



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA PENGARUH PERUBAHAN TINGGI BUKAAN  
KATUP TERHADAP KINERJA MOTOR BAKAR OTTO**

**SKRIPSI**

**FAJARDO YOSHIA  
0806330075**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA PENGARUH PERUBAHAN TINGGI BUKAAN  
KATUP TERHADAP KINERJA MOTOR BAKAR OTTO**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**FAJARDO YOSHIA  
0806330075**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Fajardo Yoshia**

**NPM : 0806330075**

**Tanda Tangan : **


**Tanggal : 26 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Fajardo Yoshia  
NPM : 0806330075  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : ANALISA PENGARUH PERUBAHAN  
TINGGI BUKAAN KATUP TERHADAP  
KINERJA MOTOR BAKAR OTTO


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., Ph.D. (  )

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

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 26 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena oleh kasih setia dan anugerahnya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan Skripsi ini dilaksanakan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik, Program Studi Teknik Mesin di Fakultas teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. T. Simangunsong dan M. Tampubolon, selaku orang tua yang telah memberikan dukungan spiritual, moral, dan materi selama penulis melaksanakan perkuliahan dan menyelesaikan penulisan skripsi ini.
2. Dr. Ir. R. Danardono Agus Sumarsono DEA. PE, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan senantiasa membimbing penulis dalam menyusun skripsi ini.
3. Dr. Ir. Gandjar Kiswanto selaku dosen Pembimbing Akademis dan seluruh dosen Departemen Teknik Mesin yang telah membimbing dan menyampaikan ilmu dan pengalaman berharga selama penulis melaksanakan perkuliahan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia.
4. Kedua kakak penulis yang telah memberikan motivasi dalam pembuatan skripsi ini.
5. Yang terkasih, Jennyvera, selaku kekasih yang selalu mendoakan, menghibur dan menguatkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Indiono, Julius Antoni, dan Faris Muriadi, selaku partner penelitian yang tidak pernah meninggalkan penulis selama menyelesaikan skripsi ini.
7. Teguh S.T, Bagus Reka, Ario Wibawa, Ragil Tri, Gema, Rian, Deni, Agus dan seluruh teman-teman Teknik Mesin khususnya angkatan 2008 yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. Miftah Solih, yang telah meluangkan waktu dalam pembuatan alat uji dan memberikan masukan dan saran yang sangat bermanfaat.
9. Mas Yasin, mas Supri, mas Syarif dan seluruh karyawan DTM yang senantiasa membantu penulis membuat alat uji tanpa pamrih.
10. Krismansya selaku pegawai PT. Khatulistiwa Suryanusa yang telah membantu dalam pengambilan data.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Kuasa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan di atas. Semoga skripsi bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012

Penulis

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

---

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

Nama : Fajardo Yoshia  
NPM : 0806330075  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**“Analisa Pengaruh Perubahan Tinggi Bukaian Katup Terhadap Kinerja  
Motor Bakar Otto”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan 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 : 26 Juli 2012

Yang menyatakan



(Fajardo Yoshia)

## ABSTRAK

Nama : Fajardo Yoshia  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Analisa Pengaruh Perubahan Tinggi Bukaannya Katup Terhadap Kinerja Motor Bakar Otto.

Sepeda motor merupakan kendaraan yang banyak digunakan saat ini. Sepeda motor menggunakan motor bakar agar dapat dioperasikan dan menghasilkan gas-gas sisa pembakaran, antara lain Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), Hydrocarbon (HC), dan Oksigen (O<sub>2</sub>). Untuk mengurangi produksi polutan tersebut, dilakukan penelitian untuk optimalisasi kinerja motor bakar 4 langkah yang digunakan oleh sepeda motor dengan melakukan modifikasi pada *camshaft*, yaitu membuat *lift* bervariasi pada *camshaft* yang akan digunakan. Tujuannya adalah untuk menghasilkan tinggi bukaannya katup yang paling efektif, baik dari segi konsumsi bahan bakar, emisi, maupun daya yang dihasilkan. Dari hasil penelitian, penggunaan *camshaft* kondisi 1 dengan *intake lift* 4 mm dan *exhaust lift* 3.95 mm, efektif digunakan untuk pengoperasian motor bakar pada putaran mesin < 5000 RPM, dengan penurunan kadar CO 42.07%; kenaikan kadar CO<sub>2</sub> 5.58%; penurunan kadar HC 21.63%; kenaikan kadar O<sub>2</sub> 3.54%; penurunan daya yang kecil, yaitu 1.92%; dan penurunan konsumsi bahan bakar 9.95%. *Camshaft* kondisi 3 dengan *intake lift* 5 mm dan *exhaust lift* 4.9 mm, efektif digunakan pada putaran mesin > 5000 RPM, dengan penurunan kadar CO 26.47%; penurunan kadar CO<sub>2</sub> 4.99%; penurunan kadar HC 20,83%; dan kenaikan kadar O<sub>2</sub> 3.17%; penurunan daya yang kecil 2.74%; dan penurunan konsumsi bahan bakar 0.71%. Dapat disimpulkan dengan menggunakan *camshaft* kondisi 1 pada putaran mesin < 5000 RPM dan *camshaft* kondisi 3 pada putaran mesin > 5000 RPM, maka dapat dilakukan penghematan konsumsi bahan bakar dan pengurangan emisi gas beracun hasil proses pembakaran secara signifikan.

**Kata kunci** : cam, *camshaft*, emisi, motor bakar.



## ABSTRACT

Name : Fajardo Yoshia  
Study Program : Mechanical Engineering  
Tittle : Analysis of the Influence of Variable Valve *Lifting*  
to Performance of Otto Internal Combustion Engine.

A motorcycle is the vehicle that widely used today. To operate this kind of vehicle, motorcycles use internal combustion engine and produces combustion residual gases, such as Carbon Monoxide (CO), Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>), Hydrocarbon (HC), and Oxygen (O<sub>2</sub>). In order to reduce the production of these pollutants, a research is done for the optimization of the performance of four strokes engine that used by motorcycle, by doing a modification of the camshaft to make variation lift on camshaft. The purpose is to make the most effective opening valve lift, in terms of fuel consumption, emissions, and power generated. From this research, the used of “camshaft 1” with 4 mm intake lift and 3.95 mm exhaust lift, effectively used for the operation of internal combustion engine below 5000 RPM, with 42.07% decreasing of CO levels; 5.58% increasing of CO<sub>2</sub> levels; 21.63% decreasing of HC levels; 3.54% increasing of O<sub>2</sub> levels; little reduction of power for 1.92%; and fuel consumption decreased of 9.95%. The use of “Camshaft 3” with 5 mm intake lift and 4.9 mm exhaust lift, effectively used for the operation of internal combustion engine above 5000 RPM, with 26.47 decreasing of CO levels; 4.99% decreasing of CO<sub>2</sub> levels; 20.83% decreasing of HC levels, 3.17% increasing of O<sub>2</sub> levels; little reduction of power for 2.74%; and fuel consumption decreased 0.71%. In conclusion, by using the “camshaft 1” below 5000 RPM and “camshaft 3” above 5000 RPM, we can significantly reduce both of fuel consumption and toxic gases, produced by combustion process.

**Keywords** : cam, camshaft, emissions, combustion engine.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Metode Penelitian .....	2
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>2 DASAR TEORI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Mesin Otto .....	4
2.2. Siklus 4 Langkah.....	7
2.3. <i>Camshaft</i> .....	9
2.3.1 Cam Lift.....	10
2.4. Karburator .....	10
<b>3 METODE PENELITIAN .....</b>	<b>12</b>
3.1. Rancangan Penelitian.....	12
3.2. Prosedur Pengambilan Data .....	14
3.3. Alat Uji.....	15
3.4. Prosedur Penggunaan Alat Uji.....	18
3.4.1 Prosedur Penggunaan <i>Dial test</i> .....	18
3.4.2 Prosedur Penggunaan <i>Gas Analyzer</i> .....	18
3.4.3 Prosedur <i>Dyno test</i> .....	19

3.4.4	Prosedur Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar .....	19
3.5	Pengambilan Data .....	20
3.5.1	Pengambilan Data Emisi Gas Buang .....	20
3.5.2	Pengambilan Data <i>Dynotest</i> .....	20
3.5.3	Pengambilan Data Konsumsi Bahan Bakar .....	20
<b>4</b>	<b>PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>21</b>
4.1.	Data Emisi Gas Buang .....	21
4.1.1.	Data Emisi Gas Buang dengan <i>Camshaft</i> Standar .....	21
4.1.2.	Data Emisi Gas Buang dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 1 .....	23
4.1.3.	Data Emisi Gas Buang dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 2 .....	25
4.1.4.	Data Emisi Gas Buang dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 3 .....	27
4.2.	Data <i>Dyno test</i> .....	30
4.2.1.	Data <i>Dyno test</i> untuk <i>Camshaft</i> Standar .....	30
4.2.2.	Data <i>Dyno test</i> untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 1 .....	30
4.2.3.	Data <i>Dyno test</i> untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 2 .....	31
4.2.4.	Data <i>Dyno test</i> untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 3 .....	31
4.3.	Data Konsumsi Bahan Bakar .....	32
4.3.1	Data Konsumsi Bahan Bakar untuk <i>Camshaft</i> Standar .....	32
4.3.2	Data Konsumsi Bahan Bakar untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 1 .....	32
4.3.3	Data Konsumsi Bahan Bakar untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 2 .....	32
4.3.4	Data Konsumsi Bahan Bakar untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 3 .....	33
4.4.	Analisa Pengaruh Perubahan <i>Lift Camshaft</i> .....	34
4.4.1	Analisa Emisi Gas Buang .....	34
4.4.2	Analisa Daya Yang Dihasilkan Motor Bakar .....	51
4.4.3	Analisa AFR pada Penggunaan 4 <i>Camshaft</i> . .....	57
4.4.4	Analisa Konsumsi Bahan Bakar pada Penggunaan 4 <i>Camshaft</i> . .....	58
4.4.5	Pemetaan Penggunaan <i>Camshaft</i> yang Optimal .....	60
<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>62</b>
5.1.	Kesimpulan .....	62
5.2.	Saran .....	63
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>65</b>

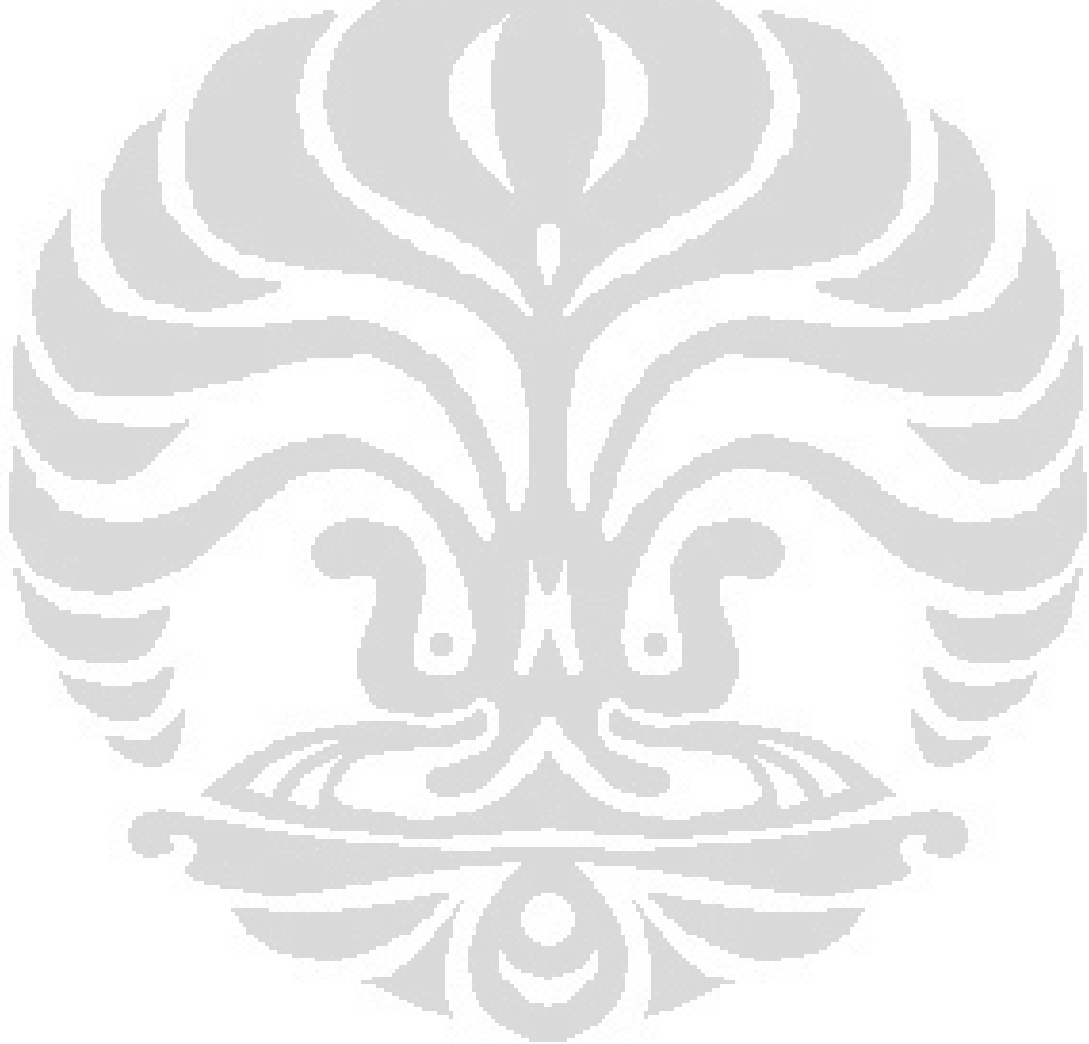
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. <i>Rocker arm</i> dan Katup.....	5
Gambar 2. 2 Busi .....	5
Gambar 2. 3 Piston dan Komponennya .....	7
Gambar 2. 4 Connecting Rod.....	7
Gambar 2. 5 Langkah Hisap.....	8
Gambar 2. 6 Langkah Kompresi .....	8
Gambar 2. 7 Langkah Kerja.....	9
Gambar 2. 8 Langkah Buang .....	9
Gambar 2. 9 <i>Camshaft</i> .....	10
Gambar 2. 10 Profil <i>Cam</i> . .....	10
Gambar 2. 11 Pemasukan Bahan Bakar dengan karburasi .....	11
Gambar 3. 1. Proses <i>Grinding Cam</i> . .....	13
Gambar 3. 2 Profil dan Timing 4 Jenis <i>Camshaft</i> .....	13
Gambar 3. 3 <i>Dynotest</i> .....	17
Gambar 3. 4 Alat Uji <i>Dial test</i> . .....	17
Gambar 3. 5 Alat Uji Konsumsi Bahan Bakar.....	18
Gambar 4. 1 Grafik Residual Plot untuk Emisi Gas CO.....	34
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Kadar CO pada Empat Jenis <i>Camshaft</i> .....	35
Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh <i>Camshaft</i> dan RPM terhadap Rata-rata Kadar CO.....	35
Gambar 4. 4 Grafik Residual Plot untuk Emisi Gas CO <sub>2</sub> .....	39
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Kadar CO <sub>2</sub> pada Empat Jenis <i>Camshaft</i> .....	39
Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh <i>Camshaft</i> dan RPM terhadap Rata-rata Kadar CO <sub>2</sub> .....	40
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Kadar CO <sub>2</sub> pada Putaran Mesin < 5000RPM	41
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Kadar CO <sub>2</sub> pada Putaran Mesin > 5000RPM	42
Gambar 4. 9 Grafik Residual Plot untuk Emisi HC .....	44
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Kadar HC pada Empat Jenis <i>Camshaft</i> .....	44
Gambar 4. 11 Grafik Pengaruh <i>Camshaft</i> dan RPM terhadap Rata-rata Kadar HC .....	45
Gambar 4. 12 Grafik Residual Plot untuk Emisi Gas O <sub>2</sub> .....	47
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Kadar O <sub>2</sub> pada Empat Jenis <i>Camshaft</i> .....	48
Gambar 4. 14 Grafik Pengaruh <i>Camshaft</i> dan RPM terhadap Rata-rata Kadar O <sub>2</sub> .....	48
Gambar 4. 15 Grafik Daya dan AFR untuk <i>Camshaft</i> Standar.....	51
Gambar 4. 16 Grafik Daya dan AFR untuk <i>Camshaft</i> kondisi 1 .....	52
Gambar 4. 17 Grafik Daya dan AFR untuk <i>Camshaft</i> kondisi 2 .....	53
Gambar 4. 18 Grafik Daya dan AFR untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 3 .....	54
Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan Daya pada Empat Jenis <i>Camshaft</i> .....	55
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan AFR pada Empat Jenis <i>Camshaft</i> .....	57
Gambar 4. 21 Grafik <i>Specific Fuel Consumption</i> .....	58
Gambar 4. 22 Grafik Konsumsi Bahan Bakar pada Penggunaan 4 Jenis <i>Camshaft</i> .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Karakteristik <i>Camshaft</i> Standar.....	12
Tabel 3. 2 <i>Lift Camshaft</i> Modifikasi.....	13
Tabel 4. 1 Data kadar CO (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Standar.....	21
Tabel 4. 2 Data Kadar CO <sub>2</sub> (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Standar.....	22
Tabel 4. 3 Data Kadar HC (ppm vol) dengan <i>Camshaft</i> Standar.....	22
Tabel 4. 4 Data Kadar O <sub>2</sub> (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Standar.....	23
Tabel 4. 5 Data Kadar CO (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 1.....	23
Tabel 4. 6 Data Kadar CO <sub>2</sub> (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 1.....	24
Tabel 4. 7 Data Kadar HC (ppm vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 1.....	24
Tabel 4. 8 Data Kadar O <sub>2</sub> (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 1.....	25
Tabel 4. 9 Data Kadar CO (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 2.....	25
Tabel 4. 10 Data Kadar CO <sub>2</sub> (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 2.....	26
Tabel 4. 11 Data Kadar HC (ppm vol) dengan <i>Camshaft</i> 2.....	26
Tabel 4. 12 Data Kadar O <sub>2</sub> (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 2.....	27
Tabel 4. 13 Data Kadar CO (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 3.....	27
Tabel 4. 14 Data Kadar CO <sub>2</sub> (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 3.....	28
Tabel 4. 15 Data Kadar HC (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 3.....	28
Tabel 4. 16 Data Kadar O <sub>2</sub> (% vol) dengan <i>Camshaft</i> Kondisi 3.....	29
Tabel 4. 17. Data Dynotest untuk <i>Camshaft</i> Standar.....	30
Tabel 4. 18. Data Dynotest untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 1.....	30
Tabel 4. 19. Data Dynotest untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 2.....	31
Tabel 4. 20. Data Dynotest untuk <i>Camshaft</i> Kondisi 3.....	31
Tabel 4. 21 Data Konsumsi Bahan Bakar (liter / jam) <i>Camshaft</i> Standar.....	32
Tabel 4. 22 Data Konsumsi Bahan Bakar (liter / jam) <i>Camshaft</i> Kondisi 1.....	32
Tabel 4. 23 Data Konsumsi Bahan Bakar (liter / jam) <i>Camshaft</i> Kondisi 2.....	32
Tabel 4. 24 Data Konsumsi Bahan Bakar (liter / jam) <i>Camshaft</i> Kondisi 3.....	33
Tabel 4. 25 Persentase Selisih Kadar CO (%) <i>Camshaft</i> Modifikasi terhadap <i>Camshaft</i> Standar.....	36
Tabel 4. 26 Perbandingan <i>Camshaft</i> Standard dan <i>Camshaft</i> Kondisi 1 untuk uji T .....	37
Tabel 4. 27 Persentase Selisih Kadar CO <sub>2</sub> (%) <i>Camshaft</i> Modifikasi terhadap <i>Camshaft</i> Standar.....	40
Tabel 4. 28 Hasil Uji T kadar CO <sub>2</sub> .....	41
Tabel 4. 29 Persentase Selisih Kadar CO <sub>2</sub> (%) pada Putaran Mesin < 5000RPM	42
Tabel 4. 30 Persentase Selisih Kadar HC (ppm) <i>Camshaft</i> Modifikasi terhadap <i>Camshaft</i> Standar.....	45
Tabel 4. 31 Hasil Uji T kadar HC.....	46
Tabel 4. 32 Persentase Selisih Kadar O <sub>2</sub> (%) <i>Camshaft</i> Modifikasi terhadap <i>Camshaft</i> Standar.....	48

Tabel 4. 33 Hasil Uji T kadar O <sub>2</sub> .....	49
Tabel 4. 34. Perbandingan Daya <i>Camshaft</i> Standar dan <i>Camshaft</i> Modifikasi.....	55
Tabel 4. 35 Hasil Uji T Daya .....	56
Tabel 4. 36 Perbandingan AFR <i>Camshaft</i> Standar dan <i>Camshaft</i> Modifikasi.....	57
Tabel 4. 37 Hasil Uji T AFR.....	58
Tabel 4. 38 Pemetaan Penggunaan <i>Camshaft</i> yang Efektif Berdasarkan Emisi ...	60
Tabel 4. 39 Pemetaan Penggunaan <i>Camshaft</i> yang Efektif Berdasarkan Daya dan AFR .....	60
Tabel 4. 40 Pemetaan Penggunaan <i>Camshaft</i> yang Efektif Berdasarkan Emisi pada Putaran Mesin > 5000 RPM.....	61



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan dari kebutuhannya untuk berpindah dari suatu tempat ke tempat lain. Untuk melakukan aktifitas tersebut, dibutuhkan suatu sarana transportasi yang efisien dan siap digunakan. Salah satu transportasi yang banyak digunakan adalah sepeda motor. Sarana transportasi ini banyak digunakan karena lebih efisien dalam penggunaannya dalam kota dibandingkan kendaraan roda 4 maupun kendaraan umum. Dengan mengendarai sepeda motor, waktu tempuh dari suatu tempat ke tempat lainnya dapat dicapai dengan singkat.

Tanpa disadari, sepeda motor yang sangat banyak dioperasikan setiap harinya membutuhkan bahan bakar minyak yang merupakan bahan bakar fosil yang sudah menipis cadangannya dan tidak dapat diperbaharui. Minyak bumi merupakan sumber utama penghasil energi di bumi. Ketergantungan yang cukup besar terhadap minyak bumi yang cadangannya sudah semakin menipis mengharuskan manusia untuk mencari dan memanfaatkan sumber energi lain yang masih tersedia dan dapat dikembangkan.

Minyak bumi yang telah diolah menjadi bahan bakar digunakan untuk mengoperasikan motor bakar yang digunakan pada sepeda motor. Siklus motor bakar mengubah unsur kimia dalam bahan bakar menjadi tenaga dan panas melalui proses pembakaran di dalam ruang bakar. Proses pembakaran di dalam ruang bakar menghasilkan gas-gas sisa pembakaran. Gas sisa pembakaran tersebut antara lain Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), Hydrocarbon (HC), Oksigen (O<sub>2</sub>), dan NO<sub>x</sub>. Gas-gas tersebut merupakan gas yang berbahaya bagi keberlangsungan kehidupan di bumi. Selain itu, gas-gas tersebut merupakan gas-gas pendukung terjadinya kerusakan di bumi ini, seperti pemanasan ozon dan penyebab terjadinya efek rumah kaca.

