



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KONSEP PENGEMBANGAN MEKANISME *SINGLE RAIL*  
UNTUK PERUBAHAN BUKAAN KATUP PADA *SINGLE*  
*CAMSHAFT***

**SKRIPSI**

**JULIUS ANTONI**

**0806319173**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KONSEP PENGEMBANGAN MEKANISME *SINGLE RAIL*  
UNTUK PERUBAHAN BUKAAN KATUP PADA *SINGLE*  
*CAMSHAFT***

**SKRIPSI**

**JULIUS ANTONI**

**0806319173**

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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Julius Antoni**

**NPM : 0806319173**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 12 Juli 2012**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Julius Antoni  
NPM : 0806319173  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Konsep Pengembangan Mekanisme *Single Rail*  
Untuk Perubahan Buka-an Katup pada *Single Camshaft*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono Agus Sumarsono DEA, PE ( )

Penguji : Ridho Irwansyah, S. T., M. T. ( )

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

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

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

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 12 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan bimbingan serta kasihNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu dan ayah yang tidak pernah henti-hentinya memberikan semangat dan doa kepada penulis setiap hari demi kelancaran kuliah dan skripsi.
2. Dr. Ir. R. Danardono Agus Sumarsono DEA. PE selaku pembimbing dan juga orang tua dikampus yang selalu memberikan banyak ilmu serta motivasi tinggi untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Ridho Irwansyah, S. T., M. T., Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng., Jos Istiyanto, S. T., M. T., PhD, Dr. Ir. Gatot Prayogo, M.Eng., sebagai penguji sidang skripsi.
4. Fajardo Yosia (Jedo) dan Muhammad Indiono Indarto (Otong/Ono) selaku rekan skripsi yang penuh semangat disetiap hari-hari menyelesaikan skripsi ini dan bang Miftah (Lima Pandawa Motor) yang telah memberikan saran - saran dan membantu dalam proses pengambilan data.
5. Keluar besar Lab Manufaktur dan Otomasi Lt 2 Andri, Dangker, Derris, Bayu, Gani, Just Nurrohman, Bobby, Yogi, Jediel, Teguh, Agus, Afif dan lain-lain yang tidak tersebutkan yang selalu mendukung dan memberikan canda tawa selama pengerjaan skripsi.
6. Teman-teman Genggong : Martinus Putra, Ignatia Niken, Ragil Tri Indrawati S. T, Dea Adreani, Eric Gunawan S. T, Stanley Nathan S. T dan pihak pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

7. Teman-teman KMK-UI dan teman-teman KUKTEK-UI yang sudah saya anggap sebagai keluarga dan sebagai tempat untuk berbagi keceriaan dan keusilan saya selama kuliah.
8. Karyawan lab Manufaktur Lt 1 mas Supri, mas Yasin, mas Syarief yang bersedia membantu dalam pengerjaan alat skripsi.
9. Seluruh keluarga besar mesin angkatan 2008 yang tidak pernah berhenti memberikan kenangan dan pengalaman hidup paling berkesan dan tak terlupakan bagi penulis.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa berkanan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah disebutkan diatas. Semoga dengan selesainya penelitian dan skripsi ini dapat memberikan sumbangsih dan kontribusi yang besar dalam berkembangnya ilmu pengetahuan dan perkembangan dunia teknologi Teknik mesin.

Penulis



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

---

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

Nama : Julius Antoni  
NPM : 0806319173  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**“KONSEP PENGEMBANGAN MEKANISME *SINGLE RAIL* UNTUK  
PERUBAHAN BUKAAN KATUP PADA *SINGLE CAMSHAFT*”**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 JULI 2012

Yang menvatakan,



Julius Antoni

## ABSTRAK

**Nama** : Julius Antoni  
**Program studi** : Teknik Mesin  
**Judul** : Konsep Pengembangan Mekanisme *Single Rail* Untuk Perubahan Bukaannya Katup Pada *Single Camshaft*

Permasalahan kenaikan bahan bakar minyak dan mulai menipisnya cadangan minyak di bumi merupakan masalah utama yang sedang hangat dibicarakan sekarang ini, begitu juga masalah emisi gas buang yang menyebabkan polusi udara dan *global warming*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat mekanisme perubah derajat bukaan katup *intake* dan katup *exhaust* yang dapat di kontrol dan diubah sesuai kebutuhan. Mekanisme ini dibuat dengan membuat suatu rel diporos yang berfungsi sebagai penggerak. *Camshaft* standar di bagi menjadi dua antara *cam intake* dan *cam exhaust*. Mekanisme ini berjalan dengan mendorong atau menarik poros dari *camshaft* sehingga terjadilah perubahan derajat bukaan katup. Mekanisme ini diuji dengan pengambilan data emisi dan melakukan *dial cam* agar diketahui bahwa mekanisme ini bisa berjalan. Hasil dari penelitian ini didapatkan penurunan emisi gas buang CO sebesar 20,8% pada posisi 1 dan 43,5% pada posisi 2, CO semakin kecil menandakan bahan bakar yang digunakan semakin irit. Emisi gas buang CO<sub>2</sub> mengalami kenaikan sebesar 19,4% pada posisi 1 dan 5,6% pada posisi 2, CO<sub>2</sub> semakin tinggi menandakan pembakaran yang terjadi semakin sempurna. Emisi gas buang HC mengalami penurunan sebesar 45,4% pada posisi 1 dan 43,4% pada posisi 2, HC semakin kecil maka pembakaran yang terjadi makin sempurna. Emisi gas buang O<sub>2</sub> tidak mengalami perubahan pada posisi 1 sedangkan pada posisi 2 terjadi kenaikan sebesar 7,5%, O<sub>2</sub> menandakan terjadinya pembakaran *lean combustion* atau *rich combustion*. O<sub>2</sub> juga bisa dipengaruhi oleh pengaturan karburator yang kurang tepat antara campuran bahan bakar dengan udara. Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa mekanisme *single rail* ini dapat berjalan dengan baik dengan memaksimalkan proses pembakaran sehingga hasil uji emisi menjadi jauh lebih baik dari pada kondisi standar dan derajat bukaan katub dapat dikontrol sesuai dengan kebutuhan.

**Kata kunci:**

*Camshaft*, Emisi gas buang, *dial cam*, *LSA/Lobe Separation Angle*.

## ABSTRACT

**Name** : Julius Antoni  
**Study Program** : Mechanical engineering  
**Title** : **The Development Concept Of Single Rail Mechanism For Intake And Exhaust Valve Changes Of Single Camshaft**

The fuel price shock and decreasing of oil are now becoming a new trend issues. So is the problem about emission that results in global warming. This research is conducted for making from the mechanisms system that results changes of intake and exhaust valve opening degree. The degree of the opening is commonly called the LSA (Lobe Separation Angle). The mechanism is conducted by making a rail on the shaft that functioned as the activator. Standard camshaft is divided into two parts, which are cam intake and cam exhaust. The mechanism is run by either pushing or pulling the shaft of the camshaft that results changes in the degree of valve opening. This mechanism was tested afterwards by taking emission data and by dial cam to conclude that the mechanism could work. This research results that the decreasing of emission for CO is 20,8% at position 1 and 43,5% at position 2. The lesser CO indicates that the used of the fuel is more efficient. Meanwhile the emission for CO<sub>2</sub> increases at 19,4% for position 1 and 5,6% for position 2, the higher CO<sub>2</sub> indicates the combustion is more perfect. Emission for HC decreases at 45,4% on position 1 and 43,4% on position 2, the lesser HC indicates the combustion is more perfect. The emission for O<sub>2</sub> doesn't change significantly at position 1 meanwhile at position 2 increases at 7,5%. O<sub>2</sub> indicates the lean combustion or rich combustion occurred. O<sub>2</sub> is also possibly influenced by the carburator's inaccurate setting between fuel and air mixture. Based on this research, it is possible to say that single rail mechanism can be operated well by maximize the combustion process so that the result of emission becomes much better on standard condition and the valve opening degree is controllable depends on the needs.

**Key word:**

*Camshaft, exhaust emissions, dial cam, LSA / Lobe Separation Angle.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PERNYATAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Batasan Penulisan.....	2
1.4. Metode Penulisan .....	2
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI .....	4
2.1. Mesin Otto .....	4
2.1.2 Mesin Otto 2-Langkah.....	4
2.1.2 Mesin Otto 4-Langkah.....	6
2.2. <i>Camshaft</i> .....	11
2.3. Overlapping .....	12
2.4. Ratio Kompresi.....	13
2.5. Tekanan Kompresi .....	14
2.6. LSA ( <i>Lobe Separation Angle</i> ).....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1. Rancangan Penelitian .....	17
3.2. Proses Pembuatan Mekanisme .....	18
3.3. Alat Uji Yang Digunakan.....	18
3.4. Prosedur pengujian .....	21
3.4.1 Proses pengujian mekanisme perubah derajat cam.....	21

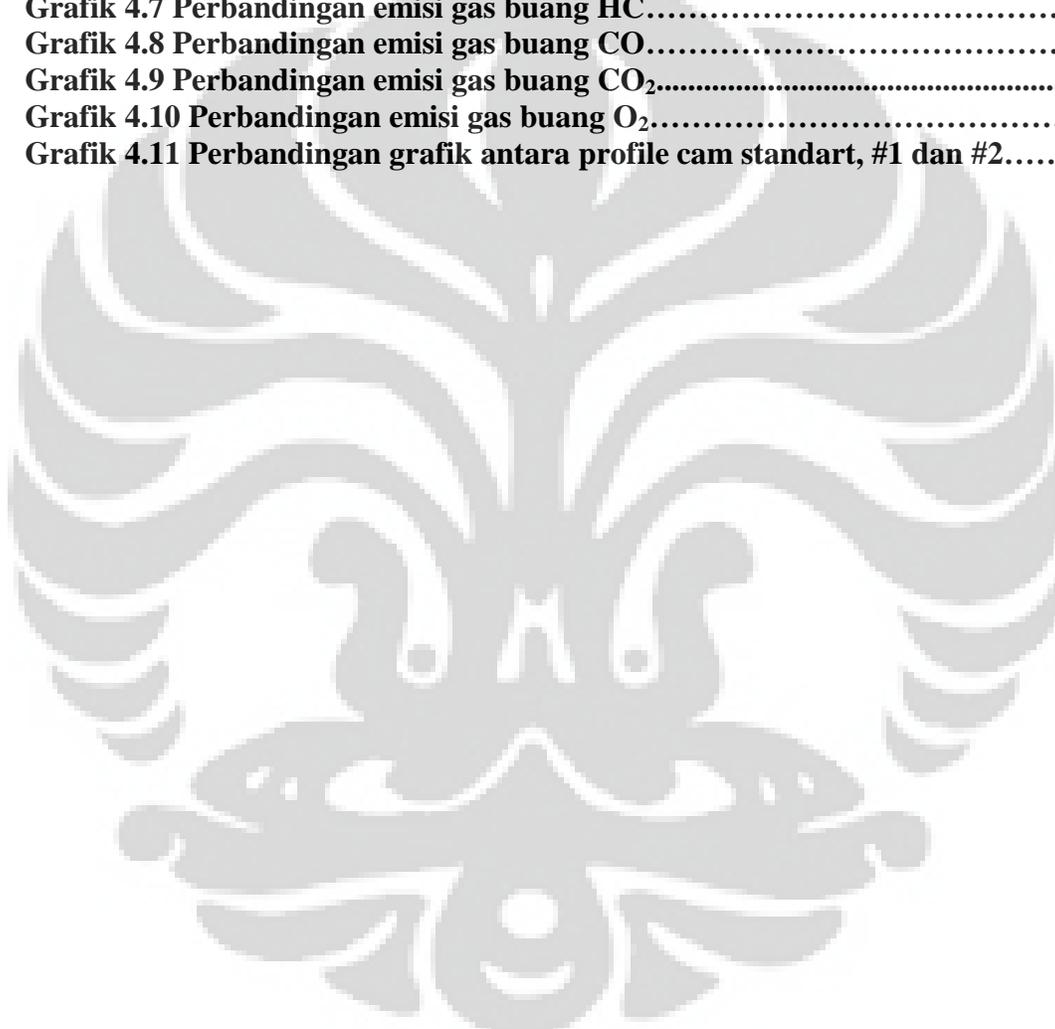
3.4.2	Proses pengujian mekanisme dengan dial test.....	21
3.4.3	Proses penggunaan gas analyzer.....	22
BAB IV	HASIL PERCOBAAN DAN ANALISA .....	23
4.1.	Data dial cam standar .....	23
4.2.	Data Dial Cam yang Sudah Dimodifikasi .....	24
4.2.1	Cam posisi 1.....	24
4.2.2	Cam posisi 2.....	26
4.3.	Data emisi gas buang dengan cam standar.....	27
4.4.	Data emisi gas buang dengan <i>camshaft</i> modifikasi.....	28
4.4.1	Posisi 1 .....	28
4.4.2	Posisi 2.....	29
4.5	Analisa pengaruh mekanisme perubahan <i>LSA/Lobe Separation Angle</i> pada <i>camshaft</i> terhadap performa mesin uji .....	29
4.6	Analisa hasil uji emisi .....	31
4.6	Analisa <i>dial cam</i> .....	37
4.7	Analisa Kekuatan Poros Modifikasi.....	38
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	38
5.1	Kesimpulan.....	38
5.2	Saran .....	39
DAFTAR PUSTAKA	.....	40
LAMPIRAN	.....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Mesin Otto 2-Langkah.....	6
Gambar 2.2 Siklus mesin Otto 4-langkah.....	7
Gambar 2.3 <i>Rocker arm</i> sebagai penghubung antara <i>camshaft</i> dan katup.....	8
Gambar 2.4 <i>Rocker arm</i> .....	9
Gambar 2.5 Bagian-bagian busi ( <i>spark</i> ).....	9
Gambar 2.6 Bagian-bagian piston.....	10
Gambar 2.7 Jenis-jenis <i>connecting rod</i> .....	11
Gambar 2.8 <i>Camshaft</i> .....	11
Gambar 2.9 Diagram Engkol Terbuka.....	12
Gambar 2.10 Rasio Kompresi.....	13
Gambar 2.11 <i>Bore</i> dan <i>Stroke</i> .....	14
Gambar 2.12 Test kompresi.....	15
Gambar 2.13 <i>LSA(Lobe Separation Angle)</i> .....	15
Gambar 2.14 Diagram Overlap.....	16
Gambar 3.1 Alat Dial Test.....	21
Gambar 4.1 Poros ber-rel sebagai mekanisme perubah.....	29
Gambar 4.2 <i>Camshaft</i> dipotong menjadi 2 bagian (a) <i>intake</i> dan (b) <i>exhaust</i> .....	30
Gambar 4.3 <i>Von mises stress</i> .....	38
Gambar 4.4 <i>Von mises stress</i> .....	38
Gambar 4.5 <i>Displacement</i> .....	39

