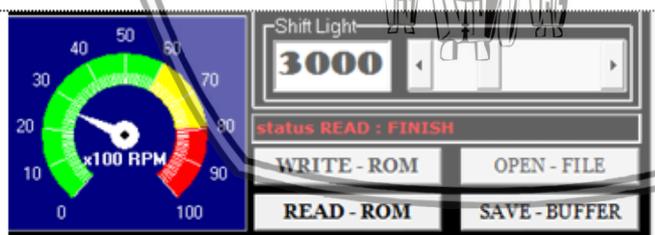


Gambar 3.18 USB-Serial CH340 (COM7) telah terinstall

- j. Setelah mnginstal buka *devicemanager* lihat *port* modul *USBserial* ch340 lalu lihat nilai *COM*-nya. Nilai *COM* dapat berubah-ubah, semisal modul *USBSerial* CH340 kita hubungkan dengan *PortUSB* yang lain masih tetap dalam 1 komputer maka

nilai *COM* belum tentu sama. Contoh semisal nilai *COM* yang terbaca adalah *COM7*.

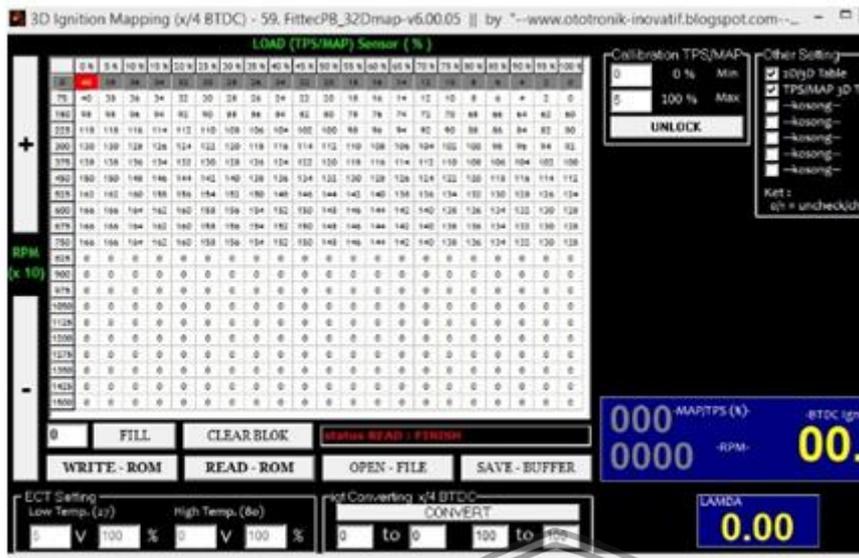
- k. Selanjutnya buka file "59. FittecPB_32Dmap-v6.00.05. SETT" dengan menggunakan *Notepad* maka akan terlihat seperti gambar dibawah ini. Ganti nilai *COM3* dengan nilai *COM* yang terbaca pada *devicemanager* tadi yaitu *COM7*. Setelah diganti klik file pada *menubar* lalu *save*. Modul *USBSerial* CH340 tidak boleh dihubungkan dengan *PortUSB* yang lain harus tetap pada *PortUSB* yang sama yaitu *COM7*. Apabila Modul *USBSerial* CH340 dihubungkan dengan *Port* yang lain maka hasil pembacaan *READROM* pada *software* akan *EROR*.
- l. Setelah seting *COM* selanjutnya Klik *iconSoftware* 59. FittecPB_32Dmap-v6.00.05.exe.
- m. Setelah *windowFittecPB_32Dmap-v6.00.05* keluar, klik *view* pada *menubar*, klik *currentDataList(1st RUN)*.
- n. Lalu akan keluar *windowcurrent data*, klik *READROM*, tunggu hingga pembacaan selesai.
- o. Apabila pembacaan selesai akan keluar tulisan "*StatusREAD: Finish*", apabila gagal akan keluar tulisan "*statusREAD: NOT FINISH*". Kegagalan dapat disebabkan Oleh modul *USBserial* ch340 belum terpasang pada *PortUSB* komputer, *ECU* belum diberi tegangan 12 V DC atau dengan kata lain *ECU* belum aktif.



Gambar 3.19 Tulisan Warna Merah "Status READ: FINISH"

Setelah status *READ ROM: Finish*, lanjutkan dengan klik *View* pada *menubar*, pilih *ignitionsystem* atau *Ijection System* pilihan salah satu yang ingin dibuka ignition atau injection sewaktu-waktu ingin melihat salah satunya juga biasa contoh kali ini pilih *ignition system*, lalu klik 3D

3. Hubungkan computer dengan ECU.
4. Hubungkan ECU dan CDI ke aki 12 volt.
5. Memastikan software aktif dan menghubungkan dengan ECU seperti gambar dibawah