Untuk mengurangi kerusakan tersebut, dilakukan penelitian untuk optimalisasi kinerja motor bakar 4 tak yang digunakan oleh sepeda motor. Optimalisasi dilakukan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan mengurangi produksi gas beracun seperti yang disebutkan di atas.

Langkah optimalisasi yang dilakukan adalah dengan melakukan modifikasi pada *camshaft*. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan membuat *lift* bervariasi pada *camshaft* yang akan digunakan. Tujuannya adalah untuk menghasilkan tinggi bukaan katup yang bervariasi tergantung pada kebutuhan. Teknologi ini lebih dikenal dengan nama VTEC (*Variable Valve Timing and Lift Electronic Control*). Teknologi ini sudah banyak diterapkan pada kendaraan roda 4, namun masih cukup jarang dilakukan pada kendaraan roda 2, sehingga perlu dilakukan pengembangan teknologi tersebut. Diharapkan melalui pengembangan teknologi ini dapat meningkatkan efisiensi mesin kendaraan bermotor roda 2, menghemat konsumsi bahan bakar dan mengurangi emisi gas beracun hasil proses pembakaran.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan data karakteristik berupa emisi, *power*, AFR, dan konsumsi bahan bakar dari mesin 4 tak 100cc pada beberapa kondisi variasi tinggi bukaan katup.
2. Menganalisa pengaruh variasi tinggi bukaan katup terhadap karakteristik mesin 4 tak 100 cc.
3. Melakukan pemetaan tinggi bukaan katup yang paling efisien pada setiap kondisi putaran mesin.

## 1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai dampak penggunaan *camshaft* dengan *lift* yang bervariasi yang akan ditinjau berdasarkan parameter :

1. Emisi gas buang
2. Daya yang dihasilkan
3. Konsumsi bahan bakar.

## 1.4. Metode Penelitian

Metode-metode yang digunakan dalam penelitian skripsi ini meliputi :



1. Studi literatur.  
Studi literatur berasal dari sumber buku dan jurnal ilmiah, skripsi dan internet. Literatur tersebut akan menjadi acuan dalam melaksanakan penelitian.
2. Persiapan alat uji.  
Pembuatan dan persiapan alat uji yang akan digunakan dalam penelitian.
3. Melaksanakan eksperimen.  
Eksperimen dilakukan untuk mendapatkan data karakteristik dari alat uji.
4. Melakukan analisa.  
Melakukan analisa terhadap data yang didapatkan dan menarik kesimpulan dari hasil analisa yang dilakukan.

#### **1.5. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi ini adalah berdasarkan format seperti penulisan makalah ilmiah, yaitu :

- **Bab 1 Pendahuluan**  
Berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan penelitian, dan metode penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini.
- **Bab 2 Dasar Teori**  
Berisi penjelasan teori singkat mengenai hal-hal yang berhubungan.
- **Bab 3 Metode Penelitian**  
Pemaparan rancangan penelitian dan prosedur pengambilan data.
- **Bab 4 Pengolahan Data dan Analisis Data**  
Penjabaran hasil analisa dari data - data yang didapat yang dikaitkan dengan teori yang telah dikemukakan sehingga bisa diambil suatu kesimpulan.
- **Bab 5 Kesimpulan dan Saran**  
Memberikan hasil kesimpulan dari penelitian dan studi yang telah dilakukan serta memberikan rekomendasi / saran terhadap hal-hal yang perlu dilakukan.

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1. Mesin Otto

Mesin otto adalah mesin pembakaran dalam yang merubah energi kimia menjadi menjadi energi panas. Energi panas dengan tekanan yang sangat tinggi, membuat volume dalam ruang bakar menjadi terekspansi yang mengakibatkan terdorongnya piston. Terdorongnya piston ini menggerakkan komponen-komponen lain dan menghasilkan energi mekanis.

Proses pembakaran mesin otto menggunakan percikan api (*spark*) sehingga mesin otto masuk kedalam kategori *spark ignition engine*. Percikan api didalam ruang bakar dihasilkan oleh busi yang berada didalam ruang bakar. Busi tersebut digunakan untuk menyalakan campuran udara bahan bakar. Campuran udara bahan bakar masuk kedalam ruang bakar melalui katup *intake* yang diatur waktu bukaannya dengan menggunakan *camshaft*.

Pada mesin otto yang digunakan dalam percobaan ini menggunakan 1 buah piston dengan isi volume silinder sekitar 100cc. Sistem pengapian pada mesin yang digunakan ini dilakukang dengan menggunakan CDI sedangkan untuk sistem pemasukan bahan bakar menggunakan karburator. Karburator adalah alat yang digunakan untuk mencampur udara bahan bakar sebelum masuk kedalam ruang bakar. Komponen-komponen penting yang ada di dalam mesin otto antara lain:

#### 1. Katup *intake*

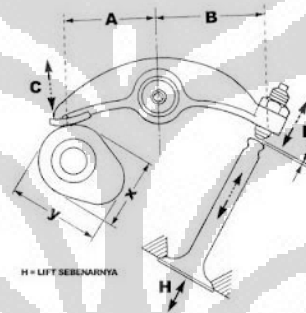
Katup *intake* adalah katup yang berfungsi untuk mengalirkan campuran udara bahan bakar kedalam ruang bakar. Jumlah katup *intake* pada mesin ini berjumlah 1 buah. Katup *intake* bergerak berdasarkan pergerakan *camshaft* dimana saat *camshaft* bergerak mendorong *rocker arm* yang kemudian *rocker arm* tersebut mendorong katup *intake* sehingga katup *intake* terbuka.

## 2. Katup *exhaust*

Katup *exhaust* adalah katup yang berfungsi untuk membuang gas sisa pembakaran dari ruang bakar. Sama seperti katup *intake*, pergerakan katup *exhaust* diatur oleh pergerakan *rocker arm* yang diakibatkan oleh pergerakan *camshaft*.

## 3. *Rocker arm*

*Rocker arm* adalah komponen penggerak katup yang terhubung dengan gerakan *camshaft*. *Rocker arm* bergerak seperti pengungkit yang mendorong katup untuk terbuka dan tertutup.



Gambar 2. 1. *Rocker arm* dan Katup

(Sumber : <http://mechanic-79.blogspot.com/2012/03/rasio-rocker-arm-berpengaruh-pada-lift.html>,  
18 Juni 2012)

## 4. Busi



Gambar 2. 2 Busi

(Sumber : <http://kusuma-cinta.blogspot.com/2011/12/cara-kerja-busi.html>. 18 Juni 2012).

Busi atau *spark* adalah komponen pemercik api yang berfungsi untuk menyalahkan campuran udara bahan bakar yang ada di dalam ruang bakar. Busi dapat bekerja jika tersambung ke CDI yang mempunyai tegangan ribuan volt yang dihasilkan oleh lilitan penyalah (*ignition coil*).

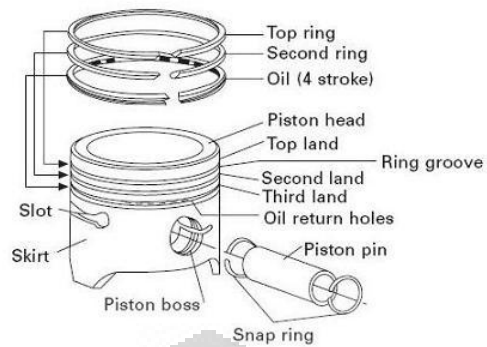
Elektron yang terdorong masuk dari lilitan akan menghasilkan perbedaan tegangan antara elektroda di bagian tengah busi dengan yang di bagian samping busi. Arus tidak dapat mengalir karena adanya bensin dan udara di celah busi, namun jika semakin besar perbedaan tegangan, maka struktur gas di antara kedua elektroda tersebut berubah. Pada saat tegangan melebihi kekuatan dielektrik gas yang ada, maka gas-gas tersebut mengalami proses ionisasi sehingga arus dapat mengalir. Dengan mengalirnya elektron, maka suhu di celah percikan busi akan meningkat. Suhu yang sangat tinggi ini membuat gas yang terionisasi dapat memuai dengan cepat, sehingga terjadi ledakan kecil. Inilah yang disebut percikan busi (*spark*).

#### 5. CDI

CDI yang merupakan singkatan dari *capacitor discharge ignition* adalah salah satu sistem pengapian yang banyak digunakan pada motor bakar sekarang ini. Sistem ini juga dikenal sebagai sistem pengapian elektronik. Keunggulan CDI salah satunya adalah menghasilkan arus yang konstan pada putaran mesin berapapun.

#### 6. Piston

*Piston* adalah komponen yang berfungsi untuk menerima tekanan atau ekspansi pembakaran kemudian diteruskan ke *crankshaft* melalui *connecting rod*. Komponen yang menghubungkan antara *piston* dengan *connecting rod* disebut *piston pin*. *Piston* harus mempunyai sifat tahan terhadap tekanan tinggi dan dapat bekerja dalam kecepatan tinggi.



Gambar 2. 3 Piston dan Komponennya

(Sumber : <http://mesinmemed.blogspot.com/2010/11/piston.html>. 18 Juni 2012)

### 7. *Connecting rod*

*Connecting rod* adalah bagian yang menghubungkan antara *piston* dengan *crankshaft*. *Connecting rod* ini secara berulang-ulang bekerja dengan penuh kekuatan menerima beban. Gaya yang diterima piston disalurkan menjadi putaran *crankshaft* melalui *connecting rod*.



Gambar 2. 4 Connecting Rod

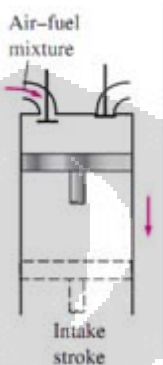
(Sumber : [http://www.vetteweb.com/tech/vemp\\_0209\\_383\\_stroker\\_engine/photo\\_03.html](http://www.vetteweb.com/tech/vemp_0209_383_stroker_engine/photo_03.html). 18 Juni 2012)

## 2.2 Siklus 4 Langkah

Siklus 4 langkah atau juga lebih dikenal sebagai siklus 4 tak berarti dalam 1 siklus piston bergerak 2 kali putaran penuh. Artinya dalam 1 siklus diperlukan waktu putaran sebanyak  $720^0$ . Ciri khas dari siklus 4 tak adalah penggunaan *Camshaft* pada mesin tersebut dikarenakan adanya katup *intake* dan *exhaust*. Jika pada mesin 2 tak tidak perlu menggunakan *camshaft* karena tidak menggunakan sistem katup.

Pada siklus 4 tak ini terbagi menjadi 4 tahap proses yang dijelaskan sebagai berikut:

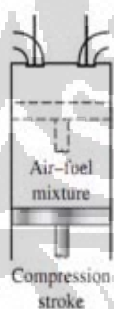
1. Langkah hisap, yaitu waktu torak bergerak dari TMA ke TMB. Campuran udara dan bahan bakar dihisap melalui katup *intake* sedangkan katup *exhaust* tertutup.



Gambar 2. 5 Langkah Hisap

(Sumber : <http://tutorialteknik.blogspot.com/2011/05/siklus-otto-ideal.html>. 18 Juni 2012)

2. Langkah kompresi, yaitu ketika piston bergerak dari TMB ke TMA dengan mengkompresi campuran udara dan bahan bakar yang dihisap sebelumnya. Pada langkah ini, katup *intake* dan katup *exhaust* tertutup, sehingga tekanan dan suhu udara dalam silinder tersebut akan naik.

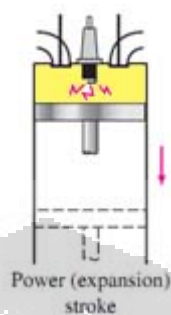


Gambar 2. 6 Langkah Kompresi

(Sumber : <http://tutorialteknik.blogspot.com/2011/05/siklus-otto-ideal.html>. 18 Juni 2012)

3. Langkah Kerja. Sebelum piston mencapai TMA, busi memercikkan api dan terciptalah ledakan pembakaran. Namun gerakan piston masih menuju ke TMA, lalu setelah mencapai TMA, piston turun menuju TMB karena tingginya tekanan ledakan dari proses pembakaran. Pembakaran

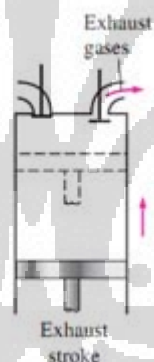
(*ignition*) terjadi sebelum piston mencapai TMA dengan tujuan untuk menciptakan tekanan pembakaran yang tinggi.



Gambar 2. 7 Langkah Kerja

(Sumber : <http://tutorialteknik.blogspot.com/2011/05/siklus-otto-ideal.html>. 18 Juni 2012)

4. Langkah buang, terjadi ketika piston bergerak dari TMB ke TMA dengan katup isap tertutup dan katup buang terbuka, sehingga gas hasil pembakaran terdorong keluar.

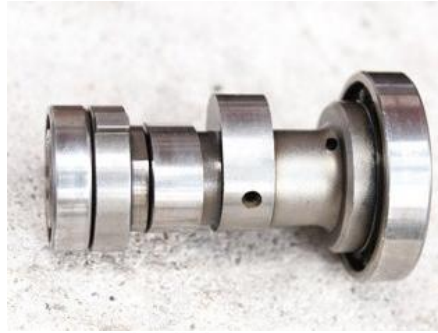


Gambar 2. 8 Langkah Buang

(Sumber : <http://tutorialteknik.blogspot.com/2011/05/siklus-otto-ideal.html>. 18 Juni 2012)

### 2.3. *Camshaft*

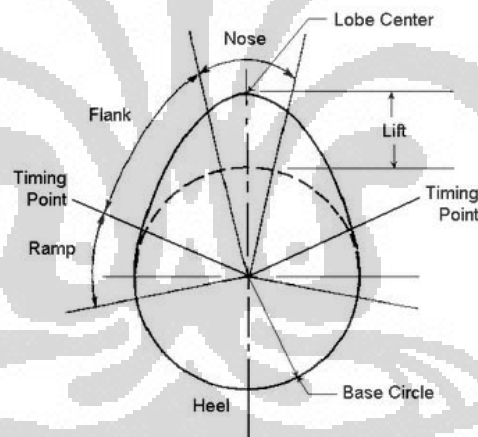
*Camshaft* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menggerakkan katup *intake* dan *exhaust* berdasarkan putaran crankshaft. *Camshaft* memiliki 2 buah tonjolan yang disebut dengan *cam*, yang masing-masing memiliki karakteristik masing-masing. Waktu pembukaan katup, lama pembukaan, dan tinggi bukaan katup diatur seluruhnya oleh *camshaft*, yaitu oleh persentuhan profil *cam* dengan *rocker arm* saat mendorong katup *intake* dan *exhaust*.



Gambar 2. 9 *Camshaft*

### 2.3.1 Cam Lift

*Cam lift* merupakan kemampuan dari *cam* / tonjolan *camshaft* dalam mendorong *rocker arm* saat mendorong katup. Titik tertinggi saat *cam* mendorong katup disebut dengan *max lift*. Namun dimensi *max lift* pada *cam* tidak sama dengan tinggi bukaan katup karena adanya rasio panjang lengan *rocker arm*.



Gambar 2. 10 Profil *Cam*.

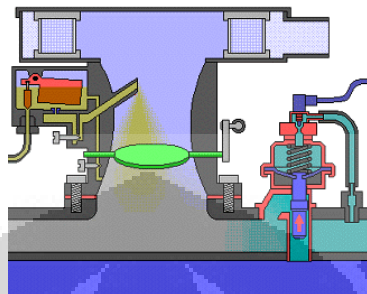
(Sumber: <http://ratmotorsport.wordpress.com/2009/02/04/desain-di-balik-noken-as-2>. 18 Juni 2012)

## 2.4 Karburator

Karburator digunakan untuk mensuplai dan memantau campuran bahan bakar dengan udara dan berhubungan dengan kondisi pembebanan dan putaran mesin. Ketepatan stoikiometri ( $AFR = 14.7$ ) sangat sulit tercapai dikarenakan faktor temperatur, kecepatan, dan beban. Komposisi campuran udara dan bahan



bakar yang dibutuhkan secara umum adalah campuran kaya ( $AFR < 14.7$ ) dan campuran sedikit kaya ( $AFR > 14.7$ ) pada saat putaran mesin diperlambat.



Gambar 2. 11 Pemasukan Bahan Bakar dengan Karburasi

Karburator bekerja dengan memanfaatkan perbedaan tekanan yang terjadi pada rongga rongga didalam karburator dan silinder mesin. Ketika perbedaan tekanan yang terjadi telah melebihi batas, maka katup jarum (*needle valve*) akan membuka dan mengalirkan bahan bakar menuju daerah pencampuran. Tekanan di daerah karburator merupakan tekanan atmosfer, sedangkan tekanan yang dihasilkan oleh langkah hisap pada silinder berada dibawah tekanan atmosfer, perbedaan tekanan ini yang menghasilkan aliran bahan bakar dari karburator menuju silinder. Terdapat beberapa kondisi dalam sistem karburator, yaitu :

- a. Kondisi *idle*, yaitu keadaan dimana mesin berjalan langsam (tanpa beban).
- b. Pada kondisi akselerasi, saluran *throttle* terbuka (sesuai dengan bukaan pedal) sehingga aliran udara masuk dengan debit yang lebih tinggi, dalam kondisi ini bahan bakar akan mengalir melalui *accelerator-circuit nozzle*.
- c. *Wide Open Throttle*, dimana pada kondisi ini *throttle* terbuka penuh.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan *lift* pada *camshaft* yang menyebabkan variasi tinggi bukaan katup *intake* dan *exhaust* pada motor bakar 4 langkah satu silinder. Sebelum dilakukan modifikasi pada *camshaft*, dilakukan pengambilan data karakteristik dari *camshaft* standar untuk mengetahui waktu buka dan tutup katup *intake* dan *exhaust*. Pengambilan data tersebut dilakukan dengan proses *Dial test*. Dari hasil *dial test* tersebut, diperoleh data karakteristik *Camshaft* sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Karakteristik *Camshaft* Standar.

<i>Camshaft</i> Standar	<i>Intake</i>	<i>Exhaust</i>
Open	0 <sup>0</sup> pada TMA	30 <sup>0</sup> sebelum TMB
Close	28 <sup>0</sup> setelah TMB	0 <sup>0</sup> pada TMA
<i>Max Lift</i>	5.50 mm	5.40 mm

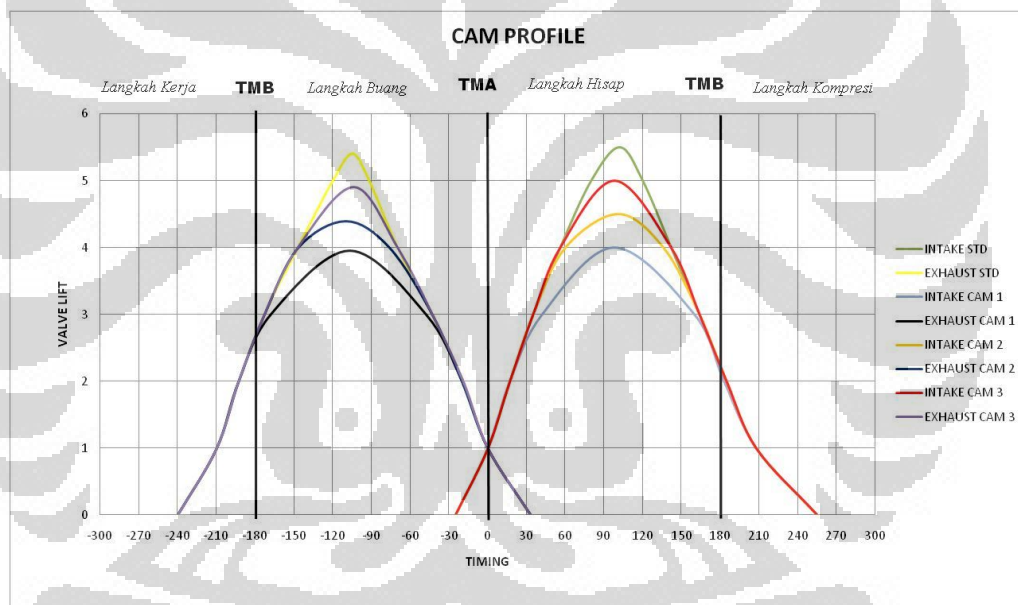
Sumber : Data Olahan

Setelah didapatkan data karakteristik *camshaft* standar, dilakukan modifikasi *lift* dari *camshaft* standar pada *cam intake* dan *exhaust*. Proses modifikasi dilakukan dengan mengurangi *lift cam intake* dan *exhaust*, sedangkan profil *cam* dan waktu buka dan tutup dari masing-masing *cam* tersebut sama seperti *cam* standar. Pengurangan *lift* dilakukan dengan melakukan proses *grinding* pada sisi *lift* dari masing-masing *cam*. Berikut adalah gambar proses *grinding* yang dilakukan :



Gambar 3. 1. Proses *Grinding Cam*.

Untuk penelitian ini, dibuat 3 tipe *cam* yang dimodifikasi, dengan spesifikasi *lift* sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Profil dan Timing 4 Jenis *Camshaft*

Tabel 3. 2 *Lift Camshaft* Modifikasi.

<i>Cam</i>	<i>Intake</i>	<i>Exhaust</i>
<i>Cam</i> Kondisi 1	4 mm	3.95 mm
<i>Cam</i> Kondisi 2	4.5 mm	4.4 mm
<i>Cam</i> Kondisi 3	5 mm	4.9 mm

Sumber : Data Olahan

Dari gambar 3.2, terlihat bahwa waktu buka dan tutup katup *intake* dan *exhaust* dari masing-masing *camshaft* adalah sama dan hanya berbeda pada *max lift*. *Camshaft* standar dijadikan standar acuan untuk pengambilan data *cam* modifikasi.

Kemudian dilakukan pengujian untuk mendapatkan data karakteristik dari motor bakar dengan menggunakan ketiga kondisi *cam* yang telah dimodifikasi. Pengujian yang dilakukan, meliputi :

1. Pengukuran emisi gas buang yang dihasilkan motor bakar terhadap penggunaan 3 jenis/kondisi *cam* modifikasi.
2. Pengujian performa mesin yang meliputi daya yang dihasilkan motor bakar dan *air fuel ratio* terhadap penggunaan 3 jenis/ kondisi *cam* modifikasi.
3. Pengukuran konsumsi bahan bakar dengan penggunaan 3 jenis/ kondisi *cam* modifikasi.

### **3.2. Prosedur Pengambilan Data**

Prosedur yang dilakukan dalam pengujian motor bakar dengan penggunaan 3 jenis/kondisi *cam* modifikasi, yaitu :

1. Menguji motor bakar dengan penggunaan *Camshaft* standar.
2. Melakukan pengujian motor bakar untuk mengambil data emisi gas buang, performa mesin, *air fuel ratio*, dan konsumsi bahan bakar.
3. Setelah pengujian pertama selesai, melakukan pengantian *camshaft* dari *camshaft* standar menjadi *camshaft* kondisi 1.
4. Melakukan pengujian kedua untuk mengambil data emisi gas buang, performa mesin, *air fuel ratio*, dan konsumsi bahan bakar.
5. Setelah pengujian kedua selesai, melakukan pengantian *camshaft* dari *camshaft* kondisi 1 menjadi *camshaft* kondisi 2.
6. Melakukan pengujian ketiga untuk mengambil data emisi gas buang, performa mesin, *air fuel ratio*, dan konsumsi bahan bakar
7. Setelah pengujian ketiga selesai, melakukan pengantian *camshaft* dari *camshaft* kondisi 2 menjadi *camshaft* kondisi 3.