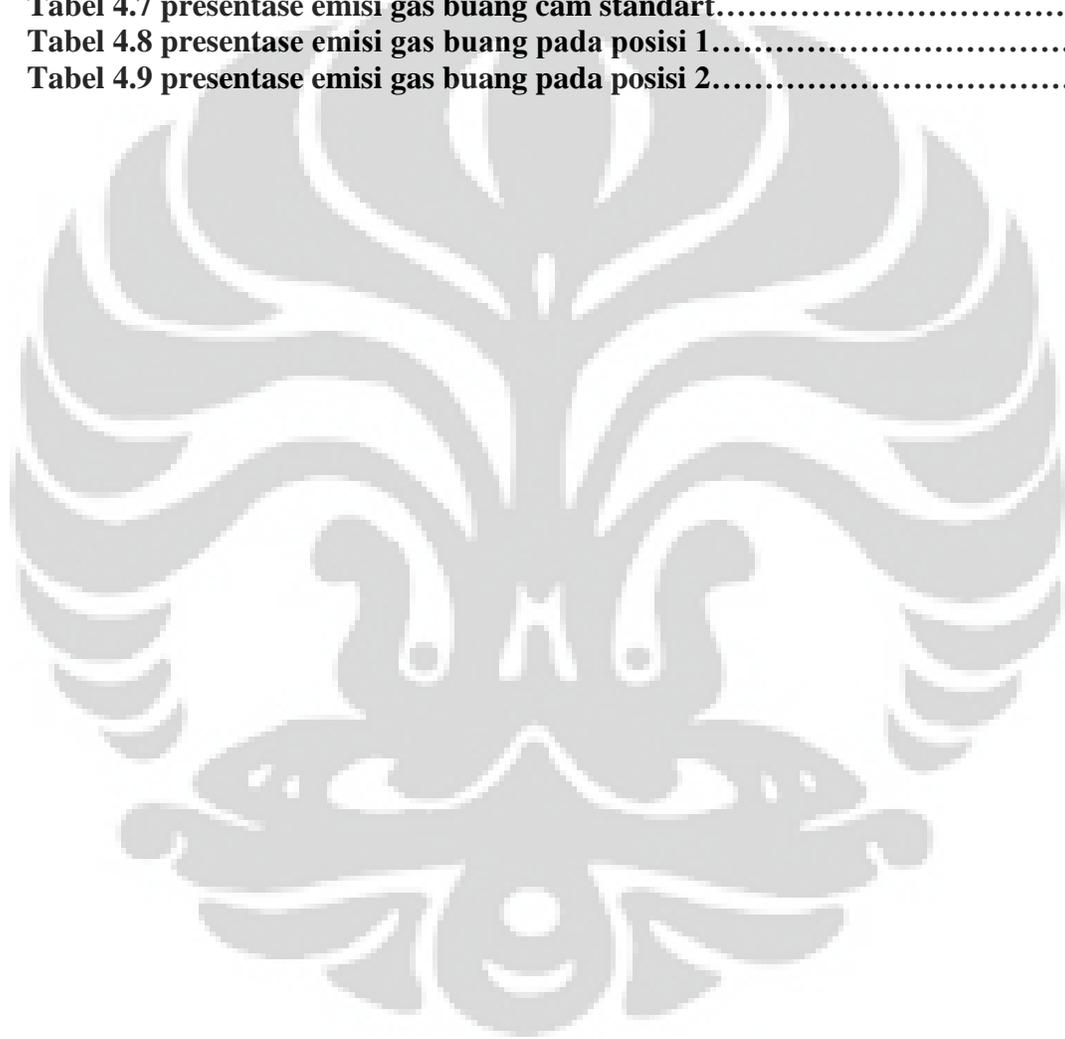
## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik profile cam standart.....	24
Grafik 4.2 Grafik profile cam posisi 1.....	25
Grafik 4.3 Grafik profile cam posisi 2.....	27
Grafik 4.4 Hasil uji emisi cam standar.....	31
Grafik 4.5 Hasil uji emisi mekanisme perubah LSA posisi 1.....	33
Grafik 4.6 Hasil uji emisi mekanisme perubah LSA pada posisi 2.....	33
Grafik 4.7 Perbandingan emisi gas buang HC.....	34
Grafik 4.8 Perbandingan emisi gas buang CO.....	34
Grafik 4.9 Perbandingan emisi gas buang CO <sub>2</sub> .....	35
Grafik 4.10 Perbandingan emisi gas buang O <sub>2</sub> .....	35
Grafik 4.11 Perbandingan grafik antara profile cam standart, #1 dan #2.....	37



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data dial cam standart.....	23
Tabel 4.2 Data dial cam pada posisi 1.....	24
Tabel 4.3 Data dial cam pada posisi 2.....	26
Tabel 4.4 Data pengujian emisi gas buang <i>camshaft</i> standart.....	27
Tabel 4.5 Data pengujian emisi gas buang <i>camshaft</i> posisi 1.....	28
Tabel 4.6 Data pengujian emisiss gas buang <i>camshaft</i> posisi 2.....	29
Tabel 4.7 presentase emisi gas buang cam standart.....	31
Tabel 4.8 presentase emisi gas buang pada posisi 1.....	32
Tabel 4.9 presentase emisi gas buang pada posisi 2.....	32



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Permasalahan kenaikan bahan bakar minyak dan mulai menipisnya cadangan minyak di bumi merupakan masalah utama yang sedang gempar dibicarakan sekarang ini. Berbagai macam inovasi sudah diciptakan demi mengurangi penggunaan bahan bakar fosil ini. Mulai berubahnya era mesin 2 tak menjadi 4 tak sampai penemuan-penemuan teknologi baru yang bertujuan meningkatkan efisiensi mesin dan penghematan penggunaan bahan bakar.

Pada era modern ini, untuk berpindah tempat dari tempat yang satu ketempat yang lain banyak yang menggunakan alat transportasi seperti, sepeda, motor ataupun mobil. Penggunaan kendaraan bermotor yang sangat besar dan terus bertumbuh, menjadikan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utama agar kendaraan bermotor tersebut dapat berjalan. Permasalahan yang terjadi sekarang ini dengan adanya pengonsumsi bahan bakar fosil yang terus bertambah adalah menipisnya cadangan minyak bumi yang ada sekarang.

Minyak bumi merupakan sumber utama penghasil energy yang ada di bumi dan juga termasuk kedalam sumber energy yang tidak dapat diperbaharui. Ketergantungan yang amat sangat terhadap bahan bakar minyak yang cadangannya terus menipis membuat kita perlu melakukan penghematan dan memikirkan cara untuk mencari sumber energy yang lain. Menemukan sumber energy yang baru dan dapat diperbaharui membutuhkan waktu yang tidak sedikit untuk melakukan penelitian. Oleh karena itu yang dapat dilakukan sekarang adalah dengan mengoptimalkan penggunaan bahan bakar minyak tersebut agar pemakaiannya menjadi lebih efisien.

Usaha penghematan ini dapat dilakukan dengan mulai mencari metode baru yang lebih efisien hingga melakukan eksperimen dengan memodifikasi sistem atau metode yang sudah ada sekarang menjadi lebih efisien lagi. Teknologi yang sudah dikembangkan dan terus digunakan sampai sekarang

sebagai tujuan dari penghematan penggunaan bahan bakar minyak adalah mesin dengan siklus otto 4 langkah. Mesin jenis ini dikembangkan lagi dari berbagai sisi, mulai dari menambahkan jumlah KATUP, menggunakan teknologi EFI (*electronic fuel injection*), sampai melakukan modifikasi pada *cam shaft* yang mengatur buka tutupnya katup *intake dan exhaust*. Penghematan bahan bakar adalah langkah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar. Namun hal ini memiliki dampak kepada mesin kerja seperti berkurangnya tenaga yang dihasilkan pada mesin tersebut.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk membuat desain sistem control pada camshaft. Sistem control ini dibuat agar dapat mengontrol perubahan sudut camshaft ke sudut camshaft yang cocok bergantung dengan kebutuhan pemakaian.

## **1.3. Batasan Penulisan**

Pada penelitian ini hanya akan membahas mengenai sistem mekanisme untuk perubahan sudut camshaft. Sistem mekanisme perubah ini dibuat dengan sesederhana mungkin agar dapat digunakan dengan mudah.

## **1.4. Metode Penulisan**

Metode yang digunakan untuk membuat skripsi ini meliputi:

1. Studi literatur mengenai motor pembakaran dalam
2. Membuat sistem mekanisme perubah
3. Melakukan percobaan

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi ini yaitu menggunakan format penulisan makalah ilmiah yang meliputi :

#### **Bab I Pendahuluan**

Berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan penelitian, dan metode penulisan yang berkaitan dengan penelitian ini.

#### **Bab II Dasar Teori**

Berisi penjelasan teori singkat mengenai hal-hal yang berhubungan.

#### **Bab III Desain Alat dan Hasil**

Memaparkan tentang desain alat yang dibuat dan hasil percobaan alat tersebut pada mesin kerja 4-langkah.

#### **Bab IV Analisa Data**

Penjabaran hasil analisa dari data-data yang didapat.

#### **Bab V Penutup**

Berisi kesimpulan dari penelitian dan studi yang telah dilakukan serta memberikan rekomendasi / saran terhadap hal hal yang perlu dilakukan.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1. Mesin Otto

Mesin Otto terbagi menjadi 2 berdasarkan jumlah langkahnya (*Stroke*) yaitu :

- Langkah piston pada siklus mesin Otto 2-Langkah
- Langkah piston pada siklus mesin Otto 4-Langkah

#### 2.1.2 Mesin Otto 2-Langkah

Mesin 2-langkah adalah mesin pembakaran dalam yang dalam satu siklus pembakaran terjadi dua langkah piston, berbeda dengan putaran empat-tak yang mempunyai empat langkah piston dalam satu siklus pembakaran, meskipun keempat proses (*intake*, kompresi, kerja, *exhaust*) terjadi. Mesin dua tak/ 2-langkah telah digunakan juga pada mesin Diesel, terutama rancangan piston berlawanan, kendaraan kecepatan rendah seperti mesin kapal besar, dan mesin V8 untuk truck dan kendaraan-kendaraan berat lainnya. Mesin Otto 2-langkah memiliki *crankcase* sebagaimana pemakaian silinder untuk mencapai seluruh elemen siklus Otto hanya dengan dua langkah piston atau satu putaran poros engkol. Berikut adalah langkah-langkah kerja yang terjadi pada mesin Otto 2-langkah,

- Langkah hisap (*intake*)

Campuran bahan bakar, udara, dan juga oli pertama kali ditarik kedalam *crankcase* karena kondisi vacuum yang dihasilkan selama langkah piston keatas. Ilustrasi ini mengilustrasikan mesin yang menggunakan KATUP hisap buluh tetapi saat ini mesin 2-langkah banyak menggunakan *rotary valve* untuk mekanisme peraturan langkah buangnya. Selama gerakan kebawah KATUP buluh akan tertutup karena adanya tekanan *crankcase* yang meningkat. Campuran bahan bakar, udara dan oli kemudian dikompresi dalam *crankcase* selama langkah tersisa.

