



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KINERJA MOTOR BAKAR DENGAN
PENERAPAN 2 BUSI PENGAPIAN DAN VARIASI DERAJAT
WAKTU PENGAPIAN**

SKRIPSI

MUHAMMAD INDIONO INDARTO

0806330352

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KINERJA MOTOR BAKAR DENGAN
PENERAPAN 2 BUSI PENGAPIAN DAN VARIASI DERAJAT
WAKTU PENGAPIAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

MUHAMMAD INDIONO INDARTO

0806330352

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,

Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk

Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Indiono Indarto

NPM : 0806330352

Tanda Tangan : 

Tanggal : 19 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Indiono Indarto

NPM : 0806330352

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Motor Bakar Dengan Penerapan 2 Busi Pengapian Dan Variasi Derajat Waktu Pengapian

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono Agus Sumarsono DEA. PE

Penguji : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M. Eng

Penguji : Yudan Whulanza, S.T., M.Sc., Ph.D

Penguji : Jos Istiyanto, S.T., M.T., PhD

Penguji : Dr. Ir. Gatot Prayogo, M.Eng

Handwritten signatures of the examiners and supervisor. The signatures are in black ink, with the supervisor's signature at the top and three examiner signatures below it. The signatures are written over a large, faint watermark of the Universitas Indonesia logo.

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Indartono Rivai dan Endang Rahayu N. selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan spiritual, moral dan materil yang diberikan tanpa hentinya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Dr. Ir. R. Danardono Agus Sumarsono DEA. PE selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Ir. Gandjar Kiswanto dan seluruh dosen DTM selaku dosen program studi Teknik Mesin yang telah menularkan ilmu dan pengalamannya.
4. Doddy R. Pratama, Berlian P, Naila K selaku kakak dan adik yang telah membarikan semangat dan motivasi dalam pembuatan skripsi ini.
5. Anandita Sancoyo Murti selaku partner hidup yang selalu menemani, memberikan dorongan motivasi dan bantuan dalam pembuatan skripsi ini
6. Fajardo Yoshia dan Julius Anthoni selaku partner dikala susah dan senang dalam pembuatan skripsi.
7. Fikri Nur, Dimas Aji, Ario Wibawa, Bagus Reka, Deni Eva dan semua tim shell eco marathon UI selaku partner dalam tim shell eco marathon yang telah memberikan semangat dan masukan-masukan yang membangun.
8. Seluruh teman-teman teknik mesin angkatan 2008 yang selama 4 tahun bersama-sama merasakan kerasnya dunia perkuliahan.
9. Miftah Solih yang telah meluangkan waktu untuk membantu dalam pembuatan alat uji dan memberikan masukan dan saran.
10. Teguh, ST yang telah meluangkan waktunya membantu dalam pengambilan data dan memberikan masukan-masukan

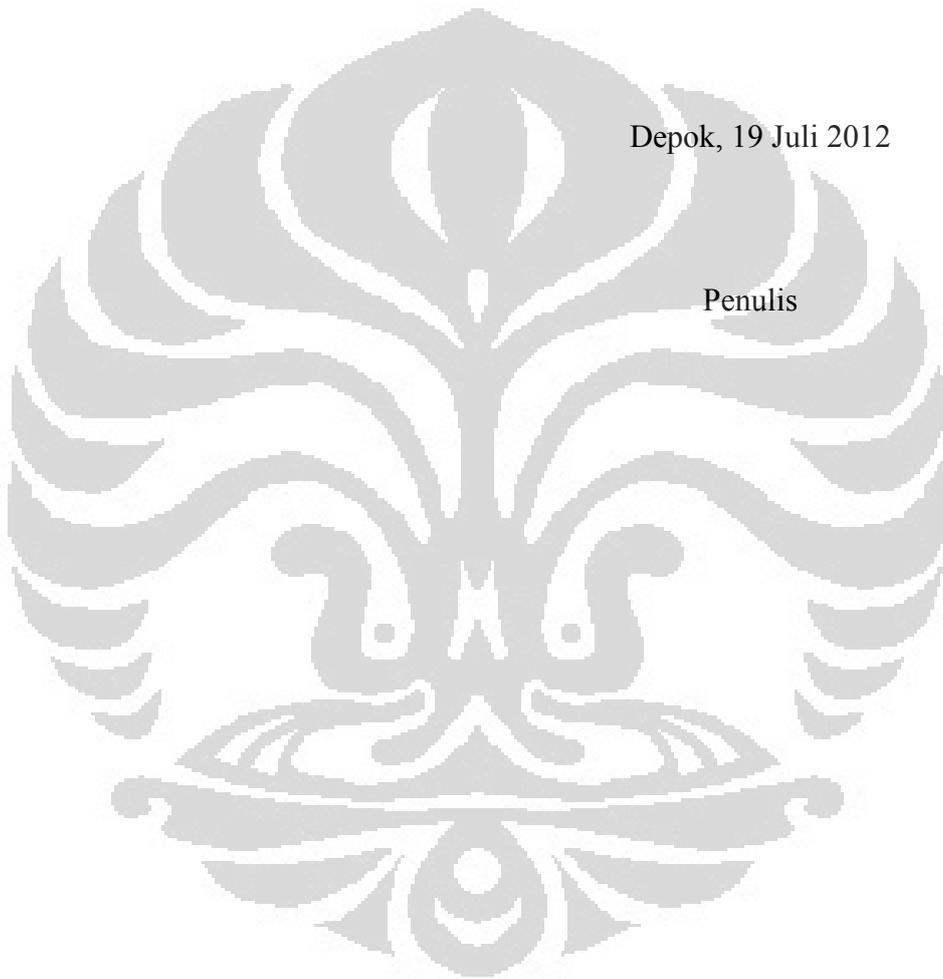
11. Krismansyah selaku pegawai PT. Khatulistiwa Suryanusa yang telah membantu dalam pengambilan data.

12. Mas Syarif, Mas Yasin dan Mas Supri selaku laboran DTM FTUI yang telah membantu dalam pembuatan alat uji

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 19 Juli 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Indiono Indarto
NPM : 0806330352
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty- Free Rights)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“ANALISIS KINERJA MOTOR BAKAR DENGAN PENERAPAN 2 BUSI
PENGAPIAN DAN VARIASI DERAJAT WAKTU PENGAPIAN”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 19 Juli 2012

Yang menyatakan,



Muhammad Indiono Indarto

ABSTRAK

Nama : Muhammad Indiono Indarto
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Motor Bakar Dengan Penerapan 2 Busi Pengapian Dan Variasi Derajat Waktu Pengapian

Kondisi udara semakin memburuk dengan bertambahnya jumlah kendaraan dan emisi gas buang. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai analisis penerapan dua busi pengapian pada kendaraan bermotor. Tujuan dari penelitian ini yaitu menurunkan emisi gas buang dan meningkatkan power kendaraan bermotor. Untuk itu pembuatan alat uji dilakukan, kemudian pengujian alat menggunakan gas analyzer untuk mendapatkan gas emisi gas buang (CO, CO₂, HC, dan O₂) dan dynamometer untuk mendapatkan power (HP) dan traksi pada roda. Pengujian dilakukan dengan dua variasi waktu penyalaan yaitu 15 derajat sebelum TMA dan 16 derajat sebelum TMA. Pengambilan data dilakukan yaitu kondisi mesin dengan busi utama, busi sekunder dan dua busi. Dari hasil pengujian menunjukkan penerapan dua busi pengapian dapat menurunkan emisi gas buang. Kadar CO menurun dari 2.74% kadar CO pada kondisi busi utama map pengapian 15 derajat menjadi 2.26% kadar CO pada kondisi dua busi map pengapian 16 derajat. Power pada roda juga meningkat dari 4.2 HP pada kondisi busi utama map pengapian 15 derajat menjadi 4.4HP pada kondisi 2 busi map pengapian 16 derajat. Dapat disimpulkan bahwa penerapan dua busi dapat memperbaiki kinerja mesin ditunjukkan dengan menurunnya emisi gas buang yaitu menurun sekitar 0.48% emisi gas CO dan meningkatnya power sekitar 0.2HP dari kondisi standar.

Kata kunci : 2 pengapian, emisi gas buang, *Power*, derajat pengapian

ABSTRACT

Name : Muhammad Indiono Indarto
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Performance Analysis of 4 Stroke Engine with Twin Spark Ignition and Ignition Timing Degrees Variation.

Air condition is getting worse with increasing amount of vehicle and exhaust gas. In this thesis will be presenting about performance analysis of application twin spark ignition on 4 stroke engine. The objectives of this thesis are applying twin spark ignition technology and then comparing the use of primary spark, secondary spark and twin spark. Next step, we were manufacturing twin spark ignition part. For testing, we were using gas analyzer to get exhaust gas (CO, CO₂, HC, and O₂) and dynotest to get power (HP) and traction. The test are using 2 variation ignition timing which are 15 degrees BTDC and 16 degrees BTDC. Data taken on primary spark ignition, secondary spark ignition and twin spark ignition. Results show that twin spark ignition can decrease exhaust gas and improve power. Carbon monoxide exhaust gas decreased from 2.74 % on primary spark igniton using 15 degrees BTDC ignition timing condition to 2.26% on twin spark ignition using 16 degrees BTDC condition. Power improved from 4.2 HP on primary spark ignition using 15 degrees BTDC ignition timing to 4.4 HP on twin spark ignition using 16 degrees BTDC ignition timing. We can conclude that twin spark ignition improved engine performance which are indicated by decreasing exhaust gas around 0.48% CO and increasing power around 0.2 HP.

Keywords : twin spark ignition, exhaust gas, Power, ignition timing

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penulisan.....	3
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1 Prinsip Kerja Motor Otto 4 Langkah.....	5
2.2 Sistem Pengapian AC.....	9
2.2.1 Flywheel Magneto dan Alternator.....	11
2.2.2 Koil pengapian (<i>Ignition Coil</i>).....	12
2.2.3 Busi.....	13
2.2.4 Twin Spark Ignition.....	15
2.2.5 CDI (Capacitive Discharge Ignition).....	16
2.3 Performa Motor Otto.....	22
2.3.1 Brake Horse Power.....	22
2.3.2 Emisi Gas Buang.....	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1. Penelitian.....	23
3.2. Alat Uji.....	23
3.3. Prosedur Penggunaan Alat Uji.....	27
3.3.1. Prosedur pengukuran waktu derajat pengapian.....	27
3.3.2. Prosedur pengukuran jeda waktu pengapian.....	30
3.3.3. Prosedur pengukuran dengan dynotest.....	31
3.3.4. Prosedur penggunaan gas analyzer.....	32
3.4. Prosedur Pengambilan Data.....	32
3.4.1. Prosedur pengambilan data dynotest.....	32
3.4.2. Prosedur pengambilan data gas analyzer.....	33
BAB 4 HASIL PERCOBAAN DAN ANALISIS	34
4.1. Data Emisi Gas Buang.....	34
4.1.1 Data emisi gas buang dengan 1 busi utama map 1.....	34
4.1.2 Data emisi gas buang dengan 1 busi sekunder map 1.....	35
4.1.3 Data emisi gas buang dengan 2 busi map 1.....	36
4.1.4 Data emisi gas buang dengan 1 busi utama map 2.....	37
4.1.5 Data emisi gas buang dengan 1 busi sekunder map 2.....	38
4.1.6 Data emisi gas buang dengan 2 busi map 2.....	39
4.2. Data Daya Keluaran.....	40
4.2.1 Data daya keluaran dengan 1 busi utama map 1.....	40

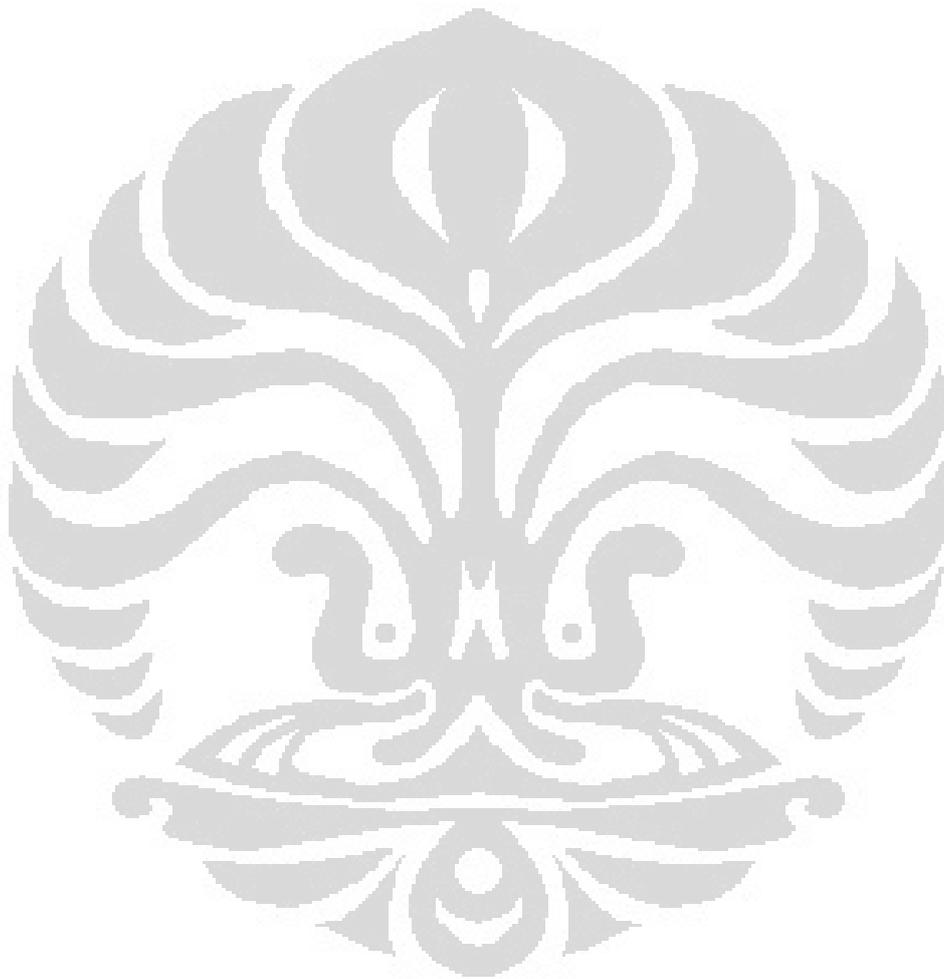
4.2.2 Data daya keluaran dengan 1 busi sekunder map 1	40
4.2.3 Data daya keluaran dengan 2 busi	41
4.2.4 Data daya keluaran dengan 1 busi utama map 2.....	41
4.2.5 Data daya keluaran dengan 1 busi sekunder map 2	42
4.2.5 Data daya keluaran dengan 2 busi map 2	42
4.3. Jeda Waktu Pengapian	43
4.4. Analisis Emisi Gas Buang	44
4.4.1 Analisis kandungan CO pada gas buang	44
4.4.2 Analisis kandungan HC pada emisi gas buang.....	49
4.4.3 Analisis kandungan CO ₂ pada emisi gas buang.....	53
4.4.4 Analisis kandungan O ₂ pada emisi gas buang.....	55
4.5 Analisis Daya Keluaran	57
4.5.1 Analisis daya keluaran dengan map 1	57
4.5.2 Analisis daya keluaran dengan map 2	61
4.6 Analisis Torsi pada Roda dengan Map 1.....	67
4.6.1. Analisis torsi pada roda dengan map 1	67
4.6.2 Analisis torsi pada roda dengan map 2	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran.....	72
DAFTAR REFERENSI	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Langkah Hisap	5
Gambar 2.2 Langkah Kompresi.....	5
Gambar 2.3 Langkah Kerja	6
Gambar 2.4 Langkah Buang	6
Gambar 2.5 Diagram P-V Dan T-S Ideal Motor Otto Empat Langkah.....	6
Gambar 2.6 Sistem Pengapian Langsung (AC) Sepeda Motor 4 Langkah.....	11
Gambar 2.7 Kontruksi Flywheel Magneto dan Alternator.....	12
Gambar 2.8 Koil Pengapian.....	13
Gambar 2.9 Busi.....	14
Gambar 2.10. mesin 4 langkah konvensional dan mesin 2 percikan api	17
Gambar 2.11. konfigurasi penempatan pulser dan sinyal yang terbaca	18
Gambar 2.12. Skema sistem pengapian (CDI)	19
Gambar 2.13. Diagram CDI AC	21
Gambar 2.14. Gambar diagram CDI DC.....	22
Gambar 3.1 Penampang Blok Head	26
Gambar 3.2. Instalasi timing light.....	28
Gambar 3.3 Instalasi kelistrikan pengapian.....	29
Gambar 3.4 Derajat pengapian map 1	30
Gambar 3.5 Derajat pengapian map 2	30
Gambar 3.6 Tampilan program CDI programmable.....	31
Gambar 3.7. Skema Instalasi Alat Oskiloskop.....	31
Gambar 3.8 Osiloskop	32
Gambar 4.1 Grafik pengukuran jeda waktu pada putaran 1300 rpm	44
Gambar 4.2 Grafik pengukuran jeda waktu pada 5000 rpm.....	45
Gambar 4.3 Grafik Kandungan Emisi CO.....	46
Gambar 4.4 Grafik perbandingan kadar CO dengan standar	47
Gambar 4.5 Grafik Residual Plots emisi gas CO.....	47
Gambar 4.6 Grafik pengaruh kondisi mesin dan rpm terhadap emisi CO.....	48
Gambar 4.7 Grafik perbandingan emisi CO dengan 2 kondisi mesin berbeda.....	48
Gambar 4.8 Grafik Kandungan HC.....	49
Gambar 4.9 Grafik perbandingan penurunan kadar HC.....	50
Gambar 4.10 Grafik residual plot dari data emisi gas HC.....	51
Gambar 4.11 Grafik pengaruh kondisi mesin dan rpm terhadap emisi gas HC ...	52
Gambar 4.12 Grafik perbandingan 2 kondisi mesin pada setiap putaran mesin...	52
Gambar 4.13 Grafik kandungan CO2.....	53
Gambar 4.14 Grafik selisih Kadar CO2.....	52
Gambar 4.15 Grafik Emisi gas O2.....	53
Gambar 4.16 Penurunan kadar O2.....	54
Gambar 4.17 POWER dan AFR dengan busi utama map 1.....	54
Gambar 4.18 POWER dan AFR dengan busi sekunder map1	55
Gambar 4.19 POWER dengan dua busi map 1.....	57
Gambar 4.20 Grafik perbandingan POWER dengan map 1.....	58
Gambar 4.21 POWER dan AFR dengan busi utama map 2	61
Gambar 4.22 POWER dan AFR dengan busi sekunder map 2	62
Gambar 4.23 POWER dan AFR dengan 2 busi map 2.....	63

Gambar 4.24 Grafik Perbandingan POWER dengan kondisi mesin map 2.....	64
Gambar 4.25 Grafik perbandingan POWER maksimal	65
Gambar 4.26 Grafik pengaruh kondisi mesin dan RPM terhadap power.....	66
Gambar 4.27 Grafik perbandingan 2 busi dan 1 busi.....	66
Gambar 4.28 Grafik torsi dengan busi utama map 1.....	67
Gambar 4.29 Grafik torsi dengan busi sekunder map 1	68
Gambar 4.30 Grafik torsi dengan 2 busi map 1.....	68
Gambar 4.31 Grafik torsi dengan 1 busi utama map 2	69
Gambar 4.32 Grafik torsi dengan 1 busi sekunder map 2.....	70
Gambar 4.33 Grafik torsi dengan 2 busi map 2	70



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Hasil Emisi gas Buang dengan busi utama map 1.....	35
Tabel 4.2 Data Hasil Emisi gas Buang dengan busi sekunder map 1.....	36
Tabel 4.3 Data Hasil Emisi gas Buang dengan 2 busi map 1.....	37
Tabel 4.4 Data Hasil Emisi gas Buang dengan busi utama map 2.....	38
Tabel 4.5 Data Hasil Emisi gas Buang dengan busi sekunder map 2.....	39
Tabel 4.6 Data Hasil Emisi gas Buang dengan 2 busi map 2.....	40
Tabel 4.7 Data hasil uji <i>dynotest</i> dengan 1 busi utama map 1.....	41
Tabel 4.8 Data Hasil uji <i>dynotest</i> dengan 1 busi sekunder map 1.....	41
Tabel 4.9 Data Hasil uji <i>dynotest</i> dengan 2 busi map 1	42
Tabel 4.10 Data Hasil uji <i>dynotest</i> dengan 1 busi utama map 2.....	42
Tabel 4.11 Data Hasil uji <i>dynotest</i> dengan 1 busi sekunder map 2.....	43
Tabel 4.12 Data Hasil uji <i>dynotest</i> dengan 2 busi map 2.....	43
Tabel 4.13 Perbandingan kadar CO.....	45
Tabel 4.14 Perbandingan Kadar HC.....	47
Tabel 4.15 Selisih kadar CO ₂	49
Tabel 4.16 Selisih emisi O ₂	51
Tabel 4.17 Perbandingan POWER kondisi mesin map 1.....	56
Tabel 4.18 Perbandingan POWER dengan kondisi map 2.....	60

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kehidupan manusia tidak akan terlepas dari energy. Energi sangat diperlukan manusia untuk menjalankan aktivitasnya sehari-hari. Energi bisa dalam berbagai bentuk. Ada yang dapat diperbarui dan tidak dapat diperbarui. Sumber energy yang tidak dapat diperbarui semakin lama akan habis. Eksploitasi sumber energy tidak dapat diperbarui terutama minyak bumi yang berlebihan dapat mengakibatkan ancaman terhadap keseimbangan lingkungan dan keselamatan manusia, Selain itu cadangan minyak bumi yang ada di dalam perut bumi semakin menipis dan terancam habis. Berbagai cara dapat dilakukan untuk mengatasi masalah ini yaitu mengembangkan sumber energy dapat diperbarui, namun cara ini untuk periode jangka panjang. Cara lain untuk jangka pendek ini adalah dengan mengoptimalkan penggunaan sumber energy tidak dapat diperbarui terutama minyak bumi agar pemakaian minyak bumi dapat efisien.

Kondisi lingkungan dan udara semakin memburuk dengan bertambahnya kendaraan dan emisi gas buang dari kendaraan. Hal ini merupakan masalah yang perlu mendapat perhatian bersama. Gas HC dan CO yang berbahaya untuk kesehatan manusia bertambah sejalan dengan performa mesin yang kurang baik. Upaya terus dilakukan untuk melestarikan lingkungan yaitu dengan berkembangnya teknologi untuk menekan emisi gas buang.

Untuk menurunkan emisi dan menghasilkan performa mesin yang baik dibutuhkan pembakaran yang sempurna dalam combustion chamber. Namun pada kenyataannya, pembakaran yang sempurna sama sekali tidak mungkin karena untuk berbagai kerugian di ruang pembakaran serta desain mesin pembakaran internal. Selain itu proses pembakaran bahan bakar ini juga tidak seketika. Namun alternatif solusi untuk itu adalah dengan membuat pembakaran bahan bakar secepat mungkin. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan dua percikan busi yang bertujuan meningkatkan

diameter api dan membakar bahan bakar seketika. Sistem ini adalah sistem twin spark ignition. Dalam sistem ini, percikan 2 busi dapat menghasilkan pembakaran dengan durasi yang lebih singkat sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna.

Penerapan penyalaan 2 busi saat ini masih terbatas pada kendaraan bermotor khususnya sepeda motor. Penyalaan 2 busi yaitu dengan penambahan energy yang masuk ke dalam ruang bakar membuat pembakaran lebih sempurna.

1.2. Permasalahan

Penambahan energy yaitu dengan penggunaan 2 busi pengapian. Aplikasi teknologi 2 busi dalam kendaraan bermotor pada saat ini masih terbatas. Desain mesin yang tepat diperlukan dalam penggunaan teknologi 2 busi. Teknologi 2 busi dalam proses pembakaran memiliki tujuan yaitu untuk meningkatkan performa mesin dan menurunkan emisi gas buang. Mesin twin spark ignition memiliki dua busi terletak di ujung-ujung ruang pembakaran dan menghasilkan pembakaran cepat dan efisien. Namun banyak factor yang mempengaruhi optimalnya penggunaan teknologi 2 busi yaitu diantaranya sudut kemiringan busi dan waktu penyalaan busi.

1.3. Tujuan

- Mengaplikasikan penerapan penggunaan teknologi 2 busi pada motor bakar 4 langkah
- Membandingkan penggunaan busi utama, busi sekunder dan penggunaan 2 busi dengan parameter emisi gas buang dan daya pada roda

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

- Pendinginan udara yang dikondisikan
- Energi yang digunakan pada busi 1 sama dengan busi 2
- Bahan bakar menggunakan premium reguler
- Menggunakan CDI programmable AC

1.5. Metodologi Penulisan

1. Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan sebagai acuan dalam tugas akhir ini adalah buku, artikel, jurnal, skripsi, dan internet. Literatur-literatur tersebut menjadi acuan dalam pengujian yang akan dilakukan.

2. Persiapan Alat Uji

Alat uji dipersiapkan untuk mendukung berlangsungnya proses pengujian pengambilan data yang diperlukan.

3. Proses Pengambilan Data

Pengujian dilakukan untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat, dan melakukan modifikasi jika diperlukan.

4. Analisis dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Setelah pengambilan data, maka dilakukan proses pengolahan data yang ditampilkan lewat tabel maupun grafik sehingga didapat kesimpulan dari proses pengujian yang terlihat dari unjuk kerja sistem dan dapat memberikan saran dalam pengembangan desain selanjutnya.

5. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, permasalahan yang timbul, tujuan, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II. LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam penelitian ini, yaitu teori motor bakar, teori twin spark ignition, teori cdi programmable, teori pembakaran

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini membahas skema alat pengujian, prosedur dan metode dalam pengujian dan pengambilan data untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat.

BAB IV. HASIL DAN ANALISIS

Bab ini membahas hasil pengujian yang dianalisis dari data yang berupa tabel dan grafik.

BAB V. KESIMPULAN

Bab ini membahas kesimpulan dari hasil pengujian dan memberikan saran untuk pengembangan desain berikutnya.

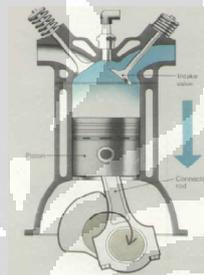


BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Prinsip Kerja Motor Otto 4 Langkah

1. Langkah Hisap

Ketika piston berada pada posisi atas, intake valve membuka. Seiring dengan piston bergerak turun, campuran bahan bakar diinjeksikan kedalam cylinder dan kemudian katup *intake* menutup

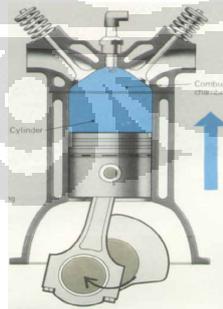


Gambar 2.1 Langkah Hisap

(Sumber : <http://on-webb.com/mechanics/4stroke.htm>)

2. Langkah Kompresi

Piston akan bergerak keatas untuk mengkompresikan campuran gas tersebut.

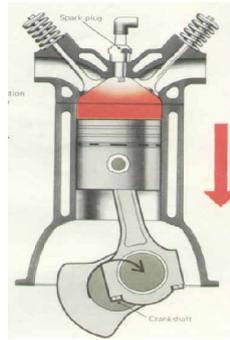


Gambar 2.2. Langkah Kompresi

(Sumber : <http://on-webb.com/mechanics/4stroke.htm>)

3. Langkah Pembakaran

Camporan bahan bakar dan udara yang terkompresi dibakar menggunakan sistim pengapian electric.

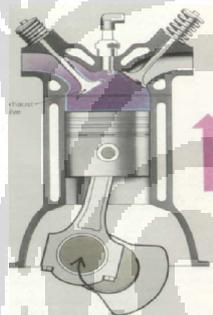


Gambar 2.3. Langkah Pembakaran

(Sumber : <http://on-webb.com/mechanics/4stroke.htm>)

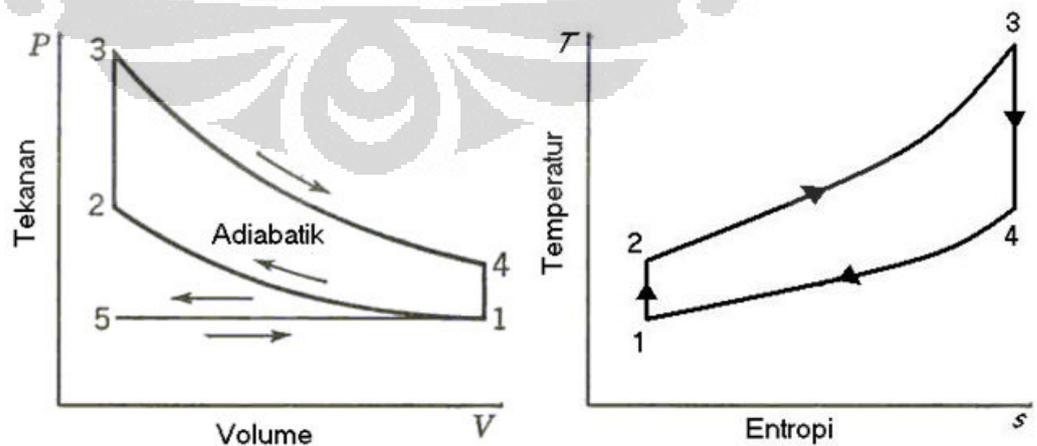
4. Langkah Buang

Gas yang terbakar mempunyai tekanan dan temperatur tinggi sehingga akan menekan piston bergerak turun. Pada saat ini, exhaust valve akan membuka untuk membuang gas yang terbakar.



Gambar 2.4. Langkah Pembuangan

(Sumber : <http://on-webb.com/mechanics/4stroke.htm>)



Gambar 2.5 Diagram P-V Dan T-S Ideal Motor Otto Empat Langkah

Sumber: Thermodynamics an Engineering Aproach Second Edition

Berdasarkan gambar 1.2. perhitungan-perhitungan yang berhubungan dengan siklus ini adalah sebagai berikut :

Proses 1-2 kerja kompresi isentropik :

$$q_{1-2} = 0 \text{ dan } w_{1-2} = c_v (T_1 - T_2) \quad (2.1)$$

Proses 2-3 pemasukan kalor pada volume konstan

$$w_{2-3} = 0$$

$$Q_{2-3} = Q_{in} = m_f Q_H V \eta_c \text{ atau}$$

$$= m m c_v (T_3 - T_2) = (m_a + m_f) c_v (T_3 - T_2) \quad (2.2)$$

$$q_{2-3} = c_v (T_3 - T_2)$$

Proses 3-4 kerja ekspansi isentropik yang dihasilkan

$$q_{3-4} = 0$$

$$w_{3-4} = c_v (T_3 - T_4) \quad (2.3)$$

Proses 4-1 pengeluaran gas buang pada volume konstan

$$w_{4-1} = 0$$

$$q_{4-1} = q_{out} = c_v (T_4 - T_1) \quad (2.4)$$

Dari perhitungan di atas didapat

$$w_{net} = w_{3-4} + w_{1-2} = q_{in} - q_{out} \quad (2.5)$$

besarnya efisiensi termal :

$$\eta_{th} = w_{net} / q_{in} = 1 - (q_{out} / q_{in}) \quad (2.6)$$

Langkah tersebut diatas akan terus diulang. Diantara keempat langkah tersebut, hanya pada saat langkah pembakaranlah mesin dapat menghasilkan tenaga. Maka dari itu dibutuhkan tambahan gaya untuk memasukan dan mengeluarkan gas pada langkah hisap dan buang, dan untuk mengkompresikan campuran bahan bakar pada langkah kompresi. Untuk mendapatkan tambahan gaya tersebut maka dipasang flywheel pada crankshaft dengan memanfaatkan gaya inerti untuk menjaga terjadinya gerakan memutar terus menerus.

Mesin Otto terdiri dari banyak part, diantaranya yaitu :

1. Piston adalah part pertama yang menerima daya dari hasil pembakaran bahan bakar dan bergerak naik turun akibat mengembangnya gas secara tiba-tiba di dalam silinder liner.
2. Piston ring terletak pada piston head yang dibubut agak kedalam dari permukaan luar piston head. Terdiri dari 3 jenis yang memiliki fungsi bermacam-macam.
 - a. piston ring paling atas berfungsi untuk mencegah bocornya bahan bakar dari ruang bakar agar tidak keluar dan mempertahankan tekanan pada ruang bakar tersebut.
 - b. piston ring paling bawah berfungsi untuk membatasi jumlah oli yang dapat melumasi bagian dinding silinder.
 - c. Piston ring tengah memiliki fungsi gabungan antara piston ring atas dengan bawah. Selain itu ada fungsi tambahan yaitu untuk menyapu dan membersihkan dinding silinder dari sisa pelumasan oli ketika piston naik menuju TDC.
3. Silinder blok Merupakan tubuh utama sebuah mesin dan tempat diletakkannya komponen lain. Berbagai silinder blok dibuat dari bahan yang beragam sesuai dengan teknologi yang ingin diterapkan pada mesin. Misalkan silinder blok dengan bahan dasar cast-ferrous alloy atau semi-steel dapat memberikan wear resistance yang lebih baik daripada silinder blok berbahan dasar cast iron.
4. Silinder head Terbuat dari bahan aluminum atau cast semi-steel. Cylinder head ini diletakkan diatas cylinder blok. Cylinder head memuat ruang bakar dan tempat busi serta valve. Pada mesin berteknologi fuel injection, alat injeksi tersebut diletakkan pada cylinder head ini.
5. Valve Pada cylinder head ini terdapat valve. Valve terdiri dari 2 buah, yaitu valve pada intake manifold sebagai pengatur masuknya campuran bahan bakar dengan udara ke dalam ruang bakar dan valve pada exhaust manifold yang berfungsi sebagai pengatur keluarnya gas sisa pembakaran menuju knalpot. Kedua valve tersebut digerakkan oleh mekanisme pada camshaft yang disesuaikan dengan irama putaran crankshaft.
6. Connecting rod Berfungsi untuk menyambung dan menyalurkan tenaga dari piston menuju crankshaft.

7. Crankshaft Dibuat dari baja tempa yang berfungsi untuk mengubah gerakan linear dari piston menjadi gerakan berputar untuk tenaga gerak.
8. Camshaft Letaknya ada pada cylinder head, berfungsi untuk menggerakkan mekanisme valve dan mensinkronkannya dengan putaran crankshaft. Camshaft digerakkan oleh drive berupa Timing belt, chain and sprockets atau dengan gear yang bersumber dari crankshaft.

2.2 Sistem Pengapian AC

Sistem pengapian pada motor bensin berfungsi mengatur proses pembakaran campuran bensin dan udara di dalam silinder sesuai waktu yang sudah ditentukan yaitu pada akhir langkah kompresi. Permulaan pembakaran diperlukan karena pada motor bensin pembakaran tidak bisa terjadi dengan sendirinya. Pembakaran campuran bensin-udara yang dikompresikan terjadi di dalam silinder setelah busi memercikkan bunga api, sehingga diperoleh tenaga akibat pemuai gas (eksplosif) hasil pembakaran, mendorong piston ke TMB menjadi langkah usaha. Agar busi dapat memercikkan bunga api, maka diperlukan suatu sistem yang bekerja secara akurat. Sistem pengapian terdiri dari berbagai komponen yang bekerja bersama-sama dalam waktu yang sangat cepat dan singkat.

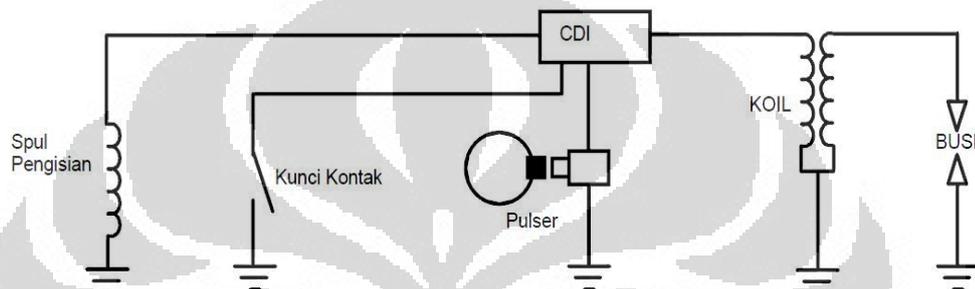
Saat pengapian dari campuran bensin dan udara adalah saat terjadinya percikan bunga api busi beberapa derajat sebelum Titik Mati Atas (TMA) pada akhir langkah kompresi. Saat terjadinya percikan, waktunya harus ditentukan dengan tepat supaya dapat membakar dengan sempurna campuran bensin dan udara agar dicapai energi maksimum. Setelah campuran bahan bakar dibakar oleh bunga api, maka diperlukan waktu tertentu bagi api untuk merambat di dalam ruangan bakar. Oleh sebab itu akan terjadi sedikit keterlambatan antara awal pembakaran dengan pencapaian tekanan pembakaran maksimum. Dengan demikian, agar diperoleh output maksimum pada engine dengan tekanan pembakaran mencapai titik tertinggi (*sekitar 10^0 setelah TMA*), periode perambatan api harus diperhitungkan pada saat menentukan waktu pengapian (*ignition timing*).

Karena diperlukannya waktu untuk perambatan api, maka campuran bahan bakar dan udara harus sudah dibakar sebelum TMA. Saat mulai terjadinya pembakaran campuran bahan bakar dan udara tersebut disebut dengan saat pengapian (*ignition timing*). agar saat pengapian dapat disesuaikan dengan kecepatan, beban mesin dan lainnya, diperlukan peralatan untuk merubah (memajukan atau memundurkan) saat pengapian. Salah satu diantaranya adalah dengan menggunakan *vacuum advancer* dan *governor advancer* untuk pengapian konvensional. Dalam sepeda motor biasanya disebut dengan unit pengatur saat pengapian otomatis atau ATU (*Automatic Timing Unit*). ATU akan mengatur pemajuan saat pengapian. Pada sepeda motor dengan sistem pengapian konvensional (menggunakan platina) ATU diatur secara mekanik sedangkan pada sistem pengapian elektronik ATU diatur secara elektronik.

Bila saat pengapian dimajukan terlalu jauh maka tekanan pembakaran maksimum akan tercapai sebelum 10^0 sesudah TMA. Karena tekanan di dalam silinder akan menjadi lebih tinggi daripada pembakaran dengan waktu yang tepat, pembakaran campuran udara bahan bakar yang spontan akan terjadi dan akhirnya akan terjadi *knocking* atau *detonasi*. Knocking merupakan ledakan yang menghasilkan gelombang kejutan berupa suara ketukan karena naiknya tekanan yang besar dan kuat yang terjadi pada akhir pembakaran. Knocking yang berlebihan akan mengakibatkan katup, busi dan torak terbakar. Saat pengapian yang terlalu maju juga bisa menyebabkan suhu mesin menjadi terlalu tinggi. Sedangkan bila saat pengapian dimundurkan terlalu jauh maka tekanan pembakaran maksimum akan terjadi setelah 10^0 setelah TMA (saat dimana torak telah turun cukup jauh). Bila dibandingkan dengan pengapian yang waktunya tepat, maka tekanan di dalam silinder agak rendah sehingga output mesin menurun dan masalah pemborosan bahan bakar dan lainnya akan terjadi. Saat pengapian yang tepat dapat menghasilkan tekanan pembakaran yang optimal.

Untuk menjamin tersedianya tegangan pengapian yang tetap tinggi maka diperlukan sistem yang akurat. Sistem pengapian tegangan tinggi menghasilkan percikan bunga api di busi. Bentuk yang paling sederhana sumber tegangan pengapian adalah dengan menyediakan *source coil* (koil sumber pengapian) yang

tergabung langsung dengan generator utama (alternator atau *flywheel magneto*). Keuntungannya adalah sumber tegangan tidak dipengaruhi oleh beban sistem kelistrikan mesin. Sedangkan kekurangannya adalah pada kecepatan mesin rendah, seperti pada saat menghidupkan (*starting*) mesin, tegangan yang keluar dari koil sumber berkemungkinan tidak cukup untuk menghasilkan percikan yang kuat.



Gambar 2.6 Sistem Pengapian Langsung (*AC*) Sepeda Motor 4 Langkah
(sumber : Panduan CDI Digital, BRT)

2.2.1 Flywheel Magneto dan Alternator

Arus listrik yang dihasilkan oleh alternator atau *flywheel magneto* adalah arus listrik AC (*Alternating Current*). Prinsip kerja alternator dan *flywheel magneto* sebenarnya adalah sama, perbedaannya hanyalah terletak pada penempatan atau konstruksi magnetnya. Pada *flywheel magneto* bagian magnet ditempatkan di sebelah luar *spool* (kumparan). Magnet tersebut berputar untuk membangkitkan listrik pada *spool* (kumparan) dan juga sebagai roda gila (*flywheel*) agar putaran poros engkol tidak mudah berhenti atau berat. Sedangkan pada alternator magnet ditempatkan di bagian dalam *spool* (kumparan).

Pembangkit listrik AC pada sepeda motor baik model alternator ataupun model *flywheel magneto* terdiri dari beberapa buah kumparan kawat yang berbeda-beda jumlah lilitannya sesuai dengan fungsinya masing-masing, dan akan menghasilkan arus listrik apabila ada kutub- kutub magnet yang mempengaruhi kumparan tersebut. Kutub ini didapat dari rotor magnet yang ditempatkan pada

poros engkol, dan biasanya dilengkapi dengan empat atau enam buah magnet permanen dan arus listrik AC yang dihasilkan dapat berubah-ubah sekitar 50 kali per detik (50 cycle per second).

2.2.2 Koil pengapian (*Ignition Coil*)

Untuk menghasilkan percikan, listrik harus melompat melewati celah udara yang terdapat di antara dua elektroda pada busi. Karena udara merupakan isolator (penghantar listrik yang jelek), tegangan yang sangat tinggi dibutuhkan untuk mengatasi tahanan dari celah udara tersebut dan juga untuk mengatasi sistem itu sendiri dan seluruh komponen sistem pengapian lainnya. Koil pengapian mengubah sumber tegangan rendah dari CDI 4-5A 12 V menjadi sumber tegangan tinggi 10 KV atau lebih yang diperlukan untuk menghasilkan loncatan bunga api yang kuat pada celah busi dalam sistem pengapian.

Pada koil pengapian, kumparan primer dan sekunder digulung pada inti besi. Kumparan-kumparan ini akan menaikkan tegangan yang diterima dari CDI menjadi tegangan yang sangat tinggi melalui induksi elektromagnetik. Inti besi (*core*) dikelilingi kumparan yang terbuat dari baja silikon tipis. Terdapat dua kumparan yaitu sekunder dan primer di mana lilitan primer digulung oleh lilitan sekunder.



Gambar 2.8 Koil Pengapian

(sumber : “Koil Special Engine (SE)”.2011<<http://motorplus.otomotifnet.com>>)

Untuk mencegah terjadinya hubungan singkat (*short circuit*) maka antara lapisan kumparan disekat dengan kertas khusus yang mempunyai tahanan sekat yang tinggi. Ujung kumparan primer dihubungkan dengan terminal negatif primer, sedangkan ujung yang lainnya dihubungkan dengan terminal positif primer. Kumparan sekunder dihubungkan dengan cara serupa di mana salah satunya dihubungkan dengan kumparan primer lewat (pada) terminal positif primer yang lainnya dihubungkan dengan tegangan tinggi melalui suatu pasak dan keduanya digulung. Medan magnet akan dibangkitkan pada saat arus mengalir pada gulungan (kumparan) primer. Garis gaya magnet yang dibangkitkan pada inti besi berlawanan dengan garis gaya magnet dalam kumparan primer.

Arus yang mengalir pada rangkaian primer tidak akan segera mencapai maksimum, karena adanya perlawanan oleh induksi diri pada kumparan primer. Diperlukan waktu agar arus maksimum pada rangkaian primer dapat tercapai.

Bila arus mengalir dalam kumparan primer dan kemudian arus tersebut diputuskan tiba-tiba, maka akan dibangkitkan tegangan dalam kumparan primer berupa induksi sendiri sebesar 300 – 400 V, searah dengan arus yang mengalir sebelumnya. Arus ini kemudian mengalir dan disimpan untuk sementara dalam kondensator. Apabila platina menutup kembali maka muatan listrik yang ada dalam kondensator tersebut akan mengalir ke rangkaian, sehingga arus primer segera menjadi penuh.

Jika dua kumparan disusun dalam satu garis (dalam satu inti besi) dan arus yang mengalir pada kumparan primer dirubah (diputuskan), maka akan terbangkitkan tegangan pada kumparan sekunder berupa induksi sebesar 10 KV atau lebih. Arahnya berlawanan dengan garis gaya magnet pada kumparan primer.

2.2.3 Busi

Tegangan tinggi yang dihasilkan oleh kumparan sekunder koil pengapian, setelah melalui rangkaian tegangan tinggi akan dikeluarkan diantara elektroda tengah (elektroda positif) dan elektroda sisi (elektroda negatif) busi berupa

percikan bunga api. Tujuan adanya busi dalam hal ini adalah untuk mengalirkan pulsa atau arus tegangan tinggi dari tutup (terminal) busi ke bagian elektroda tengah ke elektroda sisi melewati celah udara dan kemudian berakhir ke masa (*ground*).



Gambar 2.9 Busi

(sumber : “Koil Special Engine (SE)” 2011 <<http://motorplus.otomotifnet.com>>)

Busi merupakan bagian (komponen) sistem pengapian yang bisa habis, dirancang untuk melakukan tugas dalam waktu tertentu dan harus diganti dengan yang baru jika busi sudah aus atau terkikis.

Bagian paling atas dari busi adalah terminal yang menghubungkan kabel tegangan tinggi. Terminal ini berhubungan dengan elektroda tengah yang biasanya terbuat dari campuran nikel agar tahan terhadap panas dan elemen perusak dalam bahan bakar, dan sering mempunyai inti tembaga untuk membantu membuang panas.

Pada beberapa busi elektroda terbuat dari campuran perak, platina, paladium atau emas. Busi-busi ini dirancang untuk memberikan ketahanan terhadap erosi yang lebih besar serta bisa tetap bagus.

Elektroda tengah melewati isolator (penyekat) keramik yang terdapat pada bagian luarnya. Isolator ini berfungsi untuk melindungi elektroda tengah dari kebocoran listrik dan melindungi dari panas mesin. Untuk mencegah kebocoran

gas terdapat *seal* (perapat) antara elektroda tengah dengan isolator dan antara isolator dengan bodi busi.

Bodi busi dibuat dari baja dan biasanya diberi pelat nikel untuk mencegah korosi. Bagian atas luar bodi berbentuk heksagon (sudut segi enam) yang berfungsi untuk mengeraskan dan mengendurkan busi. Pada bagian bawahnya dibuat ulir agar busi bisa dipasang ke kepala silinder. Pada bagian ujung bawah busi terdapat elektroda sisi atau elektroda negatif. Elektroda ini dilas ke bodi busi untuk jalur ke masa saat terjadi percikan. Terdapat dua tipe dudukan busi yaitu berbentuk datar dan kerucut. Dudukan busi merupakan bagian dari bodi busi pada bagian atas ulir yang akan bertemu/berpasangan dengan kepala silinder. Jika dudukan businya berbentuk datar, maka terdapat cincin perapat, sebaliknya jika dudukannya berbentuk kerucut maka tidak memerlukan cincin perapat.

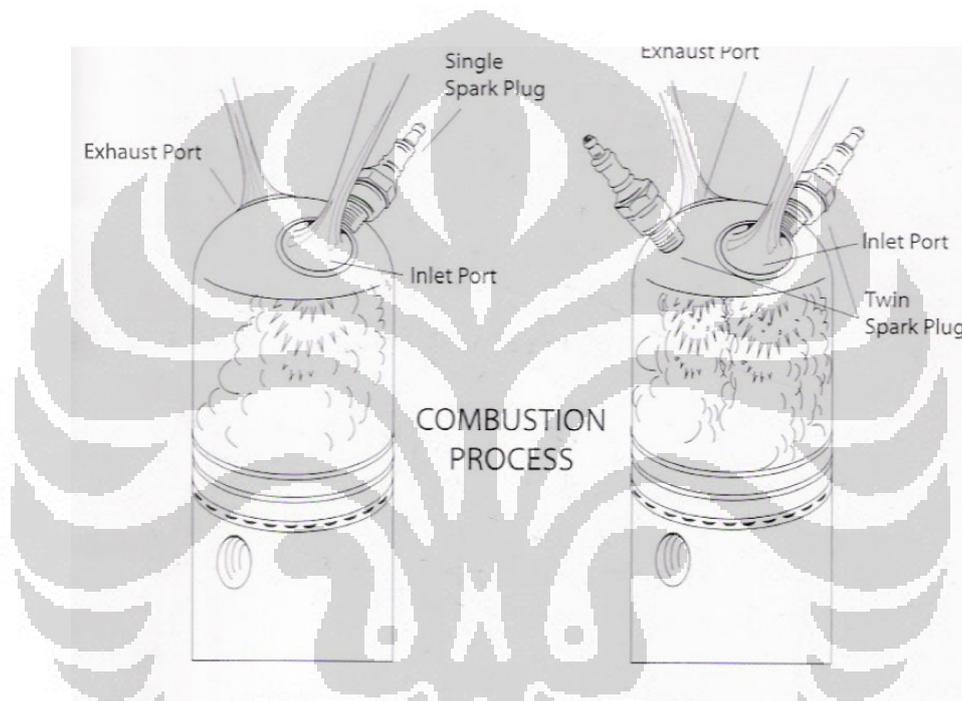
2.2.4 Twin Spark Ignition

Mesin twin spark ignition memiliki dua busi terletak di ujung-ujung ruang pembakaran dan menghasilkan pembakaran cepat dan efisien. Manfaat dari proses pembakaran efisien ini dapat dirasakan dari segi efisiensi bahan bakar yang lebih baik dan menurunkan emisi. (sumber : *A New Revolution of Twin Spark in I.C. Engine, Noorani Tufel*)

Pengapian 2 busi merupakan alternative pemecahan masalah pembakaran yang lambat pada penggunaan 1 busi. Kepala silinder dilengkapi dengan dua busi, berbeda dengan yang biasa. Dengan menghasilkan dua percikan di salah satu ujung ruang pembakaran, (sekitar 90° sumbu katup) udara-bahan bakar campuran akan dinyalakan dengan menciptakan dua percikan api, dan oleh karena itu, pengurangan perambatan api sebesar 40 persen dapat dicapai. Tingkat yang cepat dari pembakaran dicapai menuju lebih cepat peningkatan tekanan. Hasil yang jelas ini adalah peningkatan torsi, efisiensi bahan bakar yang lebih baik dan menurunkan emisi. Perangkat CDI (Capacitive Discharge Ignition) programmable mengontrol urutan percikan kedua busi. (sumber : *DIGITAL TWIN SPARK – IGNITION & ITS ADVANCES, S.ijaz ahamed*).