8. Melakukan pengujian keempat untuk mengambil data emisi gas buang, performa mesin, *air fuel ratio*, dan konsumsi bahan bakar

### 3.3. Alat Uji

Untuk melakukan penelitian ini, alat uji yang digunakan adalah

1. Sepeda Motor 100cc 4 Tak.

Spesifikasi sepeda motor yang digunakan adalah :

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	: Lengan ayun dan peredam kejut ganda.
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	: 4 langkah, SOHC, pendinginan udara
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
Kopling Otomatis	: Ganda, otomatis sentrifugal, tipe basah
Gigi transmisi	: 4 kecepatan, bertautan tetap
Pola pengoperan gigi	: N-1-2-3-4-N (rotari)
Starter	: Pedal dan elektrik
Aki	: 12 V; 3,5 Ah
Busi	: ND U20FS, U22FS-U ; NGK C6HSA.,
Sistem pengapian	: AC-CDI Programmable, Magneto

## 2. Gas Analyzer

Alat uji emisi yang digunakan adalah *Technotest tipe 488 plus*.

Spesifikasi *gas analyzer* yang digunakan adalah:

Mains power supply	: 110/220/240 V ( $\pm 15\%$ )
	: 50÷60 Hz ( $\pm 3\%$ )
Measuring range	: CO 0÷99,9% Vol (res. 0.01)
	: CO <sub>2</sub> 0÷19,9% Vol (res. 0.1)
	: HC 0÷9999 ppm Vol (res.1)
	: O <sub>2</sub> 0÷4% Vol. (res.0.01)
	: O <sub>2</sub> 4÷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 ( <i>probe length 3m</i> )
Zero setting	: <i>Electronic and automatic</i>
Condensate drain	: <i>Continuous and automatic</i>
Warm up time	: <i>Max 15 min</i>
Serial output	: RS232
Dimension	: 400x180x420 mm
Weight	: 13.5 kg

## 3. Dynamometer.

Spesifikasi *dynamometer* yang digunakan adalah :

<i>Merk</i>	: <i>Dyno Dynamics</i>
<i>Model</i>	: <i>Dyno Dynamics 450DS AWD Dynamometer</i>
<i>Measure Power</i>	: 1 - 2400 HP
<i>Measure Axle Torque</i>	: <i>up to 12.500 Nm</i>
<i>Max speed</i>	: <i>250 KPH</i>

*Dynamometer* yang digunakan adalah *dynamometer* dengan jenis *chassis dynamometer*. Data yang didapatkan melalui alat uji ini adalah :

- a. *Power* (HP).
- b. *Tractive Effort* (Lb).
- c. *Torsi* (Ftlb).
- d. *Air fuel ratio*.
- e. Kecepatan roda (KPH).
- f. Kecepatan putaran mesin (RPM).



Gambar 3. 3 *Dynotest*

#### 4. *Dial test*.

*Dial test* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur waktu buka dan tutup katup berdasarkan derajat putaran pada *crank shaft*. Hasil dari pengukuran ini adalah derajat atau sudut katup *intake* dan *exhaust* saat membuka dan menutup.



Gambar 3. 4 Alat Uji *Dial test*.

## 5. Alat Ukur Konsumsi Bahan Bakar

Untuk mengukur konsumsi bahan bakar, digunakan gelas ukur yang telah dikalibrasi terlebih dahulu. Pada bagian bawah gelas ukur dihubungkan dengan selang menuju karburator.



Gambar 3. 5 Alat Uji Konsumsi Bahan Bakar

### 3.4 Prosedur Penggunaan Alat Uji

#### 3.4.1 Prosedur Penggunaan *Dial test*.

1. Memasang *degree disc* pada *crank shaft*.
2. Membuka *cover crank case* R dan L.
3. Menempatkan jarum *dial* pada bagian atas katup *intake* dan *exhaust*.
4. Melakukan kalibrasi pada *dial indicator*.
5. Memutar *degree disc* kearah berlawanan jarum jam (sesuai dengan putaran *crank shaft*).
6. Mencatat perubahan pada *dial cam* berdasarkan *degree disc*.

#### 3.4.2 Prosedur Penggunaan *Gas Analyzer*.

Prosedur penggunaan alat uji emisi, *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 pengukuran pada alat uji akan menyala. Jika semua layar pengukuran telah menyala maka alat uji siap digunakan
5. Masukkan *probe gas analyzer* pada lubang keluaran knalpot sepeda motor.
6. Pasang *clamp* pada kabel busi untuk mengetahui nilai RPM pada mesin (*crank shaft*).
7. Baca hasil pengukuran yang tertera pada layar.

### 3.4.3 Prosedur *Dyno test*

Pada pengujian performa mesin ini digunakan alat dynamometer untuk mengukur performa mesin pada berbagai tingkat putaran mesin. Pada pengujian ini juga didapat data *air fuel ratio*. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

1. Menaikan sepeda motor ke atas alat uji
2. Mengunci roda depan pada pengunci roda depan alat uji dan menempatkan roda belakang diatas roller.
3. Mengikat bagian belakang.
4. Mengecek tekanan ban belakang.
5. Beban pengendara di setting seberat 60 Kg.
6. Memasukkan *probe air fuel ratio* pada lubang keluaran knalpot.
7. Kondisi transmisi motor yang digunakan saat dilakukan pengujian adalah *gear 1st*.
8. Sepeda motor siap untuk dilakukan pengujian.

### 3.4.4 Prosedur Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar

Pada pengukuran konsumsi bahan bakar, prosedur yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan kalibrasi gelas ukur yang digunakan untuk setiap penurunan 10 ml.

2. Menghubungkan selang pada bagian bawah gelas ukur ke karburator.
3. Memasukkan bahan bakar ke dalam gelas ukur.
4. Alat ukur konsumsi bahan bakar siap digunakan.

### **3.5 Pengambilan Data**

#### **3.5.1 Pengambilan Data Emisi Gas Buang**

Pengambilan data emisi gas buang dilakukan setelah alat uji *gas analyzer* siap digunakan dan memasukkan *probe gas analyzer* ke dalam lubang knalpot. Kemudian menyalakan mesin sepeda motor dan mengatur bukaan *throttle* untuk tingkat putaran mesin 2000 – 7000 RPM dengan variasi kenaikan 500 RPM. Pencatatan data dilakukan setelah angka yang tertera pada layar alat uji cukup stabil, yaitu setelah 10 detik. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali repetisi pada masing-masing kondisi *cam* yang digunakan pada motor bakar.

#### **3.5.2 Pengambilan Data Dynotest**

Pengambilan data *power*, *torsi*, dan *air fuel ratio* dilakukan setelah sepeda motor dinaikkan ke atas *dynamometer* dan roda belakang tepat ditempatkan di atas *roller*, kemudian pengukuran dilakukan dengan menggunakan *1<sup>st</sup> gear* dengan putaran mesin 3000-9500 RPM. Pengambilan data dilakukan sebanyak 4 kali repetisi untuk setiap kondisi *cam* yang dipasang pada motor bakar.

#### **3.5.3 Pengambilan Data Konsumsi Bahan Bakar**

Pengambilan data konsumsi bahan bakar dilakukan setelah alat uji terpasang dengan baik. Kemudian mesin dioperasikan pada putaran mesin rendah (3000RPM), menengah (5000RPM), dan tinggi (7000RPM). Pencatatan data dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan motor bakar dalam mengkonsumsi 10 ml bahan bakar. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali repetisi untuk setiap kondisi *cam* yang dipasang pada motor bakar.

## BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS DATA

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian motor bakar untuk mendapatkan data karakteristik motor bakar tersebut terhadap variasi tinggi bukaan katup yang berbeda. Variasi tinggi bukaan katup dilakukan dengan memodifikasi *camshaft* standar menjadi 3 *camshaft* dengan *max lift* yang berbeda namun durasi tetap sama. Data karakteristik yang diperoleh saat pengujian motor bakar tersebut, yaitu

1. Emisi gas buang yang dihasilkan pada masing-masing penggunaan *camshaft*.
2. Daya yang dihasilkan pada masing-masing penggunaan *camshaft*.
3. Konsumsi bahan bakar dan *Air fuel ratio* (AFR) motor pada proses pembakaran bahan bakar pada masing-masing penggunaan *camshaft*.

### 4.1. Data Emisi Gas Buang

#### 4.1.1. Data Emisi Gas Buang dengan *Camshaft* Standar

Data emisi gas buang yang diukur yaitu CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub>. Berikut adalah data emisi gas buang hasil pengujian motor bakar dengan *camshaft* standar.

Tabel 4. 1 Data kadar CO (% vol) dengan *Camshaft* Standar

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	1.84	1.96	2.05	1.95	0.105
2500	2.02	2.63	2.38	2.34	0.307
3000	2.24	2.36	2.1	2.23	0.130
3500	2.75	2.17	2.39	2.44	0.293
4000	2.63	2.48	2.37	2.49	0.131
4500	2.58	2.3	2.02	2.30	0.280
5000	2.52	2.91	2.16	2.53	0.375
5500	2.4	2.88	2.89	2.72	0.280
6000	2.1	2.51	2.2	2.27	0.214
6500	2.54	2.42	1.85	2.27	0.369
7000	2.33	2.12	1.28	1.91	0.556
<b>Rata-rata Total</b>				<b>2.31</b>	<b>0.276</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 2 Data Kadar CO<sub>2</sub> (% vol) dengan *Camshaft* Standar

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standar Deviasi
2000	2.3	2.8	2.7	2.60	0.26
2500	2.4	2.6	2.4	2.47	0.12
3000	2.5	2.5	2.4	2.47	0.06
3500	2.9	2.5	2.4	2.60	0.26
4000	2.6	2.5	2.3	2.47	0.15
4500	2.4	2.3	2.3	2.33	0.06
5000	2.5	2.4	2.3	2.40	0.10
5500	2.6	2.3	2.4	2.43	0.15
6000	2.6	2.4	2.4	2.47	0.12
6500	3	2.5	2.2	2.57	0.40
7000	3.1	2.4	2.3	2.60	0.44
<b>Rata-rata Total</b>				<b>2.49</b>	<b>0.19</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 3 Data Kadar HC (ppm vol) dengan *Camshaft* Standar

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	250	298	261	269.67	25.15
2500	256	189	183	209.33	40.53
3000	265	155	150	190.00	65.00
3500	224	144	135	167.67	48.99
4000	223	135	132	163.33	51.69
4500	182	131	110	141.00	37.03
5000	182	123	114	139.67	36.94
5500	163	136	109	136.00	27.00
6000	156	102	100	119.33	31.77
6500	158	100	89	115.67	37.07
7000	151	81	89	107.00	38.31
<b>Rata-rata Total</b>				<b>159.88</b>	<b>39.95</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 4 Data Kadar O<sub>2</sub> (% vol) dengan *Camshaft* Standar

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	15.9	15.3	15.8	15.67	0.32
2500	15.8	15.9	15.8	15.83	0.06
3000	15.8	15.9	15.8	15.83	0.06
3500	14.5	15.8	15.9	15.40	0.78
4000	14.5	16	15.9	15.47	0.84
4500	14.8	15.9	16.1	15.60	0.70
5000	14.8	15.6	16.1	15.50	0.66
5500	14.7	15.9	15.7	15.43	0.64
6000	14.9	15.4	16.1	15.47	0.60
6500	14.6	15.3	16.4	15.43	0.91
7000	14.6	15.6	16.5	15.57	0.95
<b>Rata-rata Total</b>				<b>15.56</b>	<b>0.59</b>

Sumber : Data Olahan

#### 4.1.2. Data Emisi Gas Buang dengan *Camshaft* Kondisi 1

Berikut adalah data emisi gas buang hasil pengujian motor bakar pada *camshaft* kondisi 1 dengan *intake lift* = 4 mm, *exhaust lift* = 3.95 mm :

Tabel 4. 5 Data Kadar CO (% vol) dengan *Camshaft* Kondisi 1

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	0.92	2.08	1.37	1.46	0.585
2500	1.2	2.36	1.76	1.77	0.580
3000	1.5	1.85	1.24	1.53	0.306
3500	1.59	1.84	1.31	1.58	0.265
4000	1.49	1.62	1.17	1.43	0.232
4500	1.4	1.54	1.29	1.41	0.125
5000	1.33	1.08	1.08	1.16	0.144
5500	1.47	1.12	1.03	1.21	0.232
6000	1.59	1.12	0.9	1.20	0.352
6500	1.5	0.83	0.71	1.01	0.426
7000	1.46	0.81	0.69	0.99	0.414
<b>Rata-rata Total</b>				<b>1.34</b>	<b>0.333</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 6 Data Kadar CO<sub>2</sub> (% vol) dengan *Camshaft* Kondisi 1

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	2.6	2.4	2.3	2.43	0.15
2500	3	2.9	2.5	2.80	0.26
3000	3.1	2.7	2.8	2.87	0.21
3500	2.9	2.8	2.5	2.73	0.21
4000	2.6	2.6	2.3	2.50	0.17
4500	2.7	2.6	2.3	2.53	0.21
5000	2.5	2.5	2.3	2.43	0.12
5500	2.6	2.4	2.2	2.40	0.20
6000	2.5	2.1	2.2	2.27	0.21
6500	2.5	2.1	2.1	2.23	0.23
7000	2.2	2.1	2.1	2.13	0.06
<b>Rata-rata Total</b>				<b>2.48</b>	<b>0.18</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 7 Data Kadar HC (ppm vol) dengan *Camshaft* Kondisi 1

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	183	196	195	191.33	7.23
2500	182	155	174	170.33	13.87
3000	195	128	141	154.67	35.53
3500	196	107	126	143.00	46.87
4000	140	104	106	116.67	20.23
4500	135	85	98	106.00	25.94
5000	131	83	89	101.00	26.15
5500	135	97	74	102.00	30.81
6000	139	114	74	109.00	32.79
6500	140	96	72	102.67	34.49
7000	97	78	70	81.67	13.87
<b>Rata-rata Total</b>				<b>125.30</b>	<b>26.16</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 8 Data Kadar O<sub>2</sub> (% vol) dengan *Camshaft* Kondisi 1

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	16.4	16.6	16.4	16.47	0.12
2500	15.8	15.6	15.8	15.73	0.12
3000	15.6	15.7	15.4	15.57	0.15
3500	15.8	15.6	15.8	15.73	0.12
4000	16.1	15.9	16	16.00	0.10
4500	16.3	15.9	16.4	16.20	0.26
5000	16.5	16.1	16.4	16.33	0.21
5500	16.4	16	16.6	16.33	0.31
6000	16.4	15.6	16.8	16.27	0.61
6500	16.4	15.7	16.9	16.33	0.60
7000	16.2	16	16.7	16.30	0.36
<b>Rata-rata Total</b>				<b>16.12</b>	<b>0.27</b>

Sumber : Data Olahan

#### 4.1.3. Data Emisi Gas Buang dengan *Camshaft* Kondisi 2

Berikut adalah data emisi gas buang hasil pengujian motor bakar pada *camshaft* kondisi 2 dengan *intake lift* = 4.5 mm, *exhaust lift* = 4.4 mm :

Tabel 4. 9 Data Kadar CO (% vol) dengan *Camshaft* Kondisi 2

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	1.29	2.37	1.99	1.88	0.548
2500	1.29	2.29	2.16	1.91	0.544
3000	1.59	2.35	2	1.98	0.380
3500	1.69	2.41	1.88	1.99	0.373
4000	1.7	2.34	2.07	2.04	0.321
4500	1.96	2.47	2.04	2.16	0.274
5000	1.89	1.98	1.85	1.91	0.067
5500	1.8	1.88	1.33	1.67	0.297
6000	1.69	1.77	1.18	1.55	0.320
6500	1.64	1.39	1.48	1.50	0.127
7000	1.85	1.4	1.41	1.55	0.257
<b>Rata-rata Total</b>				<b>1.83</b>	<b>0.319</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 10 Data Kadar CO<sub>2</sub> (% vol) dengan *Camshaft* Kondisi 2

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	2.6	2	2.5	2.37	0.32
2500	2.7	2.3	2.8	2.60	0.26
3000	3	2.3	2.9	2.73	0.38
3500	2.6	2.1	2.9	2.53	0.40
4000	2.5	1.9	2.8	2.40	0.46
4500	2.4	1.8	2.6	2.27	0.42
5000	2.3	1.7	2.7	2.23	0.50
5500	2.2	1.6	2.5	2.10	0.46
6000	2.2	1.7	2.2	2.03	0.29
6500	2.2	1.6	2.2	2.00	0.35
7000	2.1	1.6	2.2	1.97	0.32
<b>Rata-rata Total</b>				<b>2.29</b>	<b>0.38</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 11 Data Kadar HC (ppm vol) dengan *Camshaft* 2

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	175	183	228	195.333	28.57
2500	187	125	182	164.67	34.44
3000	164	126	134	141.33	20.03
3500	138	140	136	138.00	2.00
4000	127	119	144	130.00	12.77
4500	128	113	124	121.67	7.77
5000	127	107	116	116.67	10.02
5500	121	100	124	115.00	13.08
6000	113	94	120	109.00	13.45
6500	112	84	118	104.67	18.15
7000	111	76	119	102.00	22.87
<b>Rata-rata Total</b>				<b>130.76</b>	<b>16.65</b>

Sumber : Data Olahan



Tabel 4. 12 Data Kadar O<sub>2</sub> (%vol) dengan *Camshaft* Kondisi 2

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	16.2	17	16.7	16.63	0.40
2500	16.4	16.3	16.5	16.40	0.10
3000	16.6	15.7	15.6	15.97	0.55
3500	15.8	16.1	15.9	15.93	0.15
4000	16	16.3	16.1	16.13	0.15
4500	16	16.4	16.1	16.17	0.21
5000	16.1	16.8	16.1	16.33	0.40
5500	16.3	17.2	16.4	16.63	0.49
6000	16.4	17.1	16.9	16.80	0.36
6500	16.4	17.1	16.8	16.77	0.35
7000	16.4	17.2	17.1	16.90	0.44
<b>Rata-rata Total</b>				<b>16.42</b>	<b>0.33</b>

Sumber : Data Olahan

#### 4.1.4. Data Emisi Gas Buang dengan *Camshaft* Kondisi 3

Berikut adalah data emisi gas buang hasil pengujian motor bakar pada *camshaft* kondisi 3 dengan *intake lift* = 5 mm, *exhaust lift* = 4.9 mm :

Tabel 4. 13 Data Kadar CO (%vol) dengan *Camshaft* Kondisi 3

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	1.47	2.3	2.17	1.98	0.446
2500	1.52	2.07	2.24	1.94	0.376
3000	1.98	1.82	2.16	1.99	0.170
3500	1.89	1.73	1.64	1.75	0.127
4000	1.99	1.61	1.42	1.67	0.290
4500	1.86	1.47	1.46	1.60	0.228
5000	1.82	1.94	1.54	1.77	0.205
5500	1.76	1.54	1.67	1.66	0.111
6000	1.63	1.28	1.72	1.54	0.232
6500	1.68	1.4	1.62	1.57	0.147
7000	1.46	1.11	1.19	1.25	0.183
<b>Rata-rata Total</b>				<b>1.70</b>	<b>0.229</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 14 Data Kadar CO<sub>2</sub> (% vol) dengan *Camshaft* Kondisi 3

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	2.5	2.5	2.3	2.43	0.12
2500	2.4	2.5	2.6	2.50	0.10
3000	2.7	2.6	2.6	2.63	0.06
3500	2.4	2.4	2.6	2.47	0.12
4000	2.3	2.4	2.5	2.40	0.10
4500	2.3	2.3	2.4	2.33	0.06
5000	2.5	2.3	2.4	2.40	0.10
5500	2.5	2.2	2.4	2.37	0.15
6000	2.3	2.1	2.2	2.20	0.10
6500	2.4	1.9	2.2	2.17	0.25
7000	2.5	1.9	2	2.13	0.32
<b>Rata-rata Total</b>				<b>2.37</b>	<b>0.13</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 15 Data Kadar HC (% vol) dengan *Camshaft* Kondisi 3

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standard Deviasi
2000	177	148	252	192.33	53.67
2500	163	168	210	180.33	25.81
3000	152	135	198	161.67	32.59
3500	134	101	152	129.00	25.87
4000	131	104	132	122.33	15.89
4500	116	96	121	111.00	13.23
5000	110	85	112	102.33	15.04
5500	101	98	119	106.00	11.36
6000	100	83	113	98.67	15.04
6500	114	77	104	98.33	19.14
7000	98	77	96	90.33	11.59
<b>Rata-rata Total</b>				<b>126.58</b>	<b>21.75</b>

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 16 Data Kadar O<sub>2</sub> (%vol) dengan *Camshaft* Kondisi 3

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Std Deviasi
2000	16.1	16.4	16.2	16.23	0.15
2500	16.2	16.2	15.6	16.00	0.35
3000	15.8	15.7	15.3	15.60	0.26
3500	15.9	16	15.5	15.80	0.26
4000	16	16	15.7	15.90	0.17
4500	16.1	16.2	15.8	16.03	0.21
5000	16	16.3	15.8	16.03	0.25
5500	16	16.2	15.7	15.97	0.25
6000	16.2	16.4	16.1	16.23	0.15
6500	16	16.6	16.4	16.33	0.31
7000	16.1	16.7	16.7	16.50	0.35
<b>Rata-rata Total</b>				<b>16.06</b>	<b>0.25</b>

Sumber : Data Olahan

Pada pengujian keempat *camshaft* tersebut , diperoleh data kadar emisi gas buang . Pengambilan data dilakukan pada putaran mesin 2000-7000 RPM dengan variasi 500 RPM. Pencatatan data dilakukan setelah detik ke-10 pada masing-masing tingkat kecepatan.