- Langkah *transfer/buang (transfer/exhaust)*

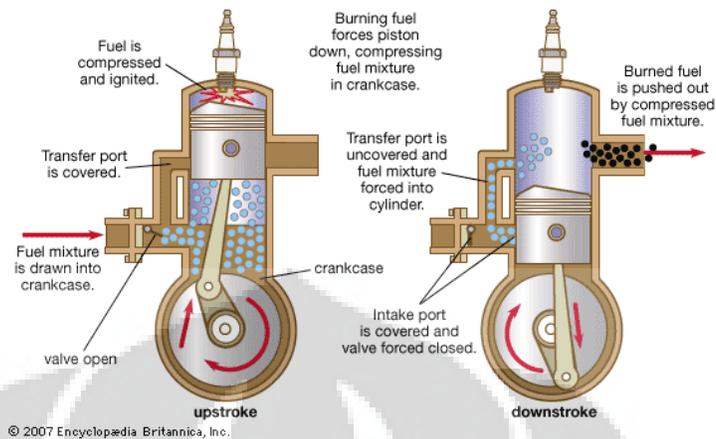
Ketika langkah hamper berakhir, piston akan membuka port hisap sehingga membuat campuran bahan bakar yang sudah terkompresi masuk disekitar piston menuju silinder utama. Keadaan ini sekaligus mendorong keluar gas sisa pembakaran menuju ke katup *exhaust* yang terletak pada sisi yang berlawanan. Pada langkah buang ini pula sebagian campuran bahan bakar yang baru saja masuk ikut terbang.

- Langkah kompresi (*compression*)

Piston bergerak keatas/naik, digerakkan oleh momentum roda gila dan mengkompresi campuran bahan bakar dan pada saat yang bersamaan terjadi langkah hisap yang terjadi di bawah piston.

- Langkah kerja (*work*)

Setelah kompresi terjadi maka busi akan memercikan api yang membakar campuran bahan bakar sehingga terjadi ledakan yang berekspansi sehingga piston bergerak kebawah. Pada saat piston bergerak kebawah maka campuran bahan bakar yang baru akan terdorong keatas untuk melanjutkan siklus.



Gambar 2.1 Siklus Mesin Otto 2-Langkah

(Sumber: qtussama.wordpress.com/2012/01/12/motor-2-tak-dan-motor-4-tak/)

### 2.1.2 Mesin Otto 4-Langkah

Mesin Otto 4-langkah adalah mesin pembakaran dalam yang dalam satu siklus pembakaran terjadi 4 langkah piston. Empat langkah dari siklus tersebut adalah hisap, kompresi, kerja, dan buang. Masing-masing merupakan langkah translasi penuh dari piston, karena itu siklus penuh 4-langkah membutuhkan dua putaran penuh dari *crankshaft*. Berikut adalah langkah-langkah kerja yang terjadi pada mesin Otto 4-langkah,

- Langkah hisap (*intake*)

Pada langkah hisap ini, torak bergerak dari TMA ke TMB dimana posisi piston bergerak ke bawah, menandakan masuknya campuran bahan bakar dan udara dalam bentuk uap.

- Langkah kompresi (*compression*)

Pada langkah ini, torak bergerak dari TMB ke TMA dimana posisi piston berada diatas/ bergerak naik yang bertujuan untuk memampatkan campuran udara dan bahan bakar yang di hisap, karena kedua katup isap dan buang tertutup maka tekanan dan suhu udara dalam silinder menjadi naik.

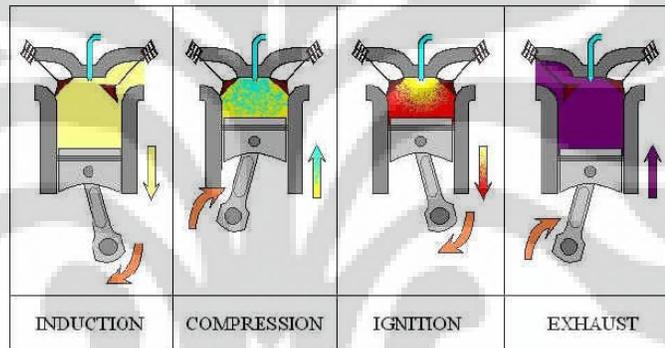
- Langkah kerja (*work*)

Pada puncak langkah kompresi, busi memercikan api untuk membakar bahan bakar yang sudah terkompresi. Sesaat setelah itu piston terdorong kebawah atau disebut dengan ekspansi. Pada langkah ini torak mulai bergerak dari TMA ke TMB.

- Langkah buang (*exhaust*)

Pada langkah ini torak bergerak terus dari TMA ke TMB dengan katup isap dalam kondisi tertutup dan katup buang terbuka. Pada saat KATUP buang terbuka piston bergerak keatas sehingga gas hasil dari pembakaran keluar dari silinder.

(Sumber: Motor Pembakaran Dalam, Bambang Sugiarto)



Gambar 2.2 Siklus mesin Otto 4-langkah

(Sumber: qtussama.wordpress.com/2012/01/12/motor-2-tak-dan-motor-4-tak/)

Mesin Otto merubah energi kimia menjadi energy panas yang membuat volume dalam ruang bakar menjadi terekspansi sehingga mengakibatkan piston terdorong kemudian menghasilkan energi mekanis. Mesin otto termasuk kedalam kategori *sprak ignition engine* karena proses pembakaran menggunakan percikan api (*spark*). Percikan api ini berasal dari busi yang bagian pemercik listrik nya berada di dalam ruang bakar.

Pada percobaan ini menggunakan mesin Otto yang menggunakan 1 buah piston dengan isi volume silinder sekitar 100cc. sistem pengapian pada motor ini diatur oleh CDI dan sistem pemasukan campuran udara dan bahan bakar diatur oleh karburator. Karburator juga berfungsi untuk mencampurkan

bahan bakar dan udara sebelum masuk ke ruang bakar. Berikut komponen komponen yang terdapat pada mesin Otto, yaitu :

- *KATUP intake*

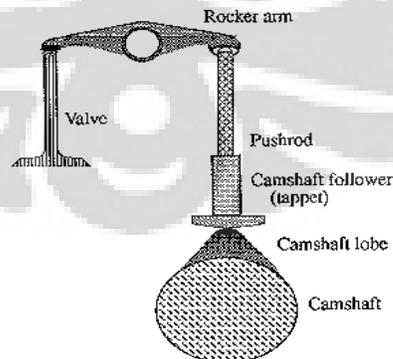
*KATUP intake* adalah KATUP yang berfungsi untuk mengalirkan campuran udara bahan bakar kedalam ruang bakar. Jumlah *KATUP intake* pada mesin ini berjumlah 1 buah tetapi terdapat juga mesin yang menggunakan 2 atau lebih *KATUP intake*. KATUP ini dapat bergerak karena adanya *camshaft* yang bergerak dan mendorong *rockerarm* yang terhubung dengan KATUP sehingga KATUP ini ikut terdorong dan terbuka.

- *KATUP exhaust*

*KATUP exhaust* adalah KATUP yang berfungsi untuk mengalirkan gas sisa pembakaran keluar dari ruang bakar. Sistem penggerak KATUP ini sama dengan sistem penggerak pada *KATUP intake* yang penggeraknya diatur oleh *camshaft* yang terhubung dengan *rockerarm* yang akan mendorong KATUP terbuka.

- *Rocker arm*

*Rocker arm* adalah komponen penggerak KATUP yang terhubung dengan *camshaft*. *Rocker arm* bekerja seperti pengungkit yang jika salah satu sisinya terdorong ke atas oleh *camshaft* maka salah satu sisi lagi akan mendorong KATUP untuk membuka.



Gambar 2.3 *Rocker arm* sebagai penghubung antara *camshaft* dan KATUP

(sumber: noerpamoengkas.wordpress.com/2009/03/23/camshaft/)

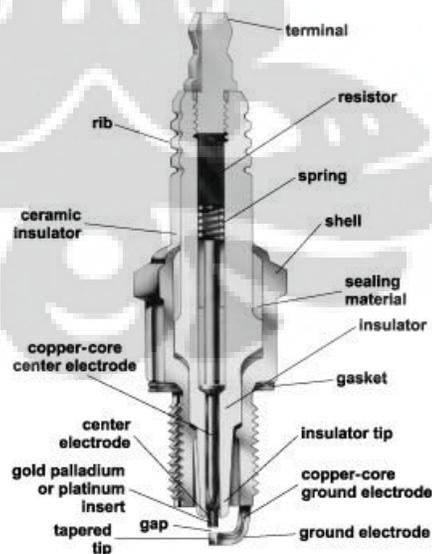


Gambar 2.4 *Rocker arm*

(Sumber: otoexplore.blogspot.com/2011/05/dasar-mesin.html)

- Busi (*spark*)

Busi berfungsi sebagai pemercik api yang digunakan untuk membakar atau menyalakan campuran bahan bakar dan udara yang terdapat pada ruang bakar. Percikan bunga api yang dihasilkan berasal dari listrik bertegangan tinggi yang bersumber pada accu motor yang kemudian disalurkan ke CDI kemudian ke coil lalu diteruskan ke busi.



Gambar 2.5 Bagian-bagian Busi (*spark*)

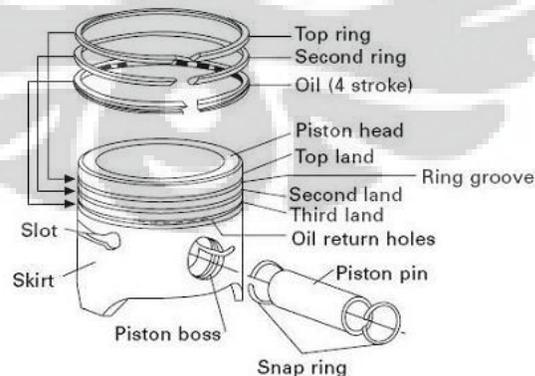
(Sumber: otoexplore.blogspot.com/2011/05/dasar-mesin.html)

- CDI

CDI atau *capasitor discharge ignition* adalah salah satu sistem pengapian yang banyak digunakan pada motor bakar sekarang ini. Keunggulan CDI adalah menghasilkan arus yang konstan pada putaran mesin berapapun. CDI juga dikenal sebagai sistem pengapian elektronik. CDI berperan penting dalam sistem pengapian pada ruang bakar karena CDI mengatur waktu pemercikan api pada busi yang akan membakar campuran bahan bakar dan udara. Kerja dari CDI didukung oleh pulser sebagai sensor posisi piston, dimana sinyal dari pulser akan memberikan arus pada SCR yang akan membuka, sehingga arus pada capasitor yang ada didalam CDI dialirkan. Selain pulser ada juga aki pada jenis CDI DC atau spul pada CDI AC dimana sumber arus dikelola oleh CDI yang terhubung dengan koil sebagai peningkat tegangan yang kemudian diteruskan ke busi.

- *Piston*

Piston adalah komponen yang berfungsi untuk menerima tekanan atau ekspansi pembakaran kemudian diteruskan ke *crackshaft* melalui *connecting rod*. *Piston* dan *connecting rod* dihubungkan dengan *piston pin*. *Piston* memiliki karakteristik yang tahan terhadap tekanan tinggi, temperatur/suhu tinggi dan juga dapat bekerja pada kecepatan tinggi.

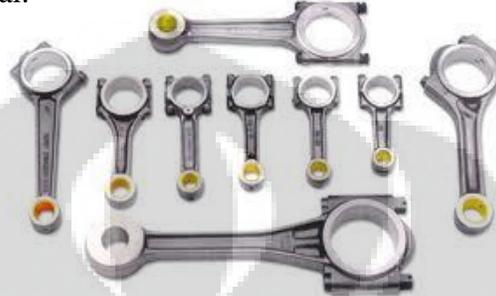


Gambar 2.6 Bagian-bagian *Piston*

(Sumber: [otoexplore.blogspot.com/2011/05/dasar-mesin.html](http://otoexplore.blogspot.com/2011/05/dasar-mesin.html))

- *Connecting rod*

*Connecting rod* adalah komponen yang berfungsi untuk menghubungkan antara *piston* dan *crankshaft*. Komponen ini secara terus menerus menerima beban sehingga komponen ini dibuat dengan bahan baja yang spesial.



Gambar 2.7 Jenis-jenis *connecting rod*

(sumber: [penjelasanteknologiotomotif.blogspot.com/](http://penjelasanteknologiotomotif.blogspot.com/))

## 2.2. *Camshaft*

Camshaft atau biasa disebut dengan noken as adalah peralatan yang digunakan dalam suatu mesin berpiston untuk membuka katup *intake* dan KATUP *exhaust*. Camshaft dapat digerakan menggunakan timing belt yang terhubung dengan crankshaft. Pada motor yang digunakan ini, camshaft disanggah oleh 2 buah bearing yang masing masing terletak di bagian depan dan belakang dari *crankcase*. Poros ini berbentuk tidak simetris karena terdapat tonjolan yang biasanya disebut dengan cam, untuk setiap katup dioperasikan oleh 1 buah cam.