Campuran bahan bakar-udara yang memasuki silinder selama stroke hisap dikompresi selama stroke kompresi. Kemudian percikan akan dinyalakan oleh

salah satu busi dan percikan api mulai memperluas seperti balon inflating. Sementara percikan lain akan dinyalakan oleh busi lain sesuai kontrol CDI programmable. Percikan api juga mulai memperluas seperti balon inflating. Oleh karena itu wilayah yang tidak tercakup oleh front api pertama akan dilindungi oleh kedua api depan mengakibatkan pembakaran bahan bakar yang sempurna dan cepat. (sumber : *DIGITAL TWIN SPARK – IGNITION & ITS ADVANCES*, S.ijaz ahamed).

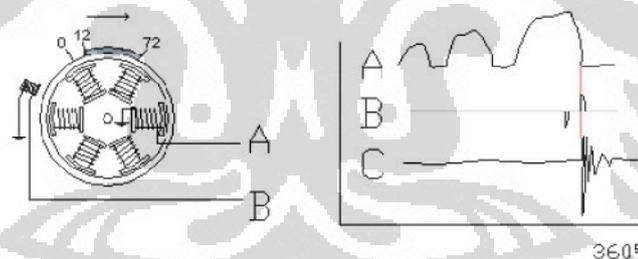


Gambar 2.10. Mesin 4 langkah konvensional dan mesin 2 percikan api
(sumber : *DIGITAL TWIN SPARK – IGNITION & ITS ADVANCES*, S.ijaz ahamed).

2.2.5 CDI (Capacitive Discharge Ignition)

CDI (*Capacitive Discharge Ignition*) merupakan sebuah perangkat pengatur pengapian (*ignition*) dan kelistrikan (*electricity*) yang terdapat pada sebuah sepeda motor. Sepeda motor produksi sekarang telah dijejali berbagai perangkat elektronik yang mendukung kinerja mesin dan kelistrikan membutuhkan sebuah unit pengatur yang *compact* dan *simple*, dimana semua input dari berbagai sensor diolah dalam sebuah *processing unit*. Disinilah peran sebuah CDI dalam mengatur berbagai perangkat kelistrikan yang terdapat pada sebuah sepeda motor.

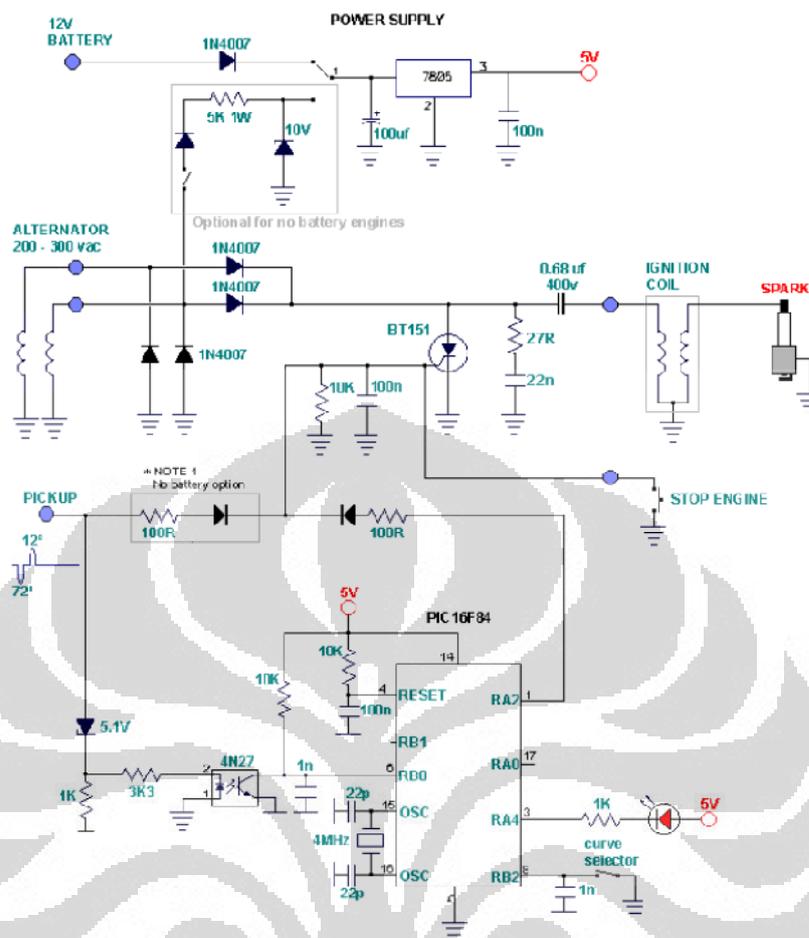
Sensor pengatur *timing* pengapian terdapat pada bagian ruang magnet sebuah mesin. Sensor berupa pulser (*pick-up coil*) akan membaca tonjolan (*pulse*) yang terdapat pada sisi luar pelat dudukan (*sitting*) magnet. Magnet yang terhubung dengan *crankshaft* akan berputar sesuai dengan putaran mesin, semakin tinggi putaran mesin maka semakin tinggi pula putaran magnet yang akan berpengaruh terhadap pembacaan pulser terhadap tonjolan sisi luar *sitting plate* magnet. Besarnya energi yang tersimpan di dalam kapasitor CDI sangat menentukan seberapa kuat pengapian dari busi untuk memantik campuran gas di dalam ruang bakar. Semakin besar energi yang tersimpan di dalam kapasitor maka semakin kuat pengapian yang dihasilkan di busi untuk memantik campuran gas bakar dengan catatan diukur pada penggunaan *coil* yang sama. Energi yang besar juga akan memudahkan pengapian menembus kompresi yang tinggi ataupun campuran gas bakar yang banyak akibat dari pembukaan *throttle* yang lebih besar. (Sumber : *Cdi Programmable Untuk Kendaraan Sepeda Motor Produksi Massal Di Indonesia*, Mochamad Yuga Pratama)



Gambar 2.11. Konfigurasi penempatan pulser dan sinyal yang terbaca

(Sumber : *Cdi Programmable Untuk Kendaraan Sepeda Motor Produksi Massal Di Indonesia*, Mochamad Yuga Pratama)

Gambar sebelah kiri menunjukkan konfigurasi penempatan pulser (*pick-up coil*) yang terdapat pada bagian luar lingkaran plat *sitting* magnet. Pada skema diatas pulser diidentifikasi dengan huruf B. Pulser akan membaca tonjolan (*pulse*) yang digambarkan dengan warna abu-abu. Gambar sebelah kanan merupakan sinyal yang terbaca menggunakan *oscilloscope* pada output pulser setelah satu putaran magnet (3600) yang akan dibaca oleh CDI.



Gambar 2.12. Skema sistem pengapian (CDI)

(Sumber : *Cdi Programmable Untuk Kendaraan Sepeda Motor Produksi Massal Di Indonesia*, Mochamad Yuga Pratama)

Dari uraian di atas dapat kita simpulkan bahwa CDI yang kita pasang untuk pengapian sangat berpengaruh pada performa kendaraan yang kita gunakan. Hal ini disebabkan karena dengan penggunaan pengapian yang baik maka pembakaran di dalam ruang bakar akan tuntas dan sempurna sehingga panas yang dihasilkan dari pembakaran akan optimal. Semakin panas hasil pembakaran di ruang bakar artinya semakin besar ledakan yang dihasilkan dari campuran gas di ruang bakar sehingga menghasilkan energi gerak yang besar pula di mesin. Panas di sini adalah panas yang dihasilkan murni dari ledakan campuran gas bakar, bukan karena gesekan antar komponen didalam ruang bakar. Dengan kata lain panas yang dimaksudkan adalah panas ideal yang dapat dihasilkan dari pembakaran campuran gas bakar dengan energi dari sistem pengapian yang digunakan.

Besarnya energi ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar untuk menghitung energi kapasitor yaitu :

$$E = \frac{1}{2} C V^2$$

E=energi (Joule)

C=kapasitor (Farad)

V=tegangan(Volt)

Energi inilah yang akan dikirimkan ke busi melalui koil yang kemudian akan digunakan untuk memantik campuran gas di ruang bakar. Oleh karena itu semakin besar energi ini, semakin kuat pengapian yang dihasilkan oleh busi.

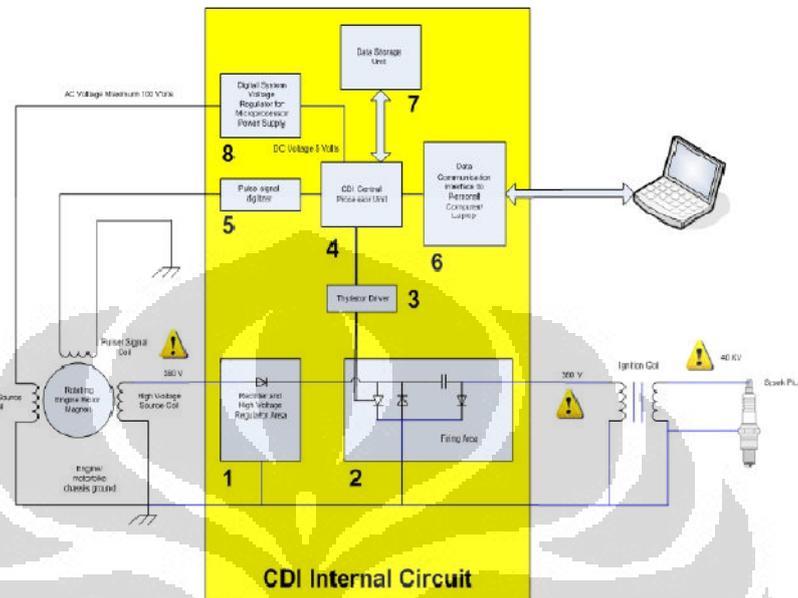
Pada zaman sekarang sudah banyak CDI digital berkembang. *Digital CDI* adalah sistem pengapian *CDI* yang dikendalikan oleh *microcomputer* agar *Ignition Timing* (waktu pengapian) yang dihasilkan sangat presisi dan stabil sampai *RPM* tinggi. Akibatnya pembakaran lebih sempurna dan hemat bahan bakar, serta tenaga yang dihasilkan akan sangat stabil dan besar mulai dari putaran rendah sampai putaran tinggi.

Secara garis besar, jenis *CDI programmable* tergantung pada sistem kelistrikan sepeda motor terbagi menjadi 2, yaitu AC Programmable CDI dan DC Programmable CDI.

1. AC (Alternate Current) Programmable CDI

Sistem kelistrikan AC pada sepeda motor berarti kelistrikan yang dihasilkan oleh sepul semuanya akan digunakan untuk perangkat kelistrikan dan pengapian pada sepeda motor. Sistem kelistrikan AC akan menghasilkan tegangan yang naik turun tergantung putaran mesin. Tegangan yang dihasilkan akan melalui filter berupa regulator yang akan membatasi tegangan jika melebihi tegangan yang seharusnya. Akumulator hanya menjadi penyimpan tegangan sementara jika sistem kelistrikan kekurangan tegangan untuk menghidupkan

perangkat kelistrikan yang terdapat pada sepeda motor, sehingga sepeda motor dapat dihidupkan meski tanpa menggunakan akumulator (battery).



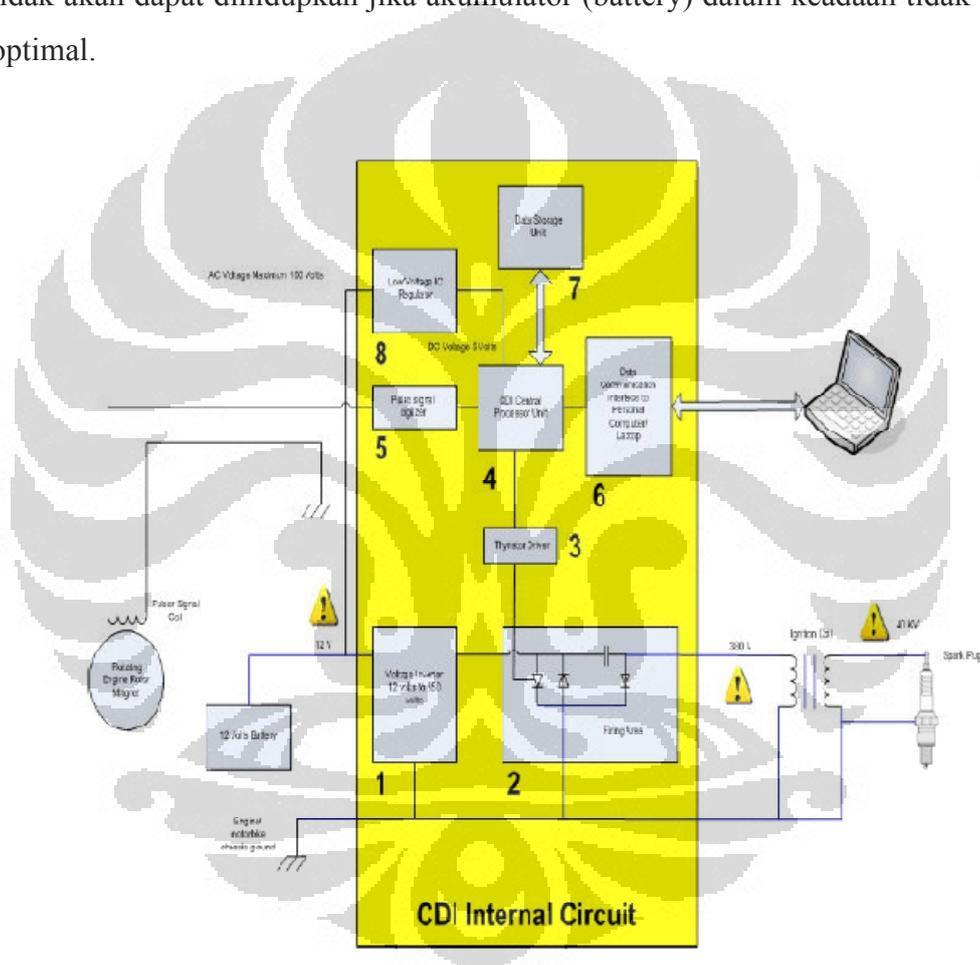
Gambar 2.13. Diagram CDI AC

(Sumber : *Cdi Programmable Untuk Kendaraan Sepeda Motor Produksi Massal Di Indonesia*, Mochamad Yuga Pratama)

CDI Programmable tipe AC memiliki perbedaan dibandingkan yang bertipe DC. CDI AC tidak membutuhkan perhatian lebih terutama masalah tegangan battery jika digunakan untuk keperluan penggunaan kelistrikan yang tidak tergantung pada battery, sangat sesuai untuk sepeda motor dengan karakter lingkungan yang sangat buruk (kotor, panas, lumpur) dan tidak memerlukan perawatan battery. Disisi lain CDI AC memiliki kelemahan, karena sistem pembangkitan daya menggunakan kumparan yang dibangkitkan medan magnet yang diputar crankshaft maka dalam pengukuran di laboratorium menunjukkan gejala pengereman atau pembebanan. Contohnya percobaan dengan motor listrik simulasi (300 watt / 0.40 Hp) untuk kumparan pembangkit terbuka dengan 6000 rpm begitu dibebani CDI AC maka putaran mesin menurun hingga 5800 rpm (round per minute).

2. DC (Direct Current) Programmable CDI

Sistem kelistrikan DC pada sepeda motor berarti kelistrikan yang dihasilkan oleh sepul akan melalui filter berupa kiprok yang akan membatasi tegangan jika melebihi tegangan yang seharusnya dan mengubah tegangan yang dihasilkan sepul yang berupa AC menjadi DC agar bisa digunakan untuk sistem pengisian tegangan untuk akumulator (battery). Akumulator menjadi perangkat yang penting dalam sistem kelistrikan DC karena digunakan untuk menghidupkan perangkat kelistrikan yang terdapat pada sepeda motor, sehingga sepeda motor tidak akan dapat dihidupkan jika akumulator (battery) dalam keadaan tidak baik / optimal.



Gambar 2.14. Gambar diagram CDI DC

(Sumber : *Cdi Programmable Untuk Kendaraan Sepeda Motor Produksi Massal Di Indonesia*,
Mochamad Yuga Pratama)

2.3 Performa Motor Otto

2.3.1 Brake Horse Power

Brake Horse Power, W_b , digunakan untuk menunjukkan bahwa daya yang diukur adalah daya pada poros mesin. Daya ini merupakan daya yang dihasilkan mesin kepada beban-beban (inersia mobil, gesekan udara, dll.). Nilai dari Brake Horse Power lebih sedikit dari daya yang dibangkitkan oleh gas pembakaran didalam silinder. Hal ini dikarenakan terjadinya gesekan mekanik dan bebanbeban tambahan, seperti pompa oli.

Salah satu cara untuk mengukur Brake Horse Power (W_b) adalah dengan meletakkan suatu alat ukur pada poros mesin. Alat yang digunakan adalah elektrik dinamometer, atau brake. Dinamometer mengukur torsi (T), yang dihasilkan oleh mesin pada putaran tertentu. Torsi merupakan besaran yang menyatakan kemampuan mesin untuk melakukan kerja, sedangkan Daya adalah nilai dimana kerja dapat dilakukan. (Sumber : *ANALISA KINERJA MESIN OTTO BERBAHAN BAKAR PREMIUM DENGAN PENAMBAHAN ADITIF OKSIGENAT DAN ADITIF PASARAN, BAMBANG SUGI*)

2.3.2 Emisi Gas Buang

Proses pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar merupakan serangkaian proses kimia yang melibatkan campuran bahan bakar berupa HC dengan oksigen. Proses pembakaran ini menghasilkan empat macam gas buang, berupa CO_2 , CO , NO_x dan HC. Keempat macam gas buang ini terbentuk pada proses pembakaran sempurna dan tidak sempurna. (Sumber : *ANALISA KINERJA MESIN OTTO BERBAHAN BAKAR PREMIUM DENGAN PENAMBAHAN ADITIF OKSIGENAT DAN ADITIF PASARAN, BAMBANG SUGI*)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan rangkaian urutan kegiatan sebagai berikut:

1. Menentukan subjek penelitian
2. Studi literatur
3. Pembuatan sistem pengapian dua busi
4. Instalasi alat uji
5. Eksperimen pengujian

Pengujian dilakukan dalam 3 kategori :

- a. Membandingkan emisi antara penggunaan busi kanan (utama), penggunaan busi sekunder (sekunder) dan penggunaan 2 busi
 - b. Membandingkan tenaga antara penggunaan busi utama, penggunaan busi sekunder dan penggunaan 2 busi
6. Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh serta mengevaluasinya
 7. Mempresentasikan hasil penelitian dalam bentuk grafik-grafik dan kemudian melakukan analisis

3.2. Alat Uji

Pada percobaan ini alat uji yang digunakan adalah:

1. Sepeda motor 100 cc 4 tak

Sepeda motor yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Panjang x lebar x tinggi	: 1.907x702x1.069 mm
Jarak sumbu roda	: 1.234 mm
Jarak terendah ke tanah	: 147 mm
Berat kosong	: 99.4 kg

Tipe rangka	: Tulang punggung
Tipe suspensi depan	: Teleskopik
Tipe suspensi belakang ganda	: Lengan ayun dan peredam kejut
Ukuran ban depan	: 70/90 - 17M/C 38P
Ukuran ban belakang	: 80/90 - 17M/C 44P
Rem depan	: Cakram Hidrolik, Piston ganda
Rem belakang	: Tromol
Kapasitas tangki bahan bakar	: 3,7 liter
Tipe mesin udara	: 4 langkah, SOHC, pendinginan
Diameter x langkah	: 50 x 49,5 mm
Volume langkah	: 97,1 cc
Perbandingan kompresi	: 9,0 : 1
Daya maksimum	: 7,29 PS / 8000 rpm
Torsi maksimum	: 0,74 kgf.m / 6.000 RPM
Kapasitas minyak pelumas mesin	: 0,7 Liter pada penggantian periodik
Gigi transmisi	: 4 kecepatan, bertautan tetap
Pola pengoperan gigi	: N-1-2-3-4-N (rotari)
Aki	: 12 V; 3,5 Ah
Busi C6HSA, C7HSA	: ND U20FS, U22FS-U ; NGK
Sistem pengapian	: Twin Spark AC-CDI
Programmable, Magneto	
Blok Head	: Blok Head dengan 2 busi pengapian
	Busi Kanan (Utama) : 45°

Busi sekunder (sekunder)
: 20°



Gambar 3.1 Penampang blok head

2. Dinamometer

Merk : Dyno Dynamics

Model : Dyno Dynamics 450DS AWD Dynamometer

Spesifikasi

- *Max. Power* (Depan) : 450 kW (600HP)
- *Max. Power* (Belakang) : 450 kW (600HP)
- *Max. Power* gabungan : 900 kW (1200HP)
- Kapasitas Beban : Berat kendaraan 4,500kg (10,000 lbs)
- *Max. Speed* : 250 km/h (150mph)

Perhitungan-perhitungan yang dapat dihasilkan antara lain

1. Tenaga yang dihasilkan
2. *Tractive Effort*
3. Torsi mesin
4. *Air Fuel Ratio* atau lambda
5. Kecepatan roda
6. Kecepatan putaran mesin

Jenis kendaraan yang dapat didiagnosis oleh dinamometer *dynodynamics*

1. *Rear wheel drive*/Tarikan roda belakang (2WD)
2. *Front wheel drive*/ Tarikan roda depan (2WD)
3. Kendaraan FWD/AWD
4. *Recreational vehicles* (RV)
5. Kendaraan balap dengan 2WD/4WD
6. *Sport Utility Vehicles* (SUV)
7. *Light commercial vehicles*
8. Sepeda motor

Menu Transmisi yang dapat dipilih

1. *Rear wheel drive*
2. *Front wheel drive*
3. *All wheel drive*
4. *Locked front:rear* AWD/4WD
5. *Full time* AWD/4WD
6. *Viscous coupled* AWD/4WD
7. *Interlligent European* AWD/4WD

3. *Gas analyzer*

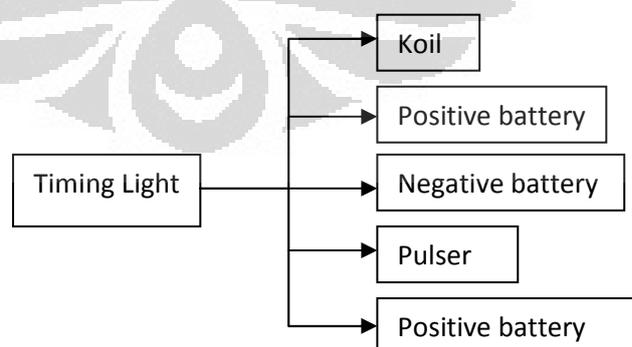
Alat uji emisi yang digunakan adalah tipe 488 plus dari *technotest*.
Spesifikasi *gas analyzer* yang digunakan adalah:

Mains power supply	110/220/240 V ($\pm 15\%$)
	50 \div 60 Hz ($\pm 3\%$)
Measuring range	CO 0 \div 99,9% Vol (res. 0.01)
	CO ₂ 0 \div 19,9% Vol (res. 0.1)
	HC 0 \div 9999 ppm Vol (res.1)
	O ₂ 0 \div 4% Vol. (res.0.01)
	O ₂ 4 \div 25,0% Vol (res. 0.1)

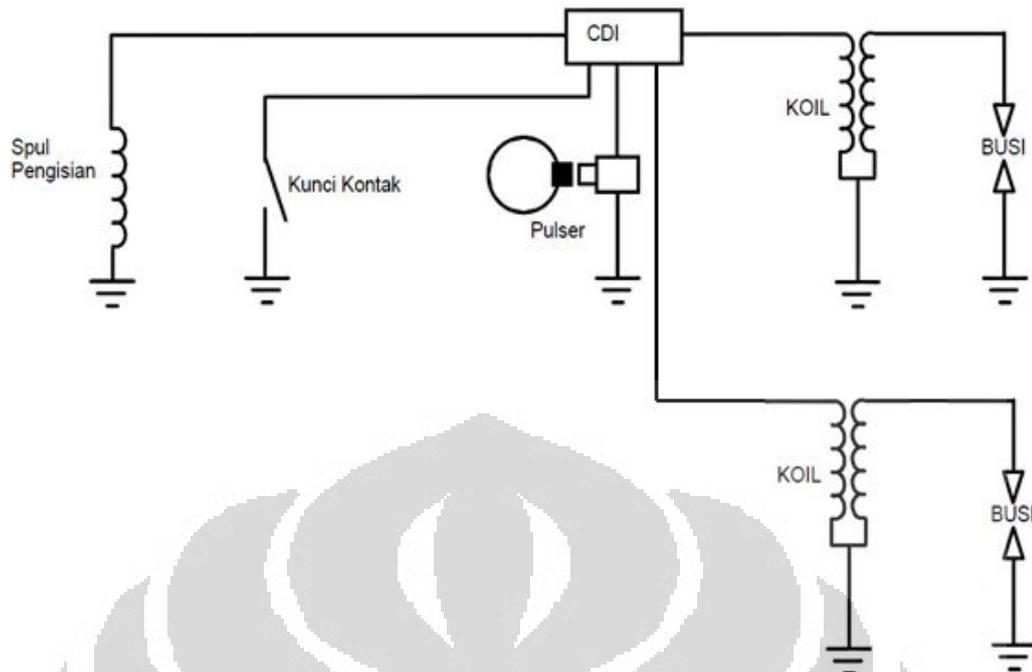
	Nox 0÷2000 ppm Vol (res.5)
	Lambda 0.5÷2,000(res. 0,001)
Induction rpm counter	0÷9990 rpm (res. 10)
Electronic Lambda test	YES
Operating temperature (°C)	5÷40
Measuring gas induction	8 l/min (approx)
Response time	<10sec (probe length 3mt)
Zero setting	Electronic and automatic
Condensate drain	Continuous and automatic
Warm up time	Max 15 min
Serial output	RS232
Dimension	400x180x420 mm
Weight	13.5 kg

3.3. Prosedur Penggunaan Alat Uji

3.3.1. Prosedur pengukuran waktu derajat pengapian



Gambar 3.2. Instalasi timing light



Gambar 3.3 Instalasi kelistrikan pengapian

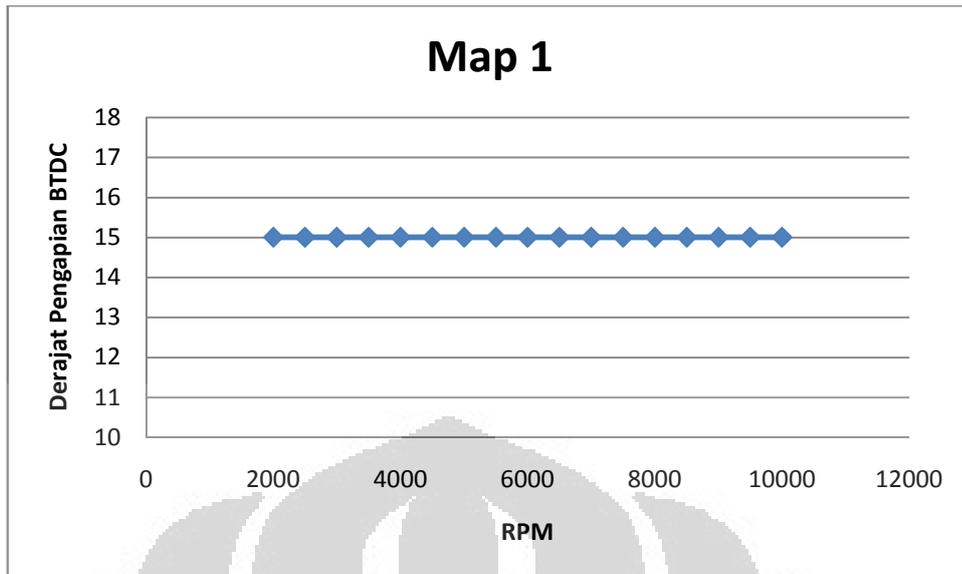
Sebelum melakukan pengujian pada motor bakar, perlu didapatkan posisi derajat pengapian sepeda motor pada saat aktual ketika sepeda motor menyala. Untuk mengukur posisinya yaitu dengan Timing light. Timing light adalah alat untuk mengukur waktu pengapian dan akan menyala sesuai dengan RPM

Prosedur pengukuran posisi derajat waktu pengapian

1. Pasang kelistrikan sesuai dengan gambar 3.3
2. Atur posisi derajat pengapian pada alat timing light
3. Hidupkan motor yang diujikan
4. Arahkan timing light ke rotor magnet
5. Perhatikan rpm pada layar dan posisi rotor magnet pada keadaan top.