Gambar 3.20 window 3D injection mapping

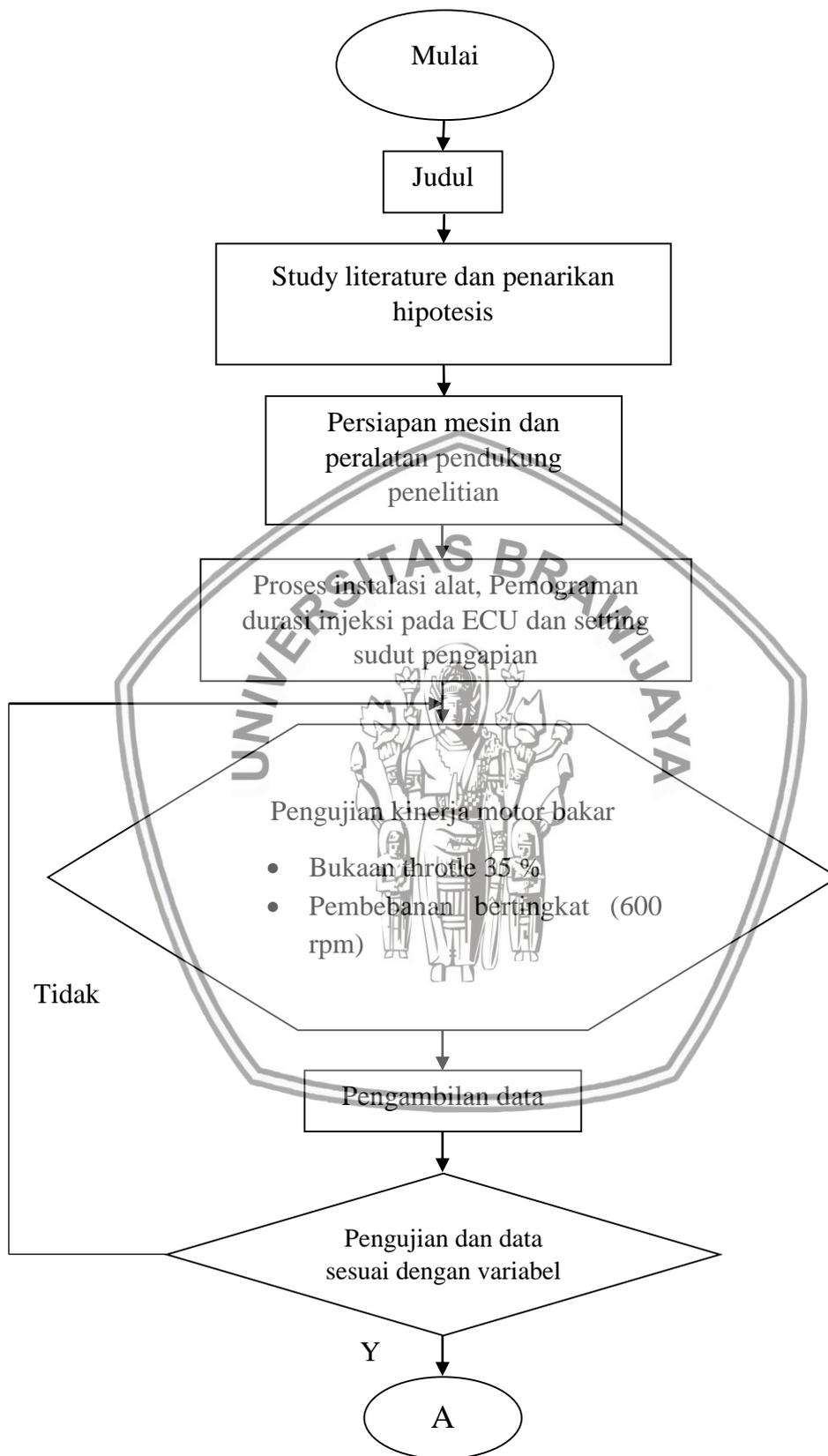
6. Cara menyetting CDI *programmable*.
 - a. Menghubungkan CDI dengan remote pemrograman (dalam keadaan tidak terhubung listrik / tombol off) .
 - b. Hidupkan tombol on sehingga terbaca “READY“ pada remote.
 - c. Tekan menu 2X untuk mengatur limiter rpm.
 - d. Tekan enter untuk mengubah limiter.
 - e. 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 mengubah 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.
7. Cara Menghidupkan Mesin.
 - a. Setelah persiapan terpenuhi.
 - b. Aktifkan tombol on pada *fan* sebagai pendingin mesin.