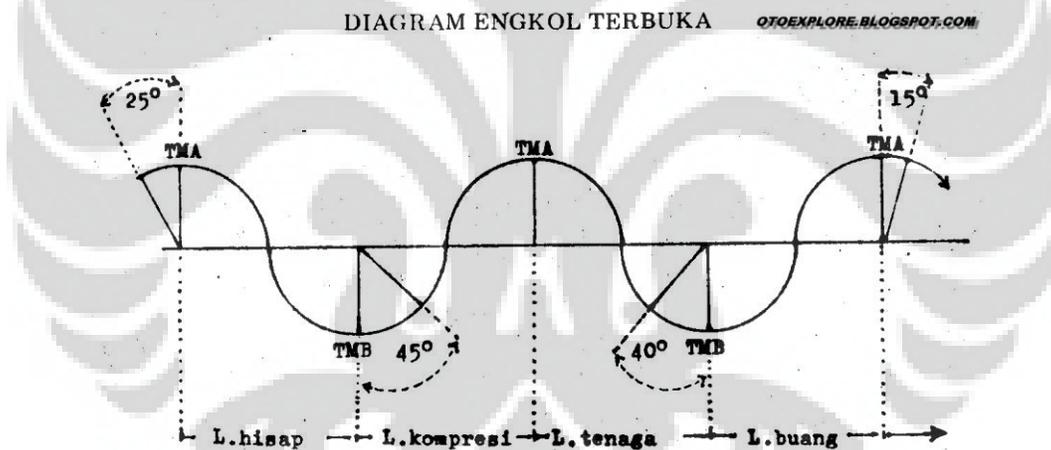


Gambar 2.8 Camshaft

([noerpamoengkas.wordpress.com/2009/03/23/camshaft/](http://noerpamoengkas.wordpress.com/2009/03/23/camshaft/))

### 2.3. Overlapping

Overlapping adalah suatu kondisi dimana keadaan KATUP intake dan *exhaust* terbuka bersamaan. Kondisi ini dapat membantu untuk menaikkan performa mesin dan juga efisiensi. Campuran bahan bakar akan masuk ketika KATUP intake terbuka dan membantu membilas ruang bakar dengan mendorong gas sisa pembakaran keluar melalui KATUP exhaust sehingga dapat membantu pembakaran menjadi lebih sempurna. Overlapping ini memiliki kekurangan yang memungkinkan campuran bahan bakar yang baru saja masuk ikut terbawa keluar melalui KATUP exhaust walaupun jumlahnya kecil. Overlapping pada intinya mempercepat dan mempelancar mengalirnya gas. Dalam teori, katup masuk dan KATUP buang terbuka dan menutup pada saat torak berada di TMA dan TMB, tetapi pada kenyataannya katup masuk maupun katup buang dibuka lebih cepat dan penutupannya diperlambat.



(sumber: [www.bintangmotor.com/index.php/spec/new-megapro/75-spesifikasi-fitx](http://www.bintangmotor.com/index.php/spec/new-megapro/75-spesifikasi-fitx))

Penjelasan :

- KATUP *Intake* mulai terbuka  $25^\circ$  sebelum torak mencapai TMA pada akhir langkah buang.
- KATUP masuk menutup  $45^\circ$  sesudah torak melalui TMB pada awal langkah kompresi.

- KATUP buang mulai terbuka  $40^\circ$  sebelum torak mencapai TMB pada akhir langkah tenaga.
- KATUP buang menutup  $15^\circ$  sesudah torak melalui TMA pada awal langkah isap.

#### 2.4. Ratio Kompresi

Ratio kompresi adalah perbandingan volume antara volume total silinder dengan volume ruang bakarnya. Volume total adalah penjumlahan dari volume silinder dan volume ruang bakar. Volume ruang bakar adalah volume sisa saat piston berada di TMA. Dimana rasio kompresi dapat dihitung dengan cara sebagai berikut,

$$CR = \frac{V_s + V_c}{V_c}$$

$$CR = \frac{\frac{\pi}{4} b^2 s + V_c}{V_c}$$

Dimana,

CR : rasio kompresi

b : bore

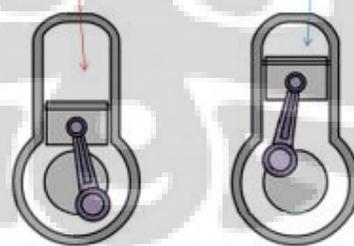
s : stroke

$V_s$  : volume silinder

$V_c$  : volume ruang bakar

Volume ruang bakar total saat piston berada di posisi terbawah ( $V_0$ )

Volume ruang bakar saat piston berada di posisi teratas ( $V_1$ )



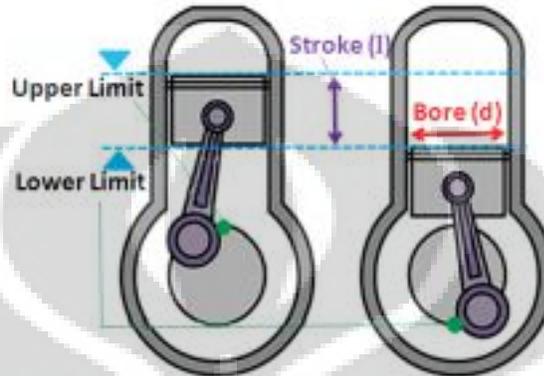
$$\text{Rasio Kompresi Mesin} = V_0 : V_1$$

Gambar 2.10 Rasio Kompresi

(sumber: <http://danangdk.blog.uns.ac.id/2010/04/20/rasio-kompresi-mesin-apakah-itu/>)

Bore adalah diameter silinder blok mesin, sedangkan stroke adalah jarak pergerakan silinder dalam blok mesin. Kapasitas mesin bias didapatkan jika mengetahui dimensi bore dan juga stroke.

$$\text{Kapasitas Mesin (CC)} = \text{Luas Silinder} \times \text{Panjang Stroke}$$



Gambar 2.11 *Bore dan Stroke*

(sumber: <http://danangdk.blog.uns.ac.id/2010/04/20/rasio-kompresi-mesin-apakah-itu/>)

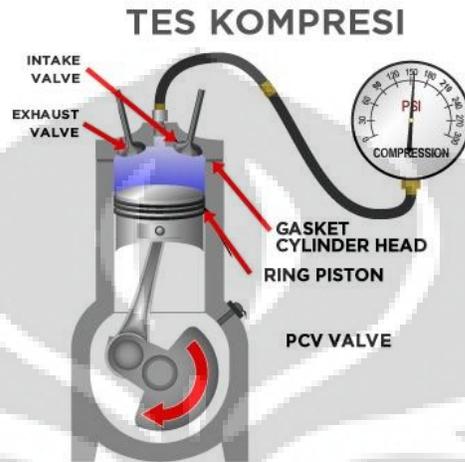
## 2.5. Tekanan Kompresi

Tekanan kompresi adalah tekanan efektif rata-rata yang terjadi di ruang bakar tepat diatas piston. Tekanan kompresi dibagi menjadi 2 definisi, pertama adalah kompresi motorik dan yang kedua adalah tekanan kompresi pembakaran.

Tekanan kompresi motorik adalah tekanan yang paling sering diukur dengan alat *compression gauge* dengan satuan kPa , psi atau bar. Tekanan motorik lebih dikenal dengan tekanan kompresi. Tekanan ini membaca kompresi diruang bakar tanpa adanya penyalaan busi, dengan cara memasang *compression gauge* pada lubang busi kemudian handle gas ditarik pada putaran penuh (*full open throttle*) kemudian di engkol menggunakan *kick startee* hingga jarum bergerak naik dan berhenti pada angka tertentu. Angka ini merupakan angka yang menunjukkan tekanan kompresi motorik. Tekanan motorik pada motor standar berada diantara 900 kPa sampai 1400 kPa atau 9 psi sampai 13 psi.

Tekanan kompresi pembakaran dihitung saat mesin menyala atau terjadi proses pembakaran. Pengukuran ini tidak menggunakan alat *compression gouge*,

tetapi menggunakan sensor *pressure* yang ditanam didalam silinder *head*. Tekanan kompresi pembakaran ini dapat mencapai 10 kali lipat dari tekanan motorik. Hasil dari pengukuran tekanan ini digambarkan dalam sebuah diagram grafik P- $\theta$  (*pressure* vs derajat poros engkol).

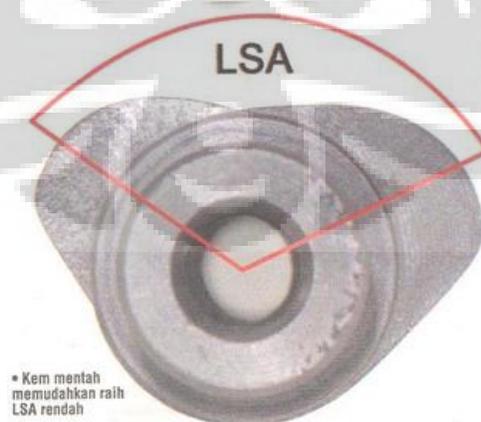


Gambar 2.12 Tes Kompresi

(sumber: <http://danangdk.blog.uns.ac.id/2010/04/20/rasio-kompresi-mesin-apakah-itu/>)

## 2.6. LSA (*Lobe Separation Angle*)

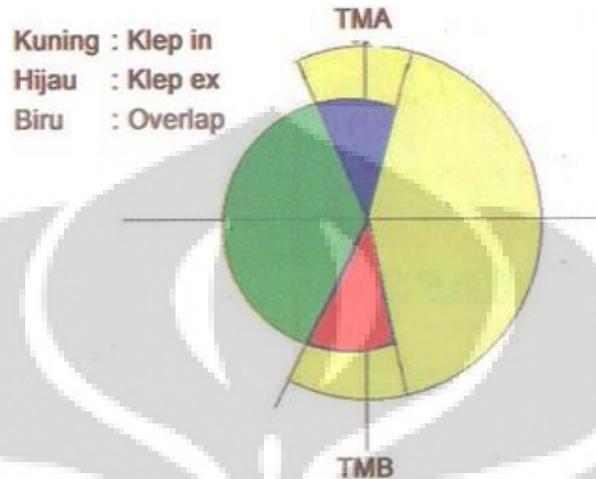
LSA (*lobe Separation Angel*) adalah derajat jarak antara titik tengah pucuk bubungan *lobe-in* dan puncak bubungan *lobe-exhaust*. Makin rendah LSA maka makin besar overlap. Efek tinggi overlap ini membuat pembilasan makin sempurna pada putaran atas, karena proses pembilasan terjadi pada saat overlap.



Gambar 2.13 LSA (*Lobe Separation Angle*)

(sumber: [etonblue.blogspot.com/2010/05/pengertian-lsa-lobe-separation-angle.html](http://etonblue.blogspot.com/2010/05/pengertian-lsa-lobe-separation-angle.html))

Jika tidak ada perubahan durasi, maka memperbesar LSA sama dengan memperkecil Overlap, sebaliknya menyempitkan LSA sama dengan memperbesar overlap. Besar kecilnya overlap bias dibaca dengan diagram cam.



Gambar 2.14 diagram overlap

(sumber: [etonblue.blogspot.com/2010/05/pengertian-lsa-lobe-separation-angle.html](http://etonblue.blogspot.com/2010/05/pengertian-lsa-lobe-separation-angle.html))

Untuk menghitung LSA menggunakan rumus,

$$LSA = \left( \frac{\text{durasi in}}{2} - \text{bukaan in} \right) + \left( \frac{\text{durasi exhaust}}{2} \right) - \left( \frac{\text{tutup exhaust}}{2} \right)$$

Misalnya, durasi in  $270^\circ$ , bukaan in  $25^\circ$ , durasi exhaust  $270^\circ$ , tutup exhaust  $30^\circ$ .  
maka:

$$LSA = \left( \frac{270^\circ}{2} - 25^\circ \right) + \left( \frac{270^\circ}{2} \right) - \left( \frac{30^\circ}{2} \right)$$

$$LSA = 107.5^\circ$$

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Rancangan Penelitian

Percobaan ini dilakukan untuk membuktikan kinerja sistem perubahan derajat bukaan *camshaft* dapat berkerja dengan baik atau tidak. Pada pengujian ini yang akan dijadikan acuan adalah timing perubahan derajat pada *camshaft* pada rel yang sudah dibuat sedemikian rupa. Sebelum melakukan pengujian ini dilakukan pengetesan awal tentang kondisi sudut *camshaft* untuk mendapatkan waktu bukaan dan tutup pada KATUP intake dan exhaust. Proses ini dinamakan dial test. Pada pengetestan ini cam yang dijadikan acuan adalah cam standart yang didapat data bahwa pada kondisi standar sebagai berikut

<i>Camshaft standart</i>	<i>Intake</i>	<i>Exhaust</i>
Bukaan / <i>open</i>	5° sebelum TMA	41° sebelum TMB
Tutup / <i>close</i>	16° sebelum TMB	9° sebelum TMA

Dimana:

- Max lift *intake* adalah 5.60 mm.
- Max lift *exhaust* adalah 5.50 mm.