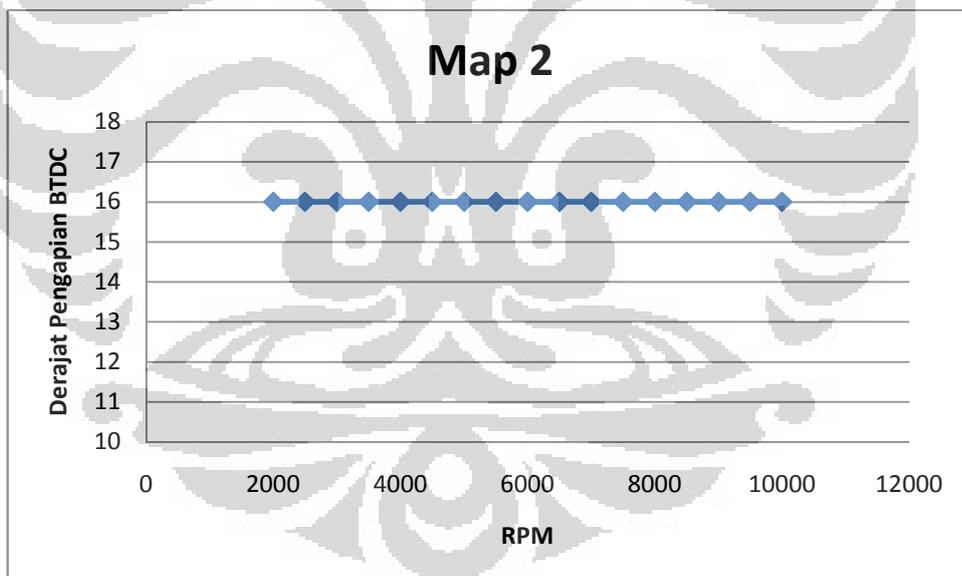
CDI programable diprogram menjadi 2 map pengapian dengan waktu penyalan yang sama ,yaitu:

- Map 1 adalah map standar yang diposisikan pada 15° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2000 sampai 10000

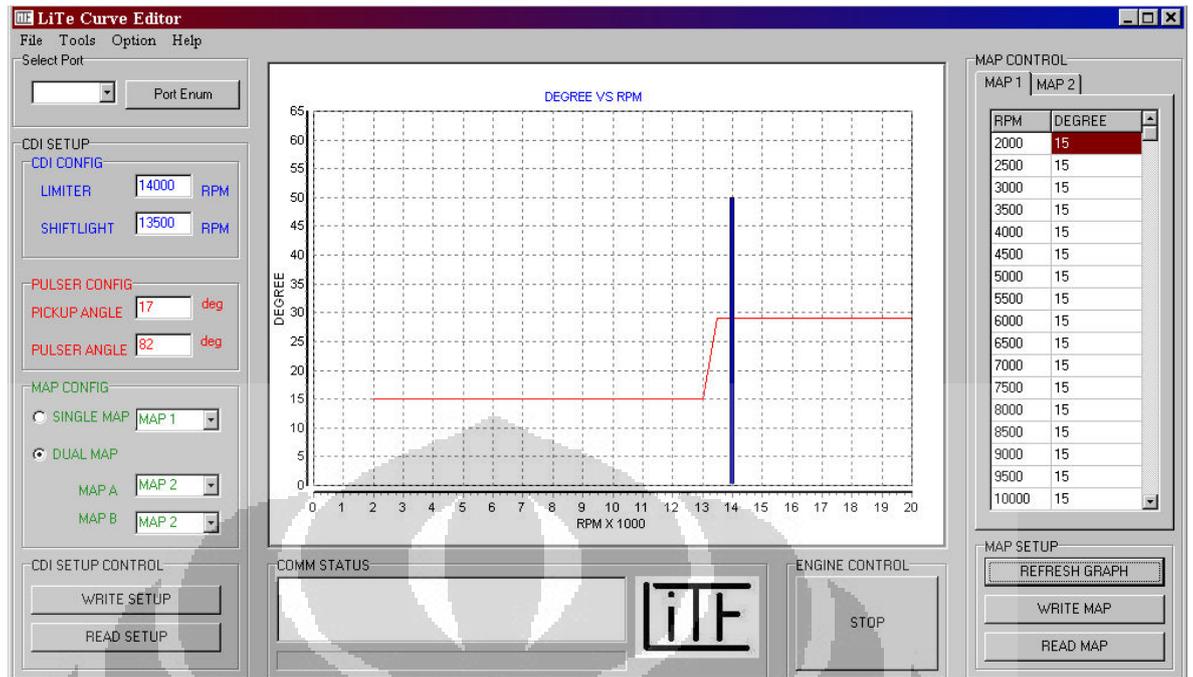


Gambar 3.4 Derajat pengapian map 1

- Map 2 adalah map standar yang diposisikan pada 16° BTDC (*before top dead center*) pada RPM 2000 sampai 10000



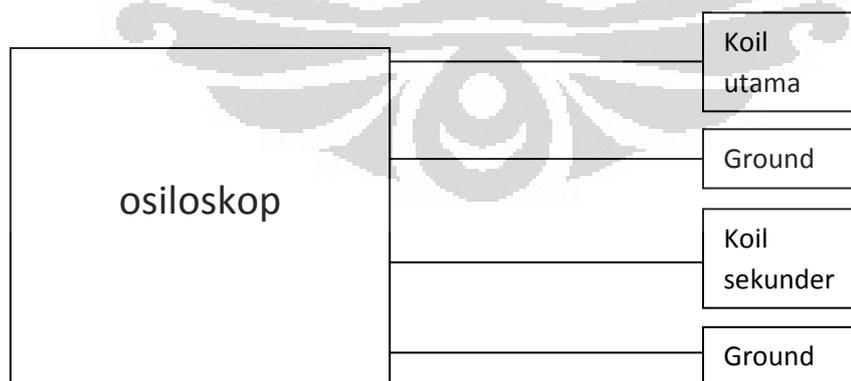
Gambar 3.5 Derajat pengapian map 1



Gambar 3.6 Tampilan program CDI programmable

3.3.2. Prosedur pengukuran jeda waktu pengapian

Selain itu pengukuran waktu jeda pengapian diukur untuk membuktikan waktu pengapian antara busi utama dan busi sekunder memercikkan bunga api dengan waktu yang sama sesuai dengan spesifikasi yang diberikan oleh manufacturer. Alat ukur yang digunakan yaitu oskiloskop

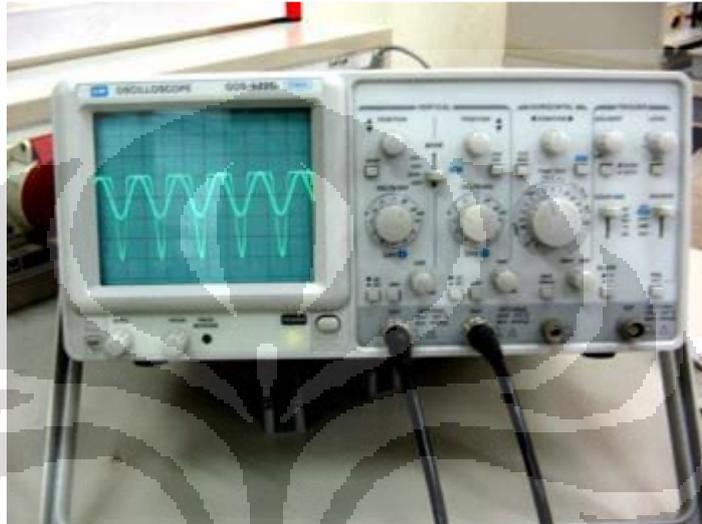


Gambar 3.7. Skema Instalasi Alat Oskiloskop

Prosedur waktu jeda pengapian dengan menggunakan oskiloskop adalah sebagai berikut :

1. Instalasi alat seperti skema gambar 3.7.

2. Sambungkan alat uji dengan sumber listrik
3. Atur tampilan layar hingga menampilkan grafik yang tepat
4. Pasang flashdisk ke alat uji
5. Tunggu sampai 5 detik.
6. Simpan tampilan grafik.



Gambar 3.8 Osiloskop

3.3.3. Prosedur pengukuran dengan dynotest

Pada pengujian performa mesin ini menggunakan alat dynometer untuk bisa melihat performa mesin pada berbagai tingkat kecepatan. Pada pengujian ini juga didapat data konsumsi bahan bakar berdasarkan tingkat kecepatan tersebut. Tahapan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Menaikan sepeda motor ke atas alat uji
2. Mengunci roda depan pada alat uji dan roda belakang tepat berada diatas roller
3. Mengikat bagian belakang
4. Mengecek tekanan ban belakang
5. Beban pengendara di setting seberat 60 Kg
6. Kondisi transmisi motor yang digunakan saat dilakukan pengujian adalah gear 1st.
7. Sepeda motor siap untuk dilakukan pengujian.

3.3.4. Prosedur penggunaan gas analyzer

Tahapan penggunaan alat uji gas analyzer tipe techno test 488 plus adalah sebagai berikut:

1. Menekan tombol on pada bagian belakang alat uji yang kemudian akan muncul angka 01 pada layar RPM
2. Tunggu beberapa saat untuk alat uji melakukan warming up sebelum pengujian.
3. Setelah mesin telah selesai melakukan warming up dan muncul angka 21 pada layar yang merupakan autozero setting,
4. Setelah proses autozero setting selesai, semua layar pada alat uji akan menyala. Jika semua layar telah menyala maka inilah tanda alat uji siap digunakan
5. Masukkan probe gas analyzer pada lubang exhaust motor
6. Pasang clamp pada selang busi untuk mengetahui RPM pada mesin
7. Baca hasil pengukuran yang tertera pada layar.

3.4. Prosedur Pengambilan Data

3.4.1. Prosedur pengambilan data dynotest

Pengujian ini menggunakan alat Dinamometer *Dyno Dynamics*. Seluruh pengambilan data dilakukan di atas mesin *dyno test* di mana terlebih dahulu kita harus memposisikan sepeda motor tepat diatas bantalan *roller* yang telah ditentukan. Pengambilan data ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu :

- a. Menguji kendaraan dengan busi kanan (utama) map pengapian standar
- b. Menguji kendaraan dengan busi sekunder (sekunder) map pengapian standar
- c. Menguji kendaraan dengan 2 busi dengan map pengapian standar
- d. Menguji kendaraan dengan busi kanan (utama) map pengapian maju 1°
- e. Menguji kendaraan dengan busi sekunder (sekunder) map pengapian maju 1°
- f. Menguji kendaraan dengan 2 busi dengan map pengapian 1°

Pengujian dengan menggunakan *dynamometer* dilakukan pada *1st gear* dengan RPM 3000 sampai 9500 RPM. Dari pengujian ini dapat diketahui basar

daya, torsi kendaraan, dan konsumsi bahan bakar. Setiap tahap pada pengujian ini dilakukan minimal 4 kali pengetesan untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

3.4.2. Prosedur pengambilan data gas analyzer

Pada proses pengambilan data untuk emisi gas buang adalah setelah probe untuk gas analyzer dimasukkan kedalam kemudia pada layar alat uji akan muncul nilai dari setiap data yang akan diambil. Kemudia gas mulai dibuka agar tercapai kondisi RPM yang diinginkan. Setelah nilai RPM tercapai dan stabil kemudiam dilakukan proses pengambilan data.

Proses pengambilan data emisi gas buang dilakukan beberapa tahap yaitu :

- a. Menguji kendaraan dengan busi utama map pengapian standar
- b. Menguji kendaraan dengan busi sekunder map pengapian standar
- c. Menguji kendaraan dengan 2 busi dengan map pengapian standar
- d. Menguji kendaraan dengan busi utama map pengapian maju 1°
- e. Menguji kendaraan dengan busi sekunder map pengapian maju 1°
- f. Menguji kendaraan dengan 2 busi dengan map pengapian 1°

Pengujian dengan menggunakan *gas analyzer* dilakukan pada *netral* gear dengan RPM 2000 sampai 7000 RPM. Dari pengujian ini dapat diketahui emisi gas buang. Setiap tahap pada pengujian ini dilakukan minimal 3 kali pengetesan untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

BAB 4 HASIL PERCOBAAN DAN ANALISIS

Pengujian penerapan penggunaan 2 busi bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyalaan 2 busi tersebut pada ruang bakar motor bakar 4 langkah. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari beberapa parameter berikut yaitu:

1. Emisi gas buang yang dihasilkan setelah menggunakan penyalaan 2 busi
2. Daya keluaran dan torsi yang dihasilkan setelah menggunakan penyalaan 2 busi

4.1. Data Emisi Gas Buang

4.1.1 Data emisi gas buang dengan 1 busi utama map 1

Data emisi gas buang yang diambil ada 4 jenis yaitu HC, CO, CO₂ dan O₂.

Berikut ini data hasil percobaan emis gas buang 1 busi utama map 1 :

Tabel 4.1 Data hasil emisi gas buang dengan 1 busi utama map 1

Busi Utama map 1				
RPM	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)
2000	1.92	2.5	336	15.5
2500	2.32	2.5	285	15.1
3000	2.76	2.8	273	14.5
3500	3.01	3	249	14
4000	2.97	2.9	245	14.1
4500	2.75	2.9	211	14.3
5000	2.62	3	168	14.3
5500	2.79	3.1	156	14.1
6000	2.75	3.1	153	14
6500	3.22	3	153	13.9
7000	3.03	3.2	130	13.7

Sumber : Data olahan

Data emisi yang diambil dengan perubahan kenaikan rpm. Data diambil setiap kenaikan 500 rpm. Karena angka pada layar fluktuatif, maka pengambilan data menggunakan foto sehingga data yang diambil terjadi pada 1 waktu.

4.1.2 Data emisi gas buang dengan 1 busi sekunder map 1

Berikut ini data hasil percobaan dengan 1 busi sekunder map 1 yaitu :

Tabel 4.2 Data hasil emisi gas buang dengan 1 busi sekunder map 1

Busi sekunder map 1				
RPM	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)	O2 (%)
2000	2.22	2.6	289	15.2
2500	2.42	2.7	264	15
3000	2.75	2.8	252	14.3
3500	2.85	2.9	235	14.1
4000	3.11	3	200	14.2
4500	3.32	2.9	197	14.3
5000	3.32	2.8	170	13.8
5500	3.51	2.8	162	14
6000	3.49	2.9	155	13.8
6500	3.3	2.8	140	13.7
7000	3.36	2.9	136	13.8

Sumber : Data olahan

Data diambil setiap kenaikan 500 rpm. Hasil data yang diambil menggunakan pembulatan rpm dan menggunakan toleransi ± 100 rpm.

4.1.3 Data emisi gas buang dengan 2 busi map 1

Berikut ini data hasil percobaan dengan penyalaan 2 busi map 1 yaitu :

Tabel 4.3 Data hasil emisi gas buang dengan 2 busi map 1

2 Busi Map 1				
RPM	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)	O2 (%)
2000	1.84	2.4	311	14.5
2500	2.3	2.5	257	14.4
3000	2.63	2.7	252	14.3
3500	2.89	2.9	241	14.3
4000	2.75	2.7	198	14.2
4500	2.62	2.8	183	14
5000	2.74	3	157	13.8
5500	2.62	3	150	13.8
6000	2.59	2.9	163	14
6500	2.7	3	139	13.9
7000	3.05	3	133	13.8

Sumber : Data olahan

Pengambilan data dengan menaikkan rpm setiap 500 rpm

4.1.4 Data emisi gas buang dengan 1 busi utama map 2

Berikut ini data hasil percobaan dengan 1 busi utama map 2 yaitu :

Tabel 4.4 Data hasil emisi gas buang dengan 1 busi utama map 2

Busi utama map 2				
RPM	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)	O2 (%)
2000	1.87	2.3	424	15.9
2500	2.49	2.4	330	15.2
3000	2.79	2.5	300	14.8
3500	3.17	2.7	308	14.3
4000	3.18	2.5	290	14.4
4500	3.05	2.7	247	14.3
5000	3.22	2.8	237	14.2
5500	3.14	2.8	192	14.2
6000	3.06	2.8	177	14.3
6500	3.14	2.9	158	13.9
7000	3.2	3.1	148	14

Sumber : Data olahan

4.1.5 Data emisi gas buang dengan 1 busi sekunder map 2

Berikut ini data hasil percobaan dengan 1 busi utama map 2 yaitu :

Tabel 4.5 Data hasil emisi gas buang dengan 1 busi utama map 2

Busi sekunder map 2				
RPM	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)	O2 (%)
2000	1.84	2.3	250	15.9
2500	2.02	2.4	256	15.8
3000	2.24	2.5	265	15.8
3500	2.75	2.9	224	14.5
4000	2.63	2.6	223	14.5
4500	2.58	2.4	182	14.8
5000	2.52	2.5	182	14.8
5500	2.4	2.6	163	14.7
6000	2.1	2.6	156	14.9
6500	2.54	3	158	14.6
7000	2.33	3.1	151	14.6

Sumber : Data olahan

4.1.6 Data emisi gas buang dengan 2 busi map 2

Berikut ini data hasil percobaan dengan 2 busi map 2 yaitu :

Tabel 4.6 Data hasil emisi gas buang dengan 1 busi utama map 2

2 busi map 2				
RPM	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)
2000	1.65	2.1	315	16.5
2500	2.11	2.1	297	16.1
3000	2.63	2.3	260	15.4
3500	2.75	2.3	264	16.3
4000	2.75	2.1	266	15.4
4500	2.59	2.2	293	15.5
5000	2.59	2.1	183	15.6
5500	1.89	1.7	127	16.8
6000	1.83	1.7	122	16.9
6500	2	1.8	121	16.6
7000	2.02	1.9	107	16.4

Sumber : Data olahan

4.2. Data Daya Keluaran

4.2.1 Data daya keluaran dengan 1 busi utama map 1

Berikut ini hasil percobaan dengan 1 busi utama map 1 :

Tabel 4.7 Data hasil uji *dynotest* dengan 1 busi utama map 1

Busi Utama map 1						
Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temperatur (°C)	Air/Fuel (Petrol)	Lambda (petrol)
14	4146	2.7	114	32.9	14	0.96
16	4738	3	114	33	13.3	0.91
18	5330	3.5	117	33	13.2	0.91
20	5922	3.9	118	33	13	0.89
22	6514	4.2	114	32.9	12.5	0.86
24	7107	4.2	115	33	12.5	0.86
26	7699	3.9	89	33.1	12.3	0.84

Sumber : data olahan

4.2.2 Data daya keluaran dengan 1 busi sekunder map 1

Berikut ini hasil percobaan dengan 1 busi sekunder map 1 :

Tabel 4.8 Data hasil uji *dynotest* dengan 1 busi sekunder map 1

Busi sekunder map 1						
Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temperatur (°C)	Air/Fuel (Petrol)	Lambda (petrol)
14	4146	2.6	112	33	13.5	0.93
16	4738	2.9	110	33	13.2	0.91
18	5330	3.5	116	33	13.3	0.91
20	5922	3.9	116	33	13	0.9
22	6514	4	110	33	12.5	0.86
24	7107	4	110	33	12.6	0.87

Sumber : Data olahan

4.2.3 Data daya keluaran dengan 2 busi

Berikut ini hasil percobaan dengan 2 busi map 1 :

Tabel 4.9 Data hasil uji *dynotest* dengan 2 busi map 1

2 Busi map 1						
Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temperatur (°C)	Air/Fuel (Petrol)	Lambda (petrol)
14	4146	2.7	115	32.9	13.5	0.93
16	4738	3.1	117	33	13.1	0.9
18	5330	3.6	121	33	13.2	0.91
20	5922	4	120	33	12.9	0.89
22	6514	4.2	116	33	12.3	0.85
24	7107	4.3	108	32.9	12.3	0.85
26	7699	4	93	33	12.2	0.84

Sumber : Data olahan

4.2.4 Data daya keluaran dengan 1 busi utama map 2

Berikut ini hasil percobaan dengan 1 busi utama map 2 :

Tabel 4.10 Data hasil uji *dynotest* dengan 1 busi utama map 2

1 Busi Utama map 2						
Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temperatur (°C)	Air/Fuel (Petrol)	Lambda (petrol)
14	4146	2.7	116	32.6	13.9	0.95
16	4738	3.1	116	32.5	13.3	0.91
18	5330	3.6	120	32.5	13.2	0.91
20	5922	4	121	32.5	12.9	0.89
22	6514	4.3	117	32.6	12.5	0.86
24	7107	4.3	108	32.6	12.4	0.85
26	7699	4.1	95	32.6	12.2	0.84

Sumber : Data olahan

4.2.5 Data daya keluaran dengan 1 busi sekunder map 2

Berikut ini hasil percobaan dengan 1 busi sekunder map 2 :

Tabel 4.11 Data hasil uji *dynotest* dengan 1 busi sekunder map 2

1 Busi sekunder map 2						
Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temperatur (°C)	Air/Fuel (Petrol)	Lambda (petrol)
14	4146	2.6	110	33	13.6	0.93
16	4738	3	111	33	13.3	0.92
18	5330	3.5	117	33	13.3	0.91
20	5922	3.9	116	33.1	13	0.9
22	6514	4.1	113	33.1	12.6	0.87
24	7107	4.2	105	33	12.7	0.87
26	7699	3.7	85	33	12.4	0.85

Sumber : Data olahan

4.2.5 Data daya keluaran dengan 2 busi map 2

Berikut ini hasil percobaan dengan 2 busi map 2 :

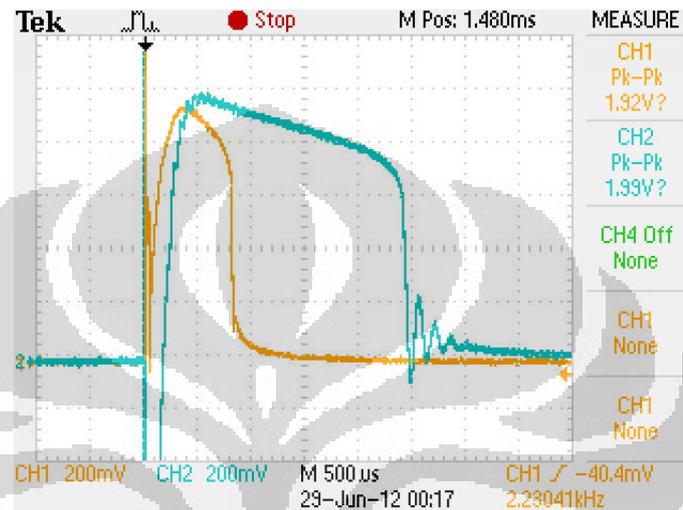
Tabel 4.12 Data hasil uji *dynotest* dengan 2 busi map 2

2 Busi map 2						
Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temperatur (°C)	Air/Fuel (Petrol)	Lambda (petrol)
14	4146	2.7	116	13.6	13.6	0.94
16	4738	3.1	118	13.2	13.2	0.9
18	5330	3.6	122	13.2	13.2	0.91
20	5922	4.1	122	12.9	12.9	0.88
22	6514	4.3	117	12.3	12.3	0.84
24	7107	4.3	109	12.4	12.4	0.85
26	7699	4.1	95	12.2	12.2	0.84

Sumber : Data Olahan

4.3. Jeda Waktu Pengapian

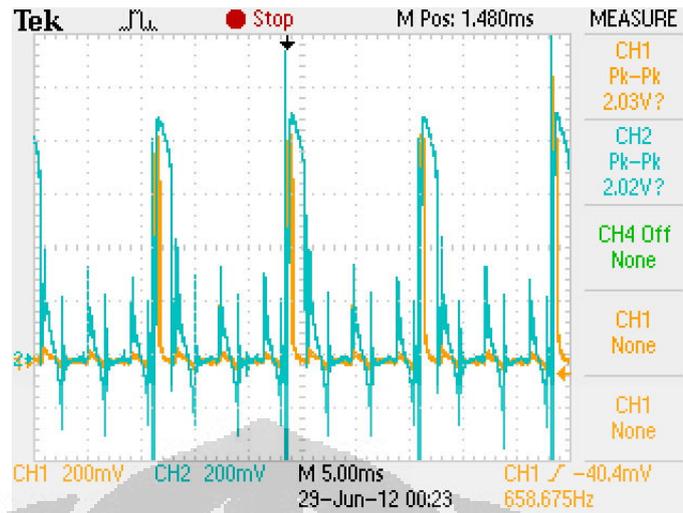
Pengukuran jeda waktu pengapian diperlukan untuk mengetahui kapan waktu penyalaan kedua busi dan lamanya penyalaan. Alat oskiloskop digunakan dalam pengambilan data ini. Berikut ini hasil dari data yang telah didapatkan :



Gambar 4.1 Grafik pengukuran jeda waktu pada putaran 1300 rpm

Pada grafik 4.1 menunjukkan waktu penyalaan kedua busi pada putaran rendah yaitu sekitar 1300 rpm. Dari grafik menunjukkan waktu penyalaan kedua busi menyala pada waktu yang sama. Namun lama waktu penyalaan kedua busi berbeda.