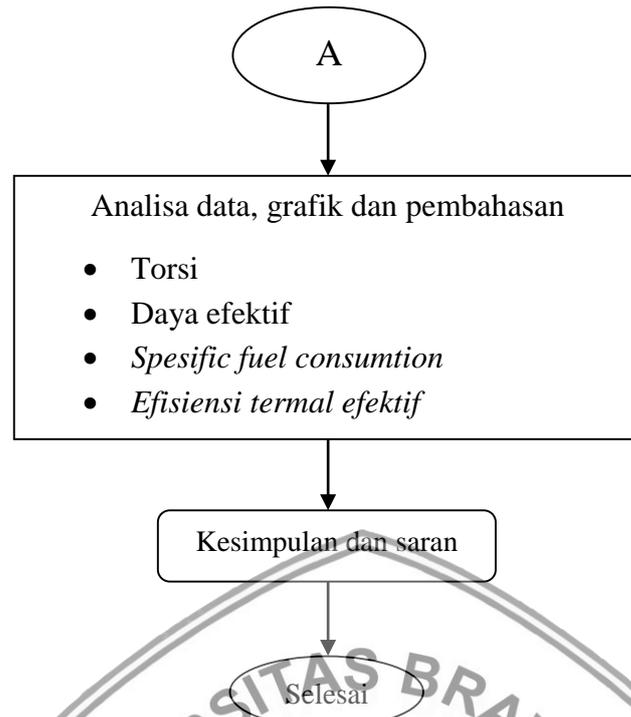
- c. Lakukan penyalaan dengan stater *electric*.
 - d. Setelah mesin menyala, tunggu beberapa saat agar mesin beroperasi sampai kondisi stasioner untuk menstabilkan kondisi mesin.
8. Cara Mengambil Data
- a. Mengatur tingkatan *throttle* pada bukaan yang diinginkan (35%).
 - b. mengatur beban pengereman (kg) dengan mengatur pengereman pada dinamometer sampai mendapatkan interval putaran yang diinginkan (rpm).
 - c. Tunggu kondisi mesin stabil kemudian lakukan pengambilan data (beban dari *prony 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 setingan derajat pengapian 24° , 26° , 28° .

3.8 Diagram Alir Penelitian

Seperti pada gambar 3.11 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 instalasi atau pemasangan alat CDI-AC dan ECU, dan 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.

3.8.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.21 Diagram alir penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

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

1. Data Pengujian Awal

Data pengujian awal dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1
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)
0.00 1	250	220	6	0.71	715	26

4.1.2 Pengolahan Data

Dari data hasil pengujian motor bakar 6 langkah maka dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan menggunakan data dari pengujian motor bakar 6 langkah sistem injeksi variasi 3 Gigi 2 terhadap torsi, daya efektif, *spesifik fuel consumption*, efisiensi termal efektif. Adapun perhitungannya disajikan sebagai berikut :

Diketahui

- 1) Gigi Transmsi 2, (faktor 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) = 2.31 detik
- 9) Volume konsumsi bahan bakar (b) = 0,001 liter

Dari hasil data pengujian tersebut dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Torsi (T)

Rumus torsi sesuai persamaan berikut :



$$\begin{aligned} T_d &= (F \times L) + (f \times l) \\ &= (20 \text{ kg} \times 0.25 \text{ m}) + (6 \text{ kg} \times 0.22 \text{ m}) \\ &= 6,32 \text{ (kg.m)} \end{aligned}$$

Nilai torsi diatas adalah perhitungan torsi pada poros roda belakang, sehingga untuk torsi pada poros engkol dibagi dengan factor reduksi. Sehingga :

$$\begin{aligned} T_c &= T_d / \text{faktor reduksi} \\ &= 6,32 \text{ kg.m} / 18.656 \\ &= 0.338 \text{ (kg.m)} \end{aligned}$$

2. Daya efektif (Ne)

Sesuai persamaan

$$\begin{aligned} N_e &= T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2} \\ &= \frac{0,338 \text{ kg.m} \times 7200}{716.2} \\ &= 3,405 \text{ (hp)} \end{aligned}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe)

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

$$\begin{aligned} FC &= \frac{b}{t} \cdot pf \cdot \frac{3600}{1000000} \\ &= \frac{0.001 \text{ l}}{2,31 \text{ s}} \cdot 790 \text{ Kg/m}^3 \cdot \frac{3600}{1000} \\ &= 1,23 \text{ (kg.jam}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} SFC_e &= \frac{Fc}{N_e} \\ &= \frac{1,23 \text{ kg/jam}}{3.405 \text{ hp}} \\ &= 0.361 \text{ (kg.hp}^{-1}\text{.jam}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

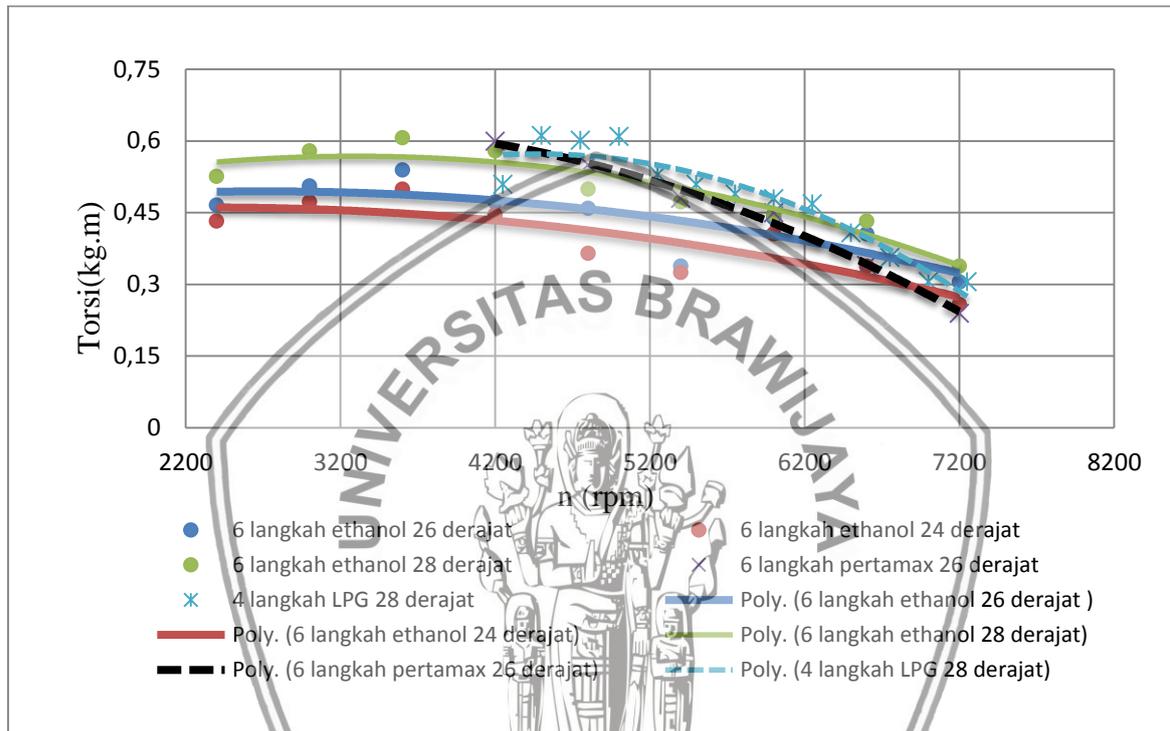
4. Efisiensi Termal Efektif (η_e), diperoleh :