Setelah mengetahui data *camshaft* standart maka dilakukan pengujian mengenai performa mesin dengan menggunakan tiga variasi sudut (standart, variasi 1, dan variasi 2). Variasi yang dibuat dengan merubah derajat bukaan pada KATUP *intake*. Spesifikasi cam yang sudah dibuat variasi sebagai berikut:

- Variasi 1

Cam Variasi 1	<i>Intake</i>	<i>Exhaust</i>
<i>Open</i>	19° sebelum TMA	41° sebelum TMB
<i>Close</i>	30° sebelum TMB	9° sebelum TMA

- Variasi 2

Cam variasi 2	<i>Intake</i>	<i>Exhaust</i>
<i>Open</i>	32° sebelum TMA	41° sebelum TMB
<i>Close</i>	43° sebelum TMB	9° sebelum TMA

Variasi ini sudah di uji pada penelitian sebelumnya untuk data emisi dan juga konsumsi bahan bakar. Dari hasil ini maka pada penelitian tugas akhir ini, dibuat mekanisme agar cam dapat berubah secara mekanik pada mesin motor 4-langkah.

### 3.2. Proses Pembuatan Mekanisme

Prosedur yang dilakukan dalam pembuatan mekanisme ini adalah

1. Pengambilan data (performa mesin, emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar) dengan beberapa variasi cam (standart, variasi 1 dan variasi 2).
2. Setelah pengambilan data, membuat ide untuk mekanisme perubah sudut cam.
3. Melakukan pengukuran untuk dimensi yang akan dibuat
4. Menggambar menggunakan *cad (Autodesk Inventor)*
5. Melakukan fabrikasi untuk membuat mekanisme perubah berupa single rel pada sebuah poros.
6. Melakukan pemotongan camshaft dan membuat lubang untuk memasang baut tanam sebagai pengunci camshaft agar dapat bergerak direl yang sudah dibuatkan.
7. Melakukan pengujian di mesin motor 4-langkah

### 3.3 Alat Uji Yang Digunakan

Pada pengetesan alat ini menggunakan alat uji sebagai berikut :

1. Sepeda motor 100 CC 4-langkah

Pada pengujian ini menggunakan mesin motor 100 cc 4-langkah yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Panjang X lebar X tinggi : 1.907x702x1.069 mm

Jarak sumbu roda	:	1.234 mm
Jarak terendah ke tanah	:	147 mm
Berat kosong	:	99.4 kg
Tipe rangka	:	Tulang punggung
Tipe suspensi depan	:	Teleskopik
Tipe suspensi belakang	:	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
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, C7HSA
Sistem pengapian	:	AC-CDI, Magneto

## 2. Gas Analyzer

Alat uji ini digunakan untuk mengetahui komposisi gas buang pada motor uji setelah di pasanganya alat perubah derajat cam ini. Alat uji emisi yang digunakan adalah tipe 488plus dari *Technotest*. Spesifikasi gas *analyzer* yang digunakan adalah:

<i>Mains power supply</i>	110/220/240 V ( $\pm 15\%$ ) 50÷60 Hz ( $\pm 3\%$ )
<i>Measuring range</i>	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)
<i>Induction rpm counter</i>	0÷9990 rpm (res. 10)
<i>Electronic Lambda test</i>	YES
<i>Operating temperature (°C)</i>	5÷40
<i>Measuring gas induction</i>	8 l/min (approx)
<i>Response time</i>	<10sec (probe length 3mt)
<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</i>	RS232
<i>Dimension</i>	400x180x420 mm
<i>Weight</i>	13.5kg

### 3. *dial Test*

Dial test adalah alat yang digunakan untuk mengetahui perubahan dimensi yang sangat kecil dengan tingkat ketelitian yang presisi. Dial test dilakukan untuk menentukan sudut *intake* dan *exhaust* kapan terbuka dan tertutup.



Gambar 3.1 Alat dial test

### 3.4 Prosedur pengujian

#### 3.4.1 Proses pengujian mekanisme perubah derajat cam

1. Membongkar mesin uji yang sudah terpasang.
2. Melepaskan tutup dari block silinder head tempat untuk masuknya camshaft.
3. Memasang mekanisme camshaft yang sudah di modifikasi.
4. Memasang kembali semua part yang sudah dilepaskan dan kemudian menyalakan mesin uji.
5. Menguji apakah ada perubahan dengan memutar baut yang diletakkan disebelah kanan dekat busi yang berfungsi untuk mendorong as poros cam(rel) sehingga cam dapat berubah.
6. Setelah dilakukan pemutaran baut itu untuk mendorong, terdapat perubahan pada rpm yang naik.

#### 3.4.2 Proses pengujian mekanisme dengan dial test

1. Pasang *degree disc* pada *crank shaft*.
2. Membuka *cover crankcase* R dan L
3. Tempatkan jarum *dial* pada bagian atas KATUP *intake* dan *exhaust*.
4. Lakukan kalibrasi pada *dial indicator*.
5. Putar *degree disc* kearah yang sesuai dengan kerja motor.

6. Data didapat dengan membaca perubahan pada *dial cam* yang bias dilihat pada *degree disc*.

### 3.4.3 Proses penggunaan gas analyzer

Tahap penggunaan alat uji gas *analyzer tecno test488 plus* adalah,

1. Menyalakan alat uji dengan menekan tombol on/off pada sisi belakang alat uji yang kemudian akan muncul angka 01 pada layar RPM.
2. Tunggu beberapa saat untuk alat uji melakukan warming up sebelum melakukan pengujian.
3. Setelah itu alat uji akan melakukan kalibrasi (*zero setting*) dan akan muncul angka 21 pada layar.
4. Setelah selesai layar pada alat akan menyala semua dan tandanya alat sudah siap untuk digunakan.
5. Masukkan probe gas *analyzer* pada lubang *exhaust* motor.
6. RPM dimesin didapatkan dari takometer yang sudah terpasang pada motor uji.
7. Catat hasil pengukuran pada layar, untuk memunculkan nilai lamda bias ditekan tombol enter pada panel.

## BAB IV

### HASIL PERCOBAAN DAN ANALISA

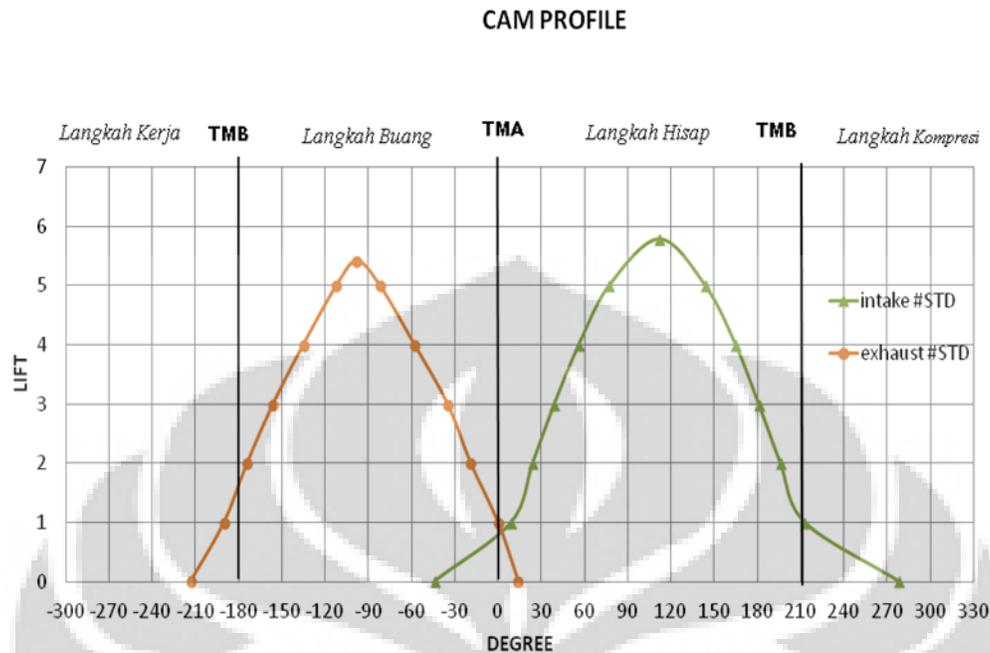
#### 4.1. Data dial cam standar

Data berikut ini merupakan data untuk kondisi *camshaft* standart. Berikut ini adalah kondisi *camshaft standart*:

Tabel 4.1 Data dial cam standart

<b>Intake</b>				
<b>left per titik (mm)</b>	<b>Open(x°)</b>	<b>ket</b>	<b>Close (x°)</b>	<b>ket</b>
<b>0.01</b>	44	sebelum TMB	82	sebelum TMA
<b>1</b>	9	TMA	33	setelah TMB
<b>2</b>	24	setelah TMA	16	setelah TMB
<b>3</b>	39	setelah TMA	1	setelah TMB
<b>4</b>	56	setelah TMA	15	sebelum TMB
<b>5</b>	77	setelah TMA	36	sebelum TMB
<b>5.5</b>	112	setelah TMA	112	setelah TMA

<b>exhaust</b>				
<b>left per titik (mm)</b>	<b>Open(x°)</b>	<b>ket</b>	<b>Close (x°)</b>	<b>ket</b>
<b>0.01</b>	33	sebelum TMB	14	setelah TMA
<b>1</b>	10	sebelum TMB	0	TDC
<b>2</b>	6	setelah TMB	19	sebelum TMA
<b>3</b>	24	setelah TMB	36	sebelum TMA
<b>4</b>	45	setelah TMB	58	sebelum TMA
<b>5</b>	82	setelah TMB	82	sebelum TMA
<b>5.41</b>	98	sebelum TMA	98	sebelum TMA



Grafik 4.1 Grafik profile cam standart

Seperti yang dapat dilihat pada grafik 4.1 dimana pada cam kondisi standart mempunyai fase *overlapping* dalam siklus putaran *camshaft*. Hal ini bisa dilihat dari grafik diatas, dimana katup *exhaust* yang masih terbuka ketika KATUP *intake* mulai terbuka pada  $44^\circ$  sebelum titik mati bawah dan pata tekanan 0,01mm.

## 4.2. Data Dial Cam yang Sudah Dimodifikasi

### 4.2.1 Cam posisi 1

Pada cam posisi 1 ini diharapkan sama dengan cam pada kondisi standart tetapi setelah dilakukan pengujian *dial test* didapatkan data sebagai berikut.

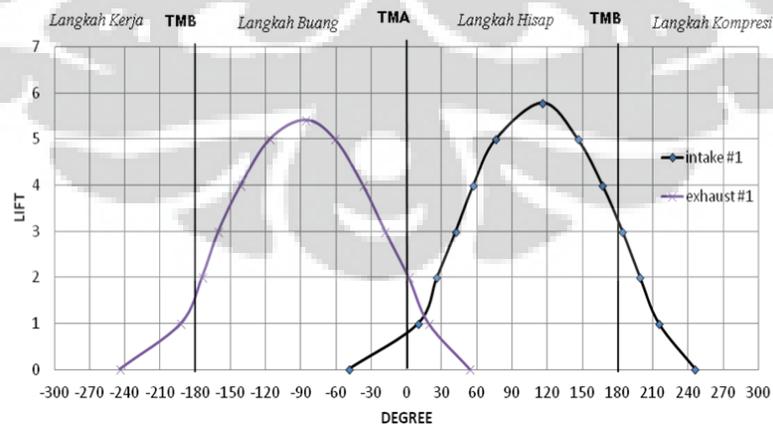
Tabel 4.2 Data dial cam pada posisi 1

<b>Intake</b>				
<b>lift per titik (mm)</b>	<b>Open(x°)</b>	<b>ket</b>	<b>Close (x°)</b>	<b>ket</b>
<b>0.01</b>	49	sebelum TMA	66	setelah TMB
<b>1</b>	10	setelah TMA	35	setelah TMB

<b>2</b>	26	setelah TMA	19	setelah TMB
<b>3</b>	42	setelah TMA	4	setelah TMB
<b>4</b>	57	setelah TMA	13	sebelum TMB
<b>5</b>	76	setelah TMA	34	sebelum TMB
<b>5.79</b>	64	sebelum TMB	64	sebelum TMB
<b>LC</b>	116	setelah TMA	116	setelah TMA

<b>Exhaust</b>				
<b>lift per titik (mm)</b>	<b>Open(x°)</b>	<b>ket</b>	<b>Close (x°)</b>	<b>ket</b>
<b>0.01</b>	64	sebelum TMB	54	setelah TMA
<b>1</b>	12	sebelum TMB	19	setelah TMA
<b>2</b>	6	setelah TMB	2	setelah TMA
<b>3</b>	20	setelah TMB	18	sebelum TMA
<b>4</b>	39	setelah TMB	37	sebelum TMA
<b>5</b>	64	setelah TMB	61	sebelum TMA
<b>5.41</b>	86	sebelum TMA	86	sebelum TMA
<b>LC</b>	86	sebelum TMA	86	sebelum TMA

CAM PROFILE



Grafik 4.2 Grafik profil cam pada posisi 1

Dari data yang didapatkan terjadi perubahan derajat/*timing* bukaan katup *intake* dan *exhaust*. Dari grafik bisa dilihat katup tertutup lebih lama sehingga terjadi overlapping yang dengan durasi derajat lebih lebar yaitu  $103^\circ$  dan overlapping terjadi pada  $49^\circ$  sebelum titik mati atas.