Penyalaan busi utama lebih lama dibandingkan dengan penyalaan busi sekunder. Penyalaan busi utama yaitu sekitar 2500 μs dan penyalaan busi sekunder yaitu sekitar 800 μs .



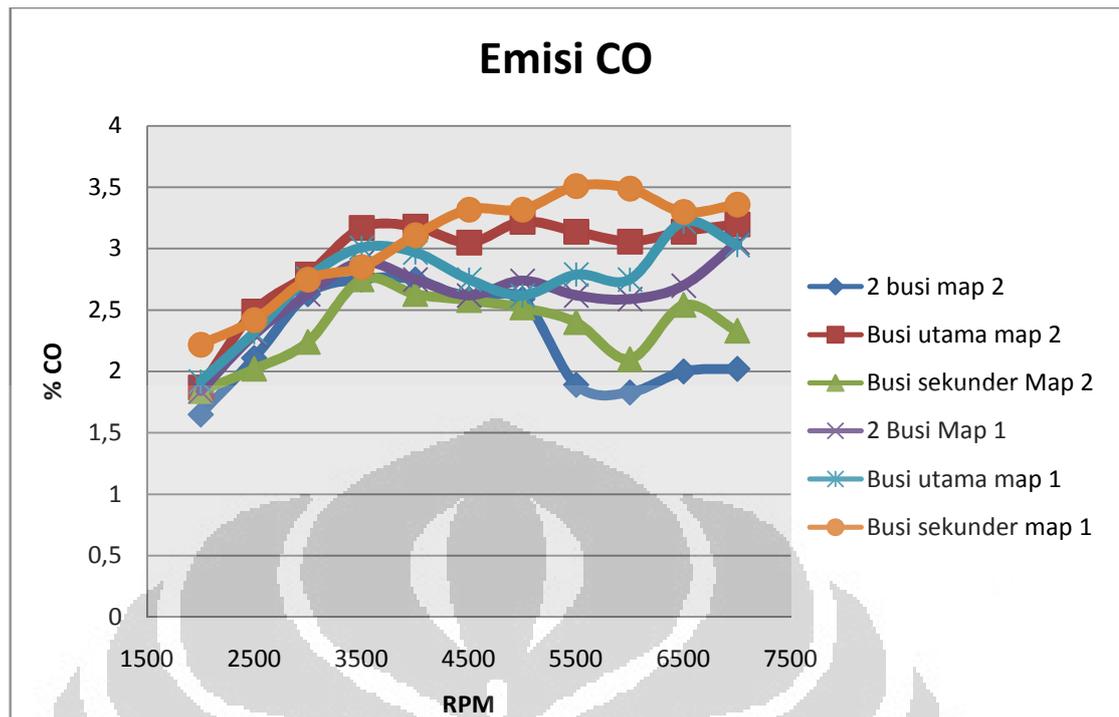
Gambar 4.2 Grafik pengukuran jeda waktu pada 5000 rpm

Pada grafik 4.2 menunjukkan pengukuran pada putaran tinggi yaitu sekitar 5000 rpm. Lama penyalaan tetap sama dengan pada putaran mesin rendah yaitu untuk busi utama sekitar 2500 μ s dan untuk busi sekunder sekitar 800 μ s. Putaran mesin tidak mempengaruhi jeda lamanya penyalaan kedua busi.

4.4. Analisis Emisi Gas Buang

4.4.1 Analisis kandungan CO pada gas buang

Gas CO merupakan produk dari hasil proses pembakaran yang tidak sempurna. Gas yang berbahaya untuk manusia Nilai kandungan CO yang semakin tinggi menunjukkan proses pembakaran dalam ruang bakar tidak baik. Kadar CO memiliki kecenderungan meningkat dengan meningkatnya putaran mesin (RPM), hal ini disebabkan putaran mesin tinggi membutuhkan pasokan bahan bakar dan udara yang lebih banyak sehingga produk hasil pembakarannya juga meningkat. Berikut ini grafik hasil pengukuran kandungan CO pada emisi gas buang kendaraan :



Gambar 4.3 Grafik Kandungan Emisi CO

Dari grafik menunjukkan kadar CO menurun dengan penggunaan penyalaan 2 busi. Kadar CO rata-rata paling rendah terjadi pada penggunaan 2 busi dengan map 2. Kadar CO paling rendah terjadi pada RPM sekitar 2000 yaitu 1,65% CO. Kandungan CO paling tinggi yaitu pada 1 busi dengan map 1 yaitu 3,5 % CO.

Pada rpm rendah, emisi CO lebih rendah pada penggunaan 1 busi. Ini dikarenakan campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar tidak sebanyak pada rpm tinggi. Dengan menggunakan 1 percikan api sudah cukup efektif membakar campuran udara dan bahan bakar. Namun pada rpm tinggi yaitu sekitar 5000 rpm ke atas, campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang bakar lebih banyak dan membutuhkan percikan yang cukup. Dari gambar 4.1 menunjukkan penggunaan 2 busi menurunkan kadar CO pada rpm 5000 ke atas. Hal ini menunjukkan penggunaan penyalaan 2 busi memperbaiki proses pembakaran dalam ruang bakar dengan mempercepat durasi pembakaran.

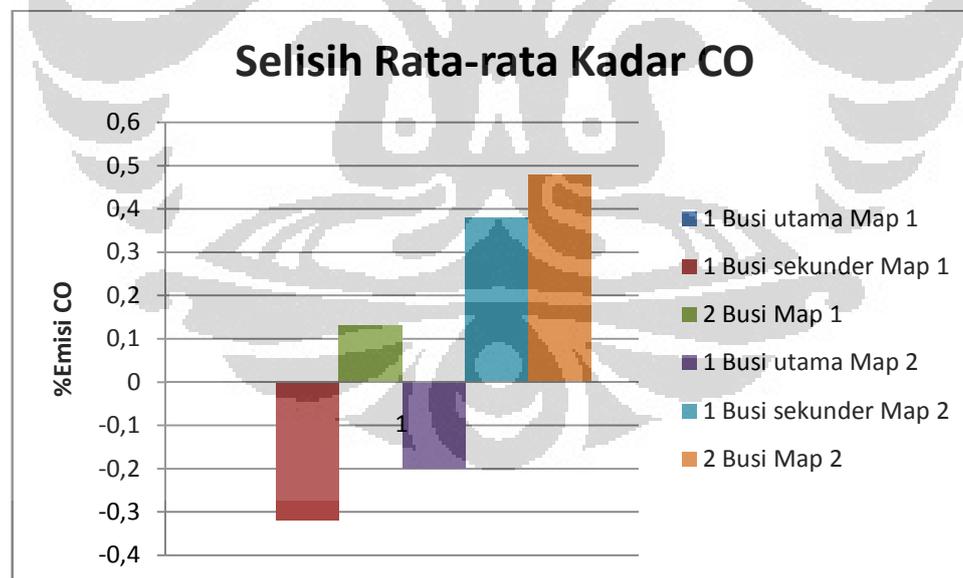
Banyak faktor yang mempengaruhi hasil dari Karakter mesin dan kondisi lingkungan mempengaruhi hasil emisi gas buang. Pengambilan data dilakukan pada saat siang hari sehingga hasil yang didapatkan mendekati kondisi aktual.

Tabel 4.13 Perbandingan kadar CO

Kadar % CO Emisi Gas Buang	Rata-Rata Kadar CO (%)	Penurunan Kadar CO (%)
1 Busi utama Map 1	2.74	0
1 Busi sekunder Map 1	3.06	-0.32
2 Busi Map 1	2.61	0.13
1 Busi utama Map 2	2.94	-0.2
1 Busi sekunder Map 2	2.36	0.38
2 Busi Map 2	2.26	0.48
Persentase Penurunan Kadar CO		17.52%

Sumber : Data Olahan

Dari hasil perhitungan, didapatkan persentase kadar CO dengan penerapan 2 busi yaitu 17.52 %. Penurunan ini cukup signifikan

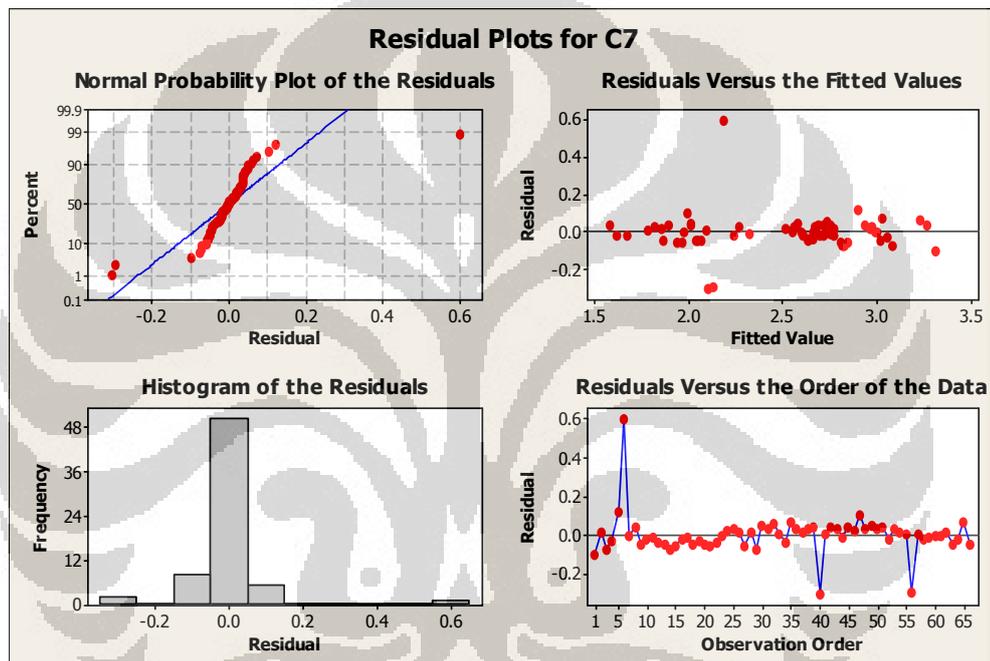


Gambar 4.4 Grafik perbandingan kadar CO dengan standar

Pada tabel dan grafik perbandingan menunjukkan penggunaan 2 busi dapat menurunkan rata-rata kadar CO. Penurunan paling tinggi yaitu terjadi pada penggunaan 2 busi dengan map 2 yaitu sebesar 0,48 % CO. Dengan menurunnya

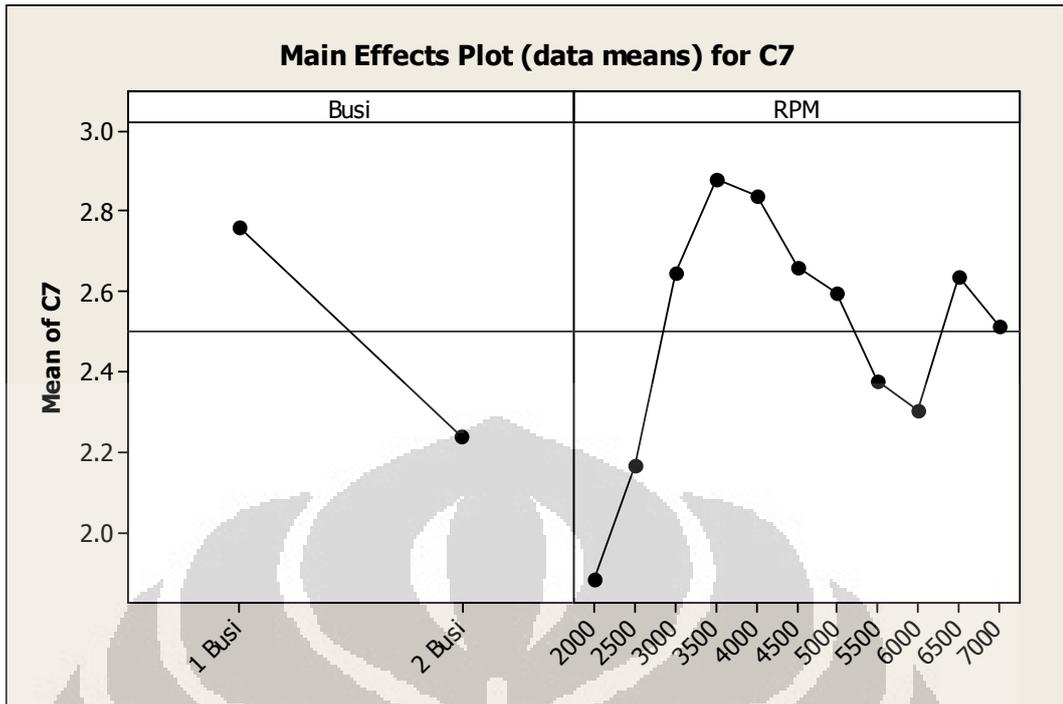
kadar CO menunjukkan penggunaan penyalaan 2 busi dapat berdampak baik untuk pembakaran.

Menaikan derajat pengapian mempengaruhi emisi gas buang CO. Dari gambar 4.4 menunjukkan rata-rata kadar CO lebih kecil menggunakan map 2 dibandingkan dengan menggunakan map 1. Hal ini menunjukkan menaikkan derajat pengapian yaitu memundurkan waktu pengapian menjauhi titik mati atas untuk menambah durasi pembakaran sehingga campuran bahan bakar dan udara terbakar lebih sempurna.

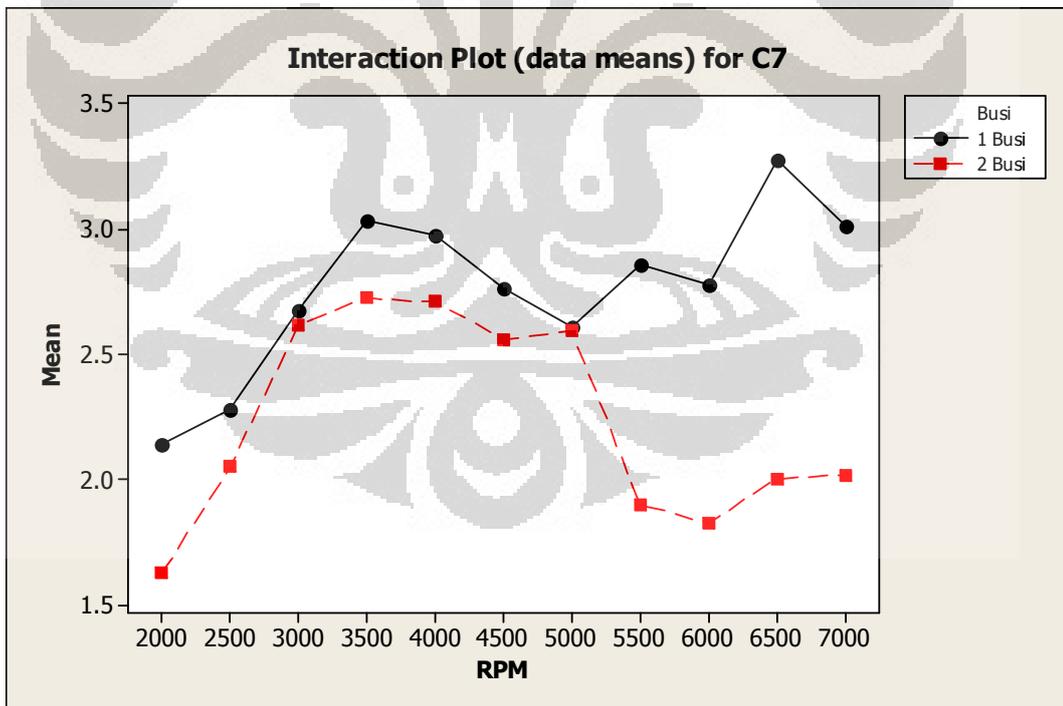


Gambar 4.5 Grafik Residual Plots emisi gas CO

Gambar 4.5 menunjukkan Residual plot dari gas emisi CO dengan kondisi mesin 2 busi map 2 dan busi utama map 1. Dari grafik menunjukkan data yang diambil memiliki simpangan yang kecil sehingga data dapat dibuktikan valid. Pada grafik menunjukkan data yang diambil mendekati garis yang membuktikan data yang diambil sesuai dengan kondisi aktual. Error yang terjadi kecil.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh kondisi mesin dan putaran mesin terhadap emisi CO



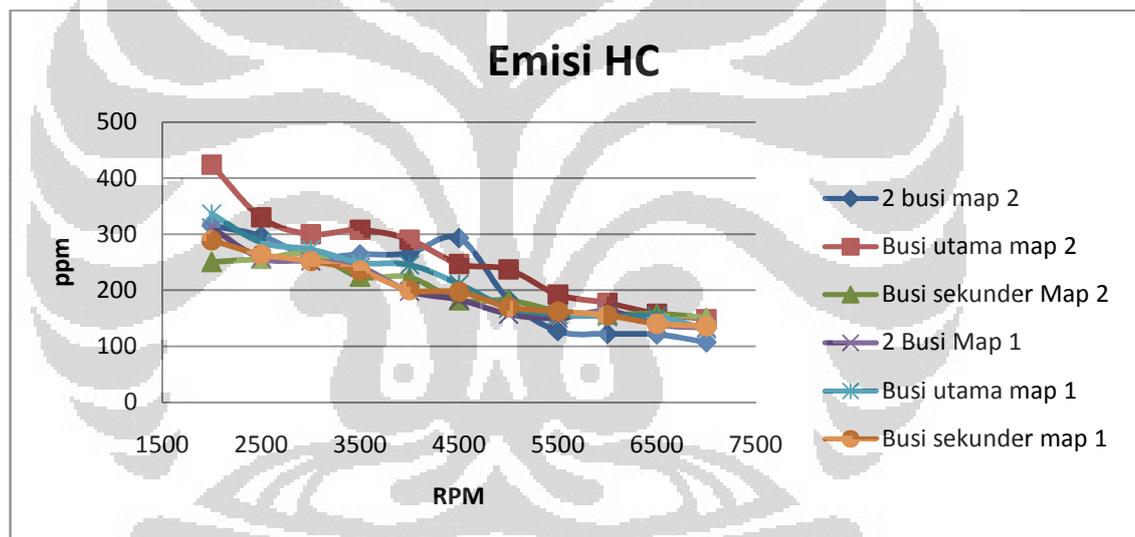
Gambar 4.7 Grafik perbandingan emisi gas CO dengan 2 kondisi mesin berbeda

Gambar 4.6 dan gambar 4.7 menunjukkan penerapan 2 busi dapat menurunkan emisi gas buang CO. Pada putaran mesin rendah sekitar di bawah

5000 rpm, penurunan emisi gas buang CO yang tidak terlalu signifikan. Namun pada putaran mesin diatas 5000 rpm, emisi gas buang CO menurun cukup signifikan. Ini membuktikan penerapan 2 busi dapat memperbaiki kinerja mesin dengan memperbaiki pembakaran yang terjadi.

4.4.2 Analisis kandungan HC pada emisi gas buang

Kandungan HC pada emisi gas buang mengindikasikan banyaknya bahan bakar yang tidak terbakar pada proses pembakaran. Pembakaran yang baik memiliki kadar HC yang rendah. Semakin rendah kadar HC, proses pembakaran yang terjadi semakin mendekati sempurna. Berikut ini hasil percobaan pengambilan data emisi HC :



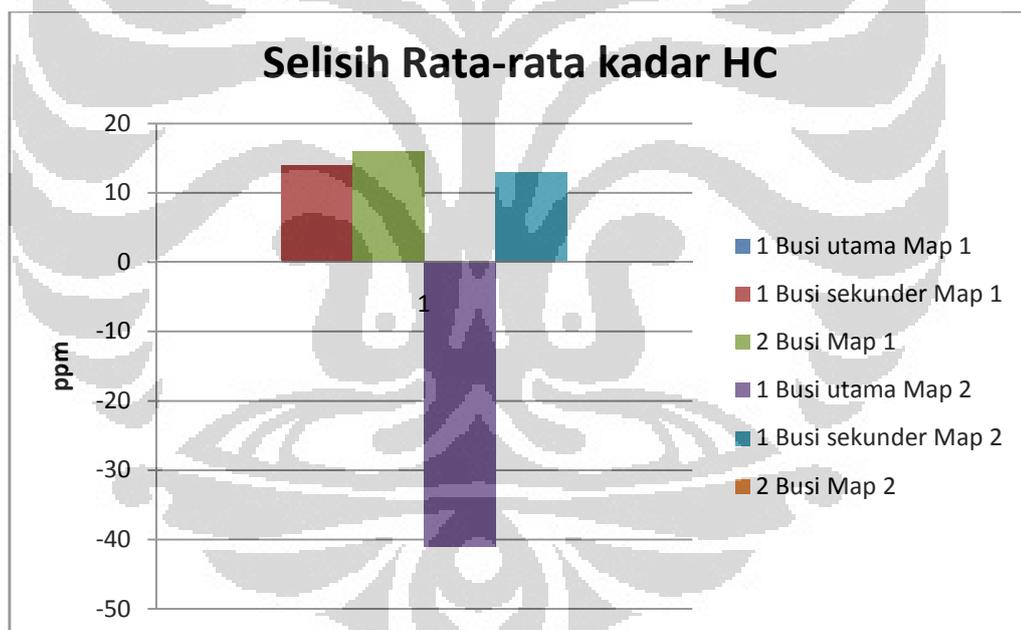
Gambar 4.8 Grafik Kandungan HC

Dari grafik menunjukkan penggunaan penyalaan 2 busi dapat menurunkan kadar HC pada emisi gas buang kendaraan mulai dari rpm 5000. Hal ini menunjukkan penyalaan 2 busi dapat memperbaiki proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar pada rpm tinggi. Hal ini terjadi karena semakin tinggi rpm suplai bahan bakar semakin banyak, kemudian percikan busi yang lebih dibutuhkan. Dari hasil yang telah didapatkan, kadar HC yang paling rendah yaitu pada map 2 dengan penyalaan 2 busi. Pada hasil percobaan kadar HC paling rendah pada RPM sekitar 7000 yaitu 107 ppm. Adapun kadar HC paling tinggi terjadi di 1 busi dengan map 2 pada RPM sekitar 2000 yaitu 424 ppm

Tabel 4.16 Perbandingan Kadar HC

Kadar ppm HC Emisi Gas Buang	Rata-Rata Kadar HC (ppm)	Penurunan Kadar HC (ppm)
1 Busi Utama Map 1	214	0
1 Busi sekunder Map 1	200	14
2 Busi Map 1	198	16
1 Busi Utama Map 2	255	-41
1 Busi sekunder Map 2	201	13
2 Busi Map 2	214	0

Sumber : Data Olahan

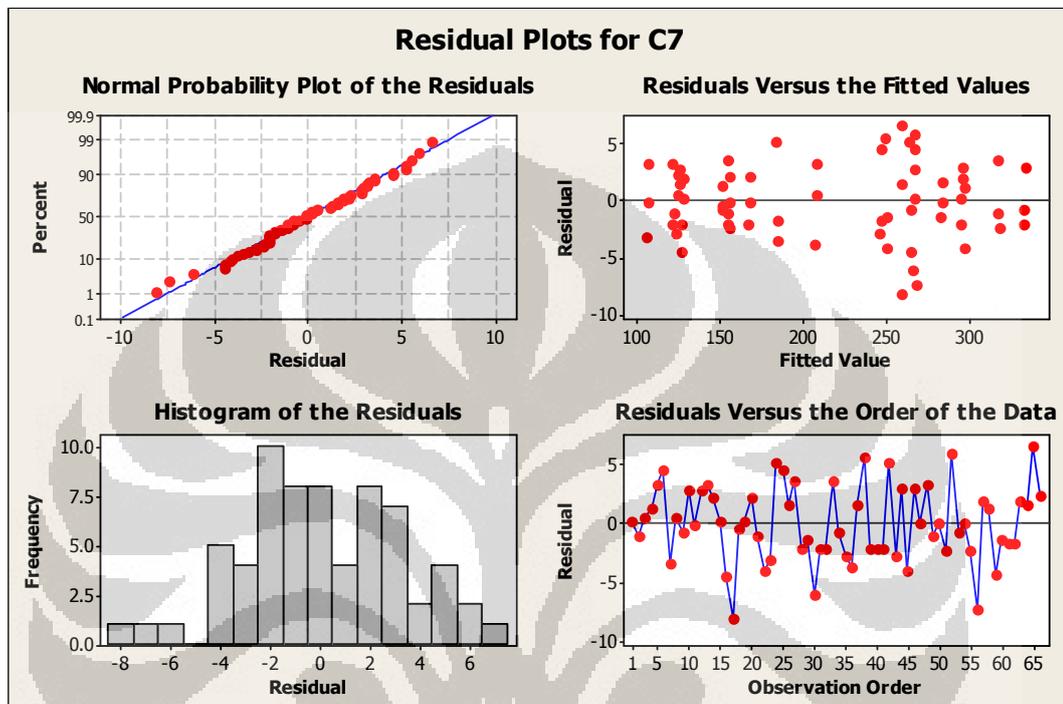


Gambar 4.9 Grafik perbandingan penurunan kadar HC

Dari tabel dan grafik di atas menunjukkan rata-rata emisi HC menurun dengan penggunaan penyalaan 2 busi. Penurunan rata-rata HC paling rendah pada 2 busi dengan map 1 yaitu menurun 16 ppm dari standar.