## 4.2. Data Dyno test

### 4.2.1. Data Dyno test untuk Camshaft Standar

Berikut adalah data yang diperoleh melalui pengujian *dyno test* untuk penggunaan *camshaft* standar :

Tabel 4. 17. Data Dynotest untuk *Camshaft* Standar

Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temprature (°C)	Air/Fuel Petrol	Lambda Petrol
14	4146	3.0	131	34.5	14.7	1.01
16	4738	3.4	130	34.4	13.5	0.93
18	5330	4.0	133	34.4	13.4	0.92
20	5922	4.5	136	34.5	13.2	0.91
22	6514	4.9	135	34.5	12.8	0.88
24	7107	5.2	130	34.5	12.9	0.88
26	7699	5.1	118	34.5	12.6	0.87
28	8291	4.4	94	34.4	12.2	0.84

Sumber : Data Olahan

### 4.2.2. Data Dyno test untuk Camshaft Kondisi 1

Berikut adalah data yang diperoleh melalui pengujian *dyno test* untuk penggunaan *camshaft* kondisi 1 :

Tabel 4. 18. Data Dynotest untuk *Camshaft* Kondisi 1

Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temprature (°C)	Air/Fuel Petrol	Lambda Petrol
14	4146	3.0	127	34.0	15.4	1.06
16	4738	3.3	126	34.0	13.9	0.95
18	5330	3.9	129	34.0	13.8	0.94
20	5922	4.3	130	34.0	13.8	0.94
22	6514	4.6	126	34.1	13.4	0.92
24	7107	4.6	115	34.1	13.0	0.89
26	7699	4.1	96	34.1	12.5	0.86

Sumber : Data Olahan

#### 4.2.3. Data Dyno test untuk Camshaft Kondisi 2

Berikut adalah data yang diperoleh melalui pengujian *dyno test* untuk penggunaan *camshaft* kondisi 2 :

Tabel 4. 19. Data Dynotest untuk *Camshaft* Kondisi 2

Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temprature (°C)	Air/Fuel Petrol	Lambda Petrol
14	4146	2.9	124	33.9	14.3	0.98
16	4738	3.2	121	33.8	13.6	0.94
18	5330	3.7	123	33.9	13.6	0.94
20	5922	4.0	122	34.0	13.6	0.93
22	6514	4.2	114	33.9	12.8	0.88
24	7107	4.0	100	33.9	12.7	0.87

Sumber : Data Olahan

#### 4.2.4. Data Dyno test untuk Camshaft Kondisi 3

Berikut adalah data yang diperoleh melalui pengujian *dyno test* untuk penggunaan *camshaft* kondisi 3 :

Tabel 4. 20. Data Dynotest untuk *Camshaft* Kondisi 3

Speed (KPH)	Gear RPM (RPM)	Power (HP)	Tractive (Lb)	Temprature (°C)	Air/Fuel Petrol	Lambda Petrol
14	4146	3.0	131	33.6	15.0	1.03
16	4738	3.5	131	33.6	14.0	0.96
18	5330	4.0	135	33.7	13.7	0.94
20	5922	4.5	136	33.6	13.7	0.94
22	6514	4.8	133	33.7	13.3	0.91
24	7107	4.9	123	33.7	13.0	0.89
26	7699	4.6	107	33.7	12.7	0.87

Sumber : Data Olahan

### 4.3. Data Konsumsi Bahan Bakar

#### 4.3.1 Data Konsumsi Bahan Bakar untuk *Camshaft* Standar

Berikut adalah data yang diperoleh melalui pengukuran konsumsi bahan bakar dengan penggunaan *camshaft* standar :

Tabel 4. 21 Data Konsumsi Bahan Bakar (liter / jam) *Camshaft* Standar

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standar Deviasi
3000	0.290	0.259	0.259	0.269	0.018
5000	0.468	0.500	0.450	0.473	0.025
7000	0.692	0.706	0.655	0.684	0.027
<b>Rata-rata Total</b>				<b>0.475</b>	<b>0.023</b>

Sumber : Data Olahan

#### 4.3.2 Data Konsumsi Bahan Bakar untuk *Camshaft* Kondisi 1

Berikut adalah data yang diperoleh melalui pengukuran konsumsi bahan bakar dengan penggunaan *camshaft* kondisi 1 :

Tabel 4. 22 Data Konsumsi Bahan Bakar (liter / jam) *Camshaft* Kondisi 1

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standar Deviasi
3000	0.243	0.255	0.229	0.243	0.013
5000	0.462	0.429	0.468	0.453	0.021
7000	0.655	0.720	0.632	0.669	0.046
<b>Rata-rata Total</b>				<b>0.455</b>	<b>0.027</b>

Sumber : Data Olahan

#### 4.3.3 Data Konsumsi Bahan Bakar untuk *Camshaft* Kondisi 2

Berikut adalah data yang diperoleh melalui pengukuran konsumsi bahan bakar dengan penggunaan *camshaft* kondisi 2 :

Tabel 4. 23 Data Konsumsi Bahan Bakar (liter / jam) *Camshaft* Kondisi 2

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standar Deviasi
3000	0.259	0.265	0.275	0.266	0.008
5000	0.434	0.434	0.450	0.439	0.009
7000	0.720	0.643	0.692	0.685	0.039
<b>Rata-rata Total</b>				<b>0.463</b>	<b>0.019</b>

Sumber : Data Olahan

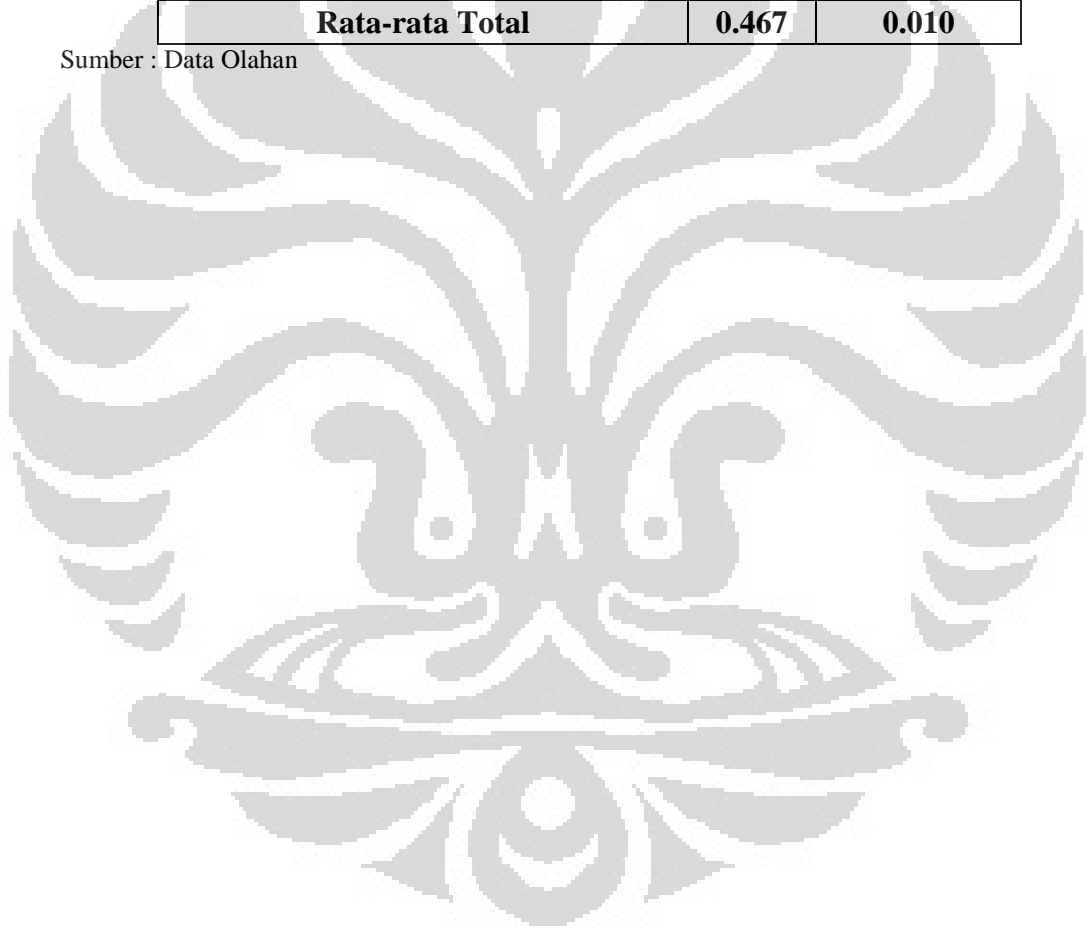
#### 4.3.4 Data Konsumsi Bahan Bakar untuk *Camshaft* Kondisi 3

Berikut adalah data yang diperoleh melalui pengukuran konsumsi bahan bakar dengan penggunaan *camshaft* kondisi 3 :

Tabel 4. 24 Data Konsumsi Bahan Bakar (liter / jam) *Camshaft* Kondisi 3

RPM	Repetisi 1	Repetisi 2	Repetisi 3	Rata-rata	Standar Deviasi
3000	0.259	0.259	0.275	0.264	0.009
5000	0.450	0.468	0.456	0.458	0.009
7000	0.667	0.679	0.692	0.679	0.013
<b>Rata-rata Total</b>				<b>0.467</b>	<b>0.010</b>

Sumber : Data Olahan



#### 4.4. Analisa Pengaruh Perubahan *Lift Camshaft*

Pada analisa data hasil percobaan ini, dibagi menjadi 5 bagian analisa, yaitu analisa emisi gas buang, analisa daya yang dihasilkan motor bakar, analisa AFR, analisa konsumsi bahan bakar, dan pemetaan penggunaan *camshaft* yang optimal.

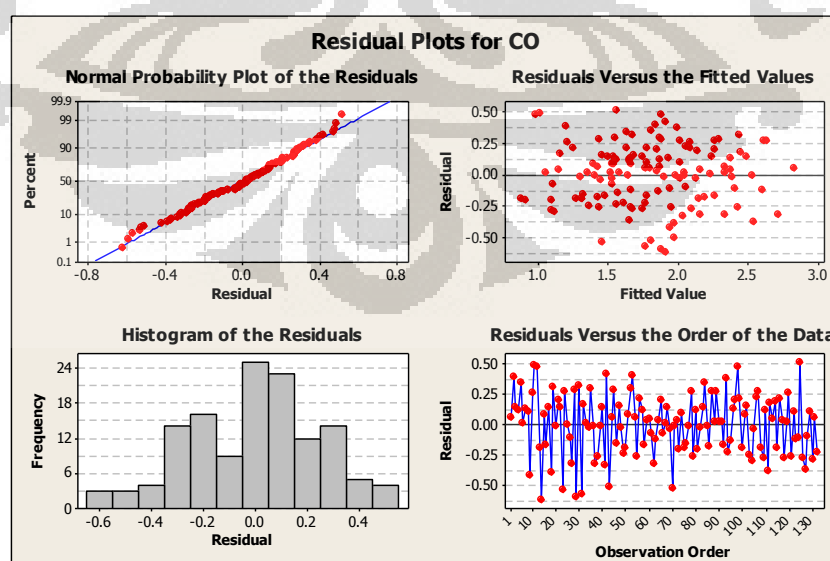
##### 4.4.1 Analisa Emisi Gas Buang

Hasil pengujian motor bakar dengan mengindikasikan adanya kandungan unsur CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub> pada gas buang motor bakar tersebut. Berikut adalah analisa untuk masing-masing kandungan tersebut.

##### 1. Analisa Kandungan CO pada Gas Buang.

Karbon monoksida (CO) dihasilkan dari pembakaran tak sempurna dari senyawa karbon.. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran yang disebabkan saat terjadi proses pembakaran di dalam ruang bakar, massa oksigen tidak mencukupi untuk bereaksi dengan senyawa karbon dari bahan bakar.

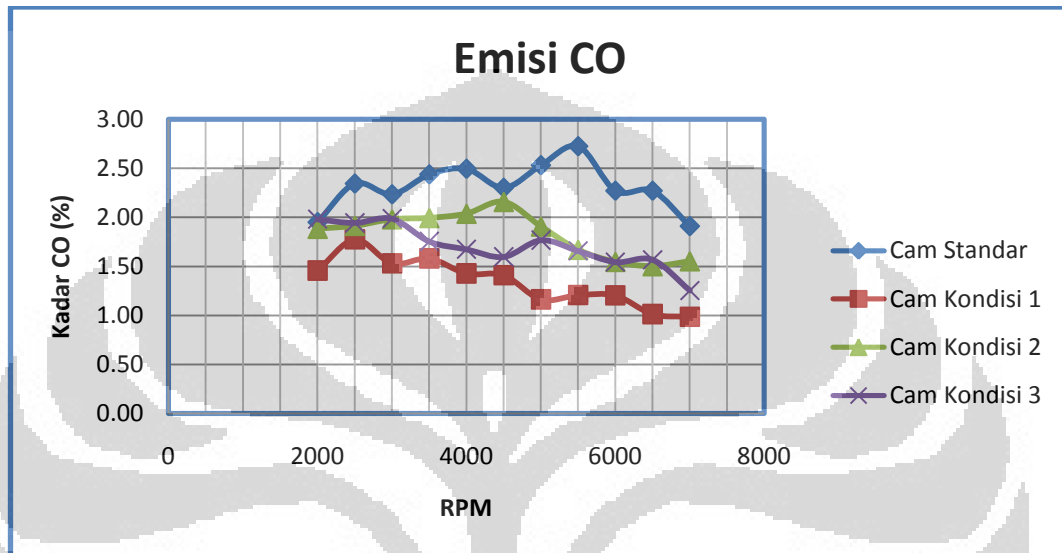
Berdasa tabel 4.1, 4.5, 4.9, dan 4.13, dilakukan pengolahan data secara statistik untuk mengetahui persebaran data yang diperoleh dari hasil pengukuran kadar CO. Pengukuran kadar emisi CO dilakukan dengan repetisi atau pengulangan sebanyak 3 kali pada masing-masing kondisi *camshaft* agar didapatkan data yang lebih akurat.



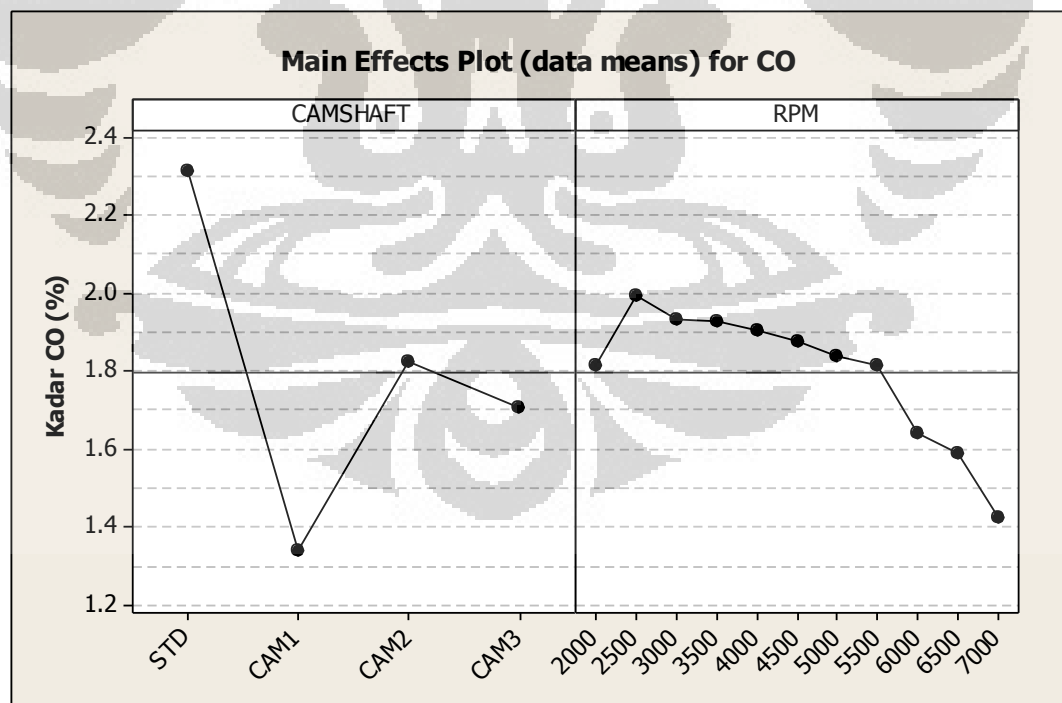
Gambar 4. 1 Grafik Residual Plot untuk Emisi Gas CO



Dari grafik *Normal Probability* di atas, data kadar CO dari keempat kondisi *camshaft* yang digunakan, terdistribusi mendekati garis normalnya dan membuktikan bahwa data-data tersebut terdistribusi secara normal dan dapat digunakan untuk perbandingan kadar CO dari keempat *camshaft* tersebut.



Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Kadar CO pada Empat Jenis *Camshaft*



Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh *Camshaft* dan RPM terhadap Rata-rata Kadar CO

Tabel 4. 25 Persentase Selisih Kadar CO (%) *Camshaft* Modifikasi terhadap *Camshaft* Standar

CAM	RATA-RATA	SELISIH	PERSENTASE
CAM STANDAR	2.31		
CAM KONDISI 1	1.34	-0.97364	42.07 %
CAM KONDISI 2	1.83	-0.48333	20.88 %
CAM KONDISI 3	1.70	-0.61273	26.47 %

Sumber : Data Olahan

Dari gambar 4.2, *camshaft* standar saat digunakan pada motor bakar, menyebabkan proses pembakaran dalam ruang bakar menghasilkan senyawa karbon monoksida yang paling besar. Fenomena yang terjadi adalah adanya hubungan antara karbon monoksida dengan pengaruh tinggi bukaan katup. Terjadi penurunan kadar CO pada penggunaan *cam* kondisi 3, *cam* kondisi 2, dan kadar CO yang paling rendah dihasilkan saat penggunaan *cam* kondisi 1 dengan nilai *lift cam* terkecil.

Fenomena tersebut mengindikasikan bukaan katup yang lebih tinggi menyebabkan campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar semakin besar. Namun campuran ini belum tentu mengandung rasio udara dan bahan bakar yang berada pada zona stokiometri, dimana campuran massa udara dan bahan bakar memiliki nilai perbandingan yaitu 14,7. Akibatnya adalah dengan semakin besarnya massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk ruang bakar yang tidak berada pada takaran yang ideal menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna dan menyebabkan meningkatnya kadar CO dalam bahan bakar. Sedangkan untuk bukaan *camshaft* kondisi 1 yang lebih kecil mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar mendekati nilai campuran yang ideal, sehingga terjadi pembakaran yang lebih sempurna di setiap tingkat putaran mesin yang ditandai dengan lebih rendahnya kadar CO yang dihasilkan.

Untuk mengetahui keterkaitan kadar CO diantara dua kondisi *camshaft* yang berbeda, maka dilakukan uji T. Uji T yang dilakukan adalah uji T pasangan populasi saling tergantung. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

a. Hipotesis :

$$H_0 : \mu_d = 0 \quad \rightarrow \text{uji dua ujung}$$

$$H_1 : \mu_d \neq 0 \quad \rightarrow \text{uji dua ujung}$$

$$\mu_d < / > 0 \quad \rightarrow \text{uji satu ujung}$$

b. *Level of significance* 95%,  $\alpha = 0.05$

c. Menggunakan tabel distribusi T (lampiran 1).

d. Batas-batas daerah penolakan atau batas kritis uji dua-ujung :  $\alpha = 0.05$  sehingga  $\alpha/2 = 0.025$  dengan derajat kebebasan  $df = v = n - 1 = 11 - 1 = 10$ . Dari tabel T untuk  $\alpha = 0.025$ ;  $df = 10$  didapatkan batas kritis adalah  $T_{0.025,10} = 2,228$ .

e. Aturan keputusan

Tolak  $H_0$  dan terima  $H_1$  jika  $RU_t < -2,228$  atau  $RU_t > +2,228$ . Jika tidak demikian terima  $H_0$ .

f. Rasio uji

$$RU_t = T_{\text{test}} = \frac{\bar{d} - \mu_d}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

g. Pengambilan keputusan

Tabel 4. 26 Perbandingan *Camshaft* Standard dan *Camshaft* Kondisi 1 untuk uji T

RPM	CAM STD (X1)	CAM 1 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	1.95	1.46	0.49	-0.48	0.227
2500	2.34	1.77	0.57	-0.40	0.160
3000	2.23	1.53	0.70	-0.27	0.071
3500	2.44	1.58	0.86	-0.11	0.013
4000	2.49	1.43	1.07	0.10	0.009
4500	2.30	1.41	0.89	-0.08	0.006
5000	2.53	1.16	1.37	0.40	0.157
5500	2.72	1.21	1.52	0.55	0.299
6000	2.27	1.20	1.07	0.10	0.009

6500	2.27	1.01	1.26	0.29	0.082
7000	1.91	0.99	0.92	-0.05	0.002
$\Sigma$			10.71	0.04	1.04
$\bar{D}$			0.97		
$S_d$			0.322		
<b><math>Ru_t = t_{test}</math></b>			<b>10.029</b>		

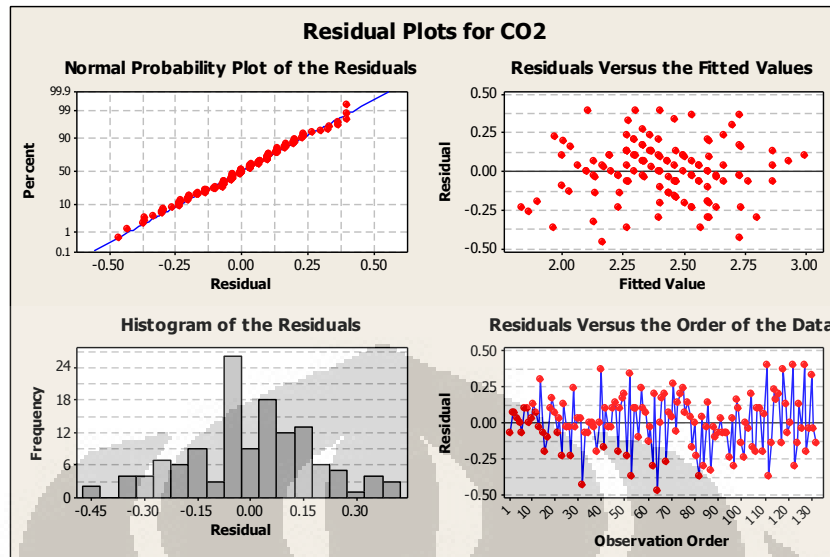
Sumber : Data Olahan

Hasil uji T untuk *camshaft* standar dan *camshaft* 1 didapatkan nilai rasio uji +10.029 ( $> +2.228$ ), dan  $H_1 : \mu_d > 0$  diterima. Dengan metode yang sama, didapatkan rasio uji *camshaft* standar dengan *camshaft* 2 sebesar + 5.51 dan *camshaft* standar dengan *camshaft* 3 sebesar 6.77 (lampiran 2). Dari ketiga hubungan tersebut, rasio uji terbesar adalah rasio uji antara *camshaft* standar dan *camshaft* 1. Kesimpulan yang dapat diambil adalah dengan menggunakan *camshaft* 1, rata-rata kadar CO mengalami penurunan yang signifikan terhadap kadar CO yang dihasilkan oleh motor bakar dengan penggunaan *camshaft* standar. Berdasarkan tabel 4.25, dengan menggunakan *camshaft* 1, penurunan kadar CO yang dihasilkan motor bakar adalah sebesar **42,07 %**

## 2. Analisa Kandungan CO<sub>2</sub> pada Gas Buang.

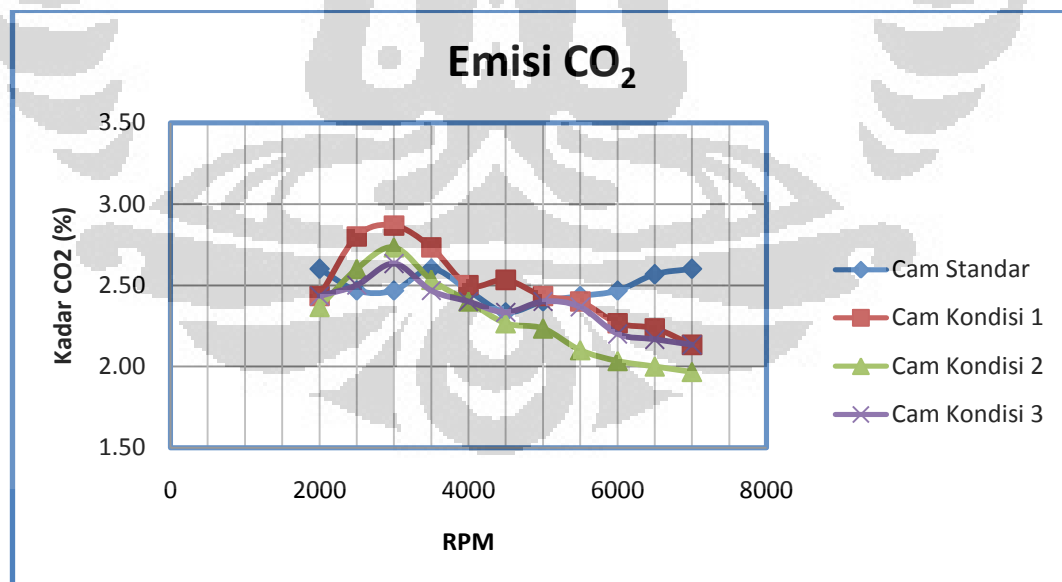
Konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi kadar CO<sub>2</sub> dalam suatu proses pembakaran maka semakin sempurna proses pembakaran yang terjadi pada ruang bakar.