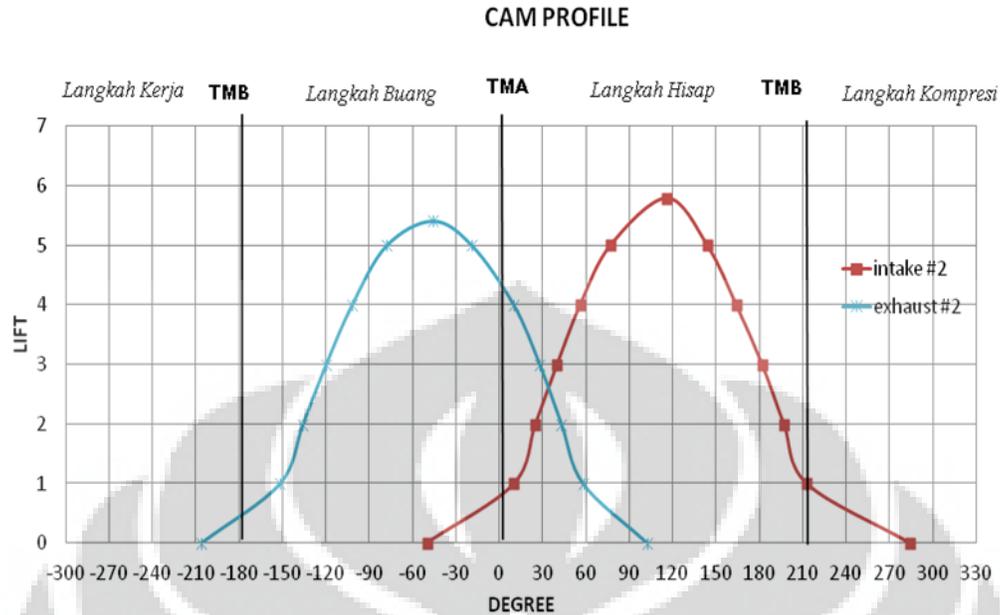
#### 4.2.2 Cam posisi 2

Data berikut ini merupakan data yang didapat dalam pengujian dial cam pada posisi 2. Data yang didapatkan sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data dial cam pada posisi 2

<b>Intake</b>				
<b>left per titik (mm)</b>	<b>Open(x°)</b>	<b>ket</b>	<b>Close (x°)</b>	<b>ket</b>
<b>0.01</b>	50	sebelum TMA	76	setelah TMB
<b>1</b>	10	setelah TMA	33	setelah TMB
<b>2</b>	25	setelah TMA	17	setelah TMB
<b>3</b>	40	setelah TMA	2	setelah TMB
<b>4</b>	56	setelah TMA	16	sebelum TMB
<b>5</b>	77	setelah TMA	36	sebelum TMB
<b>5.79</b>	64	sebelum TMB	64	sebelum TMB
<b>LC</b>	116	setelah TMA	116	setelah TMA

<b>exhaust</b>				
<b>left per titik (mm)</b>	<b>Open(x°)</b>	<b>ket</b>	<b>Close (x°)</b>	<b>ket</b>
<b>0.01</b>	26	sebelum TMB	76	sebelum TMB
<b>1</b>	28	setelah TMB	58	setelah TMA
<b>2</b>	44	setelah TMB	43	setelah TMA
<b>3</b>	60	setelah TMB	28	setelah TMA
<b>4</b>	78	setelah TMB	10	setelah TMA
<b>5</b>	78	sebelum TMA	19	sebelum TMA
<b>5.41</b>	46	sebelum TMA	46	sebelum TMA
<b>LC</b>	46	sebelum TMA	46	sebelum TMA



Grafik 4.3 Grafik profile cam pada posisi 2

Dari data dan grafik diatas katup *exhaust* masih terbuka ketika katup *intake* mulai terbuka. Hal ini menyebabkan terjadinya overlapping pada  $50^\circ$  sebelum titik mati atas karena adanya perubahan sudut bukaan pada cam *exhaust* yang lebih cepat.

#### 4.3. Data emisi gas buang dengan cam standar

Untuk pengujian emisi gas buang, diambil 5 tipe data yang terkandung dalam gas buang knalpot yaitu CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub>. Berikut adalah data percobaan emisi gas buang dengan menggunakan *camshaft* standart:

Tabel 4.4 Data pengujian emisi gas buang *camshaft* standart

RPM [ 1/min ]	STD				
	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	Nox
	[ % vol ]	[ % vol ]	[ ppm vol ]	[ % vol ]	[ ppm vol ]
2000	1.92	2.5	336	15.5	14
2500	2.32	2.5	285	15.1	19
3000	2.76	2.8	273	14.5	29
3500	3.01	3	249	14	29
4000	2.97	2.9	245	14.1	29

4500	2.75	3.9	211	14.3	29
5000	2.62	3	168	14.3	29

Pengambilan data ini dilakukan dalam kondisi mesin menyala diam(*idle*) dan dinaikan rpmnya secara perlahan.

#### 4.4. Data emisi gas buang dengan *camshaft* modifikasi

##### 4.4.1 Posisi 1

Berikut adalah data hasil pengujian gas buang saat *camshaft* berada di posisi 1:

Tabel 4.5 Data pengujian emisi gas buang *camshaft* posisi 1

RPM [ 1/min ]	STD				
	CO	CO <sub>2</sub>	HC	O <sub>2</sub>	Nox
	[ % vol ]	[ % vol ]	[ ppm vol ]	[ % vol ]	[ ppm vol ]
2000	1.26	3.6	178	15	29
2500	1.61	3.4	155	14.9	29
3000	1.84	3.1	141	15	29
3500	2.17	2.9	135	15	29
4000	2.51	3.4	128	14	19
4500	2.7	3.7	124	13.5	29
5000	2.45	3.3	104	14.4	29

Pengambilan data emisi ini menggunakan cara yang sama ketika pengambilan data emisi untuk *camshaft* standar, yaitu mengambil data emisi ketika mesin menyala secara stabil.

#### 4.4.2 Posisi 2

Berikut ini adalah data hasil pengambilan data emisi gas buang untuk mesin yang menggunakan *camshaft* yang sudah di modifikasi pada posisi 2:

Tabel 4.6 Data pengujian emisi gas buang *Camshaft* posisi 2

RPM [ 1/min ]	STD				
	CO	CO2	HC	O2	Nox
	[ % vol ]	[ % vol ]	[ ppm vol ]	[ % vol ]	[ ppm vol ]
2000	1.14	3	199	15.8	14
2500	1.34	3.1	192	15.6	14
3000	1.52	3.1	183	15.8	14
3500	1.52	2.9	114	15.6	9
4000	1.74	2.8	107	15.5	9
4500	1.7	2.9	103	15.5	14
5000	1.4	2.9	102	15.6	19

Posisi ini didapatkan dengan memutar baut penutup pada sebelah kanan sehingga poros dari *camshaft* ini bergeser dan merubah sudut bukaan kabub.

#### 4.5 Analisa pengaruh mekanisme perubahan LSA/*Lobe Separation Angle* pada *camshaft* terhadap performa mesin uji

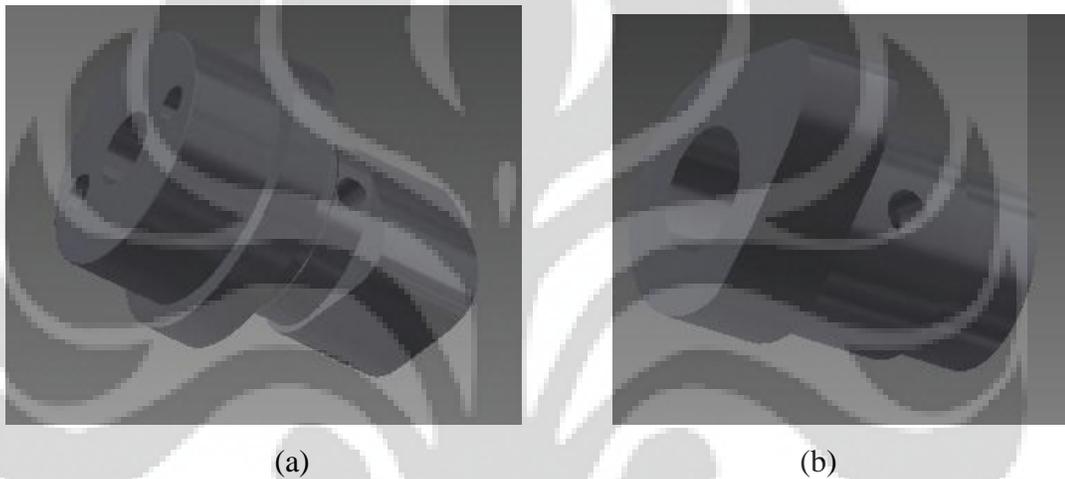
Sistem mekanisme yang dibuat adalah sistem single rel untuk dapat merubah sudut bukaan *camshaft* standar menjadi sudut bukaan (LSA) yang diinginkan. Pada percobaan ini diharapkan poros yang memiliki lubang yang disebut rel ini dapat merubah LSA/*Lobe Separation Angle* dengan sistem kerja di dorong dan ditarik.



Gambar 4.1 Poros ber-rel sebagai mekanisme perubah

Pada gambar 4.3 dapat dilihat dari bentuk rel yang miring, tujuan dari bentuk rel yang miring ini adalah agar dapat berubah sudut LSA. Kemiringan yang dibuat sebesar  $30^0$  yang bertujuan agar dapat mencapai bukaan sudut yang mengacu kepada penelitian sebelumnya.

Mekanisme ini berjalan atau tidak bisa diamati dari perubahan suara mesin pada posisi *idle*, hasil emisi dan pengujian dial cam. Analisa data untuk percobaan mekanisme ini terbagi menjadi 2 analisa yaitu analisa emisi gas buang dan analisa hasil dari *dial cam*.



Gambar 4.2 *Camshaft* dipotong menjadi 2 bagian (a) *intake* dan (b) *exhaust*

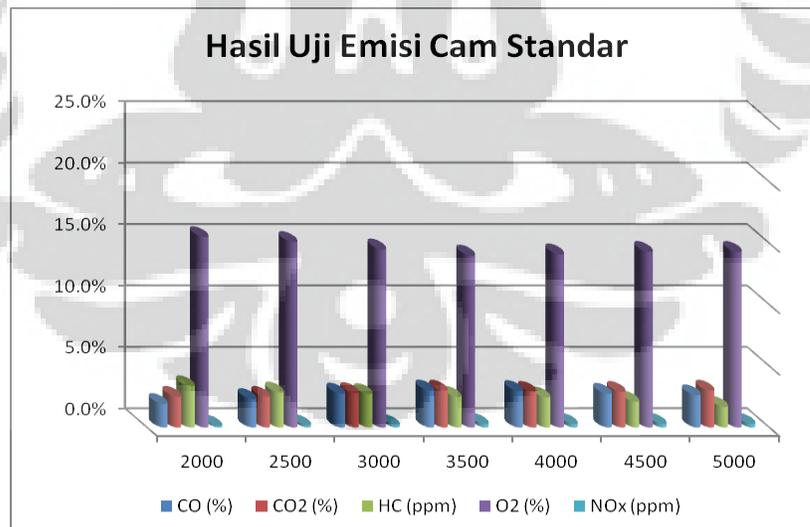
*Camshaft* dibagi dua sehingga *cam* untuk *intake* dan *exhaust* terpisah. Tujuan dari pemotongan ini agar ketika mekanisme ini berjalan yang akan berubah hanya *cam intake* yang akan berubah sudutnya terhadap *cam exhaust*, menjadi lebih cepat terbuka atau lebih lambat sehingga menyebabkan terjadi *overlapping*.

#### 4.6 Analisa hasil uji emisi

Pengujian emisi gas buang untuk percobaan ini dilakukan secara bertahap berdasarkan kecepatan putaran mesin. Pengujian emisi gas buang ini dilakukan agar dapat melihat perbedaan karakteristik mesin sebelum dan sesudah dipasang dengan *camshaft* yang sudah di modifikasi dengan metode perubah sudut bukaan cam atau LSA.