$$\begin{aligned} \eta_e &= \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{Fc \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{Fc / N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\% \\ &= \frac{632}{0.361 \text{ kg / hp.jam} \times 5643,35 \text{ kkal.kg}} \times 100\% \\ &= 30,97 \% \end{aligned}$$

4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, didapat hasil perhitungan data variasi sudut pengapian yang berbeda antara 24° , 26° dan, 28° didapat karakteristik yang berbeda pada motor 6 langkah. Kemudian perhitungan variasi sudut pengapian yang berbeda ditampilkan ke dalam bentuk grafik untuk mempermudah menganalisa perhitungan data

4.2.1 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Torsi



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah

Pada gambar 4.1 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. Hubungan antara gaya pengereman (F) dengan torsi (T) ditulis dengan rumus (2-1) :

$$Tc = \frac{Td}{(\text{factor reduksi})}$$

dengan :

Tc = torsi yang dihasilkan crankshaft (kg·m)

Td = torsi yang dihasilkan poros pengereman / *disk brake* (kg·m)

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

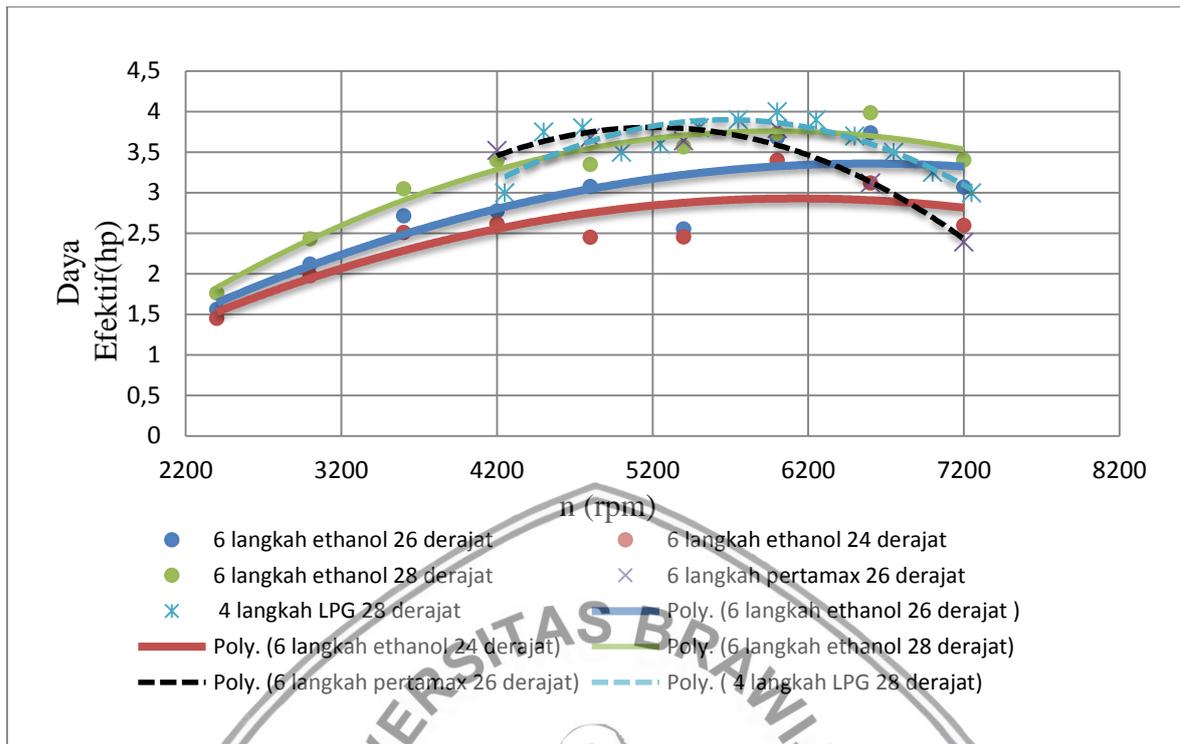
Pada gambar 4.1 grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi dapat dilihat bahwa kecenderungan grafik torsi relatif hampir sama, yang terlihat torsi tertinggi pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi ialah variasi 3 (sudut pengapian 28°), variasi 2 (sudut pengapian 26° standart) dan, variasi 1 (sudut pengapian 24°).