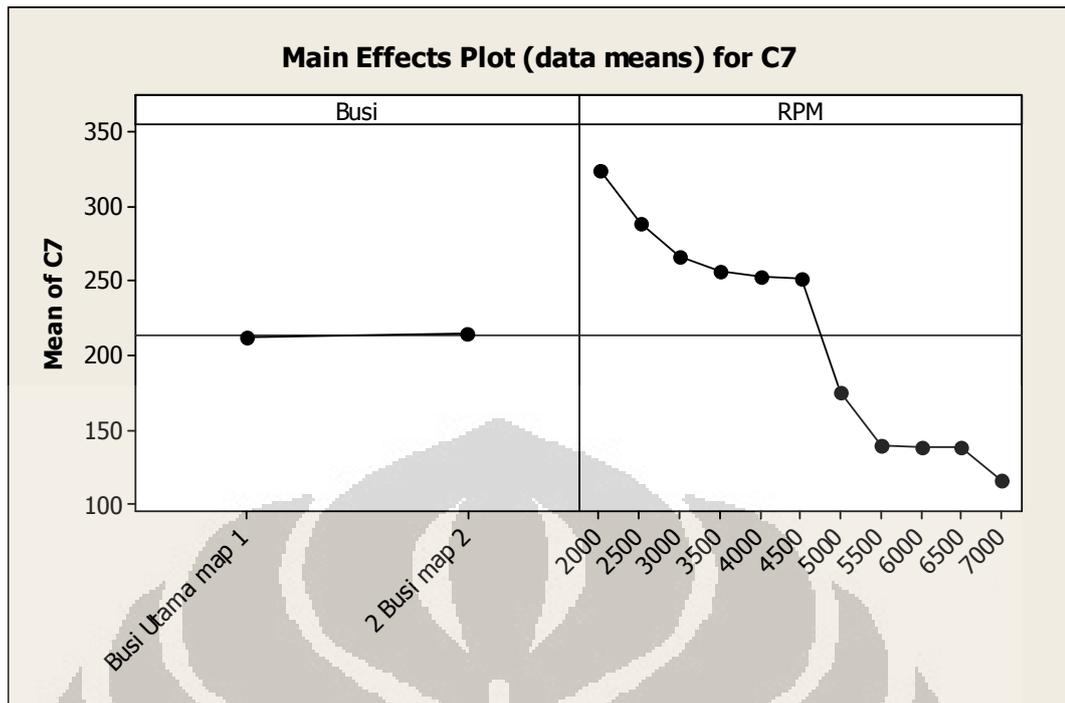
Perbedaan sudut busi antara busi utama dan busi sekunder mempengaruhi hasil emisi HC. Kadar HC menggunakan busi sekunder rata-rata lebih rendah

daripada menggunakan busi utama. Hal ini dikarenakan letak busi lebih dekat dengan katup intake sehingga bahan bakar yang terbakar lebih banyak dan menghasilkan emisi HC yang lebih sedikit.

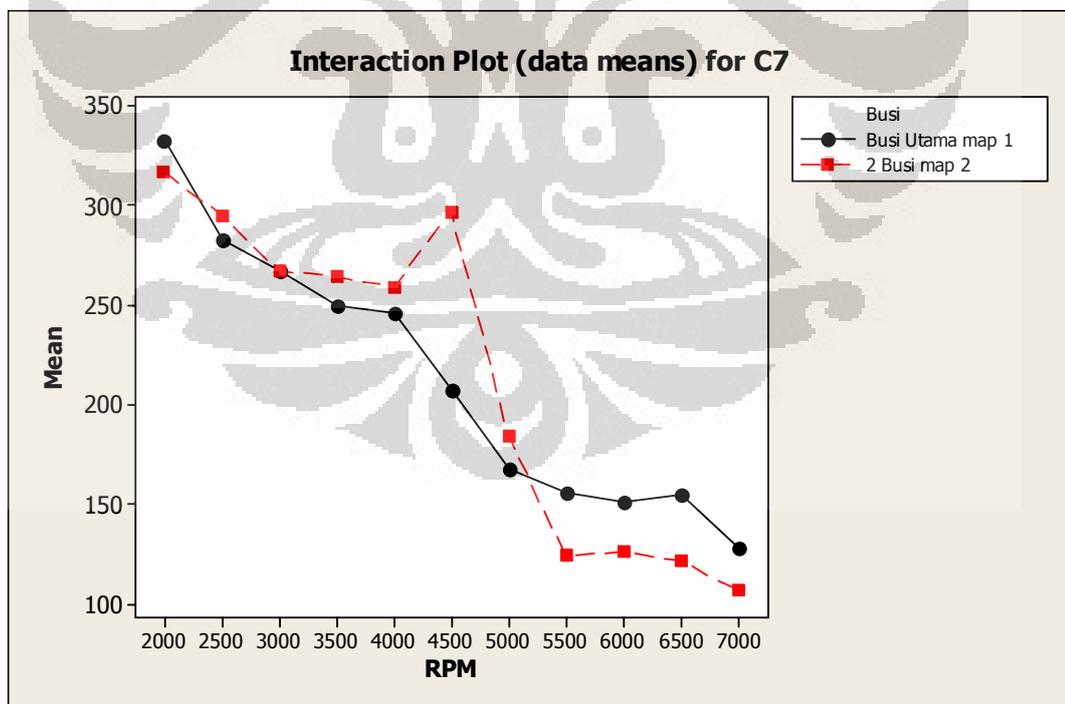


Gambar 4.10 Grafik residual plot dari data emisi gas HC

Gambar 4.10 menunjukkan residual plot dari data emisi gas HC. Dari grafik terlihat data yang diambil jauh dari kondisi idealnya. Hal ini terjadi karena beberapa factor, diantaranya, kerusakan yang terjadi pada alat ukur atau kerusakan terjadi pada alat uji



Gambar 4.11 Grafik pengaruh kondisi mesin dan putaran mesin terhadap emisi gas HC



Gambar 4.12 Grafik perbandingan 2 kondisi mesin pada setiap putaran mesin

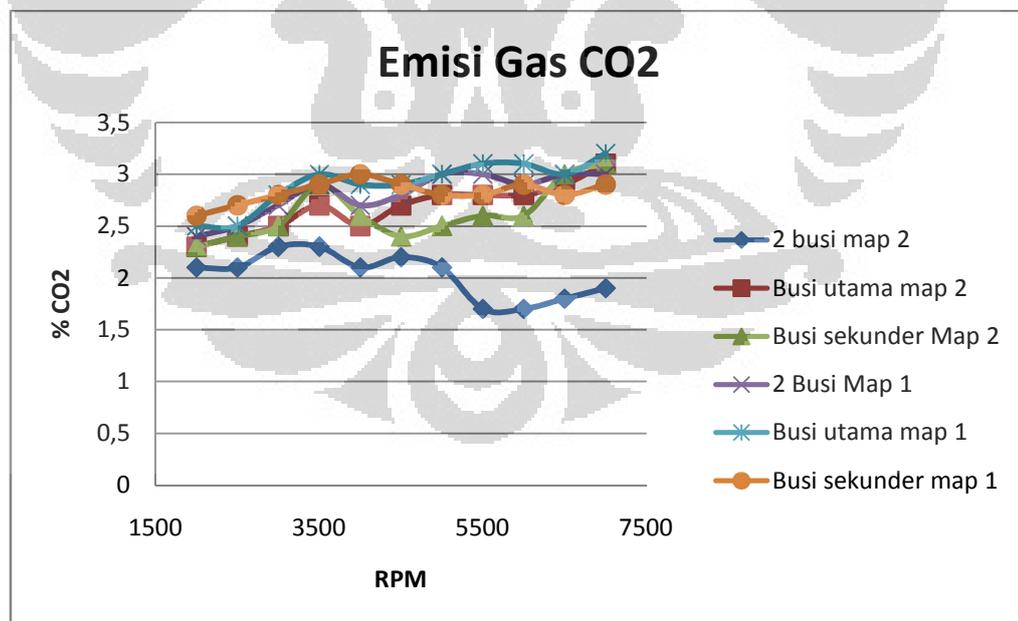
Grafik di atas menunjukkan pengaruh penerapan 2 busi terhadap emisi gas buang dari rata-rata putaran mesin dan setiap putaran mesin. Grafik menunjukkan penerapan 2 busi tidak berpengaruh terhadap emisi gas buang HC. Data yang didapat tidak mendukung teori penerapan 2 busi dapat memperbaiki kinerja mesin. Hal ini terjadi karena kemungkinan kesalahan dalam pengambilan data, kerusakan alat uji atau alat ukur.

4.4.3 Analisis kandungan CO₂ pada emisi gas buang

Gas CO₂ merupakan produk hasil pembakaran sempurna. Pembakaran sempurna menghasilkan gas CO₂ yang tinggi. Semakin tinggi kandungan CO₂ pada emisi gas buang, semakin baik pembakaran yang terjadi.



Dari reaksi pembakaran di atas menunjukkan CO₂ merupakan produk hasil pembakaran sempurna. Oleh karena itu salah 1 indikator pembakaran yang baik yaitu memiliki kandungan CO₂ yang tinggi pada emisi gas buang.



Gambar 4.13 Grafik kandungan CO₂

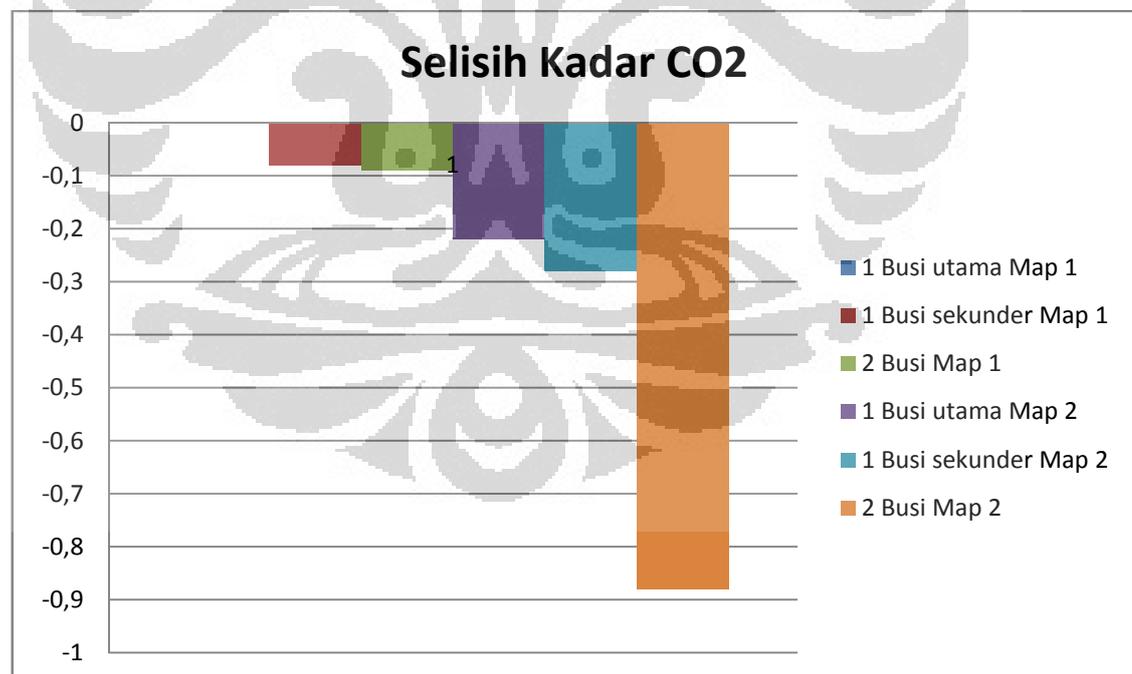
Dari gambar 4.13, kandungan CO₂ dengan penyalaan 2 busi dengan map 2 paling rendah. Hasil grafik emisi gas CO₂ bertentangan dengan grafik HC dan CO

sebelumnya. Pada grafik HC dan CO menunjukkan penyalaan 2 busi dengan map 2 menunjukkan pembakaran yang baik, namun grafik CO₂ menunjukkan kadar yang rendah menunjukkan pembakaran yang terjadi tidak baik.

Tabel 4.17 Selisih kadar CO₂

Kadar % CO ₂ Emisi Gas Buang	Rata-Rata Kadar CO ₂ (%)	Selisih Kadar CO ₂ (%)
1 Busi Utama Map 1	2.9	0
1 Busi sekunder Map 1	2.82	-0.08
2 Busi Map 1	2.81	-0.09
1 Busi Utama Map 2	2.68	-0.22
1 Busi sekunder Map 2	2.62	-0.28
2 Busi Map 2	2.02	-0.88

Sumber : Data Olahan



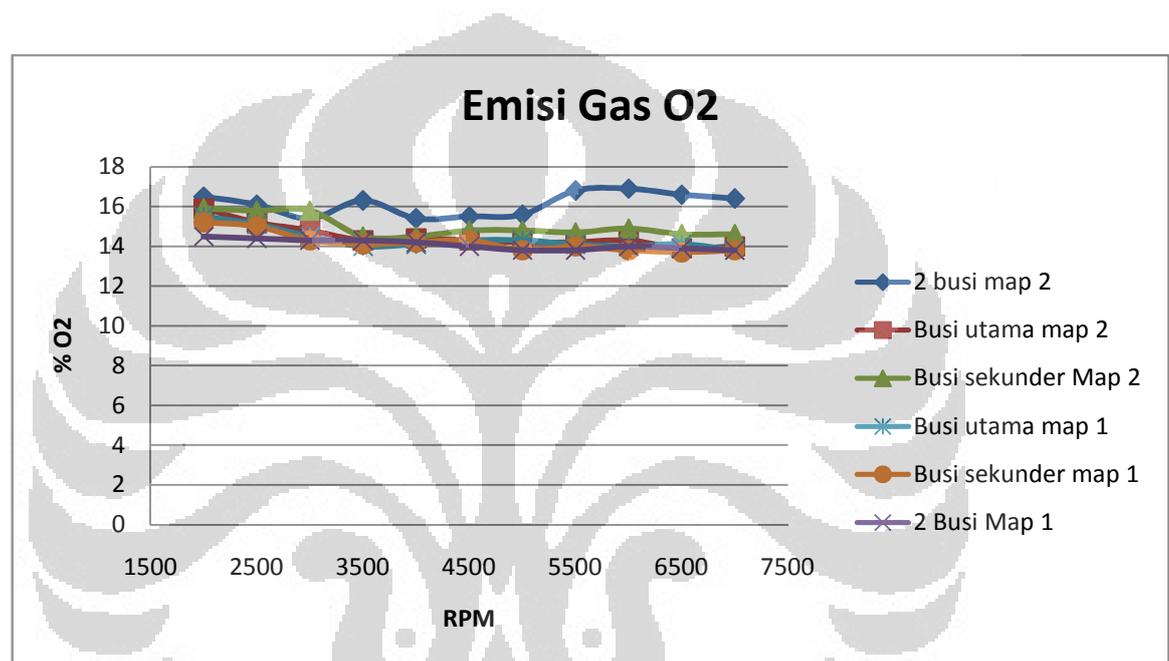
Gambar 4.14 Grafik selisih Kadar CO₂

Rata-rata kadar CO₂ paling baik terjadi pada penggunaan 1 busi utama dengan map 1. Hasil grafik gas buang CO₂ bertentangan dengan grafik HC dan

CO. Kondisi mesin dengan penggunaan 2 busi map 2 memiliki kadar CO₂ yang rendah. Kadar CO₂ rendah terjadi karena kerak di blok mesin sudah pekat

4.4.4 Analisis kandungan O₂ pada emisi gas buang

Gas O₂ yang dihasilkan merupakan sisa dari pereaksi proses pembakaran yang tidak bereaksi. Pembakaran yang baik menghasikan emisi dengan kadar O₂ yang rendah karena O₂ bereaksi dengan bahan bakar.



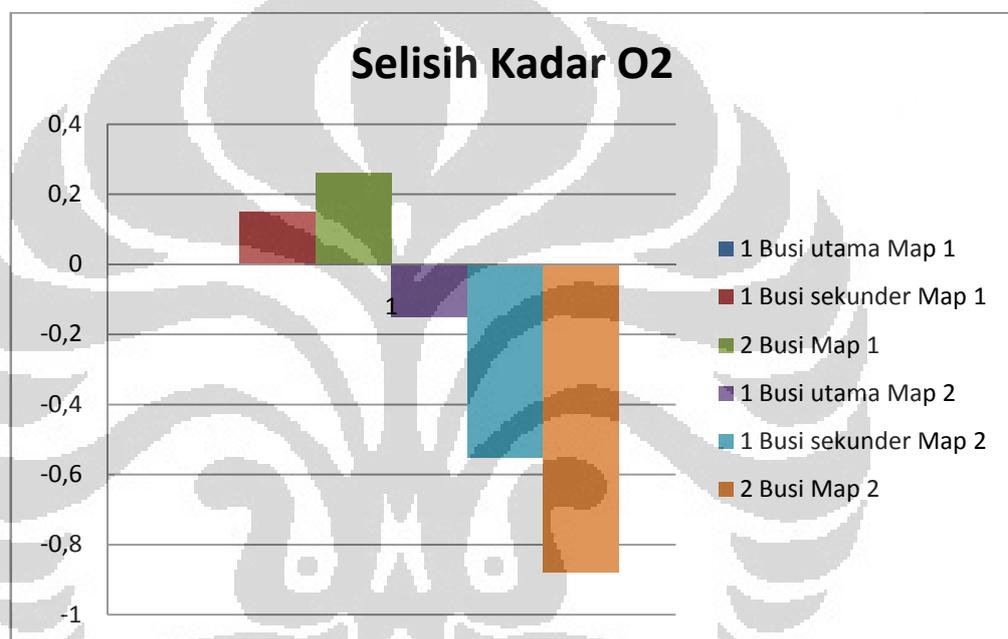
Gambar 4.15 Grafik Emisi gas O₂

Pada Gambar 4.15 menunjukkan emisi O₂ paling rendah terjadi pada penggunaan 2 busi dengan map 1. Hal ini menunjukkan penggunaan penyalaan 2 busi dapat menaikkan kualitas reaksi pembakaran yang dalam hal ini ditunjukkan dengan emisi O₂ yang rendah. Kadar paling rendah yaitu pada sekitar putaran mesin 5000 yaitu 13,8 % O₂ dengan penggunaan 2 busi map 1. Kadar O₂ untuk kondisi mesin 2 busi map 2 tinggi disebabkan terjadinya kebocoran pada exhaust juga dapat menyebabkan data emisi yang diambil tidak sesuai dengan aktual.

Tabel 4.18 Selisih emisi O₂

Kadar % O ₂ Emisi Gas Buang	Rata-Rata Kadar O ₂ (%)	Selisih Kadar O ₂ (%)
1 Busi Utama Map 1	14.35	0
1 Busi sekunder Map 1	14.2	0.15
2 Busi Map 1	14.09	0.26
1 Busi Utama Map 2	14.5	-0.15
1 Busi sekunder Map 2	14.9	-0.55
2 Busi Map 2	16.1	-1.75

Sumber : Data olahan

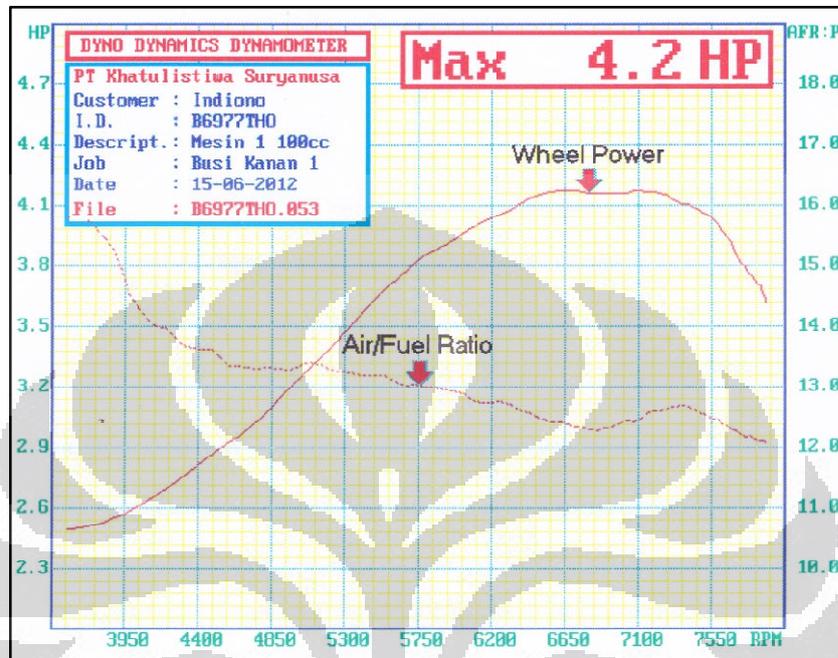


Gambar 4.16 Penurunan kadar O₂

Rata-rata O₂ paling rendah terjadi pada penggunaan 2 busi dengan map 1. Hal ini menunjukkan pembakaran yang terjadi semakin baik dengan penggunaan 2 busi. O₂ yang merupakan pereaksi proses pembakaran bereaksi dengan bahan bakar dan O₂ yang tidak bereaksi lebih sedikit dibandingkan penggunaan 1 busi.

4.5 Analisis Daya Keluaran

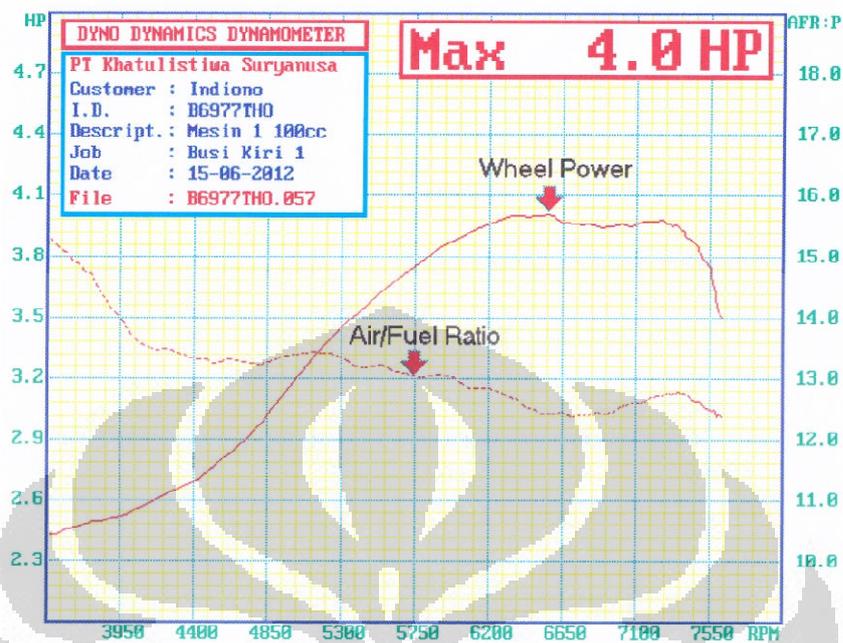
4.5.1 Analisis daya keluaran dengan map 1



Gambar 4.17 POWER dan AFR dengan busi utama map 1

Dari gambar 4.11 menunjukkan POWER dan AFR dari kondisi mesin dengan busi utama map 1. Daya maksimum dengan kondisi mesin ini yaitu 4,2 HP pada 6500 sampai 7100 RPM. Pada rpm tinggi daya dari mesin tidak stabil atau fluktuatif. Ini terjadi karena waktu penyalaan busi yang tidak tepat pada rpm tinggi. Waktu penyalaan busi pada rpm tinggi terlalu mendekati titik mati atas. Untuk mendapatkan performa yang lebih baik pada rpm tinggi, dapat menaikkan derajat waktu pengapian.