Berdasa tabel 4.2, 4.6, 4.10, dan 4.14, dilakukan pengolahan data secara statistik untuk mengetahui persebaran data yang diperoleh dari hasil pengukuran kadar CO<sub>2</sub>. Pengukuran kadar emisi CO<sub>2</sub> dilakukan dengan repetisi atau pengulangan sebanyak 3 kali pada masing-masing kondisi *camshaft* agar didapatkan data yang lebih akurat.

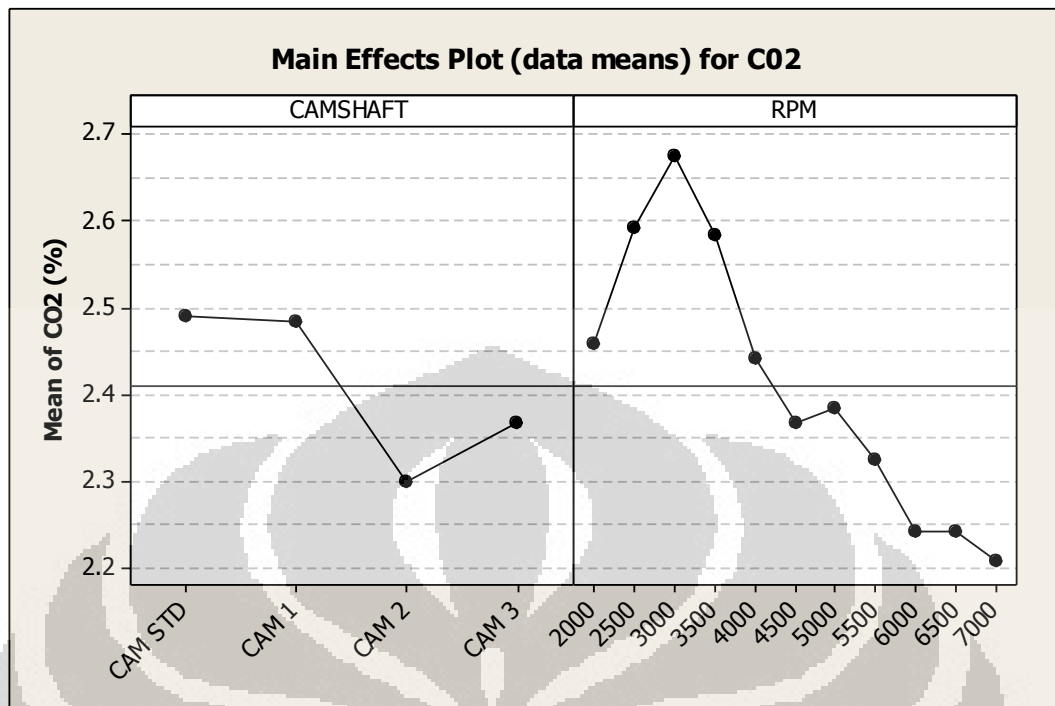


Gambar 4. 4 Grafik Residual Plot untuk Emisi Gas CO<sub>2</sub>

Dari grafik *Normal Probability* di atas, data kadar CO<sub>2</sub> dari keempat kondisi *camshaft* yang digunakan, terdistribusi mendekati garis normalnya dan membuktikan bahwa data-data tersebut terdistribusi secara normal dan dapat digunakan untuk perbandingan kadar CO<sub>2</sub> dari keempat *camshaft* tersebut.



Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Kadar CO<sub>2</sub> pada Empat Jenis *Camshaft*



Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh *Camshaft* dan RPM terhadap Rata-rata Kadar CO<sub>2</sub>

Tabel 4. 27 Persentase Selisih Kadar CO<sub>2</sub> (%) *Camshaft* Modifikasi terhadap *Camshaft* Standar

CAM	RATA-RATA	SELISIH	PERSENTASE
CAM STANDAR	2.49		
CAM KONDISI 1	2.48	-0.01	0.24 %
CAM KONDISI 2	2.29	-0.20	7.91 %
CAM KONDISI 3	2.37	-0.12	4.99 %

Sumber : Data Olahan

Dari grafik pada gambar 4.5 dan tabel 4.27 kadar CO<sub>2</sub> tertinggi dihasilkan oleh *cam* kondisi standar dengan *cam lift* terbesar, diikuti penurunan oleh *cam* kondisi 1, *cam* kondisi 3 dan *cam* kondisi 2. Untuk mengetahui keterkaitan kadar CO<sub>2</sub> diantara dua kondisi *camshaft* yang berbeda, maka dilakukan uji T. Metode uji T yang digunakan sama dengan uji T pada bahasan sebelumnya dengan  $T_{0,025,10} = 2,228$ . Kalkulasi uji T dapat dilihat pada lampiran 3. Hasil uji T ditampilkan dalam tabel berikut.

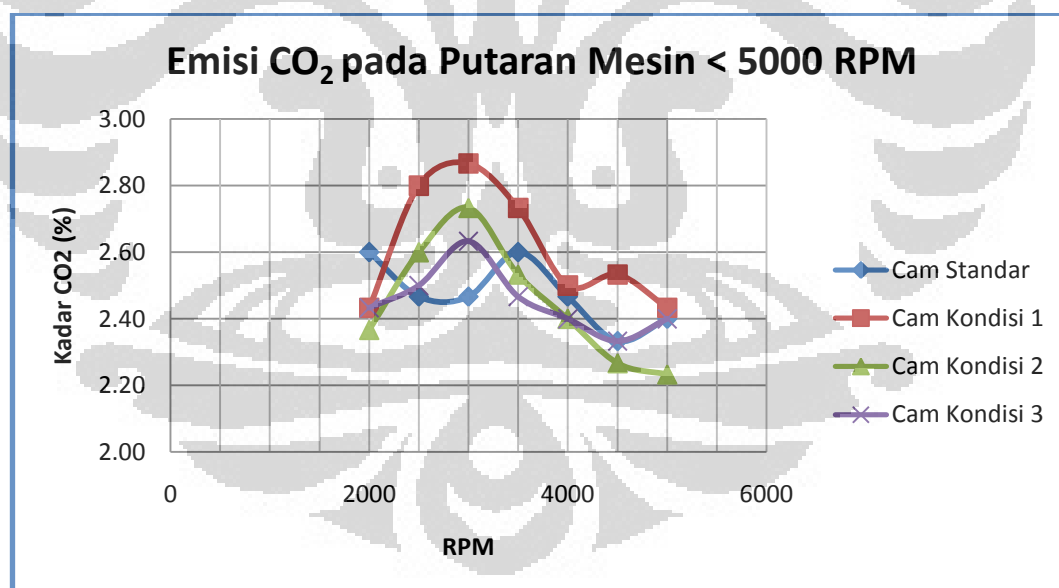
Tabel 4. 28 Hasil Uji T kadar CO<sub>2</sub>

CAM	RASIO UJI	KEPUTUSAN
CAM STD vs CAM 1	0.075	$-2.228 < 0.075 < +2.228$ $H_0 : \mu_d = 0$ diterima
CAM STD vs CAM 2	2.341	$2.341 > +2.228$ $H_1 : \mu_d > 0$ diterima
CAM STD vs CAM 3	2.164	$-2.228 < 2.164 < +2.228$ $H_0 : \mu_d = 0$ diterima

Sumber : Data Olahan

Hasil Uji T untuk *camshaft* standar dengan *camshaft* 1 dan *camshaft* standar dengan *camshaft* 3 menunjukkan bahwa rata-rata kadar CO<sub>2</sub> antara *camshaft* tersebut tidak berbeda. Sedangkan untuk *camshaft* standar dengan *camshaft* 2 menunjukkan bahwa rata-rata kadar CO<sub>2</sub> memiliki perbedaan yang cukup kecil. Dari hasil uji T tersebut, dilakukan pengelompokan putaran mesin (RPM) menjadi 2 bagian, yaitu : putaran mesin < 5000 RPM dan putaran mesin > 5000 RPM.

a. Kadar CO<sub>2</sub> untuk putaran mesin < 5000



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Kadar CO<sub>2</sub> pada Putaran Mesin < 5000RPM

*Cam* kondisi 1 menghasilkan kadar CO<sub>2</sub> tertinggi pada putaran mesin < 5000 RPM dan kadar CO<sub>2</sub> terendah pada putaran mesin < 5000 RPM dihasilkan oleh *cam* kondisi 2.

Tabel 4. 29 Persentase Selisih Kadar CO<sub>2</sub> (%) pada Putaran Mesin < 5000RPM

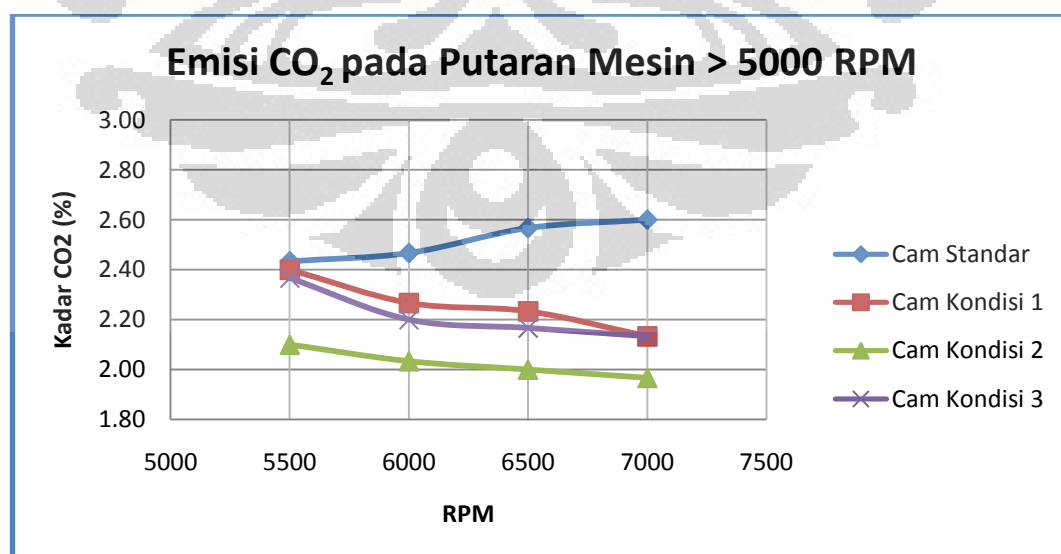
CAM	RATA-RATA	SELISIH	PERSENTASE
CAM STANDAR	2.48		
CAM KONDISI 1	2.61	0.14	5.58 %
CAM KONDISI 2	2.448	-0.03	1.15 %
CAM KONDISI 3	2.452	-0.02	0.96 %

Sumber : Data Olahan

Berdasarkan Table 4.29, pada putaran mesin < 5000 RPM, penggunaan *camshaft* kondisi 1 meningkatkan produksi kadar CO<sub>2</sub> pada proses pembakaran sedangkan *camshaft* kondisi 2 dan 3 menurunkan kadar CO<sub>2</sub>. Untuk membuktikan kenaikan yang signifikan dari kadar CO<sub>2</sub> dengan menggunakan *camshaft* kondisi 1, dilakukan uji T. Melalui uji T didapatkan rasio uji sebesar – 1.88 (lampiran 4) dengan  $T_{0.025,6} = 2.447$ , sehingga diketahui bahwa rasio uji berada di antara daerah nilai kritisnya..

Kesimpulan yang dapat diambil adalah dengan menggunakan *camshaft* 1, rata-rata kadar CO<sub>2</sub> mengalami kenaikan yang tidak signifikan terhadap kadar CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh motor bakar dengan penggunaan *camshaft* standar. Dengan menggunakan *camshaft* 1, kenaikan kadar CO<sub>2</sub> yang dihasilkan motor bakar adalah sebesar **5,58 %**.

b. Kadar CO<sub>2</sub> untuk putaran mesin > 5000

Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Kadar CO<sub>2</sub> pada Putaran Mesin > 5000RPM



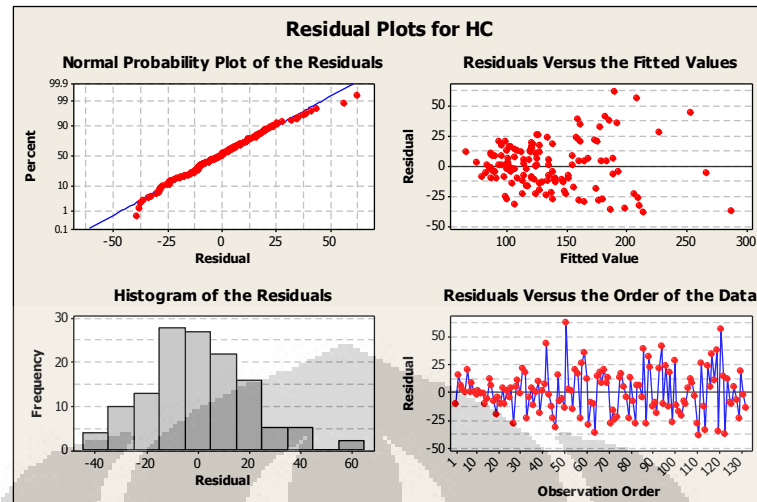
Dari gambar 4.8, kadar CO<sub>2</sub> tertinggi pada putaran mesin > 5000 RPM dihasilkan oleh *cam* standar, sedangkan *cam* kondisi 1, 2, dan 3 menurunkan kadar CO<sub>2</sub>.

Analisa untuk hasil tersebut adalah saat pengoperasian motor bakar pada putaran < 5000 RPM, penggunaan *cam* dengan *lift* kecil menghasilkan pembakaran yang cukup baik karena campuran udara dan bahan bakar berada pada nilai yang lebih ideal. Namun untuk pengoperasian motor bakar pada putaran mesin > 5000 RPM, penggunaan *cam* dengan *lift* yang lebih tinggi menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna. Dengan meningkatnya putaran mesin, massa udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar meningkat secara signifikan. Saat penggunaan *lift* tinggi pada putaran mesin > 5000 menyebabkan massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar meningkat. Pada putaran mesin yang cukup tinggi tersebut, kecepatan hisap campuran udara dan bahan bakar dari sistem karburator akan meningkat. Dengan peningkatan massa campuran tersebut, proses pembakaran semakin ideal sesuai dengan massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk.

### **3. Analisa Kandungan HC pada Gas Buang.**

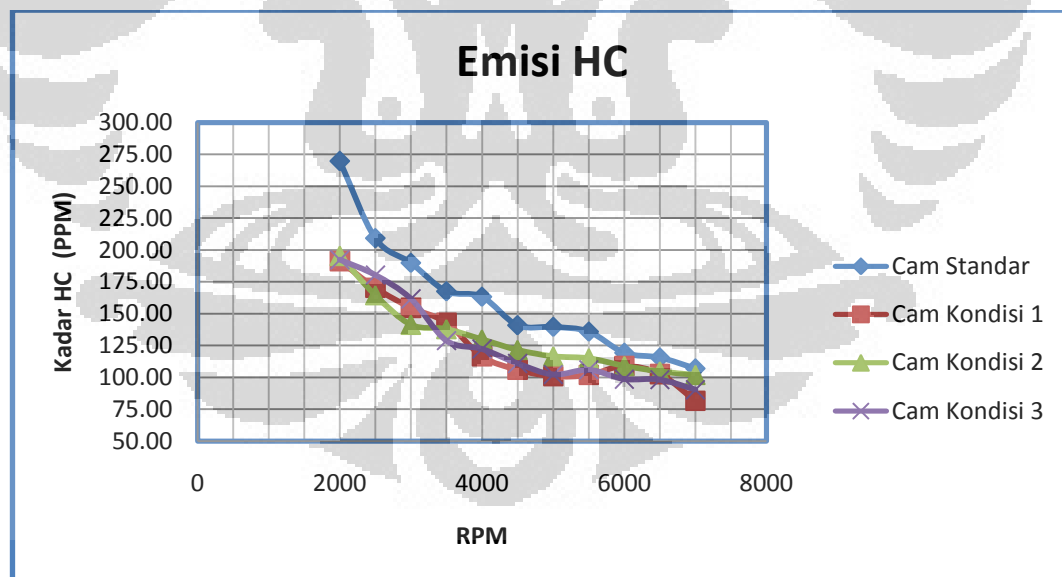
Bahan bakar bensin merupakan senyawa hidrokarbon sehingga adanya kandungan HC (*Hydrocarbon*) di dalam gas buang motor bakar mengindikasikan adanya bahan bakar yang tidak terbakar dan terbang bersama gas buang hasil pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon dalam bahan bakar terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Nilai HC yang cukup besar mengindikasikan bahwa campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar berada pada AFR < 14.7 (fuel rich).

Berdasa tabel 4.3, 4.7, 4.11, dan 4.15, dilakukan pengolahan data secara statistik untuk mengetahui persebaran data yang diperoleh dari hasil pengukuran kadar HC. Pengukuran kadar emisi HC dilakukan dengan repetisi atau pengulangan sebanyak 3 kali pada masing-masing kondisi *camshaft* agar didapatkan data yang lebih akurat.

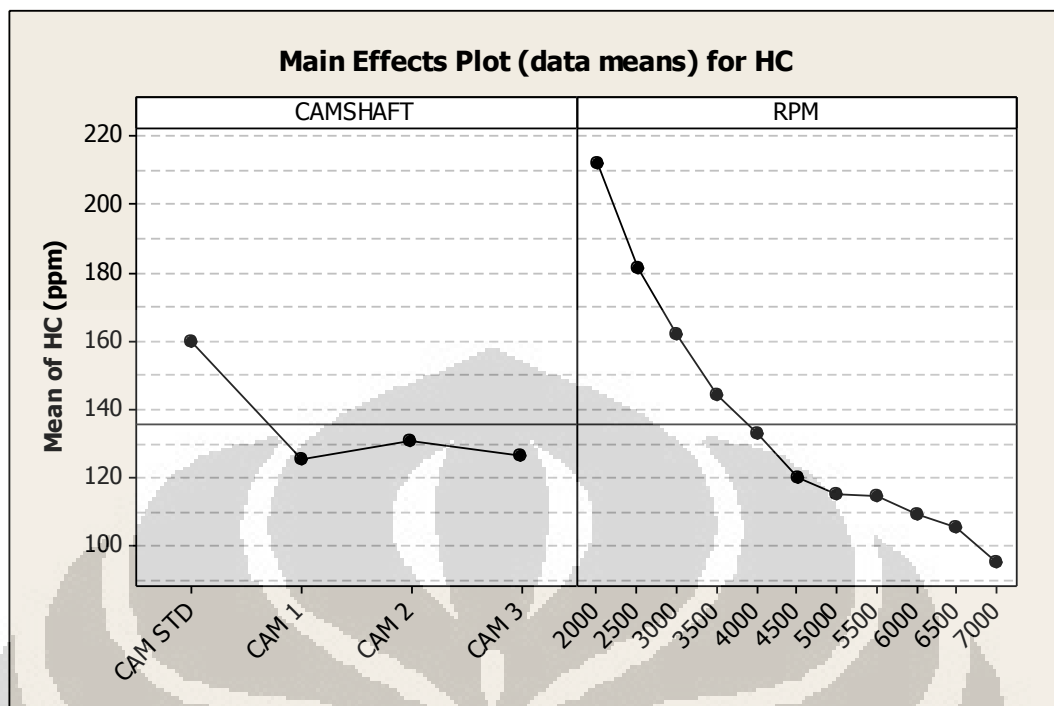


Gambar 4. 9 Grafik Residual Plot untuk Emisi HC

Dari grafik *Normal Probability* di atas, data kadar HC dari keempat kondisi *camshaft* yang digunakan, terdistribusi mendekati garis normalnya dan membuktikan bahwa data-data tersebut terdistribusi secara normal dan dapat digunakan untuk perbandingan kadar HC dari keempat *camshaft* tersebut.



Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Kadar HC pada Empat Jenis *Camshaft*



Gambar 4. 11 Grafik Pengaruh *Camshaft* dan RPM terhadap Rata-rata Kadar HC

Tabel 4. 30 Persentase Selisih Kadar HC (ppm) *Camshaft* Modifikasi terhadap *Camshaft* Standar

CAM	RATA-RATA	SELISIH	PERSENTASE
CAM STANDAR	159.88		
CAM KONDISI 1	125.30	-34.58	21.63 %
CAM KONDISI 2	130.76	-29.12	18.21 %
CAM KONDISI 3	126.58	-33.30	20.83 %

Dari grafik pada gambar 4.10 dan tabel 4.30, kadar HC terbesar dihasilkan oleh *camshaft* standar dengan kadar HC rata-rata 159.88 ppm dan kadar HC terkecil dihasilkan saat penggunaan *camshaft* kondisi 1 dengan kadar HC rata-rata 125.30 ppm. Jika dihubungkan dengan grafik pada gambar 4.2, saat penggunaan *camshaft* standar mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar memiliki rasio udara/bahan bakar (AFR) < 14.7 atau yang lebih dikenal dengan istilah *fuel rich*. Massa bahan bakar yang masuk lebih besar jika dibandingkan dengan campuran stokiometri, yang berakibat terjadinya pembakaran yang kurang sempurna karena adanya bahan bakar yang tidak

terbakar dan terbawa keluar bersama gas buang. Pada penggunaan *camshaft* kondisi 1 dengan *cam lift* yang kecil, mengindikasikan bahwa campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar lebih mendekati kondisi stokiometri.