Pada variasi 3 (sudut pengapian 28°) didapat torsi tertinggi bisa terjadi dikarenakan pada variasi 3 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. Hal ini dapat dibuktikan dari data perhitungan torsi pada variasi 3 (sudut pengapian 28°).

Torsi terbesar yang didapatkan pada pengujian motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi ialah variasi 3 yaitu pada putaran 3600 rpm sebesar 0.606 kg.m dan torsi terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 0.33 kg.m dikarenakan pada penggunaan bahan bakar *ethanol* yang memiliki *ignition lag* pembakaran yang lebih lama dibandingkan pertamax sehingga semakin jauh waktu pengapian sebelum TMA semakin tinggi nilai torsi yang dihasilkan. Untuk variasi 2 torsi tertinggi pada putaran 3600 rpm sebesar 0.539 kg.m dan torsi terendah pada putaran 7200 rpm sebesar 0.305 kg.m. Untuk variasi 1 torsi tertinggi pada putaran 3600 rpm sebesar 0.499 kg.m dan torsi terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 0.258 kg.m. Sedangkan pada variasi pertamax dengan sudut pengapian 26° standart torsi tertinggi pada putaran 4200 rpm sebesar 0.60 kg.m dan torsi terendah didapat pada putaran 7200 rpm sebesar 0.24 kg.m.

Namun jika dibandingkan dengan mesin 4 langkah berbahan LPG, kecenderungan grafik yang dihasilkan hampir serupa dengan hasil torsi motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar *ethanol*. Torsi terbesar motor bakar 4 langkah dengan sudut pengapian 28° sebesar 0,61 kg.m dan torsi terbesar yang dihasilkan motor bakar 6 langkah dengan sudut 28° adalah 0,606 kg.m

4.2.2 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Daya efektif



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah.

Pada gambar 4.2 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) :

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

dengan:

Ne = daya efektif (hp)

T = torsi (kg·m)

ω = kecepatan anguler poros (rad·detik⁻¹)

n = putaran poros (rpm)

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.

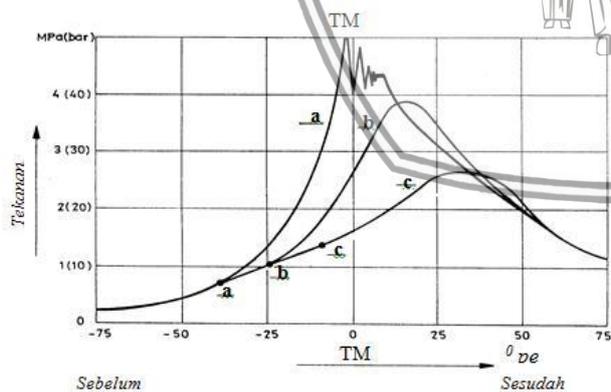
Pada gambar grafik 4.2 hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif dapat dilihat nilai rata-rata yang diperoleh grafik tertinggi pada variasi 3 (sudut pengapian 28^o), kemudian

variasi pertamax (sudut pengapian 26° standart) variasi 2 (sudut pengapian 26° standart), kemudian yang terkecil variasi 1 (sudut pengapian 24°) pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi

Untuk daya efektif terbesar yang didapat pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi pada variasi 3 tertinggi yaitu pada putaran 6600 rpm sebesar 3.98 hp dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 1,76 hp. Untuk variasi 2 yaitu putaran 6600 rpm sebesar 3.73 hp dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 0,46 hp. Untuk variasi 1 yaitu putaran 6000 rpm sebesar 3,39 hp dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 1,44 hp. Sedangkan pada variasi bahan bakar pertamax daya efektif terbesar pada putaran 6000 rpm sebesar 3,79 hp dan terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 2,39 hp.