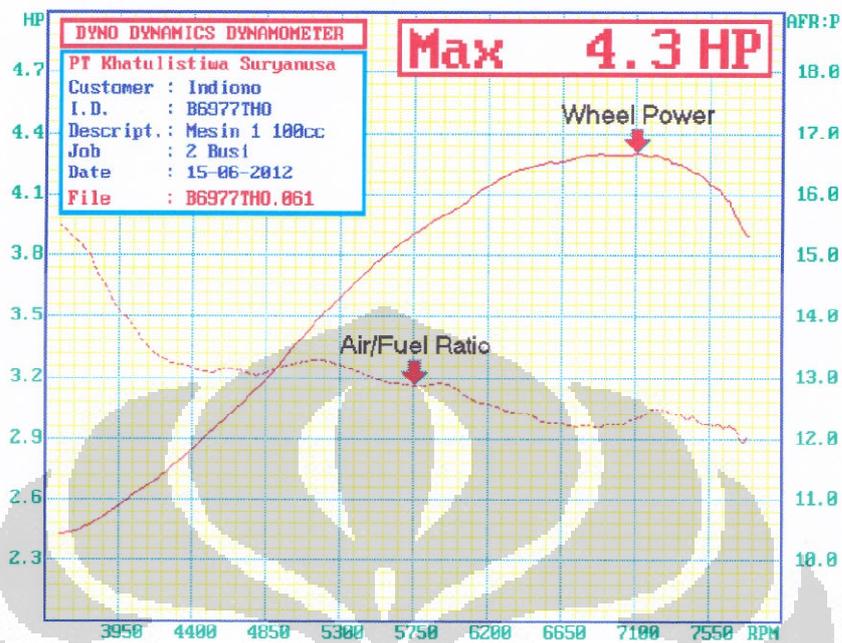
Rasio campuran bahan bakar dan udara (AFR) pada rpm rendah kurang baik yaitu diatas 14. Ini menunjukkan campuran yang kekurangan bensin sehingga power atau tenaga mesin yang dihasilkan kurang maksimal. Rasio campuran bahan bakar dan udara (AFR) membaik pada rpm tinggi yaitu sekitar 13 dan pada kondisi idealnya pada 5750 rpm.



Gambar 4.18 POWER dan AFR dengan busi sekunder map 1

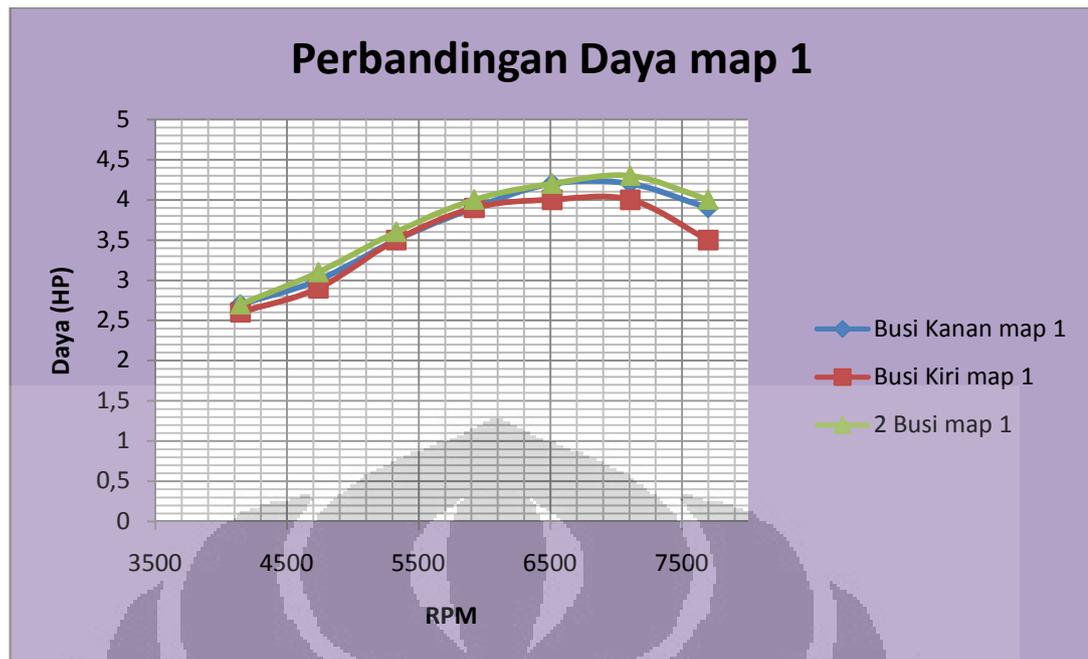
Gambar 4.12 menunjukkan POWER dan AFR dari kondisi mesin dengan busi sekunder map 1. Daya maksimum dengan kondisi ini yaitu 4 HP pada 6500 sampai 7100 rpm. Daya secara konstan naik dari rpm rendah sampai 7000 rpm dan kemudian turun setelah rpm 7000. Pada grafik puncak yaitu 6500 sampai 7000 rpm terjadi daya yang tidak stabil karena tidak tepatnya waktu pengapian.

Daya pada busi sekunder lebih rendah dibandingkan busi utama. Hal ini disebabkan lama penyalaan busi sekunder lebih rendah daripada busi utama. Pembakaran dengan penyalaan percikan yang lebih cepat membuat performa (daya) menurun.



Gambar 4.19 POWER dengan dua busi map 1

Gambar 4.13 menunjukkan POWER dan AFR dari kondisi mesin dengan 2 busi map 1. Daya maksimum dengan kondisi ini yaitu 4.3 HP pada 7107 rpm. Grafik dengan kondisi mesin ini lebih stabil dibandingkan dengan kondisi mesin dengan busi utama dan busi sekunder. Pada rpm tinggi, dengan menggunakan 2 pengapian pembakaran campuran bahan bakar dan udara menjadi lebih sempurna. Dengan kondisi mesin ini membuat durasi pembakaran menjadi lebih singkat dan campuran bahan bakar dan udara terbakar dengan lebih baik.



Gambar 4.20 Grafik perbandingan POWER dengan map 1

Dari gambar 4.20 menunjukkan POWER dengan penggunaan 2 busi lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan 1 busi dengan busi sekunder dan busi utama. Dengan penggunaan 2 busi memberikan dampak baik dalam proses pembakaran sehingga daya keluaran roda juga meningkat.

Performa daya keluaran antara penggunaan busi utama dan busi sekunder berbeda. Busi utama memiliki POWER lebih tinggi daripada busi sekunder. Walaupun energi yang dikeluarkan oleh masing-masing busi sama, namun POWER yang dihasilkan berbeda. Hal ini disebabkan beberapa factor yaitu berbedanya sudut kedudukan busi anantara busi utama dan busi sekunder dan arah ujun busi yang memercikkan api berbeda.

Tabel 4.19 Perbandingan POWER kondisi mesin map 1

Kondisi Mesin	Maksimal POWER (HP)	Selisih POWER (HP)	Rata-rata POWER (HP)	Selisih POWER (HP)
Busi utama	4.2	0	3.629	0
Busi sekunder	4	-0.2	3.486	-0.143
2 busi	4.3	0.1	3.7	0.071

Sumber : Data olahan

Dari tabel 4.17 menunjukkan penggunaan 2 busi meningkatkan power dari mesin. Maksimal power dengan menggunakan 2 busi yaitu 4.3 HP, naik 0.1 HP dibandingkan dengan busi utama dan naik 0.3 HP dibandingkan dengan kondisi mesin dengan busi sekunder. Rata-rata power dengan kondisi mesin 2 busi juga mengalami peningkatan dibandingkan dengan busi utama dan busi sekunder. Peningkatan daya rata-rata sekitar 0.071 HP dibandingkan dengan busi utama dan 0.214 HP dengan busi sekunder.

4.5.2 Analisis daya keluaran dengan map 2

Dengan menaikkan waktu derajat pengapian dapat menambah durasi terbakarnya campuran bahan bakar dan udara. Pembakaran yang terjadi lebih baik dan sempurna.

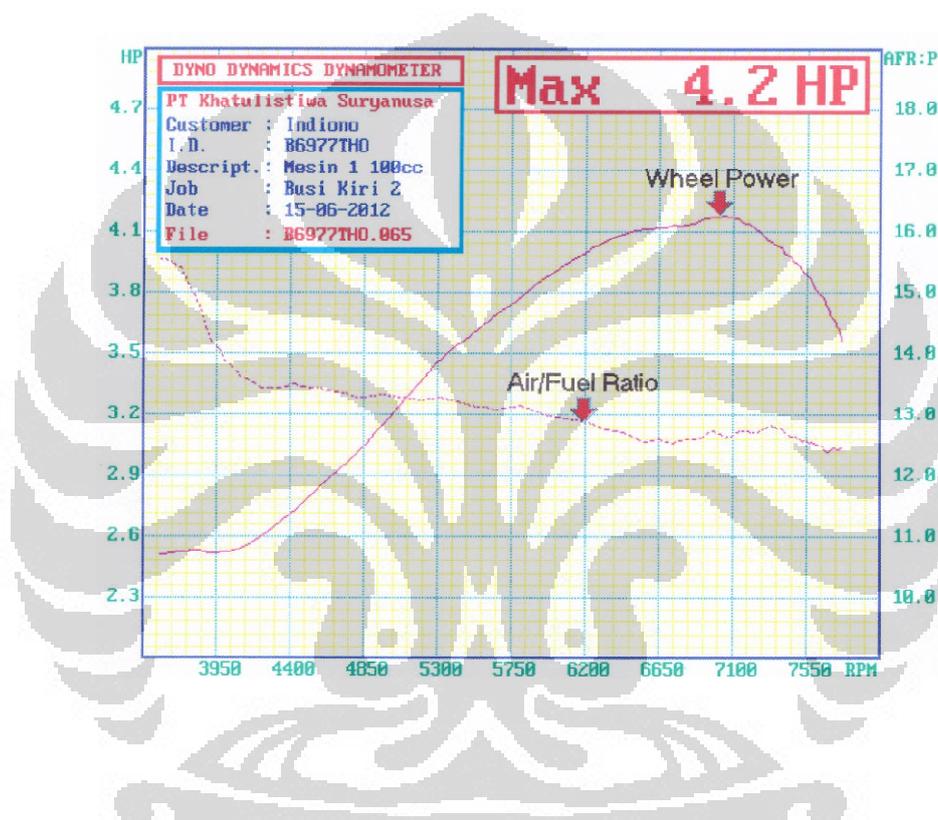


Gambar 4.21 POWER dan AFR dengan busi utama map 2

Dari gambar 4.21 menunjukkan POWER dan AFR dari kondisi mesin dengan busi utama map 2. Daya maksimum dengan kondisi mesin ini yaitu 4.3

HP pada 6500 sampai 7100 RPM. Pada bagian puncak grafik terjadi kondisi tidak stabil. Ini terjadi karena waktu penyalaan busi yang tidak tepat.

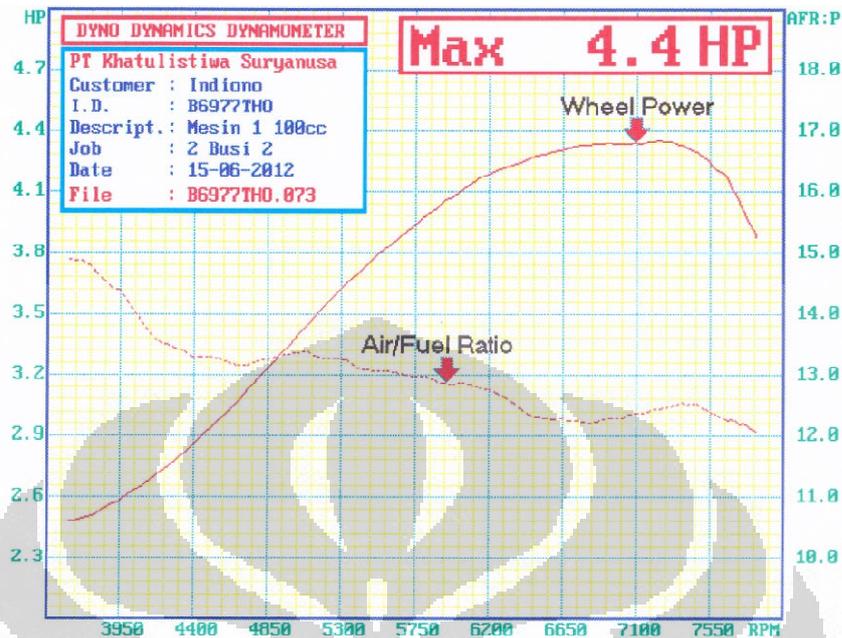
Rasio campuran bahan bakar dan udara (AFR) kurang baik dibawah 4000 rpm yaitu diatas 14. Rasio campuran bahan bakar dan udara (AFR) membaik pada diatas 4000 rpm yaitu sekitar 13 dan pada kondisi idealnya pada 5750 rpm.



Gambar 4.22 POWER dan AFR dengan busi sekunder map 2

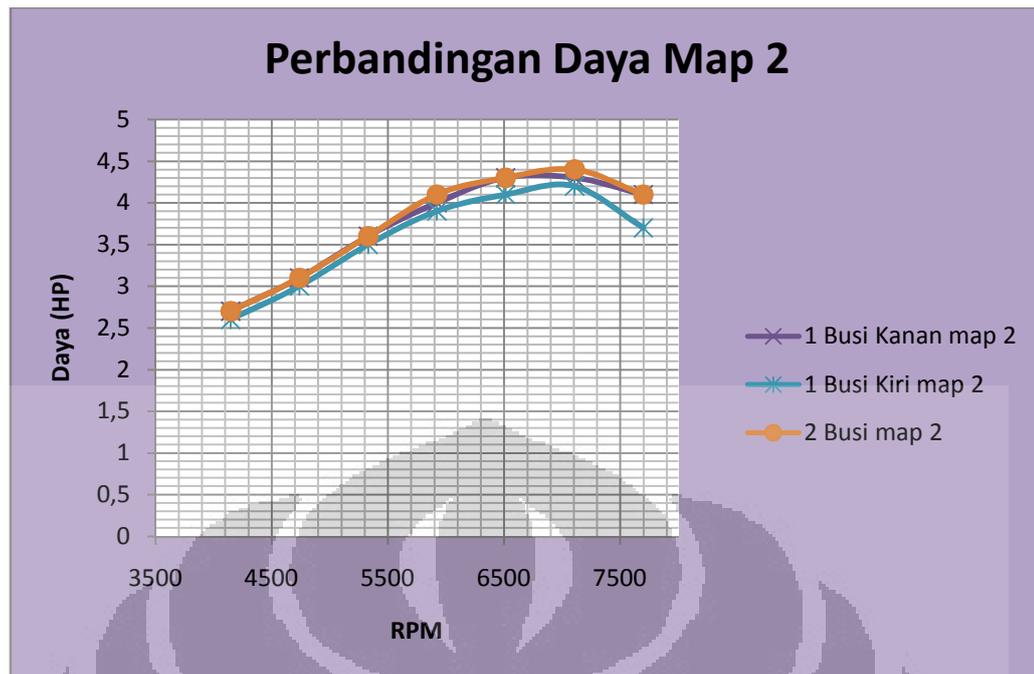
Gambar 4.22 menunjukkan POWER dan AFR dari kondisi mesin dengan busi sekunder map 2. Daya maksimum dengan kondisi ini yaitu 4.2 HP pada 7000 rpm. Daya secara konstan naik dari rpm rendah sampai 7000 rpm dan kemudian turun setelah rpm 7000.

Daya pada busi sekunder lebih rendah dibandingkan busi utama. Hal ini disebabkan lama penyalaan busi sekunder lebih rendah daripada busi utama. Pembakaran dengan penyalaan percikan yang lebih cepat membuat performa (daya) menurun.



Gambar 4.23 POWER dan AFR dengan 2 busi map 2

Gambar 4.23 menunjukkan BH dan AFR dari kondisi mesin dengan 2 busi map 2. Daya maksimum dengan kondisi ini yaitu 4.4 HP pada 7107 rpm. Grafik dengan kondisi mesin ini lebih stabil dibandingkan dengan kondisi mesin dengan busi utama dan busi sekunder. Pada rpm tinggi, dengan menggunakan 2 pengapian pembakaran campuran bahan bakar dan udara menjadi lebih sempurna. Dengan menaikkan waktu derajat pengapian, power yang dihasilkan juga meningkat. Menaikkan waktu derajat pengapian berdampak baik pada pembakaran. Pembakaran menjadi lebih sempurna dan bahan bakar terbakar dengan lebih baik.



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan POWER dengan kondisi mesin map 2

Gambar 4.24 menunjukkan perbandingan daya dengan kondisi mesin map 2. Dari grafik menunjukkan performa mesin yang paling baik yaitu kondisi mesin dengan 2 busi. Ini membuktikan penggunaan 2 busi dapat memberikan dampak baik untuk pembakaran.

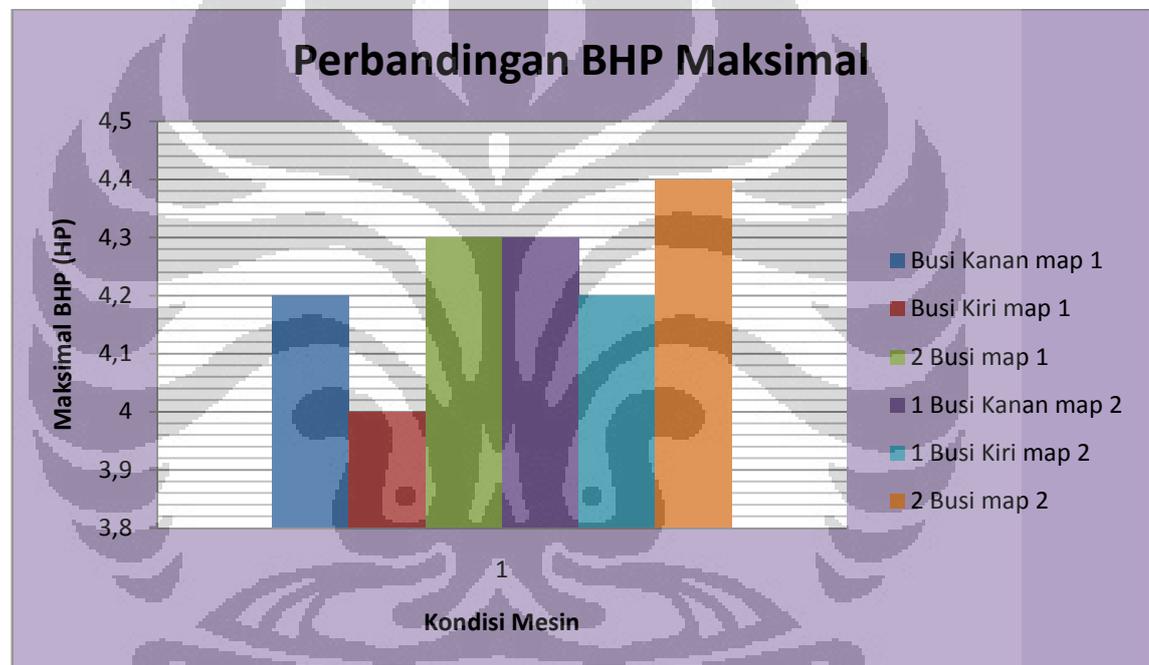
Tabel 4.20 Perbandingan POWER dengan kondisi map 2

Kondisi Mesin	Maksimal POWER (HP)	Selisih POWER (HP)	Rata-rata POWER (HP)	Selisih POWER (HP)
Busi utama	4.3	0	3.729	0
Busi sekunder	4.2	-0.1	3.571	-0.158
2 busi	4.4	0.1	3.742	0.013

Sumber : Data olahan

Tabel 4.18 menunjukkan kondisi mesin dengan 2 busi dapat meningkatkan maksimal POWER dan rata-rata POWER. Maksimal POWER dengan penyalan 2 busi meningkat 0.1 HP dibandingkan dengan penyalan 1 busi utama dan 0.2 HP dengan penyalan 1 busi sekunder. Rata-rata POWER dengan kondisi penyalan 2 busi juga meningkat yaitu 0.013 HP dibandingkan dengan penyalan 1 busi utama dan 0.171 HP dibandingkan dengan penyalan 1 busi sekunder.

Performa penyalaan 1 busi utama lebih baik dibandingkan penyalaan 1 busi sekunder. Ini disebabkan perbedaan lama penyalaan busi. Dengan menambah waktu penyalaan busi dapat meningkatkan performa mesin. Hal ini terjadi karena durasi pembakaran meningkat seiring dengan penambahan waktu penyalaan percikan busi, selain itu busi utama yang merupakan busi asli (buatan pabrik) memiliki sudut kemiringan yang lebih baik dibandingkan busi sekunder. Maksimal POWER penyalaan 1 busi utama lebih tinggi 0.1 POWER dibandingkan dengan penyalaan 1 busi sekunder.

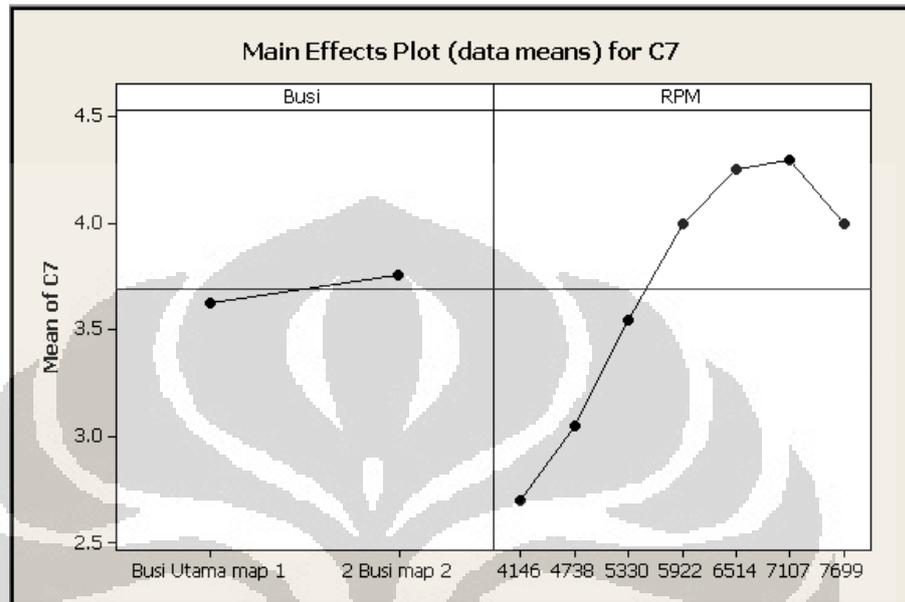


Gambar 4.25 Grafik perbandingan POWER maksimal

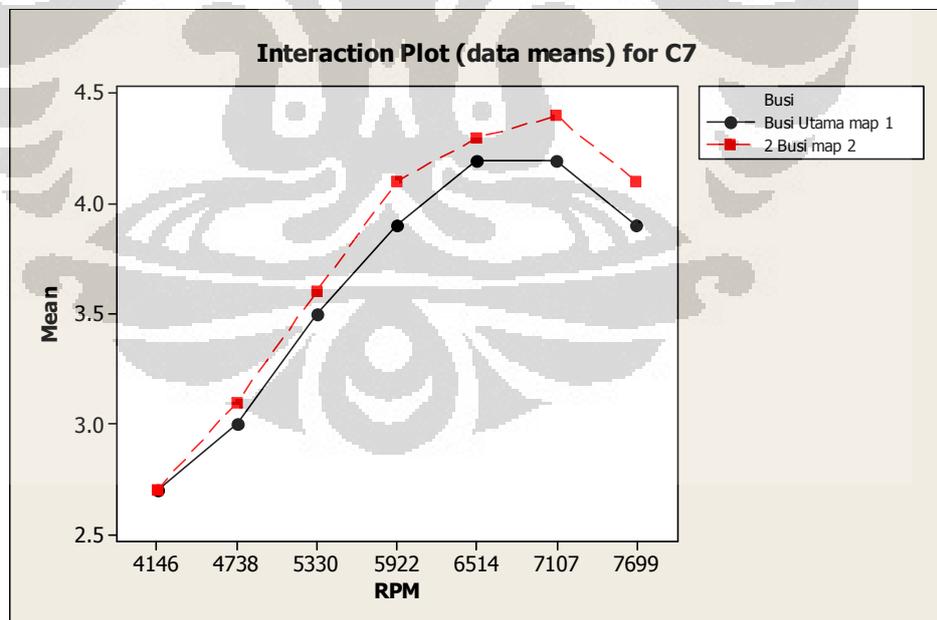
Dari Gambar 4.25 menunjukkan perbandingan maksimal POWER. Hasil paling baik terjadi pada kondisi mesin dengan penyalaan 2 busi map 2. Penyalaan 2 busi dapat meningkatkan performa dari mesin dan membuat pembakaran menjadi lebih sempurna.