Untuk mengetahui keterkaitan kadar HC diantara dua kondisi *camshaft* yang berbeda, maka dilakukan uji T. Metode uji T yang digunakan sama dengan uji T pada bahasan sebelumnya dengan  $T_{0.025,10} = 2,228$ . Kalkulasi uji T dapat dilihat pada lampiran 5. Hasil uji T ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 31 Hasil Uji T kadar HC

CAM	RASIO UJI	KEPUTUSAN
CAM STD vs CAM 1	6.279	$6.279 > +2.228$ $H_1 : \mu_d > 0$ diterima
CAM STD vs CAM 2	4.430	$4.430 > +2.228$ $H_1 : \mu_d > 0$ diterima
CAM STD vs CAM 3	6.602	$6.602 > +2.228$ $H_1 : \mu_d > 0$ diterima

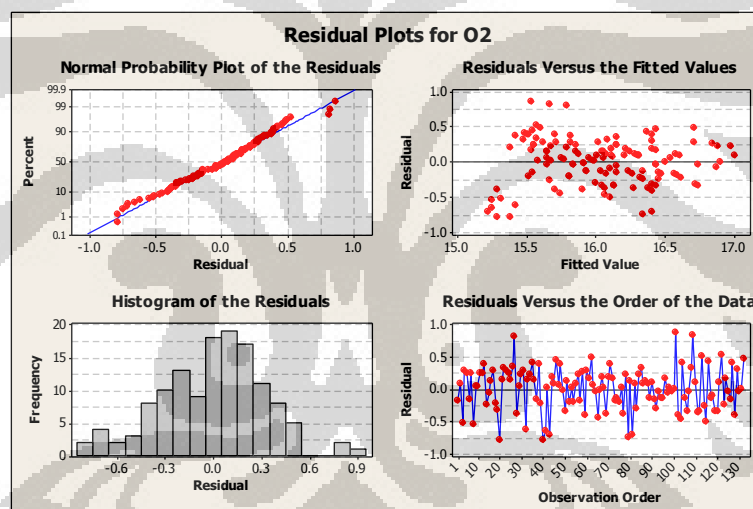
Sumber : Data Olahan

Dari ketiga hubungan tersebut, diketahui bahwa nilai rata-rata kadar HC masing-masing kondisi *camshaft* lebih besar dibandingkan nilai kritisnya, yaitu 2.228. Nilai rasio uji terbesar dimiliki oleh perbandingan *camshaft* standar dengan *camshaft* kondisi 3. Kesimpulan yang dapat diambil adalah dengan menggunakan *camshaft* kondisi 3, rata-rata kadar HC mengalami penurunan yang signifikan terhadap kadar HC yang dihasilkan oleh motor bakar dengan menggunakan *camshaft* standar. Berdasarkan tabel 4.30, dengan menggunakan *camshaft* kondisi 3, penurunan kadar HC yang dihasilkan motor bakar adalah **20.83 %**

#### 4. Analisa Kandungan O<sub>2</sub> pada Gas Buang.

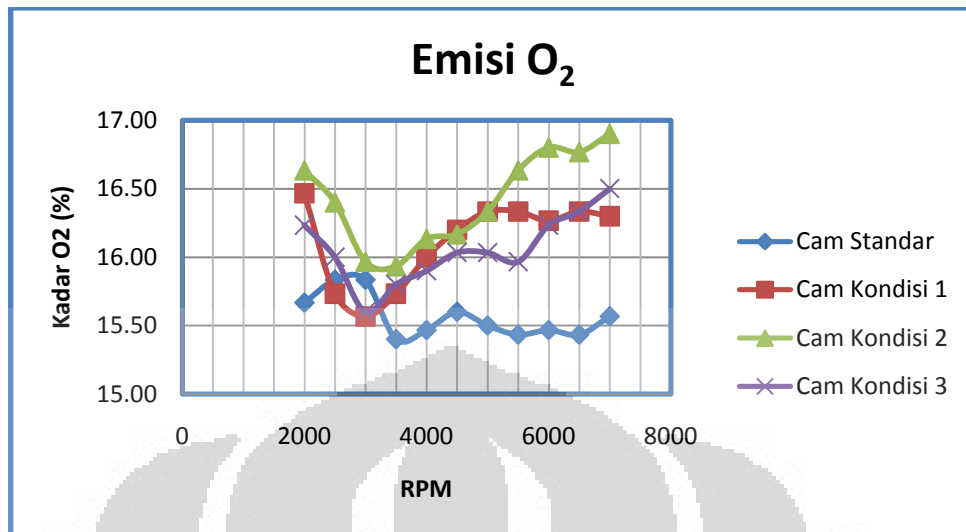
Konsentrasi dari oksigen pada gas buang berbanding terbalik dengan konsentrasi CO<sub>2</sub>. Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka kadar oksigen yang masuk ke dalam ruang bakar harus mencukupi untuk setiap molekul hidrokarbon pada bahan bakar. Pembakaran yang baik menghasilkan emisi O<sub>2</sub> yang rendah karena telah bereaksi dengan bahan bakar.

Berdasa tabel 4.4, 4.8, 4.12, dan 4.16, dilakukan pengolahan data secara statistik untuk mengetahui persebaran data yang diperoleh dari hasil pengukuran kadar O<sub>2</sub>. Pengukuran kadar emisi O<sub>2</sub> dilakukan dengan repetisi atau pengulangan sebanyak 3 kali pada masing-masing kondisi *camshaft* agar didapatkan data yang lebih akurat.

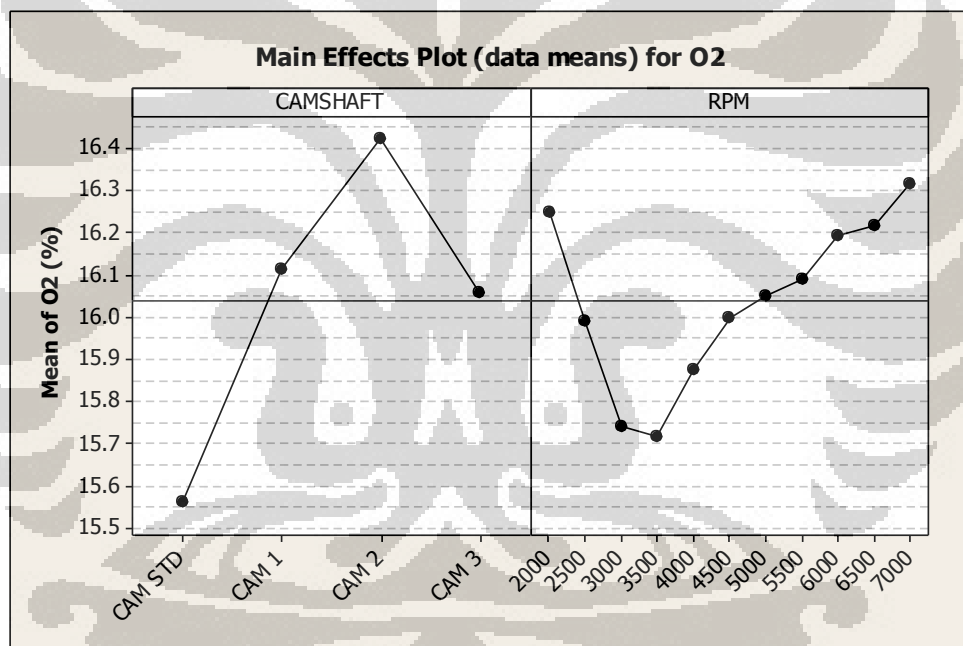


Gambar 4. 12 Grafik Residual Plot untuk Emisi Gas O<sub>2</sub>

Dari grafik *Normal Probability* di atas, data kadar O<sub>2</sub> dari keempat kondisi *camshaft* yang digunakan, terdistribusi mendekati garis normalnya dan membuktikan bahwa data-data tersebut terdistribusi secara normal dan dapat digunakan untuk perbandingan kadar O<sub>2</sub> dari keempat *camshaft* tersebut.



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Kadar O<sub>2</sub> pada Empat Jenis *Camshaft*



Gambar 4. 14 Grafik Pengaruh *Camshaft* dan RPM terhadap Rata-rata Kadar O<sub>2</sub>

Tabel 4. 32 Persentase Selisih Kadar O<sub>2</sub> (%) *Camshaft* Modifikasi terhadap *Camshaft* Standar

CAM	RATA-RATA	SELISIH	PERSENTASE
CAM STANDAR	15.56		
CAM KONDISI 1	16.12	0.55	3.54 %
CAM KONDISI 2	16.42	0.86	5.53 %
CAM KONDISI 3	16.06	0.49	3.17 %

Sumber : Data Olahan

Dari grafik pada gambar 4.13 dan tabel 4.32, kadar  $O_2$  terendah dihasilkan saat penggunaan *cam* standar. Untuk mengetahui keterkaitan kadar  $O_2$  diantara dua kondisi *camshaft* yang berbeda, maka dilakukan uji T. Metode uji T yang digunakan sama dengan uji T pada bahasan sebelumnya dengan  $T_{0,025,10} = 2,228$ . Kalkulasi uji T dapat dilihat pada lampiran 6 . Hasil uji T ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 33 Hasil Uji T kadar  $O_2$ 

CAM	RASIO UJI	KEPUTUSAN
CAM STD vs CAM 1	-4.540	-4.540 < -2.228 $H_1 : \mu_d > 0$ diterima
CAM STD vs CAM 2	-7.040	-7.040 < -2.228 $H_1 : \mu_d > 0$ diterima
CAM STD vs CAM 3	-4.955	-4.955 < -2.228 $H_1 : \mu_d > 0$ diterima

Sumber : Data Olahan

Proses pembakaran yang sempurna membutuhkan oksigen yang cukup untuk bereaksi dengan bahan bakar. Kadar  $O_2$  yang rendah pada emisi gas buang kendaraan dapat mengindikasikan bahwa pembakaran yang terjadi mendekati sempurna. Dengan menggunakan *camshaft* standar, kadar emisi oksigen yang terukur sangat rendah dan saat menggunakan *camshaft* modifikasi, kadar oksigen meningkat lebih dari 3%. Jika dihubungkan dengan hasil pengukuran kadar CO, diketahui bahwa kadar CO tertinggi justru dihasilkan oleh *camshaft* standar. Sedangkan dengan menggunakan *camshaft* modifikasi, kadar CO menurun lebih dari 20 % dan penurunan terbesar terjadi saat penggunaan *camshaft* kondisi 1.

Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan menggunakan *camshaft* standar, campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar mengandung oksigen dalam jumlah yang sedikit dan tidak dapat memenuhi kebutuhan proses pembakaran di dalam ruang bakar. Karena jumlah oksigen yang masuk ke dalam ruang bakar kurang, produksi CO meningkat karena pembakaran yang kurang sempurna. Selain itu, kadar HC juga meningkat karena adanya senyawa hidrokarbon pada bahan bakar yang tidak bereaksi dengan oksigen karena kekurangan oksigen.

Dengan menggunakan *camshaft* kondisi 1, kandungan oksigen pada gas buang meningkat **3.54%** dibandingkan dengan penggunaan *camshaft* standar. Campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar saat menggunakan *camshaft* kondisi 1 mendekati campuran yang ideal, sehingga kadar CO dan HC yang dihasilkan cukup rendah dan produksi gas CO<sub>2</sub> cukup tinggi pada putaran mesin < 5000 RPM.

Dari keempat analisis gas buang di atas dapat diketahui bahwa penggunaan *camshaft* kondisi 1 dengan *lift* terkecil efektif digunakan saat putaran mesin berada pada kisaran < 5000 RPM, ditandai dengan kandungan CO minimum dan kandungan CO<sub>2</sub> maksimum. Untuk putaran mesin < 5000 RPM, kondisi campuran udara dan bahan bakar mendekati stokiometri dapat terjaga dengan tinggi bukaan katup yang lebih kecil.

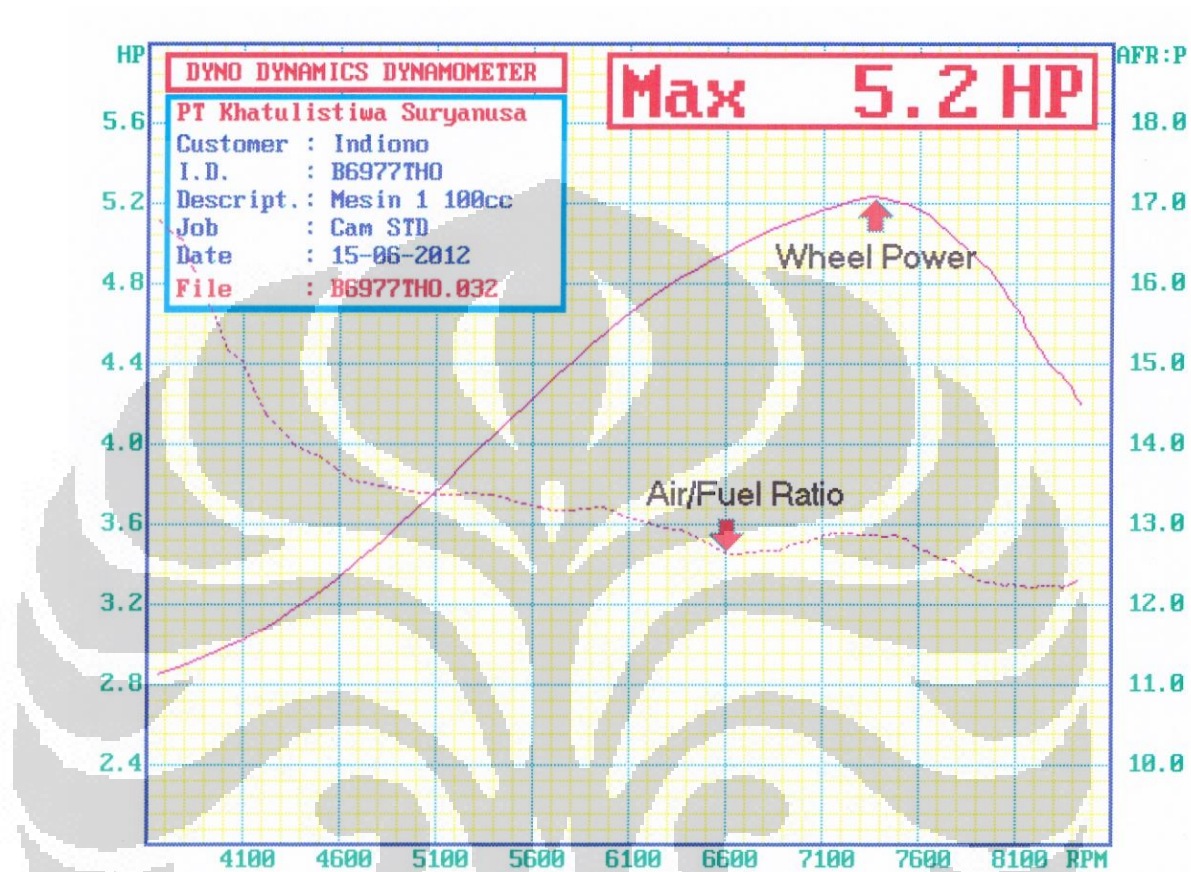
Pada putaran mesin > 5000RPM, *camshaft* yang efektif digunakan cukup bervariasi. Pada dasarnya dibutuhkan *cam* dengan *lift* yang lebih tinggi untuk putaran mesin menengah ke tinggi. Hal ini berhubungan dengan meningkatnya kebutuhan massa campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. Semakin meningkatnya putaran mesin diikuti dengan peningkatan massa campuran udara dan bahan bakar. Untuk menjaga kondisi yang mendekati stokiometri maka dapat dilakukan dengan memposisikan tinggi bukaan katup mengarah ke posisi dengan *lift* tinggi saat putaran mesin meningkat.



#### 4.4.2 Analisa Daya Yang Dihasilkan Motor Bakar

##### 1. Analisa Daya pada Penggunaan *Camshaft* standar.

Dari hasil *dynotest* diperoleh hasil pengukuran sebagai berikut :



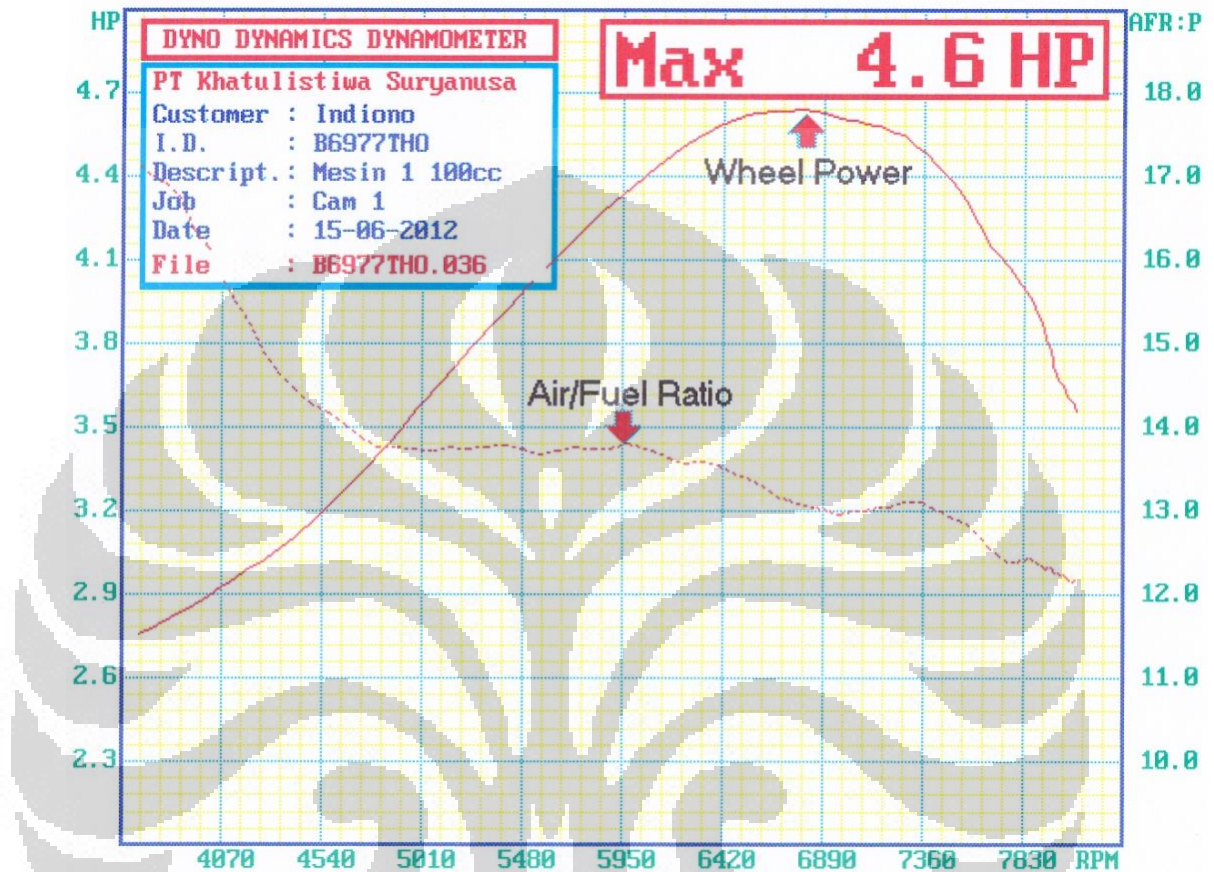
Gambar 4. 15 Grafik Daya dan AFR untuk *Camshaft* Standar

Dari grafik pada gambar 4.15 menunjukkan *Break Horse Power* (BHP) dan *Air Fuel Ratio* (AFR) pada setiap putaran mesin 4100 – 8100 RPM. Daya maksimum yang dicapai adalah 5.2 HP pada putaran mesin 7100 -7600 RPM.

Rasio campuran udara dan bahan bakar (AFR) pada putaran mesin > 4100 RPM bernilai < 14.7 dan berangsur-angsur menurun seiring dengan kenaikan nilai putaran mesin. Hal tersebut mengindikasikan bahwa dengan menggunakan *cam* standar, pada putaran tinggi membutuhkan bahan bakar yang bersifat *rich*.

2. Analisa Daya pada Penggunaan *Camshaft* Kondisi 1.

Dari hasil *dynotest* diperoleh hasil pengukuran sebagai berikut :



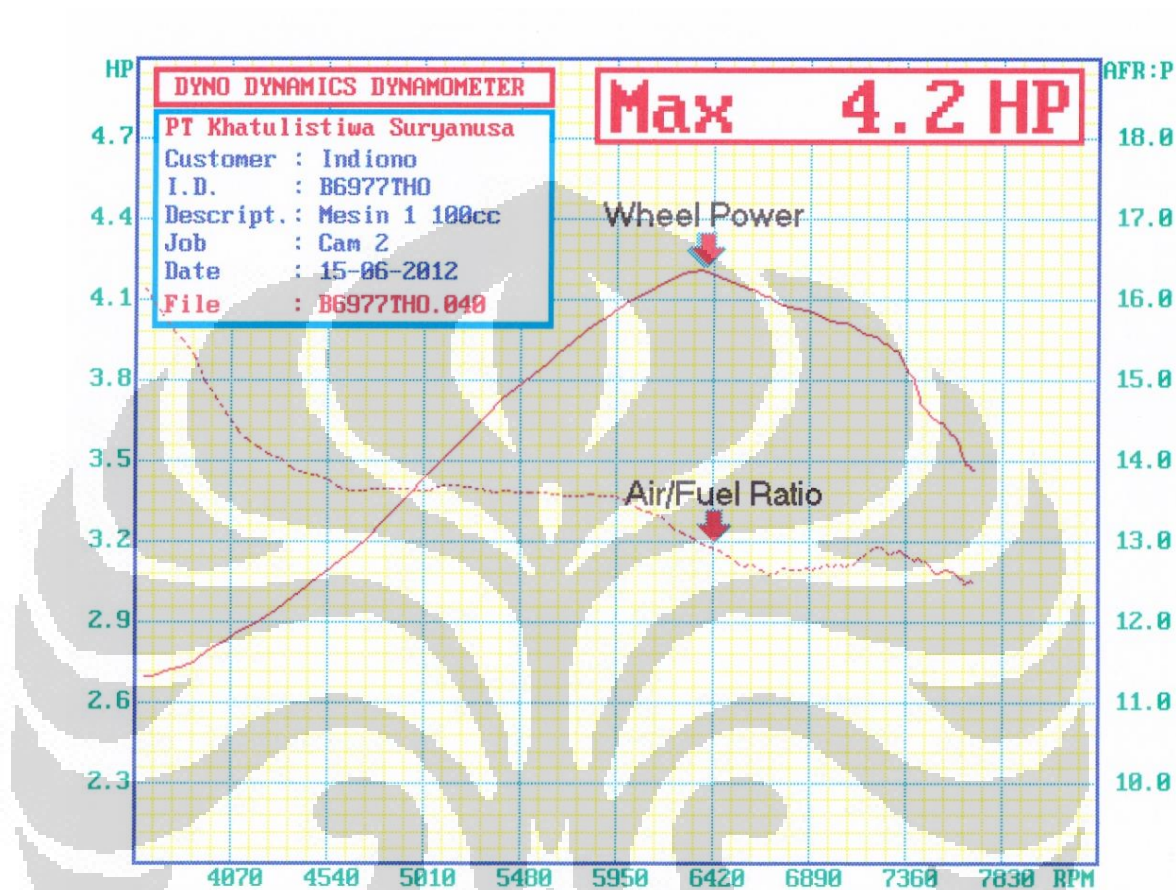
Gambar 4. 16 Grafik Daya dan AFR untuk *Camshaft* kondisi 1

Dari grafik pada gambar 4.16 menunjukkan *Break Horse Power* (BHP) dan *Air Fuel Ratio* (AFR) pada setiap putaran mesin 4070 – 7830 RPM. Daya maksimum yang dicapai adalah 4.6 HP pada putaran mesin 6420 -6890 RPM.