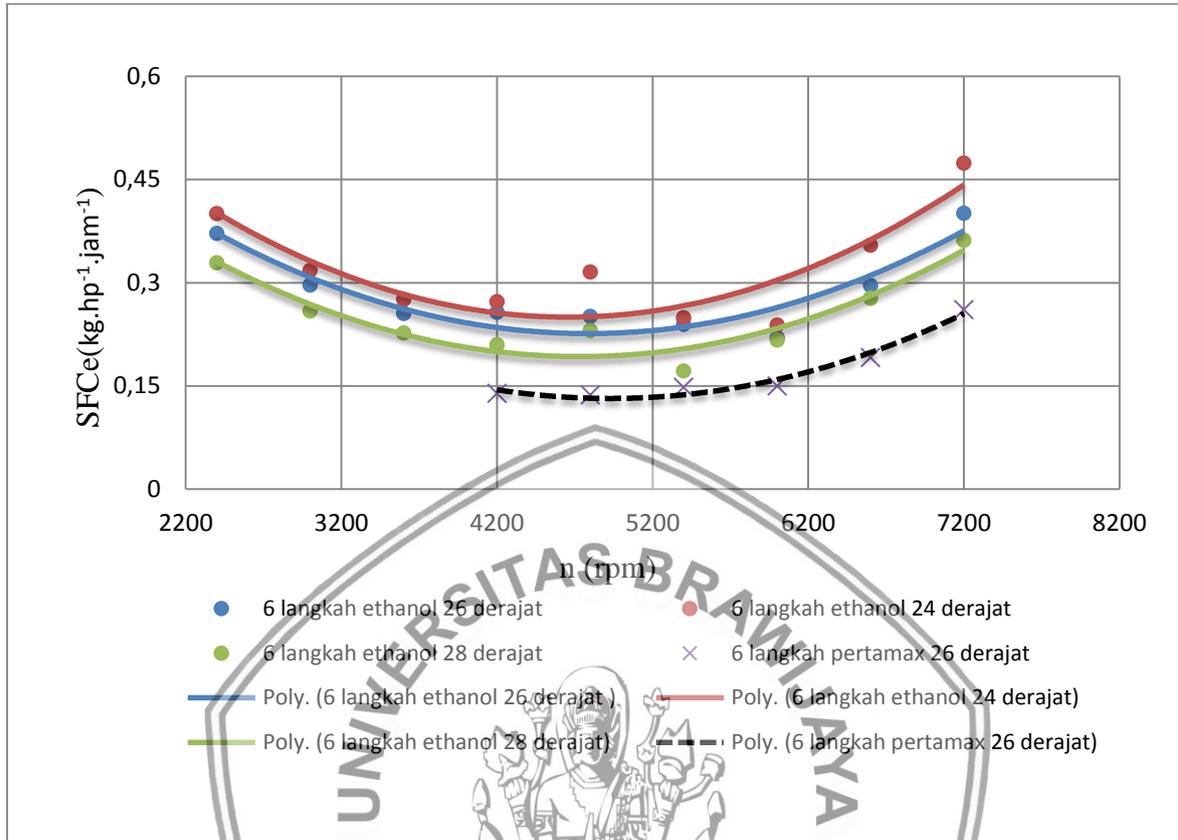
Jika dibandingkan dengan 4 langkah berbahan bakar LPG, motor bakar 6 langkah memiliki kecenderungan yang sama dengan daya efektif maksimum 3,9 hp sedangkan motor bakar 6 langkah sebesar 3,98 hp.

Namun jika dibandingkan dengan motor 6 langkah dengan variasi penggunaan bahan bakar pertamax dengan sudut pengapian 26° , penggunaan *ethanol* memiliki kecenderungan memiliki daya efektif yang lebih tinggi pada putaran 6800 – 7200. Hal tersebut dikarenakan terjadinya *knocking* pada bahan bakar pertamax dengan sudut 26° . Jika dilihat secara polinomial grafik motor 6 langkah dengan bahan bakar pertamax mengalami penurunan yang drastis. Hal tersebut seperti dijelaskan pada gambar dibawah.



Gambar 4.3 Diagram Tekanan Saat Pengapian Terlalu Awal, Tepat dan Terlalu Lambat
Sumber : Heywood (1988:18)

4.2.3 Hubungan antara Putaran Mesin dengan SFCe



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan sfce motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah.

Pada gambar 4.4 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 (N_e) yang dihasilkan. Dilain sisi SFCe berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar (F_c). Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran maka konsumsi bahan bakar (*Fuel Consumption*) 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:

SFCe = *Specific Fuel Consumption Effective* (kg·hp⁻¹·jam⁻¹)

Fc = konsumsi bahan bakar (kg·jam⁻¹)

Ne = daya efektif (hp)