Tabel 4.7 Presentase emisi gas buang cam standart

RPM	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)
2000	1.9%	2.5%	3.4%	15.5%	0.1%
2500	2.3%	2.5%	2.9%	15.1%	0.2%
3000	2.8%	2.8%	2.7%	14.5%	0.2%
3500	3.0%	3.0%	2.5%	14.0%	0.3%
4000	3.0%	2.9%	2.5%	14.1%	0.3%
4500	2.8%	2.9%	2.1%	14.3%	0.3%
5000	2.6%	3.0%	1.7%	14.3%	0.3%



Grafik 4.4 hasil uji emisi cam standar

Pada grafik 4.1 terlihat komposisi emisi gas buang pada berbagai tingkat kecepatan pada kondisi cam standar. Seperti yang dapat dilihat pada grafik hasil gas buang  $O_2$  merupakan hasil yang paling dominan pada uji emisi ini. Kandungan  $O_2$  pada hasil uji ini menandakan bahwa pada saat terjadinya pembakaran, komposisi campuran udara dan bahan bakar tidak seimbang atau dalam hal ini biasa disebut dengan *fuel lean* atau kondisi kekurangan bahan bakar sehingga kondisi udara berlebih. Hal ini yang menyebabkan kandungan  $O_2$  yang masuk ke ruang bakar tidak terbakar sempurna dan terbuang melalui *exhaust pipe*. Namun pada putaran atas nilai kandungan emisi gas buang menandakan mulai turun. Hal ini bisa dikatakan pembakaran mulai mencapai stoikiometri maka hasil pembakaran juga akan membaik.

Untuk hasil pengujian emisi untuk *camshaft* dengan penerapan mekanisme perubahan sudut bukaan/LSA didapatkan hasil seperti tabel dibawah ini:

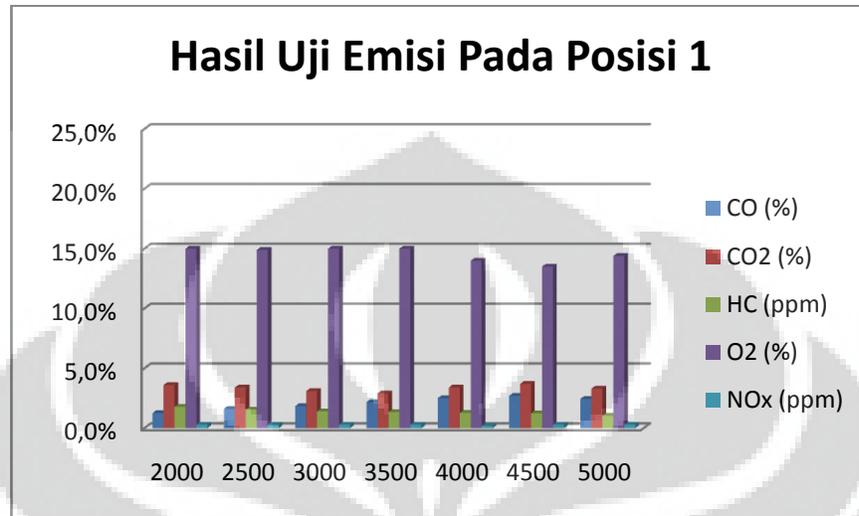
Tabel 4.8 presentase emisi gas buang pada posisi 1

RPM	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)
2000	1.3%	3.6%	1.8%	15.0%	0.3%
2500	1.6%	3.4%	1.6%	14.9%	0.3%
3000	1.8%	3.1%	1.4%	15.0%	0.3%
3500	2.2%	2.9%	1.4%	15.0%	0.3%
4000	2.5%	3.4%	1.3%	14.0%	0.2%
4500	2.7%	3.7%	1.2%	13.5%	0.3%
5000	2.5%	3.3%	1.0%	14.4%	0.3%

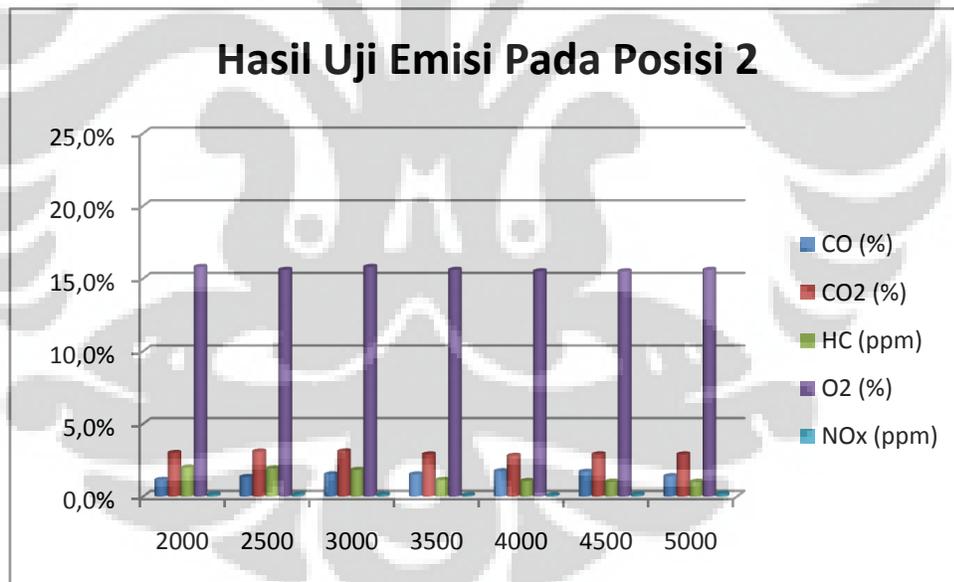
Tabel 4.9 presentase emisi gas buang pada posisi 2

RPM	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)
2000	1.1%	3.0%	2.0%	15.8%	0.1%
2500	1.3%	3.1%	1.9%	15.6%	0.1%
3000	1.5%	3.1%	1.8%	15.8%	0.1%
3500	1.5%	2.9%	1.1%	15.6%	0.1%
4000	1.7%	2.8%	1.1%	15.5%	0.1%

4500	1.7%	2.9%	1.0%	15.5%	0.1%
5000	1.4%	2.9%	1.0%	15.6%	0.2%



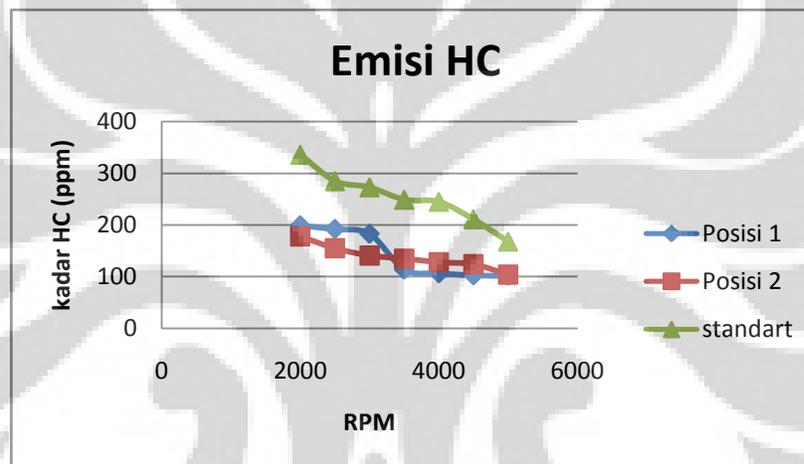
Grafik 4.5 hasil uji emisi mekanisme perubah LSA pada posisi 1



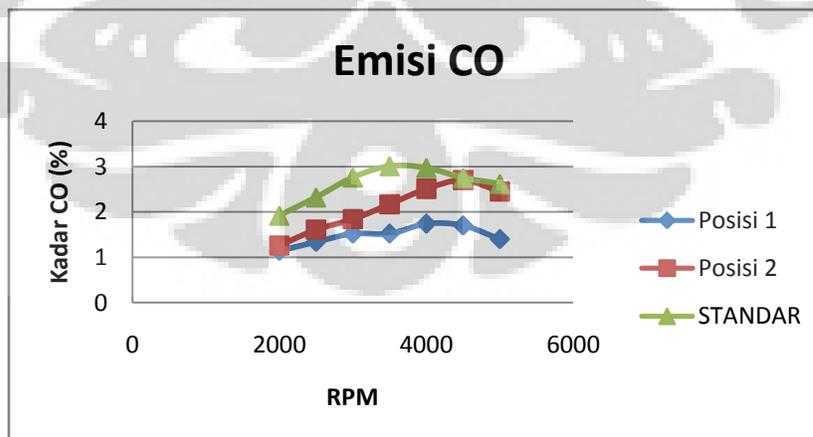
Grafik 4.6 hasil uji emisi mekanisme perubah LSA pada posisi 2

Pada hasil uji emisi mekanisme perubahan LSA ini dapat dilihat bahwa terjadi perubahan kandungan gas buang yang di keluarkan. Hal ini menandakan bahwa terjadi suatu perubahan pada sudut bukaan atau LSA pada *camshaft*. Dari hasil

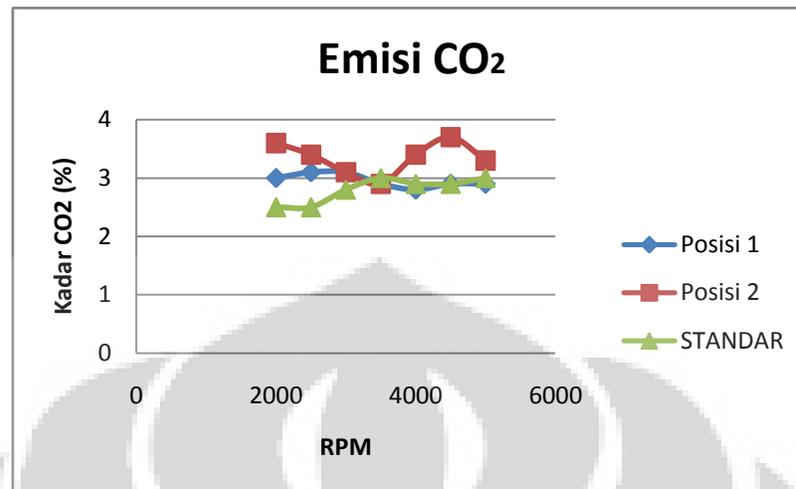
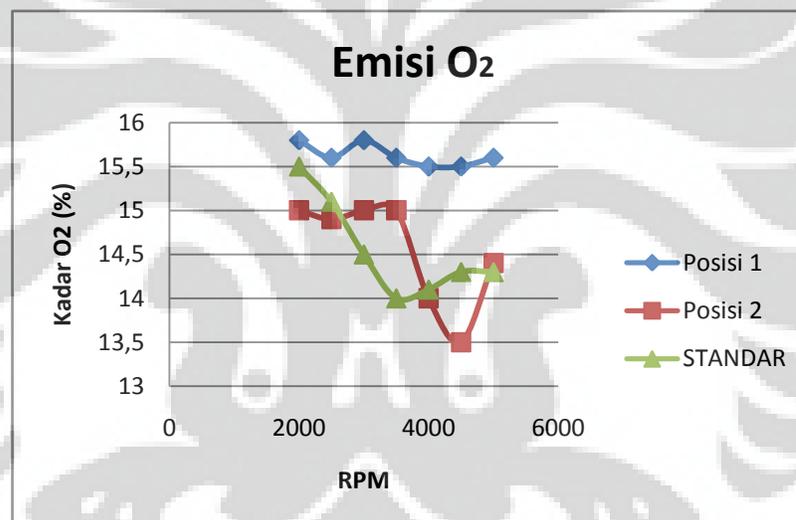
yang didapatkan bisa disimpulkan bahwa hasil dari emisi gas buang dengan mekanisme perubahan *camshaft* lebih baik dari pada kondisi standart, hal ini bisa saja disebabkan oleh bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar dalam komposisi yang pas. Pada hasil uji emisi ini kandungan  $O_2$  masih mendominasi pada gas buang, hal ini bisa jadi karena kondisi dari bagian mesin uji ini dalam keadaan bermasalah, misalnya kondisi knalpot yang bermasalah, baik itu bocor atau tersumbat.  $O_2$  bisa juga sebagai penanda apakah pembakaran yang terjadi pembakaran miskin (lean combustion) atau sebaliknya. Berikut adalah grafik perbandingan emisi gas buang yang dikeluarkan oleh mesin uji.



Grafik 4.7 Perbandingan emisi gas buang HC



Grafik 4.8 Perbandingan emisi gas buang CO

Grafik 4.9 Perbandingan emisi gas buang CO<sub>2</sub>Grafik 4.10 Perbandingan emisi gas buang O<sub>2</sub>

Pada grafik 4.4 memperlihatkan emisi HC yang dikeluarkan oleh mesin uji dengan *camshaft* standard dan *camshaft* dengan mekanisme perubah LSA. Data yang didapatkan menandakan HC pada kondisi *camshaft* standar lebih besar dibandingkan dengan posisi 1 dan posisi 2. HC pada emisi gas buang menandakan proses pembakaran yang menyisakan bahan bakar mentah (gas yang tidak terbakar) yang terbuang, makin kecil kandungan HC pada gas buang maka menandakan pembakaran yang terjadi semakin sempurna. Jadi, proses pembakaran (*combustion*)

pada mesin uji yang menggunakan *camshaft* dengan mekanisme perubah LSA lebih baik dari pada *camshaft* standar. Hal ini bisa terjadi karena adanya perubahan derajat bukaan pada katup intake, sehingga volume bahan bakar yang masuk ke ruang bakar menjadi berubah dan tidak sama dengan *camshaft* standar.