Dengan menaikkan waktu derajat pengapian dapat meningkatkan Power. Dari grafik menunjukkan penyalaan 2 busi dengan map 2 memiliki POWER lebih baik yaitu naik 0.1 HP dibandingkan dengan penyalaan 2 busi dengan map 1. Menaikkan waktu derajat pengapian mendekati titik mati atas membuat durasi

pembakaran bertambah sehingga campuran bahan bakar dan udara menjadi lebih sempurna.



Gambar 4.26 Grafik pengaruh kondisi mesin dan RPM terhadap power



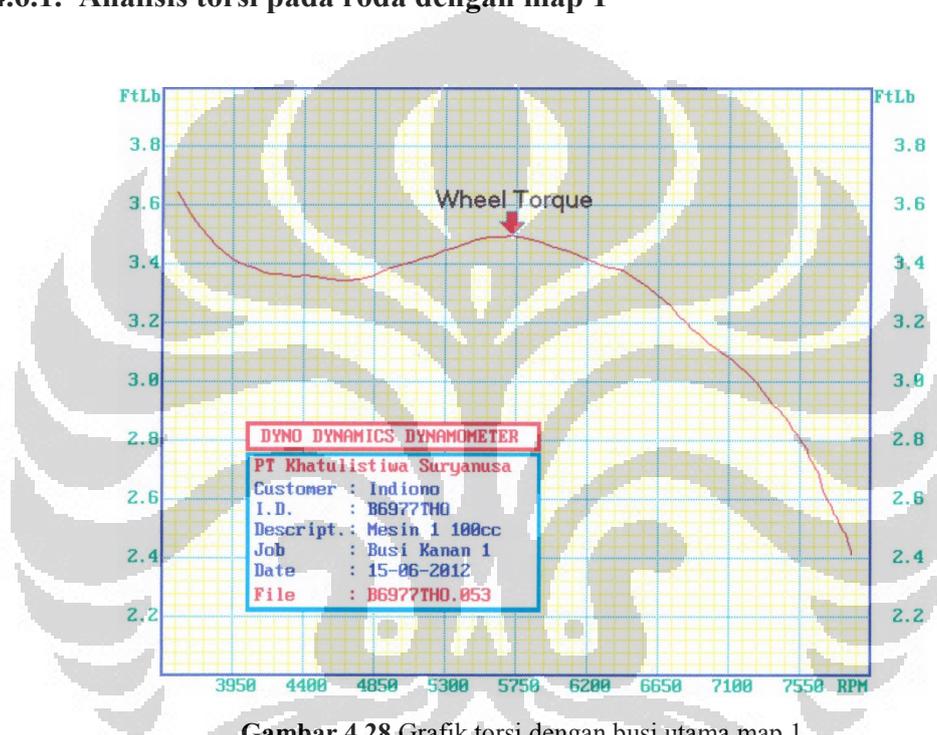
Gambar 4.27 Grafik perbandingan 2 busi dan 1 busi

Dari gambar 4.26 menunjukkan grafik pengaruh kondisi mesin dan putaran mesin terhadap power. Dari hasil yang didapat, penggunaan 2 busi dapat meningkatkan power kendaraan. Pada gambar 4.27 menunjukkan perbandingan 2

busi dengan 1 busi pada setiap putaran mesin. Hal ini terjadi karena penggunaan 2 busi dapat memperbaiki pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Power pada kendaraan berbeda pada setiap putaran mesin. Power meningkat dari putaran mesin 2000 rpm sampai sekitar 7000 rpm. Kemudian mulai menurun pada putaran diatas 7000.

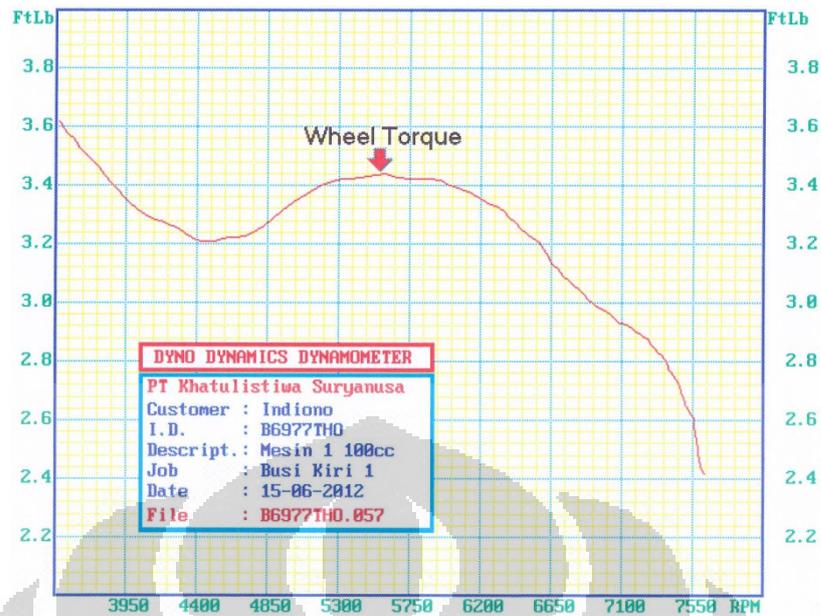
4.6 Analisis Torsi pada Roda dengan Map 1

4.6.1. Analisis torsi pada roda dengan map 1



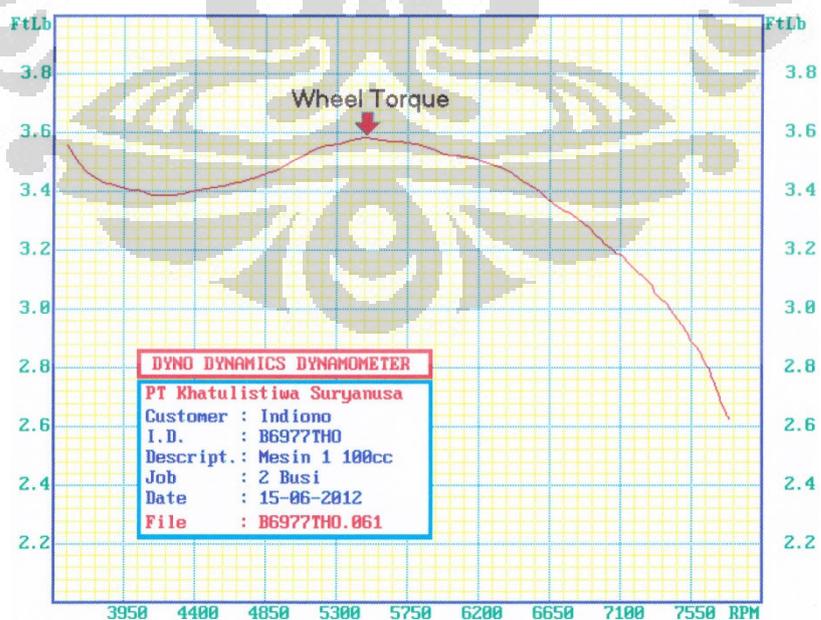
Gambar 4.28 Grafik torsi dengan busi utama map 1

Dari Gambar 4.28 menunjukkan torsi dengan kondisi mesin 1 busi utama map 1. Torsi tinggi pada putaran rendah dan mulai menurun pada putaran sekitar 3000 rpm. Kemudian mengalami peningkatan kembali dan sampai puncaknya pada putaran sekitar 5500 rpm.



Gambar 4.29 Grafik torsi dengan busi sekunder map 1

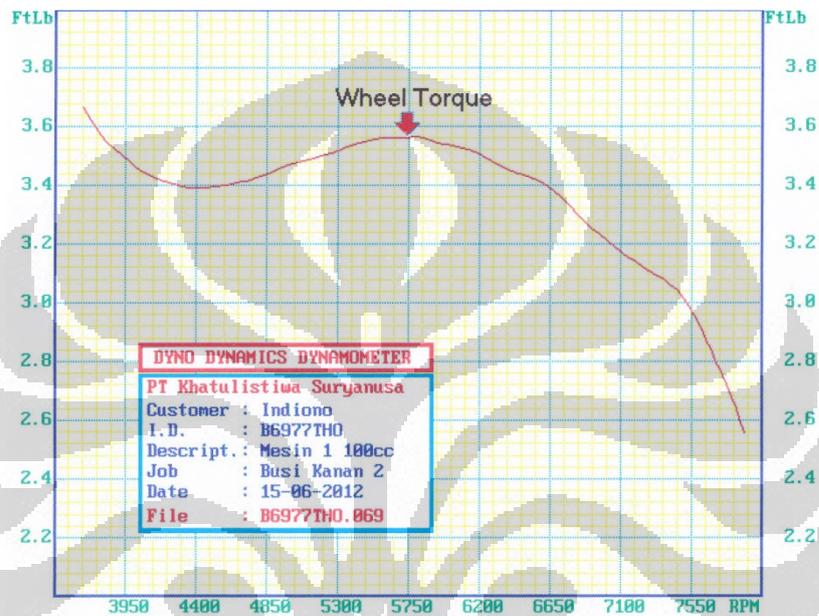
Dari Gambar 4.29 menunjukkan torsi dengan kondisi mesin 1 busi sekunder map 1. Pada putaran tinggi yaitu sekitar 4400, torsi mengalami peningkatan sampai putaran sekitar 5750. Torsi dengan kondisi 1 busi sekunder lebih rendah dibandingkan dengan 1 busi utama. Ini disebabkan performa busi sekunder yang kurang optimal yaitu lama penyalaan busi lebih cepat dibandingkan busi utama dan sudut kedudukan busi kurang tepat.



Gambar 4.30 Grafik torsi dengan 2 busi map 1

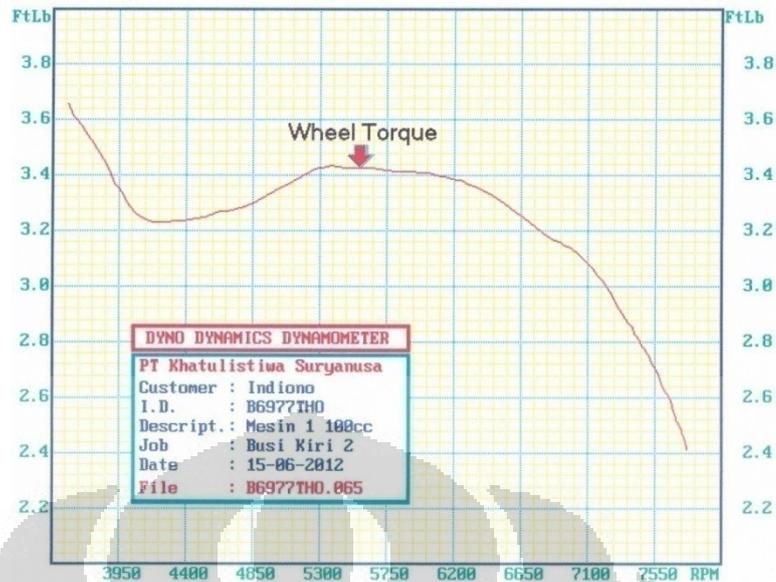
Dari Gambar 4.30 menunjukkan torsi dengan kondisi mesin 2 busi map 1. Dari grafik terlihat, torsi meningkat pada putaran tinggi dibandingkan dengan penyalaan 1 busi. Ini terjadi karena energy yang dikeluarkan di dalam ruang bakar lebih besar sehingga torsi juga meningkat.

4.6.2 Analisis torsi pada roda dengan map 2



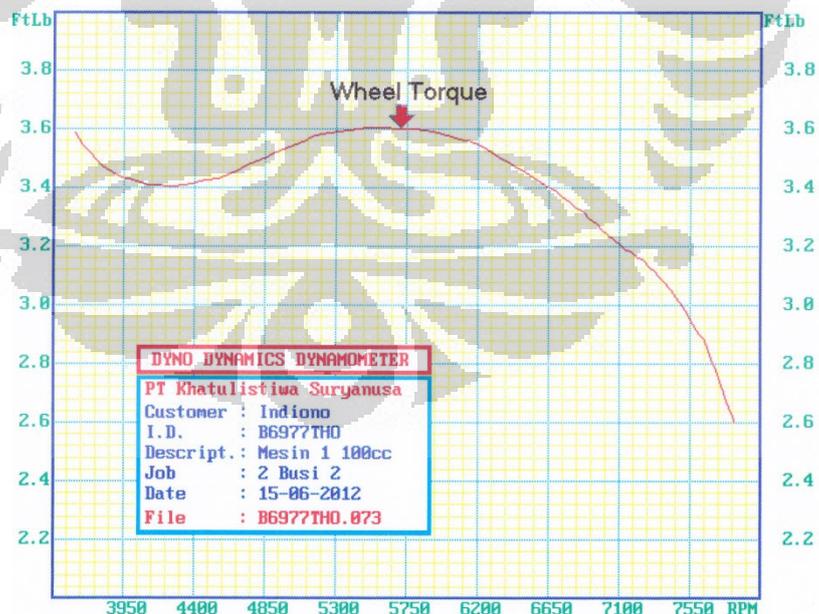
Gambar 4.31 Grafik torsi dengan 1 busi utama map 2

Pada Gambar 4.31 menunjukkan grafik torsi dengan kondisi mesin 1 busi utama map 2. Torsi maksimum pada putaran mesin sekitar 5700 rpm. Torsi menurun putaran diatas 5700 rpm



Gambar 4.32 Grafik torsi dengan 1 busi sekunder map 2

Pada Gambar 4.32 menunjukkan grafik torsi dengan kondisi mesin 1 busi sekunder map 2. Torsi cenderung lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan 1 busi utama. Ini menunjukkan performa busi skunder tidak sebaik busi utama.

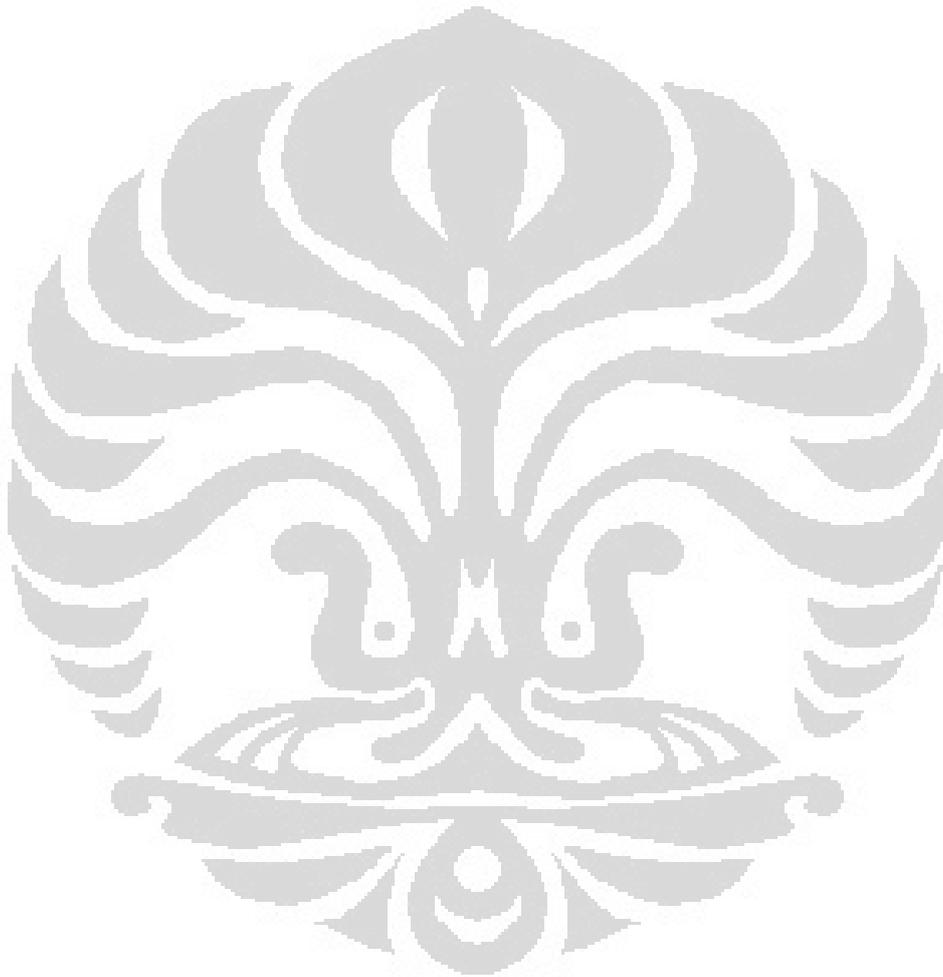


Gambar 4.33 Grafik torsi dengan 2 busi map 2

Gambar 4.33 menunjukkan torsi dengan kondisi mesin 2 busi map 2. Grafik ini menunjukkan penyalaan 2 busi dapat meningkatkan performa dalam hal

ini yaitu torsi. Dengan penyalaan 2 busi, energy yang masuk ke dalam ruang bakar bertambah dan memberikan dampak baik untuk pembakaran.

Menaikkan derajat pengapian juga memberikan dampak baik untuk pembakaran. Torsi dengan kondisi mesin map 2 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi mesin map 1. Menaikkan derajat pengapian dapat memperpanjang durasi pembakaran sehingga bahan bakar terbakar lebih banyak dan lebih sempurna.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari Penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara umum, penerapan penyalaan 2 busi memperbaiki kinerja motor bakar 4 langkah, dapat dilihat dari menurunnya emisi gas buang HC dan CO dan meningkatnya performa kendaraan yaitu POWER.
2. Emisi gas buang yaitu gas HC dan gas CO dengan penyalaan 2 busi menurun pada diatas 5000 rpm. Emisi CO menurun 0.48 % dan emisi HC menurun 16 ppm.
3. Performa motor bakar 4 langkah meningkat dengan penggunaan penyalaan 2 busi. Maksimal Power dari motor meningkat 0.1 HP dibandingkan busi utama dan 0.2 HP dibandingkan busi sekunder. Performa motor meningkat pada diatas sekitar 5000 rpm.
4. Lama Penyalaan busi mempengaruhi performa mesin. Semakin lama percikan busi menyala, semakin memperbaiki perfoma mesin. Busi Utama dengan lama penyalaan yaitu 2500 μ s lebih baik performanya dibandingkan busi sekunder dengan lama penyalaan 800 μ s. Power busi utama lebih tinggi 0.1 HP dibandingkan dengan busi sekunder
5. Menaikkan derajat pengapian memberikan dampak baik pada pembakaran. Menaikkan derajat pengapian dapat memberikan waktu lebih lama untuk api menjalar. Penggunaan map 2 menaikkan Power sekitar 0.1 HP dibandingkan penggunaan map 1.
6. Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan penyalaan 2 busi efektif bekerja pada putaran tinggi yaitu diatas 5000 rpm.

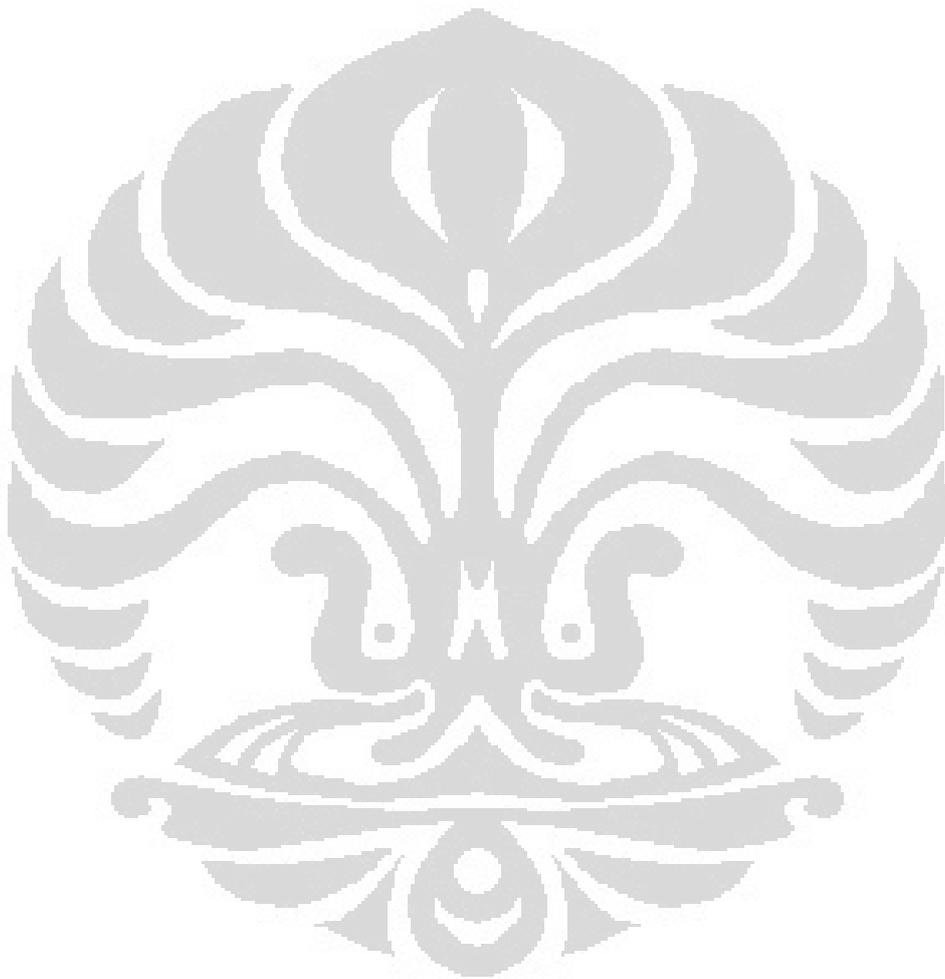
5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya beberapa parameter pengukuran perlu dilakukan seperti tekanan di dalam ruang bakar dan simulasi penjaran berkembangnya api
2. Pengukuran dan pengambilan data dilakukan dengan kondisi lingkungan yang sama sehingga data yang didapat mendekati kondisi aktual

DAFTAR REFERENSI

- [1] Sugiarto, Bambang. *Motor Pembakaran Dalam*. Jakarta: Universitas Indonesia
- [2] Sugiarto, Bambang .Analisa Kinerja Mesin Otto Berbahan Bakar Premium Dengan Penambahan Aditif Oksigenat Dan Aditif Pasaran
- [3] Altin, Ismail.2007. *A parametric study on the performance parameters of a twin-spark SI engine*.
- [4] Ahamed. S Ijaz. *Digital Twin Spark – Ignition & Its Advances*
- [5] Tufel, Noorani. *Digital Twin Spark Ignition (Dtsi)*
- [6] Yamin, Jehad A. A.*Effect of combustion duration on the performance and emission characteristics of a spark ignition engine using hydrogen as a fuel*. International Journal of Hydrogen Energy 25 (2000) 581-589
- [7] Yousufuddin, Syed. 2000.*Effect of ignition timing and compression ratio on the performance of a hydrogen–ethanol fuelled engine*.6947-6949
- [8] Narutomo. Arandityo. *Analisis Penggunaan Gas Hidrogen Hasil Elektrolisis Air Pada Motor Bakar 4 Langkah Yang Diinjeksikan Setelah Karburator Dengan Variasi Derajat Timing Pengapian*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007/2008, hal. 28-36
- [9] 21 Juli 2012
<http://www.technotest.com/tcn/ENG/home.asp>
- [10] 21Juli 2012
<http://www.bintangmotor.com/index.php/spec/new-megapro/75-spesifikasi-fitx>

LAMPIRAN



Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2010

Tahun	Mobil Penumpang	Bis	Truk	Sepeda Motor	Jumlah
1987	1 170 103	303 378	953 694	5 554 305	7 981 480
1988	1 073 106	385 731	892 651	5 419 531	7 771 019
1989	1 182 253	434 903	952 391	5 722 291	8 291 838
1990	1 313 210	468 550	1 024 296	6 082 966	8 889 022
1991	1 494 607	504 720	1 087 940	6 494 871	9 582 138
1992	1 590 750	539 943	1 126 262	6 941 000	10 197 955
1993	1 700 454	568 490	1 160 539	7 355 114	10 784 597
1994	1 890 340	651 608	1 251 986	8 134 903	11 928 837
1995	2 107 299	688 525	1 336 177	9 076 831	13 208 832
1996	2 409 088	595 419	1 434 783	10 090 805	14 530 095
1997	2 639 523	611 402	1 548 397	11 735 797	16 535 119
1998	2 769 375	626 680	1 586 721	12 628 991	17 611 767
1999*)	2 897 803	644 667	1 628 531	13 053 148	18 224 149
2000	3 038 913	666 280	1 707 134	13 563 017	18 975 344
2001	3 189 319	680 550	1 777 293	15 275 073	20 922 235
2002	3 403 433	714 222	1 865 398	17 002 130	22 985 183
2003	3 792 510	798 079	2 047 022	19 976 376	26 613 987
2004	4 231 901	933 251	2 315 781	23 061 021	30 541 954
2005	5 076 230	1 110 255	2 875 116	28 561 831	37 623 432
2006	6 035 291	1 350 047	3 398 956	32 528 758	43 313 052
2007	6 877 229	1 736 087	4 234 236	41 955 128	54 802 680
2008	7 489 852	2 059 187	4 452 343	47 683 681	61 685 063
2009	7 910 407	2 160 973	4 498 171	52 767 093	67 336 644
2010	8 891 041	2 250 109	4 687 789	61 078 188	76 907 127

Sumber : Kantor Kepolisian Republik Indonesia

**) sejak 1999 tidak termasuk Timor-Timur*