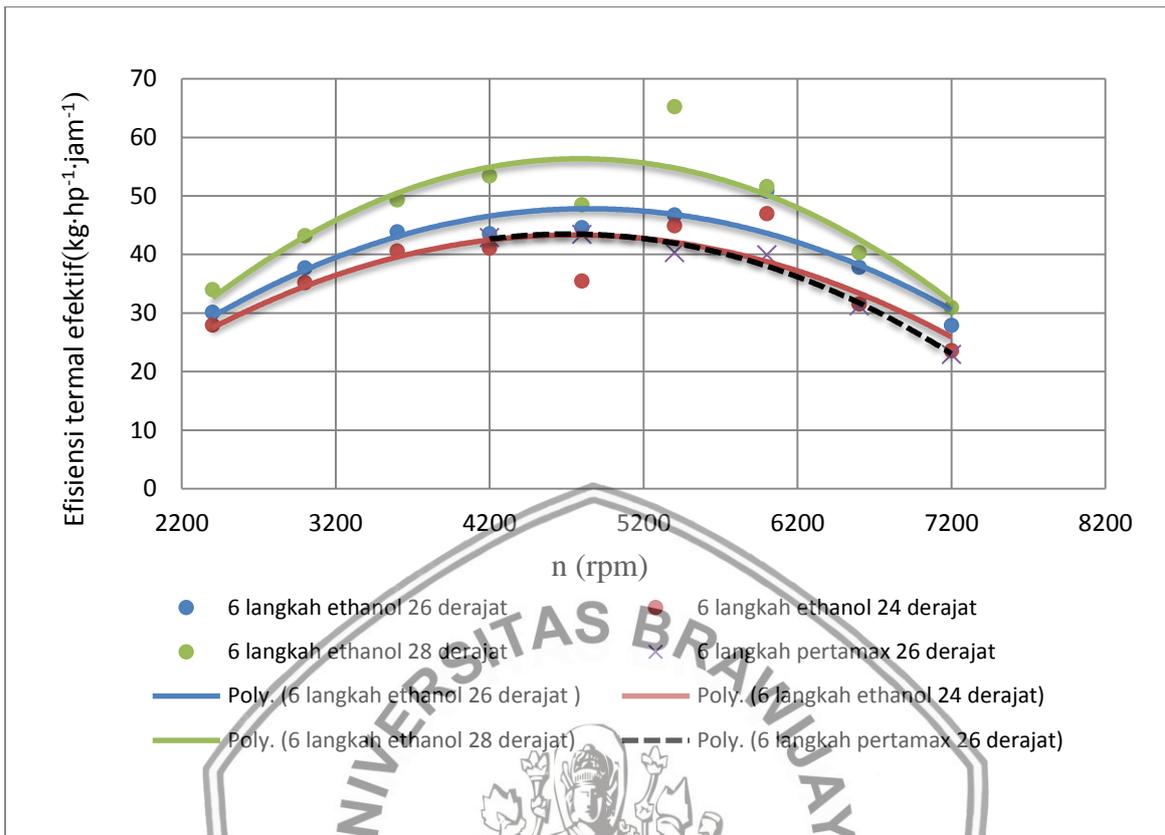
Pada grafik diperoleh bahwa variasi 3 pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi memiliki nilai terendah dibandingkan dengan variasi 2 dan 1. Hal ini sesuai dengan rumus diatas dimana apabila daya efektif yang dihasilkan semakin besar maka nilai SFCE yang didapatkan semakin kecil namun itu juga tergantung dari nilai *Fuel Consumption* yang dihasilkan juga dan pengaruh *air fuel ratio* memiliki pengaruh terhadap *fuel consumption*.

Untuk SFCE terbesar pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi terbesar diperoleh pada variasi 3 yaitu putaran 7200 rpm sebesar 0.361 kg/hp.h dan terendah dicapai pada putaran 5400 rpm sebesar 0,17 kg/hp.h. Untuk variasi 2 yaitu putaran 6600 rpm sebesar 0,40 kg/hp.h dan terendah dicapai pada putaran 6000 rpm sebesar 0,22 kg/hp.h. pada variasi 1 memiliki nilai SFCE paling tinggi yaitu putaran 7200 rpm sebesar 0,47 kg/hp.h dan terendah pada putaran 6000 menyentuh angka 0,22 kg/hp.h.

Jika dibandingkan dengan grafik polinomial SFCE 6 langkah berbahan bakar pertamax. Grafik polinomial SFCE 6 langkah berbahan bakar *ethanol* lebih boros dikarenakan nilai kalor bahan bakar (LHV) *ethanol* sebesar 5643,35 kkal·kg⁻¹ lebih kecil daripada pertamax. sedangkan LHV pertamax 11304,97 kkal. kg⁻¹ hal tersebut dikarenakan adanya kadar air sebesar 1% pada etanol sehingga dibutuhkan energy untuk mengubah H₂O dari fasa cair menjadi fasa gas sehingga energi kalor yang dapat dimanfaatkan menjadi lebih kecil.



4.2.4 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Efisiensi Termal Efektif



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah.

Pada grafik 4.5 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) seperti berikut :

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

dengan :

1 hp = 632 (kkal·jam⁻¹)

η_e = Efisiensi termal efektif (%)

LHV_{bb} = Nilai kalor dari bahan bakar (kkal·kg⁻¹)

FC = Konsumsi bahan bakar (kg·jam⁻¹)

Ne = 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 ke ruang 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 grafik 4.4 hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif dapat dilihat nilai rata-rata yang diperoleh grafik tertinggi pada variasi 3 (sudut pengapian 28°), kemudian variasi 2 (sudut pengapian 26° standart), kemudian variasi 1 (sudut pengapian 24°) pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi, kemudian yang terkecil pada variasi pertamax (sudut pengapian 26° standart).

Untuk efisiensi termal efektif terbesar didapat pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi pada variasi 3 yaitu pada putaran 5400 rpm sebesar 65,26 %, kemudian pada variasi 2 yaitu pada putaran 6000 rpm sebesar 50,86%, pada variasi 1 didapat pada putaran 6000 rpm sebesar 46,98 %. Untuk variasi pertamax efisiensi termalnya terbesar pada putaran 4800 rpm sebesar 43,46%. Sehubungan dengan perbandingan antara efisiensi termal efektif 6 langkah berbahan bakar etanol dan pertamax didapatkan data bahwa efisiensi termal efektif motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar etanol lebih baik daripada menggunakan bahan bakar pertamax pada putaran tinggi maupun putaran rendah. Hal ini disebabkan pada motor 6 langkah semakin tinggi putaran mesin maka konsumsi bahan bakar yang digunakan semakin besar namun menghasilkan daya yang besar sehingga nilai efisiensinya lebih baik ketimbang menggunakan bahan bakar pertamax .