Rasio campuran udara dan bahan bakar (AFR) pada putaran mesin > 4170 RPM bernilai < 14.7 dan berangsur-angsur menurun seiring dengan kenaikan nilai putaran mesin yang mengarah pada konsumsi *fuel rich*.

3. Analisa Daya pada Penggunaan *Camshaft* Kondisi 2.

Dari hasil *dynotest* diperoleh hasil pengukuran sebagai berikut :



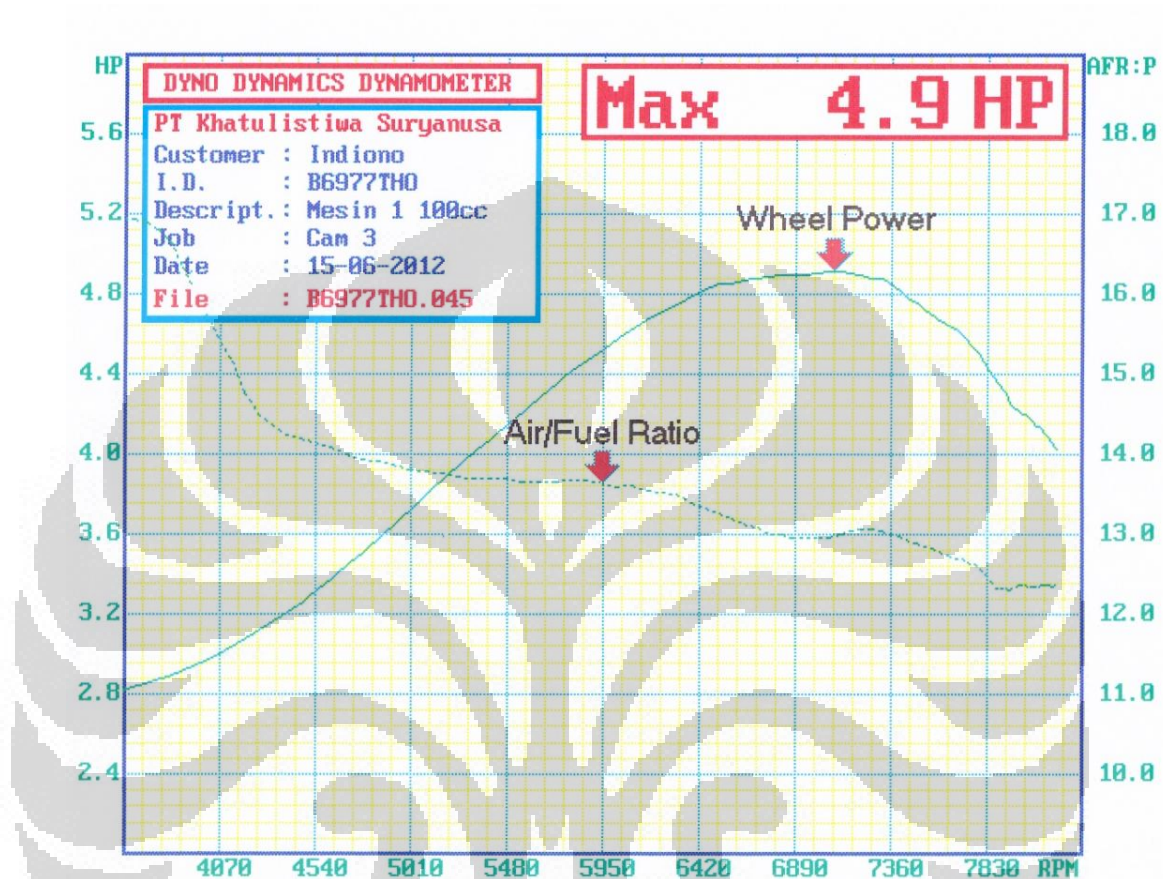
Gambar 4. 17 Grafik Daya dan AFR untuk *Camshaft* kondisi 2

Dari grafik pada gambar 4.17 menunjukkan *Break Horse Power* (BHP) dan *Air Fuel Ratio* (AFR) pada setiap putaran mesin 4070 – 7830 RPM. Daya maksimum yang dicapai adalah 4.2 HP pada putaran mesin 6000 -6420 RPM.

Rasio campuran udara dan bahan bakar (AFR) pada putaran mesin > 4070 RPM bernilai < 14.7 dan berangsur-angsur menurun seiring dengan kenaikan nilai putaran mesin yang mengarah pada konsumsi *fuel rich*.

4. Analisa Daya pada Penggunaan *Camshaft* Kondisi 3.

Dari hasil *dynotest* diperoleh hasil pengukuran sebagai berikut :



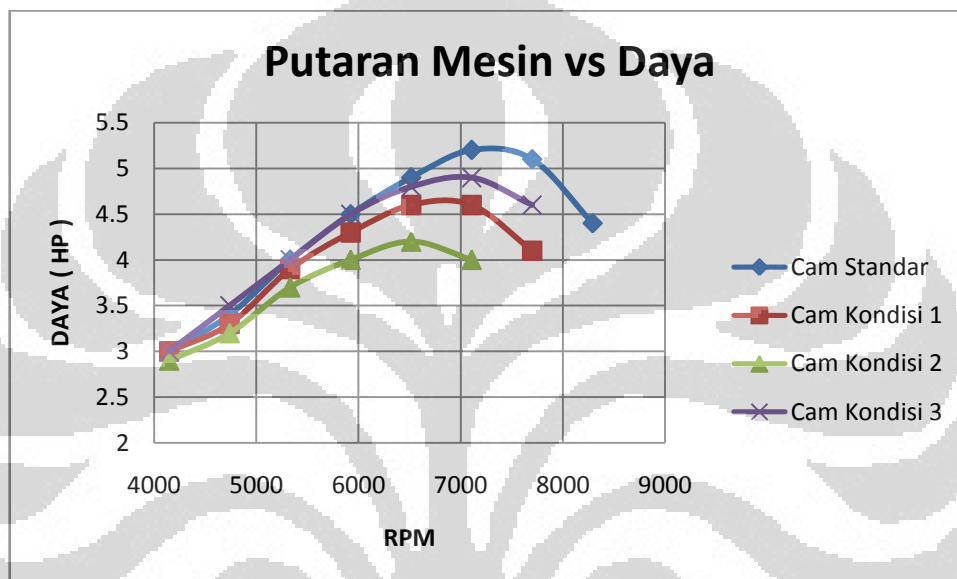
Gambar 4. 18 Grafik Daya dan AFR untuk *Camshaft* Kondisi 3

Dari grafik pada gambar 4.18 menunjukkan *Break Horse Power* (BHP) dan *Air Fuel Ratio* (AFR) pada setiap putaran mesin 4070 – 7830 RPM. Daya maksimum yang dicapai adalah 4.9 HP pada putaran mesin 6090 -7200 RPM.

Rasio campuran udara dan bahan bakar (AFR) pada putaran mesin > 4170 RPM bernilai < 14.7 dan berangsur-angsur menurun seiring dengan kenaikan nilai putaran mesin yang mengarah pada konsumsi *fuel rich*.

5. Analisa Perbandingan Daya yang Dihasilkan Oleh Penggunaan 4 *Camshaft*

Dari data *power* yang diperoleh pada table 4.17 sampai dengan table 4.20 mengenai hasil *dynotest*, akan lebih mudah dibandingkan dengan memplot data tersebut menjadi grafik perbandingan sebagai berikut.



Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan Daya pada Empat Jenis *Camshaft*

Tabel 4. 34. Perbandingan Daya *Camshaft* Standar dan *Camshaft* Modifikasi

RPM	Cam Std	Cam 1	Cam 2	Cam 3
4146	3	0	-0.1	0.0
4738	3.4	-0.1	-0.2	0.1
5330	4	-0.1	-0.3	0.0
5922	4.5	-0.2	-0.5	0.0
6514	4.9	-0.3	-0.7	-0.1
7107	5.2	-0.6	-1.2	-0.3

Sumber : Data Olahan

Dari grafik pada gambar 4.19 diketahui bahwa daya terbesar dihasilkan dengan menggunakan *camshaft* standar. Daya yang dihasilkan *cam* standar dan *cam* kondisi 3 cukup identik pada putaran mesin < 6000

RPM dimana *cam* kondisi 3 memiliki *cam lift* yang sedikit lebih kecil dibandingkan *cam* standar. Daya yang dihasilkan pada *cam* kondisi 3 menurun saat melewati putaran mesin 6000 RPM. Saat menggunakan *cam* kondisi 1, daya yang dihasilkan pada putaran mesin < 5000 RPM memiliki selisih penurunan daya yang cukup kecil terhadap *cam* standar.

Untuk mengetahui keterkaitan daya diantara dua kondisi *camshaft* yang berbeda, maka dilakukan uji T. Metode uji T yang digunakan sama dengan uji T pada bahasan sebelumnya, namun nilai  $v$  yang digunakan adalah 5 dengan  $T_{0,025,5} = 2.571$ . Kalkulasi uji T dapat dilihat pada lampiran 7. Hasil uji T ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 35 Hasil Uji T Daya

CAM	RASIO UJI	KEPUTUSAN
CAM STD vs CAM 1	2.483	$-2.571 < 2.483 < +2.571$ $H_0 : \mu_d = 0$ diterima
CAM STD vs CAM 2	3.024	$3.024 > +2.571$ $H_1 : \mu_d > 0$ diterima
CAM STD vs CAM 3	0.696	$-2.571 < 0.696 < +2.571$ $H_0 : \mu_d = 0$ diterima

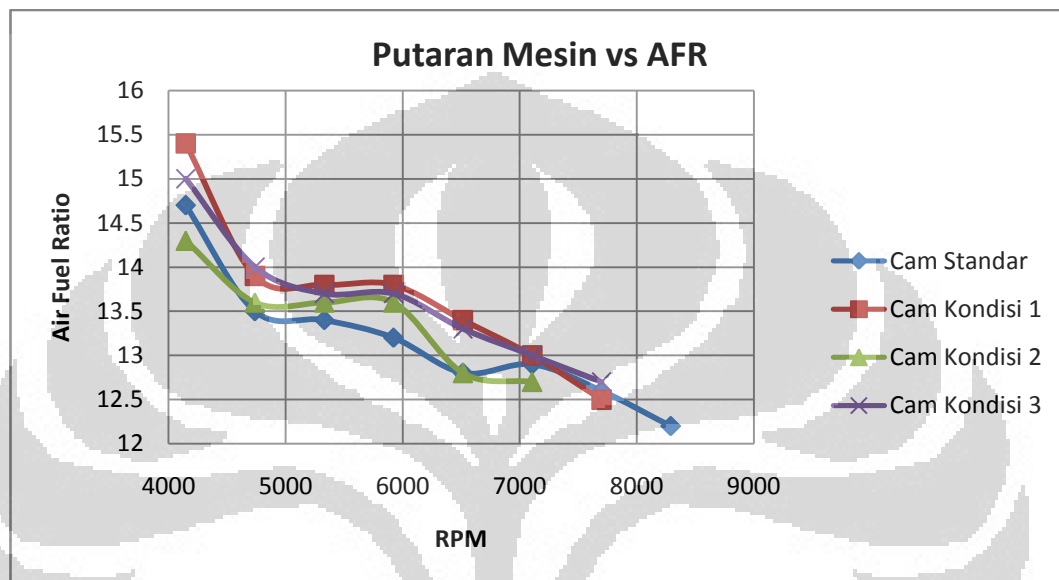
Sumber : Data Olahan

Hasil uji T menunjukkan bahwa rata-rata penurunan daya yang dihasilkan oleh *camshaft* 1 dan 3 masih berada pada nilai daerah nilai kritisnya yang berarti penurunan yang terjadi tidak signifikan, sedangkan penurunan daya yang dihasilkan oleh *camshaft* 2 cukup signifikan.

Mengacu pada hasil analisa gas buang dan daya yang dihasilkan oleh *cam* kondisi 1 maka *cam* kondisi 1 dengan *intake lift* = 4 mm dan *exhaust lift* = 3.95 mm lebih efektif digunakan saat motor bakar beroperasi pada putaran mesin < 5000 RPM dan saat motor bakar beroperasi pada putaran mesin > 5000 RPM lebih efektif menggunakan *camshaft* standar dengan *intake lift* = 5.5 dan *exhaust lift* = 5.4 atau *camshaft* 3 dengan *intake lift* = 5 mm dan *exhaust lift* 4.9 mm.

#### 4.4.3 Analisa AFR pada Penggunaan 4 *Camshaft*.

Dari data AFR yang diperoleh pada table 4.17 sampai dengan table 4.20 mengenai hasil *dynotest*, akan lebih mudah dibandingkan dengan memplot data tersebut menjadi grafik perbandingan sebagai berikut.



Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan AFR pada Empat Jenis *Camshaft*

Untuk mengetahui keterkaitan AFR diantara dua kondisi *camshaft* yang berbeda, maka dilakukan uji T. Metode uji T yang digunakan sama dengan uji T pada bahasan sebelumnya, namun nilai  $v$  yang digunakan adalah 5 dengan  $T_{0.025,5} = 2.571$ . Kalkulasi uji T dapat dilihat pada lampiran 8. Hasil uji T ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 4. 36 Perbandingan AFR *Camshaft* Standar dan *Camshaft* Modifikasi

RPM	Cam Std	Cam 1	Cam 2	Cam 3
4146	14.7	0.7	-0.4	0.3
4738	13.5	0.4	0.1	0.5
5330	13.4	0.4	0.2	0.3
5922	13.2	0.6	0.4	0.5
6514	12.8	0.6	0	0.5
7107	12.9	0.1	-0.2	0.1
Rata-rata	13.417	0.467	0.017	0.367

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 37 Hasil Uji T AFR

CAM	RASIO UJI	KEPUTUSAN
CAM STD vs CAM 1	-5.290	$-5.290 < +2.571$ $H_1 : \mu_d > 0$ diterima
CAM STD vs CAM 2	-0.143	$-2.571 < -0.143 < +2.571$ $H_0 : \mu_d = 0$ diterima
CAM STD vs CAM 3	-5.499	$-5.499 < +2.571$ $H_1 : \mu_d > 0$ diterima

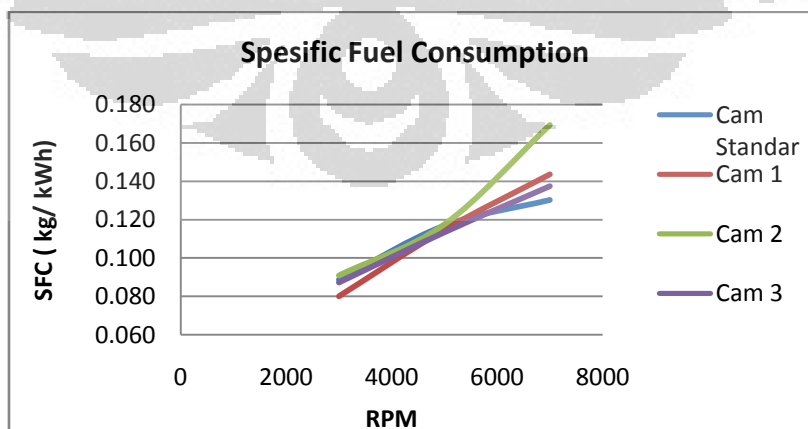
Sumber : Data Olahan

Hasil uji T menunjukkan bahwa dengan menggunakan *camshaft* kondisi 1 dan 3 terjadi kenaikan nilai AFR secara signifikan yang menunjukkan bahwa kondisi campuran udara dan bahan bakar mengarah ke kondisi *fuel lean*.

Dari grafik pada gambar 4.20 dan tabel 4.37, *cam* kondisi 1 memiliki nilai AFR paling besar yang dapat didefinisikan bahwa dalam penggunaan *camshaft* ini, campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar bersifat *lean* atau miskin bahan bakar. Nilai AFR dengan menggunakan *camshaft* 1 meningkat 3.5% terhadap penggunaan *camshaft* standar. Hal tersebut juga dapat didefinisikan bahwa penggunaan *camshaft* kondisi 1, dalam pengoperasian motor bakar membutuhkan bahan bakar yang lebih irit.

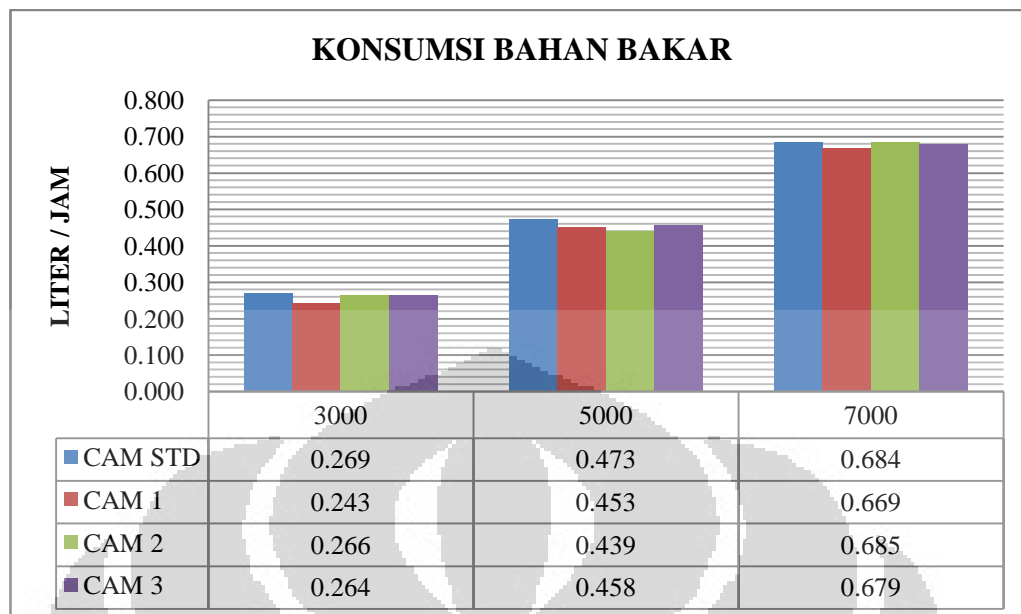
#### 4.4.4 Analisa Konsumsi Bahan Bakar pada Penggunaan 4 *Camshaft*.

Dari data konsumsi bahan bakar yang diperoleh pada table 4.21 sampai dengan table 4.24 mengenai hasil pengukuran konsumsi bahan bakar, akan lebih mudah dibandingkan dengan memplot data tersebut menjadi grafik *specific fuel consumption* dan grafik perbandingan konsumsi.



Gambar 4. 21 Grafik *Specific Fuel Consumption*





Gambar 4. 22 Grafik Konsumsi Bahan Bakar pada Penggunaan 4 Jenis *Camshaft*

Pengukuran konsumsi bahan bakar dilakukan pada tingkat putaran mesin rendah (3000 RPM), putaran mesin menengah (5000 RPM) dan putaran mesin tinggi (7000 RPM). Pada putaran mesin rendah dan tinggi, *camshaft* kondisi 1 membutuhkan suplai bahan bakar terendah dan pada putaran mesin menengah, *camshaft* kondisi 2 membutuhkan suplai bahan bakar yang terendah. Hal tersebut terjadi karena dengan *lift cam* yang kecil, kecepatan aliran hisap pada katup intake berkurang dan menyebabkan tekanan *vakum orifis* sistem karburator meningkat. Akibatnya, massa bahan bakar yang terhisap akan berkurang.

Grafik *specific fuel consumption* (SFC) mengindikasikan seberapa efisien penggunaan bahan bakar untuk menghasilkan daya. Dari grafik pada gambar 4.21, diketahui bahwa pada putaran mesin < 5000 RPM, penggunaan *camshaft* 1 menghasilkan nilai SFC yang terkecil. Penggunaan *camshaft* 1 pada putaran mesin tersebut mengindikasikan bahwa untuk menghasilkan daya yang sama dibutuhkan jumlah massa bahan bakar yang lebih sedikit. Pada putaran mesin > 5000 RPM, penggunaan *camshaft* standar atau *camshaft* kondisi 3 menghasilkan nilai SFC yang terendah dan identik. Dengan menggunakan *camshaft* 1 atau 3 pada putaran mesin tersebut, untuk tingkat daya keluaran yang sama, dibutuhkan jumlah bahan bakar yang lebih rendah.

#### 4.4.5 Pemetaan Penggunaan *Camshaft* yang Optimal

Dari keempat analisa emisi gas buang, maka dilakukan pemetaan *camshaft* yang efektif digunakan untuk pengoperasian motor bakar. Pemetaan *camshaft* tersebut dilakukan berdasarkan penentuan emisi gas buang dengan kadar CO terkecil, kadar CO<sub>2</sub> terbesar, kadar HC terkecil dan kadar O<sub>2</sub> terkecil. Hasil pemetaan tersebut ditampilkan pada tabel 4.38.

Tabel 4. 38 Pemetaan Penggunaan *Camshaft* yang Efektif Berdasarkan Emisi

RPM	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
2000	CAM 1	CAM STD	CAM 1	CAM 2
2500	CAM 1	CAM 1	CAM 2	CAM 2
3000	CAM 1	CAM 1	CAM 2	CAM 2
3500	CAM 1	CAM 1	CAM 3	CAM 2
4000	CAM 1	CAM 1	CAM 1	CAM 2
4500	CAM 1	CAM 1	CAM 1	CAM 1
5000	CAM 1	CAM 1	CAM 1	CAM 1
5500	CAM 1	CAM STD	CAM 1	CAM 1
6000	CAM 1	CAM STD	CAM 3	CAM 2
6500	CAM 1	CAM STD	CAM 3	CAM 2
7000	CAM 1	CAM STD	CAM 1	CAM 2

Sumber : Data Olahan

Tabel 4. 39 Pemetaan Penggunaan *Camshaft* yang Efektif Berdasarkan Daya dan AFR

RPM	Daya	AFR
	Maksimum	Maksimum
4146	CAM STD	CAM 1
4738	CAM STD	CAM 1
5330	CAM STD	CAM 1
5922	CAM STD	CAM 1
6514	CAM STD	CAM 1
7107	CAM STD	CAM 1

Sumber : Data Olahan

Dari tabel 4.38 dan 4.39, dapat diketahui bahwa penggunaan *camshaft* kondisi 1 dengan *lift* terkecil efektif digunakan saat putaran mesin berada pada kisaran < 5000 RPM, ditandai dengan kandungan CO minimum dan kandungan CO<sub>2</sub> maksimum. Dengan menggunakan *camshaft* kondisi 1 pada

putaran mesin < 5000 RPM, terjadi penurunan kadar CO sebesar **42.07%**, kenaikan kadar CO<sub>2</sub> sebesar **5.58%**, penurunan kadar HC sebesar **21.63%**, dan kenaikan kadar O<sub>2</sub> sebesar **3.54%**. Sedangkan dengan penggunaan *camshaft* kondisi 1 pada putaran mesin < 5000 RPM, terjadi penurunan daya terhadap penggunaan *camshaft* standar. Penurunan daya yang terjadi cukup kecil, yaitu sebesar 1.92%. Dengan menggunakan *camshaft* kondisi 1 pada putaran mesin < 5000 RPM, didapatkan konsumsi bahan bakar terendah dengan penurunan konsumsi bahan bakar yang signifikan sebesar **9.95%**.