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian, analisa dan pembahasan. Pengaruh pada variasi sudut pengapian terhadap unjuk kerja motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar *ethanol* adalah sebagai berikut :
 - a) Motor bakar 6 langkah berbahan bakar *ethanol* menghasilkan Torsi paling besar pada variasi 3 (sudut pengapian 28^0) dengan cara memajukan sudut pengapian 2^0 yang dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar pertamax dengan sudut pengapian 26^0 (standart), yaitu pada putaran 3600 RPM sebesar 0.606 kg.m.
 - b) Motor bakar 6 langkah juga menghasilkan daya efektif paling besar pada variasi 3 (sudut pengapian 28^0), yaitu pada putaran 6600 rpm sebesar 3.98 HP.
 - c) *Spesific Fuel Consumption Efektif* paling kecil menghasilkan 0.17 kg/HP.h pada variasi 3 (sudut pengapian 28^0) yaitu putaran 5400
 - d) *Efisiensi thermal efektif* paling besar menghasilkan 65,25% pada putaran 5400 dengan variasi 3 (sudut pengapian 28^0)
2. Dari hasil penelitian diketahui bahwa sudut pengapian mesin 6 langkah yang lebih tepat untuk penggunaan bahan bakar *ethanol* adalah 28^0 (dimajukan 2^0)

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya menggunakan motor bakar dengan tahun produksi terbaru agar hasil penelitian lebih tepat dan akurat.
2. Menggunakan peredam getaran alat ukur gaya pengereman dengan shock absorber
3. Menggunakan papan panel untuk tempat pengoperasian agar lebih mudah dalam pengambilan data.



Daftar Pustaka

- Adam, MN. Ridwan. 2007. *Teknologi Sepeda Motor*. Vol. VIII. Bandung: JPTM FPTK UPI.
- Arismunandar, Wiranto. 2002. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung: ITB Press.
- Arends, B. P. M., & H. Berenschot. (1994). *Benzine motoren*. Terjemahan Umar Sukrisno. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Dhysa Gitta Prasetya. 2013. "Perbandingan Unjuk Kerja antara Motor yang Mempergunakan CDI Limiter dengan yang Mempergunakan CDI Unlimiter (Studi Kasus pada Honda Megapro 160 cc)". Skripsi. Pendidikan Teknik Mesin S1. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.
- Gilang. 2015. *Pengaruh Diameter Venturi Karburator Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar 6 Langkah Langkah 1 Silinder 125cc*. Malang: Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Heywood, J.B., 1998, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Mc Graw Hill Int., New York
- Ishaq, Maulana F.S., Siswanto, Eko., Gayuh, Fransisca U.D (2017). *Pengaruh bukaan trottle terhadap unjuk kerja motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi*. Malang: Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Khovakh, M. 1979. *Motor Vehicle Engine*. Moscow: Mir Publisher.
- Liakos, H.H., M. A. Founti, & Markatos N.C. 2000. "Modeling of Stretched Natural Gas Diffusion Flames." *Applied Mathematical Modelling*, May 19: 419-435.
- Marlon, Marliando. 2012. *Analisa Penggunaan CDI Programmablendan Koil Racing Pada Mesin Sepeda Motor Standar*. Surakarta: Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Noor, Gilang Rausan Fikri. (2015). *Pengaruh Diameter Venturi Karburator Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar 6 langkah 1 Silinder Kapasitas 125cc*. Malang: Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Perry, H. R and Green W. D. 1997. *Perry's Chemical Engineering Handbook 7th Edition* . Mcgraw-Hill Book Co: USA

- Saidur, R., M. Rezaei, W.K. Muzammil, M.H. Hassan, S. Paria, & M. Hasanuzzaman. 2012. "Technologies to Recover Exhaust Heat from Internal Combustion Engine." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 5649-5659.
- Siswanto, Eko., D. Widhiyanuriyawan., A. S. Widodo., N. Hamidi, D. B. Darmadi&Sudjito. (2017). On The Performance of Six-Stroke Single-Power Combustion Engine. *Journal of Heat and Mass Transfer*. 14: 201-218.
- Siswanto, Eko. (2016). *Metode Operasi Motor Pembakaran Dalam Siklus Enam Langkah*. IDP000040589.
- Siswanto, Eko, Nurkholis Hamidi, Mega Nur Sasongko, & Denny Widhiyanuriyawan. 2014. *A Gasoline Six-stroke Internal Combustion Engine*. Patent Invention, Malang: Unpublished.
- Soetiari, Tj. 1990. *Bahan Bakar dan Proses-Proses Kimia Pembakaran*. Malang: Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Supriyana, Nana., Hidayat, Taufik. (2015). Uji performa pengaruh ignition timing terhadap kinerja Motor bensin berbahan bakar lpg. Vol.6 No 2 November 2015.
- Techno,Sains.2016. *CDI Wiring Diagram*. 04 Agustus. Diakses Agustus 04,2016. <http://astrapt.com/wiring/cdi-wiring-diagram.php>
- Wardana, I.N.G. 2008. *Bahan Bakar & Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Danar Wijaya-Brawijaya University Press.