Tabel 4. 40 Pemetaan Penggunaan *Camshaft* yang Efektif Berdasarkan Emisi pada Putaran Mesin > 5000 RPM

RPM	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>
	Min to Max	Max to Min	Min to Max	Min to Max
5500	Cam 1, <b>3</b> , 2, std	Cam std, 1, <b>3</b> , 2	Cam 1, <b>3</b> , 2, std	Cam std, <b>3</b> , 2, 1
6000	Cam 1, <b>3</b> , 2, std	Cam std, 1, <b>3</b> , 2	Cam <b>3</b> , 1, 2, std	Cam std, <b>3</b> , 1, 2
6500	Cam 1, 2, 3, std	Cam std, 1, <b>3</b> , 2	Cam <b>3</b> , 1, 2, std	Cam std, <b>3</b> , 1, 2
7000	Cam 1, <b>3</b> , 2, std	Cam std, 1, <b>3</b> , 2	Cam 1, <b>3</b> , 2, std	Cam std, 1, 3, 2

Sumber : Data Olahan

Pada putaran mesin >5000RPM, *camshaft* yang efisien digunakan cukup bervariasi. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, *camshaft* kondisi 3 dengan intake lift 5 mm dan exhaust lift 4.9 mm, merupakan *camshaft* yang paling efektif digunakan. Dengan menggunakan *camshaft* kondisi 3 pada putaran mesin > 5000 RPM, terjadi penurunan kadar CO sebesar **26.47%**, penurunan kadar CO<sub>2</sub> sebesar **4.99%**, penurunan kadar HC sebesar **20,83%**, dan kenaikan kadar O<sub>2</sub> sebesar **3.17%**. Sedangkan dengan penggunaan *camshaft* kondisi 3 pada putaran mesin > 5000 RPM, terjadi penurunan daya terhadap penggunaan *camshaft* standar. Penurunan daya yang terjadi cukup kecil, yaitu sebesar 2.74%. Dengan menggunakan *camshaft* kondisi 3 pada putaran mesin > 5000RPM, didapatkan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dibandingkan *camshaft* standar, dengan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar **0.71%**.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan *Lift* pada *Camshaft* mempengaruhi karakteristik kinerja motor bakar baik dari segi daya yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar, dan konsentrasi emisi gas buang.
2. Penggunaan *Camshaft* kondisi 1 dengan *lift* terkecil (*intake lift* 4 mm dan *exhaust lift* 3.95 mm) menghasilkan gas buang terbaik, yaitu dengan rata-rata kadar CO terendah (**1.34 %**), kadar CO<sub>2</sub> tinggi (**2,48 %**), kadar HC terendah (**125.30 ppm**) dan kadar O<sub>2</sub> (**16.12 %**). Dengan kandungan gas buang pada penggunaan *camshaft* kondisi 1 menunjukkan bahwa proses pembakaran yang lebih sempurna terjadi.
3. Penggunaan *camshaft* kondisi 1 dengan *intake lift* 4 mm dan *exhaust lift* 3.95 mm, efektif digunakan untuk pengoperasian motor bakar pada putaran mesin < **5000 RPM**, dengan penurunan kadar CO sebesar **42.07%**; kenaikan kadar CO<sub>2</sub> sebesar **5.58%**; penurunan kadar HC sebesar **21.63%**; kenaikan kadar O<sub>2</sub> sebesar **3.54%**; penurunan daya yang terjadi cukup kecil, yaitu sebesar **1.92%**; dan penurunan konsumsi bahan bakar yang signifikan sebesar **9.95%**.
4. *Camshaft* kondisi 3 dengan *intake lift* 5 mm dan *exhaust lift* 4.9 mm, merupakan *camshaft* yang paling efektif digunakan pada putaran mesin > **5000 RPM**, dengan penurunan kadar CO sebesar **26.47%**; penurunan kadar CO<sub>2</sub> sebesar **4.99%**; penurunan kadar HC sebesar **20,83%**; dan kenaikan kadar O<sub>2</sub> sebesar **3.17%**; penurunan daya yang terjadi cukup kecil, yaitu sebesar **2.74%**; dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar **0.71%**.
5. Dengan menggunakan menggunakan *camshaft* dengan *max lift* seperti yang disebutkan di atas, maka dapat dilakukan penghematan konsumsi bahan bakar dan pengurangan emisi gas beracun hasil proses pembakaran.

## 5.2. Saran

Penulis menyarankan bahwa data yang diperoleh pada penelitian ini bisa digunakan sebagai referensi untuk pengembangan mekanisme VVTL SOHC pada sepeda motor. Mekanisme yang dapat digunakan adalah dengan membuat profil *camshaft* yang memiliki *gradient lift*. Untuk mengoperasikannya, perlu dirancang mekanisme agar *camshaft* tersebut dapat bergerak dan memposisikan profil *lift* yang bervariasi pada tingkat putaran mesin yang sesuai, dimana pada putaran mesin tertentu dapat digunakan *cam lift* yang lebih optimal.



## DAFTAR PUSTAKA

Sugiarto,Bambang. (2005). Motor Pembakarn Dalam. Jakarta: Universitas Indonesia.

Harinaldi. (2005). Prinsip-Prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains. Jakarta: Erlangga

Montgomery, C. Douglas. (2009). *Design and Analysis of Experiments*. Asia: John Wiley & Sons

Nagaya. K, Kobayashi. H, Koike.K, *Valve Timing and valve Lift Control Mechanism for Engines, Jurnal of Mechanical Engineering*. 2005

Nathan, Stanley. *Karakteristik Kinerja Mesin 4-Tak 100cc Pada 3 Konfigurasi Buka-an Katup Untuk Pengembangan Mekanisme VVT SOHC*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007/2008.

Desain dibalik noken as.

<http://ratmotorsport.wordpress.com/2009/02/04/desain-di-balik-noken-as-2>

Diunduh pada tanggal 13 Maret 2012.

Data spesifikasi mutigas analyzer. :

<http://www.tecnotest.com/tcn/ENG/home.asp>

Diunduh pada tanggal 9 April 2012.

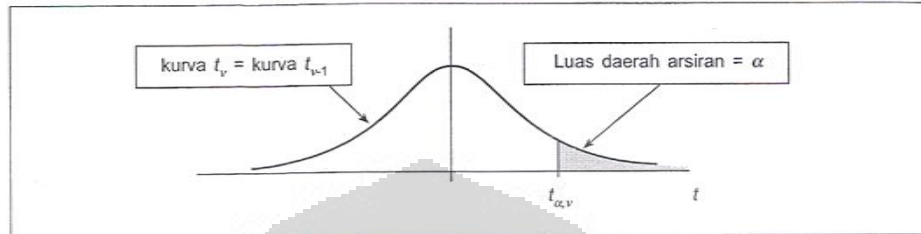
Spesifikasi fit x.2009.

<http://www.bintangmotor.com/index.php/spec/new-megapro/75-spesifikasi-fitx>

Diunduh pada tanggal 9 April 2012.

## LAMPIRAN

### 1. Tabel Distribusi T : Nilai Kritis $t_{\alpha, v}$



v	$\alpha$						
	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,0005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	318,289	636,578
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,328	31,600
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,894	6,869
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965

Sumber : Harinaldi, 2005. "Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains, hal 274.

### 2. Kalkulasi Uji T kadar CO

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 1					
RPM	CAM STD	CAM 1 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - d	(d - d) <sup>2</sup>
2000	1.95	1.46	0.49	-0.48	0.227
2500	2.34	1.77	0.57	-0.40	0.160
3000	2.23	1.53	0.70	-0.27	0.071
3500	2.44	1.58	0.86	-0.11	0.013
4000	2.49	1.43	1.07	0.10	0.009
4500	2.30	1.41	0.89	-0.08	0.006
5000	2.53	1.16	1.37	0.40	0.157
5500	2.72	1.21	1.52	0.55	0.299
6000	2.27	1.20	1.07	0.10	0.009
6500	2.27	1.01	1.26	0.29	0.082
7000	1.91	0.99	0.92	-0.05	0.002
$\Sigma$			10.71	0.04	1.04
<b>d</b>			<b>0.97</b>		
<b>S<sub>d</sub></b>			<b>0.322</b>		
<b>Ru<sub>t</sub> = t<sub>test</sub></b>			<b>10.029</b>		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 2					
RPM	CAM STD	CAM 2 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - d	(d - d) <sup>2</sup>
2000	1.95	1.88	0.07	-0.41	0.171
2500	2.34	1.91	0.43	-0.05	0.003
3000	2.23	1.98	0.25	-0.23	0.051
3500	2.44	1.99	0.44	-0.04	0.001
4000	2.49	2.04	0.46	-0.02	0.001
4500	2.30	2.16	0.14	-0.34	0.113
5000	2.53	1.91	0.62	0.14	0.021
5500	2.72	1.67	1.05	0.57	0.329
6000	2.27	1.55	0.72	0.24	0.059
6500	2.27	1.50	0.77	0.29	0.082
7000	1.91	1.55	0.36	-0.12	0.015
Σ			5.32	0.04	0.85
d			0.48		
S <sub>d</sub>			0.291		
Ru <sub>t</sub> = t <sub>test</sub>			5.512		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 3					
RPM	CAM STD	CAM 3 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - d	(d - d) <sup>2</sup>
2000	1.95	1.98	-0.03	-0.64	0.410
2500	2.34	1.94	0.40	-0.21	0.044
3000	2.23	1.99	0.25	-0.36	0.132
3500	2.44	1.75	0.68	0.07	0.005
4000	2.49	1.67	0.82	0.21	0.044
4500	2.30	1.60	0.70	0.09	0.009
5000	2.53	1.77	0.76	0.15	0.024
5500	2.72	1.66	1.07	0.46	0.209
6000	2.27	1.54	0.73	0.12	0.014
6500	2.27	1.57	0.70	0.09	0.009
7000	1.91	1.25	0.66	0.05	0.002
Σ			6.74	0.03	0.90
d			0.61		
S <sub>d</sub>			0.300		
Ru <sub>t</sub> = t <sub>test</sub>			6.772		

### 3. Kalkulasi Uji T Kadar CO<sub>2</sub>

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 1					
RPM	CAM STD	CAM 1 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - d	(d - d) <sup>2</sup>
2000	2.60	2.43	0.17	0.16	0.025
2500	2.47	2.80	-0.33	-0.34	0.118
3000	2.47	2.87	-0.40	-0.41	0.168
3500	2.60	2.73	-0.13	-0.14	0.021
4000	2.47	2.50	-0.03	-0.04	0.002
4500	2.33	2.53	-0.20	-0.21	0.044
5000	2.40	2.43	-0.03	-0.04	0.002
5500	2.43	2.40	0.03	0.02	0.001
6000	2.47	2.27	0.20	0.19	0.036
6500	2.57	2.23	0.33	0.32	0.105
7000	2.60	2.13	0.47	0.46	0.209
Σ			0.07	-0.04	0.73
d			0.01		
S <sub>d</sub>			0.270		
Ru <sub>t</sub> = t <sub>test</sub>			0.074		



HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 2					
RPM	CAM STD	CAM 2 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	2.60	2.37	0.23	0.03	0.001
2500	2.47	2.60	-0.13	-0.33	0.111
3000	2.47	2.73	-0.27	-0.47	0.218
3500	2.60	2.53	0.07	-0.13	0.018
4000	2.47	2.40	0.07	-0.13	0.018
4500	2.33	2.27	0.07	-0.13	0.018
5000	2.40	2.23	0.17	-0.03	0.001
5500	2.43	2.10	0.33	0.13	0.018
6000	2.47	2.03	0.43	0.23	0.054
6500	2.57	2.00	0.57	0.37	0.134
7000	2.60	1.97	0.63	0.43	0.188
$\Sigma$			2.17	-0.03	0.78
$\bar{d}$			0.20		
$S_d$			0.279		
$Ru_t = t_{test}$			2.341		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 3					
RPM	CAM STD	CAM 3 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	2.60	2.43	0.17	0.05	0.002
2500	2.47	2.50	-0.03	-0.15	0.024
3000	2.47	2.63	-0.17	-0.29	0.082
3500	2.60	2.47	0.13	0.01	0.000
4000	2.47	2.40	0.07	-0.05	0.003
4500	2.33	2.33	0.00	-0.12	0.014
5000	2.40	2.40	0.00	-0.12	0.014
5500	2.43	2.37	0.07	-0.05	0.003
6000	2.47	2.20	0.27	0.15	0.022
6500	2.57	2.17	0.40	0.28	0.078
7000	2.60	2.13	0.47	0.35	0.120
$\Sigma$			1.37	0.05	0.36
$\bar{d}$			0.12		
$S_d$			0.190		
$Ru_t = t_{test}$			2.164		

4. Kalkulasi Uji T Kadar CO<sub>2</sub> pada Putaran Mesin < 5000 RPM

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 1					
RPM	CAM STD	CAM 1 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	2.60	2.43	0.17	0.31	0.094
2500	2.47	2.80	-0.33	-0.19	0.037
3000	2.47	2.87	-0.40	-0.26	0.068
3500	2.60	2.73	-0.13	0.01	0.000
4000	2.47	2.50	-0.03	0.11	0.011
4500	2.33	2.53	-0.20	-0.06	0.004
5000	2.40	2.43	-0.03	0.11	0.011
$\Sigma$			-0.97	0.01	0.23
$\bar{d}$			-0.14		
$S_d$			0.194		
$Ru_t = t_{test}$			-1.88497		

## 5. Kalkulasi Uji T Kadar HC

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 1					
RPM	CAM STD	CAM 1 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	269.67	191.33	78.33	43.75	1914.354
2500	209.33	170.33	39.00	4.42	19.536
3000	190.00	154.67	35.33	0.75	0.568
3500	167.67	143.00	24.67	-9.91	98.274
4000	163.33	116.67	46.67	12.09	146.088
4500	141.00	106.00	35.00	0.42	0.176
5000	139.67	101.00	38.67	4.09	16.701
5500	136.00	102.00	34.00	-0.58	0.336
6000	119.33	109.00	10.33	-24.25	587.901
6500	115.67	102.67	13.00	-21.58	465.696
7000	107.00	81.67	25.33	-9.25	85.501
$\Sigma$			380.33	-0.05	3335.13
$\bar{d}$			34.58		
$S_d$			18.262		
$Ru_t = t_{test}$			6.27930481		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 2					
RPM	CAM STD	CAM 2 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	269.67	195.33	74.33	37.80	1428.638
2500	209.33	164.67	44.67	8.13	66.108
3000	190.00	141.33	48.67	12.13	147.153
3500	167.67	138.00	29.67	-6.87	47.188
4000	163.33	130.00	33.33	-3.20	10.257
4500	141.00	121.67	19.33	-17.20	295.932
5000	139.67	116.67	23.00	-13.54	183.223
5500	136.00	115.00	21.00	-15.54	241.367
6000	119.33	109.00	10.33	-26.20	686.580
6500	115.67	104.67	11.00	-25.54	652.087
7000	107.00	102.00	5.00	-31.54	994.519
$\Sigma$			320.33	-81.56	4753.05
$\bar{d}$			29.12		
$S_d$			21.801		
$Ru_t = t_{test}$			4.43016065		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 3					
RPM	CAM STD	CAM 3 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	269.67	192.33	77.33	44.03	1938.934
2500	209.33	180.33	29.00	-4.30	18.490
3000	190.00	161.67	28.33	-4.97	24.668
3500	167.67	129.00	38.67	5.37	28.801
4000	163.33	122.33	41.00	7.70	59.290
4500	141.00	111.00	30.00	-3.30	10.890
5000	139.67	102.33	37.33	4.03	16.268
5500	136.00	106.00	30.00	-3.30	10.890
6000	119.33	98.67	20.67	-12.63	159.601
6500	115.67	98.33	17.33	-15.97	254.934
7000	107.00	90.33	16.67	-16.63	276.668
$\Sigma$			366.33	0.03	2799.43
$\bar{d}$			33.30		
$S_d$			16.732		
$Ru_t = t_{test}$			6.60153521		

6. Kalkulasi Uji T Kadar O<sub>2</sub>

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 1					
RPM	CAM STD	CAM 1 (X <sub>2</sub> )	Perbedaan (d=X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> )	d - d̄	(d - d̄) <sup>2</sup>
2000	15.67	16.47	-0.80	-0.25	0.062
2500	15.83	15.73	0.10	0.65	0.423
3000	15.83	15.57	0.27	0.82	0.667
3500	15.40	15.73	-0.33	0.22	0.047
4000	15.47	16.00	-0.53	0.02	0.000
4500	15.60	16.20	-0.60	-0.05	0.002
5000	15.50	16.33	-0.83	-0.28	0.080
5500	15.43	16.33	-0.90	-0.35	0.123
6000	15.47	16.27	-0.80	-0.25	0.062
6500	15.43	16.33	-0.90	-0.35	0.123
7000	15.57	16.30	-0.73	-0.18	0.034
Σ			-6.07	-0.02	1.62
d̄			-0.55		
S <sub>d</sub>			0.403		
Ru <sub>t</sub> = t <sub>test</sub>			-4.5403266		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 2					
RPM	CAM STD	CAM 2 (X <sub>2</sub> )	Perbedaan (d=X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> )	d - d̄	(d - d̄) <sup>2</sup>
2000	15.67	16.63	-0.97	-0.11	0.011
2500	15.83	16.40	-0.57	0.29	0.086
3000	15.83	15.97	-0.13	0.73	0.528
3500	15.40	15.93	-0.53	0.33	0.107
4000	15.47	16.13	-0.67	0.19	0.037
4500	15.60	16.17	-0.57	0.29	0.086
5000	15.50	16.33	-0.83	0.03	0.001
5500	15.43	16.63	-1.20	-0.34	0.116
6000	15.47	16.80	-1.33	-0.47	0.224
6500	15.43	16.77	-1.33	-0.47	0.224
7000	15.57	16.90	-1.33	-0.47	0.224
Σ			-9.47	-0.01	1.64
d̄			-0.86		
S <sub>d</sub>			0.405		
Ru <sub>t</sub> = t <sub>test</sub>			-7.0395349		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 3					
RPM	CAM STD	CAM 3 (X <sub>2</sub> )	Perbedaan (d=X <sub>1</sub> -X <sub>2</sub> )	d - d̄	(d - d̄) <sup>2</sup>
2000	15.67	16.23	-0.57	-0.08	0.006
2500	15.83	16.00	-0.17	0.32	0.105
3000	15.83	15.60	0.23	0.72	0.523
3500	15.40	15.80	-0.40	0.09	0.008
4000	15.47	15.90	-0.43	0.06	0.003
4500	15.60	16.03	-0.43	0.06	0.003
5000	15.50	16.03	-0.53	-0.04	0.002
5500	15.43	15.97	-0.53	-0.04	0.002
6000	15.47	16.23	-0.77	-0.28	0.077
6500	15.43	16.33	-0.90	-0.41	0.168
7000	15.57	16.50	-0.93	-0.44	0.197
Σ			-5.43	-0.04	1.09
d̄			-0.49		
S <sub>d</sub>			0.331		
Ru <sub>t</sub> = t <sub>test</sub>			-4.9549589		

## 7. Kalkulasi Uji T Daya

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 1					
RPM	CAM STD (X1)	CAM 1 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
4146	3	3	0.00	-0.22	0.048
4738	3.4	3.3	0.10	-0.12	0.014
5330	4	3.9	0.10	-0.12	0.014
5922	4.5	4.3	0.20	-0.02	0.000
6514	4.9	4.6	0.30	0.08	0.006
7107	5.2	4.6	0.60	0.38	0.144
$\Sigma$			1.30	-0.02	0.23
$\bar{d}$			0.22		
$S_d$			0.214		
$Ru_t = t_{test}$			2.4831599		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 2					
RPM	CAM STD (X1)	CAM 2 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	3	2.9	0.10	-0.40	0.160
2500	3.4	3.2	0.20	-0.30	0.090
3000	4	3.7	0.30	-0.20	0.040
3500	4.5	4.0	0.50	0.00	0.000
4000	4.9	4.2	0.70	0.20	0.040
4500	5.2	4.0	1.20	0.70	0.490
$\Sigma$			3.00	0.00	0.82
$\bar{d}$			0.50		
$S_d$			0.405		
$Ru_t = t_{test}$			3.024292		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 3					
RPM	CAM STD (X1)	CAM 3 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	3	3.0	0.00	0.05	0.003
2500	3.4	3.5	-0.10	-0.05	0.003
3000	4	4.0	0.00	0.05	0.003
3500	4.5	4.5	0.00	0.05	0.003
4000	4.9	4.8	0.10	0.15	0.023
4500	5.2	4.9	0.30	0.35	0.123
$\Sigma$			0.30	0.60	0.16
$\bar{d}$			0.05		
$S_d$			0.176		
$Ru_t = t_{test}$			0.695608		

## 8. Kalkulasi Uji T AFR

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 1					
RPM	CAM STD (X1)	CAM 1 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
4146	14.7	15.4	-0.70	-0.23	0.053
4738	13.5	13.9	-0.40	0.07	0.005
5330	13.4	13.8	-0.40	0.07	0.005
5922	13.2	13.8	-0.60	-0.13	0.017
6514	12.8	13.4	-0.60	-0.13	0.017
7107	12.9	13	-0.10	0.37	0.137
$\Sigma$			-2.80	0.02	0.23
$\bar{d}$			-0.47		
$S_d$			0.216		
$Ru_t = t_{test}$			-5.290747		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 2					
RPM	CAM STD (X1)	CAM 2 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	14.7	14.3	0.40	0.42	0.176
2500	13.5	13.6	-0.10	-0.08	0.006
3000	13.4	13.6	-0.20	-0.18	0.032
3500	13.2	13.6	-0.40	-0.38	0.144
4000	12.8	12.8	0.00	0.02	0.000
4500	12.9	12.7	0.20	0.22	0.048
$\Sigma$			-0.10	0.02	0.41
$\bar{d}$			-0.02		
$S_d$			0.286		
$Ru_t = t_{test}$			-0.14285		

HUBUNGAN CAM STD DAN CAM 3					
RPM	CAM STD (X1)	CAM 3 (X2)	Perbedaan (d=X1-X2)	d - $\bar{d}$	(d - $\bar{d}$ ) <sup>2</sup>
2000	14.7	15.0	-0.30	0.07	0.005
2500	13.5	14.0	-0.50	-0.13	0.017
3000	13.4	13.7	-0.30	0.07	0.005
3500	13.2	13.7	-0.50	-0.13	0.017
4000	12.8	13.3	-0.50	-0.13	0.017
4500	12.9	13.0	-0.10	0.27	0.073
$\Sigma$			-2.20	0.02	0.13
$\bar{d}$			-0.37		
$S_d$			0.163		
$Ru_t = t_{test}$			-5.49863		