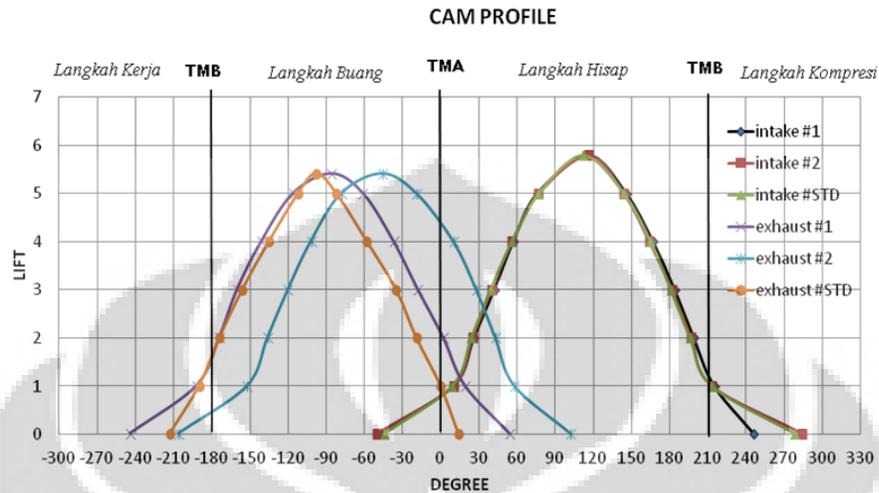
Pada grafik 4.5 memperlihatkan perbandingan emisi gas buang CO. Data yang didapatkan memperlihatkan emisi CO pada *camshaft* standart lebih tinggi dibandingkan dengan emisi CO yang dikeluarkan oleh *camshaft* dengan mekanisme perubah. CO pada emisi gas buang bisa menandakan irit tidaknya konsumsi bahan bakar yang digunakan, semakin kecil kandungan CO maka bahan bakar yang digunakan semakin irit. Berdasarkan data yang didapat maka mesin uji yang menggunakan *camshaft* standar lebih boros ketimbang menggunakan *camshaft* dengan mekanisme perubah derajat bukaan *cam (intake)*. Pada *camshaft* dengan mekanisme perubah derajat emisi CO lebih baik pada posisi 1. Hal ini bisa terjadi karena derajat bukaan KATUP intake menjadi berubah dan tidak sama dengan cam standar maupun posisi 1, maka dapat disimpulkan bahwa mekanisme ini bisa berjalan.

Pada grafik 4.6 perbandingan emisi CO<sub>2</sub> pada gas buang dengan *camshaft* yang menggunakan mekanisme perubah derajat bukaan KATUP atau LSA pada posisi 2 menghasilkan CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dibandingkan dengan *camshaft* pada posisi 1 dan kondisi standar. Hal ini menandakan bahwa pembakaran yang terjadi pada posisi 2 lebih sempurna dibandingkan dengan *camshaft* standar dan pada posisi 1, semakin tinggi kandungan CO<sub>2</sub> pada gas buang maka semakin sempurna pembakaran dan akselerasi yang dihasilkan semakin bagus.

Pada grafik 4.7 perbandingan emisi O<sub>2</sub> pada gas buang yang dihasilkan oleh *camshaft* pada posisi 1 lebih tinggi dibandingkan emisi O<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh *camshaft* standard dan posisi 2. Kandungan O<sub>2</sub> pada emisi gas buang menandakan adanya masalah pada knalpot mesin uji ini, baik itu bocor atau tersumbat. O<sub>2</sub> juga bisa menandakan bahwa pembakaran yang terjadi adalah pembakaran miskin (*lean combustion*) atau sebaliknya.

#### 4.6 Analisa dial cam

Hasil perbandingan dial cam dalam berupa grafik adalah sebagai berikut.

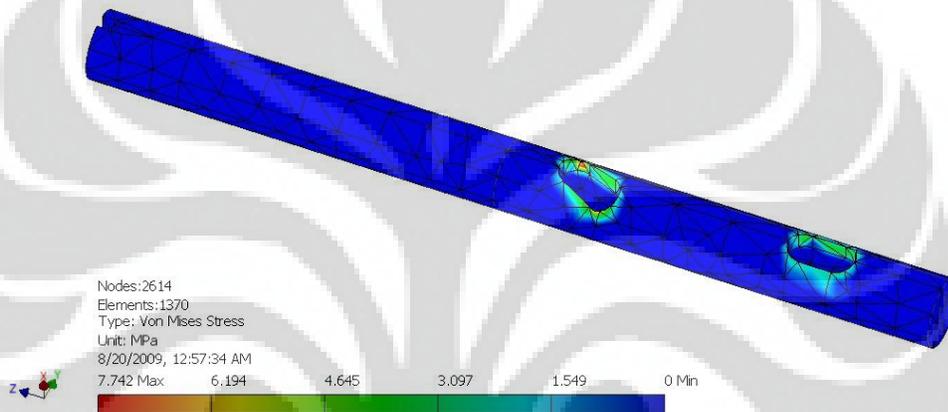


Grafik 4.11 Perbandingan grafik antara profile cam standart, #1 dan #2

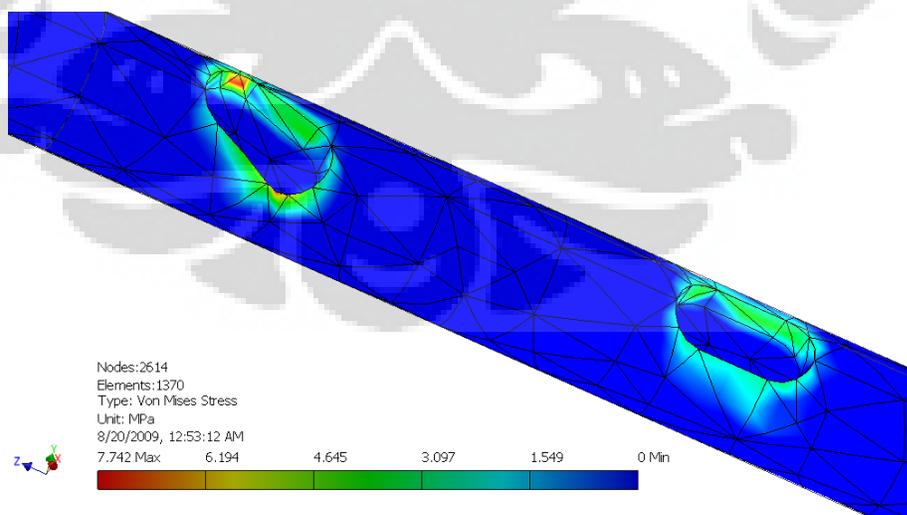
Dari grafik diatas bisa dilihat bahwa terjadi pergeseran derajat buka dan tutup pada cam *exhaust*. Perubahan karakteristik cam ini yang membuat hasil dari uji emisi gas buang menjadi berubah dan didapatkan hasil bahwa hasil emisi dengan mekanisme perubahan ini jauh lebih baik dibandingkan cam standart. Dari grafik dapat dilihat bahwa mekanisme ini merubah bukaan katup *exhaust* menjadi lebih cepat pada *exhaust* posisi 2, dan menutup lebih lama dari cam standart. Hal ini terjadi karena adanya perubahan dari pergeseran sudut LSA antara camshaft standart dengan camshaft yang sudah dimodifikasi.

#### 4.7 Analisa Kekuatan Poros Modifikasi

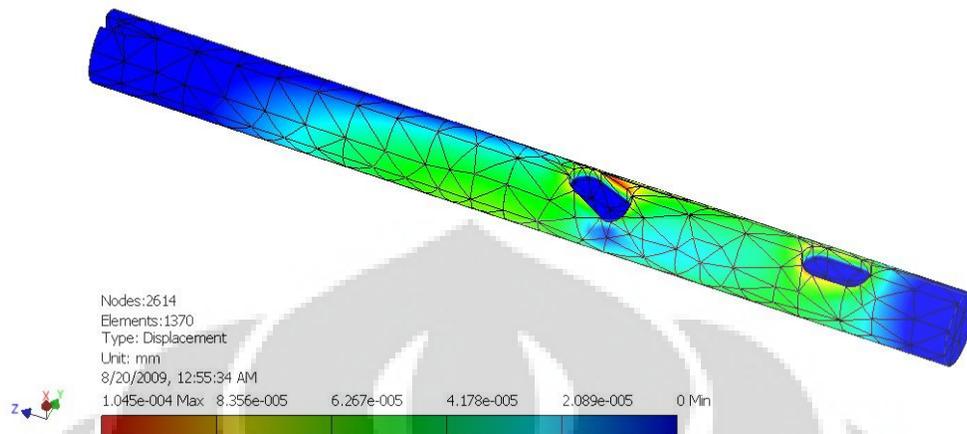
Poros modifikasi yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan bahan *carbon steel*. Pada penelitian ini, terjadi kerusakan pada poros tepat pada dinding didaerah *single rail*. Untuk itu dilakukan penganalisaan pembebanan menggunakan software, software yang digunakan yaitu *AutoDesk Inventor 2012*. Dari data spesifikasi motor uji yang digunakan, didapatkan torsi maksimum sebesar 0,74 Kgf.m. Berdasarkan dari nilai torsinya tersebut maka nilai untuk tekanan setelah dilakukan konversi adalah sebesar 18703,87 Pa, dan besarnya moment yang terjadi sebesar 0,58 Nm dengan nilai k pegas diasumsikan sebesar 100 N/mm. Berikut hasil pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan software *AutoDesk Inventor 2012* :



Gambar 4.3 Von Mises Stress



Gambar 4.4 Von Mises Stress



Gambar 4.5 Displacement

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan software didapatkan hasil analisa pembebanan pada pros berel ini dengan nilai maksimum von mises sebesar 4,05348 MPa dan nilai displacement sebesar 0,000058418 mm. Jika dibandingkan dengan keadaan sesungguhnya kerusakan yang terjadi sama seperti yang terjadi pada simulasi ini yaitu pada dinding dari rel tersebut.



Gambar 4.6 Poros modifikasi yang mengalami kerusakan pada dinding rel

Material yang digunakan menggunakan *carbon steel* yang memiliki *yield Strength* sebesar 350 MPa. Pada simulasi ini didapatkan nilai maksimum *von mises* sebesar 4,05348 MPa. Besarnya *von mises stress* yang terjadi tidak melebihi ambang

batas dari *yield strength* material yang digunakan, sehingga seharusnya tidak terjadi suatu kerusakan pada material tersebut. Kerusakan ini bisa terjadi karena adanya perubahan struktur material ketika proses *machining*. Perubahan struktur material ini disebabkan oleh kenaikan suhu disekitar rel ketika proses milling.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Pada penelitian ini terjadi perubahan karakteristik pada mesin setelah menggunakan sistem perubah ini dan hasil yang didapatkan lebih baik dari pada menggunakan camshaft standart. Persentase penurunan yang terjadi adalah sebagai berikut, untuk gas buang CO terjadi penurunan sebesar 20.8% pada posisi 1 dan 43.5% pada posisi 2. CO disini menandakan jumlah bahan bakar yang digunakan, maka penurunan kadar CO ini bisa menandakan bahwa bahan bakar yang digunakan semakin irit.

Pada gas buang CO<sub>2</sub> terjadi kenaikan sebesar 19.4% pada posisi 1 dan 5.6% pada posisi 2. CO<sub>2</sub> disini menandakan sempurna atau tidaknya pembakaran, semakin tinggi kadar CO<sub>2</sub> pada gas buang maka pembakaran yang terjadi semakin sempurna. Maka dapat disimpulkan bahwa cam pada posisi 1 dan posisi 2 terjadi proses pembakaran yang lebih sempurna. Pada gas buang HC terjadi penurunan sebesar 45.4% pada posisi 1 dan 43.4% pada posisi 2. HC disini menandakan banyaknya bahan bakar mentah yang ikut terbuang atau tidak terbakar sempurna, semakin kecil kandungan HC maka pembakaran yang terjadi akan semakin sempurna. Maka dapat disimpulkan pembakaran yang terjadi dengan menggunakan camshaft yang sudah dimodifikasi jauh lebih baik dari pada menggunakan camshaft standart.

Pada gas buang O<sub>2</sub> pada posisi 1 tidak terjadi perubahan yang berarti sedangkan pada posisi 2 terjadi kenaikan kadar O<sub>2</sub> sebesar 7.5%. O<sub>2</sub> disini menandakan pembakaran yang terjadi adalah pembakaran lean combustion atau rich combustion, O<sub>2</sub> juga bisa menandakan terjadinya masalah pada lubang pembuangan atau knalpot (kebocoran atau tersumbat). Banyaknya O<sub>2</sub> bisa juga di pengaruhi oleh penyetelan karburator yang kurang tepat sehingga campuran bahan bakar tidak tepat antara udara dan bahan bakar.

Sebagai kesimpulan akhir dari penelitian ini, berdasarkan data-data yang didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa mekanisme perubahan ini bisa diterapkan

pada mesin motor 4-tak 100 CC sebagai perbaikan data emisi dan konsumsi bahan bakar.

## 5.2 Saran

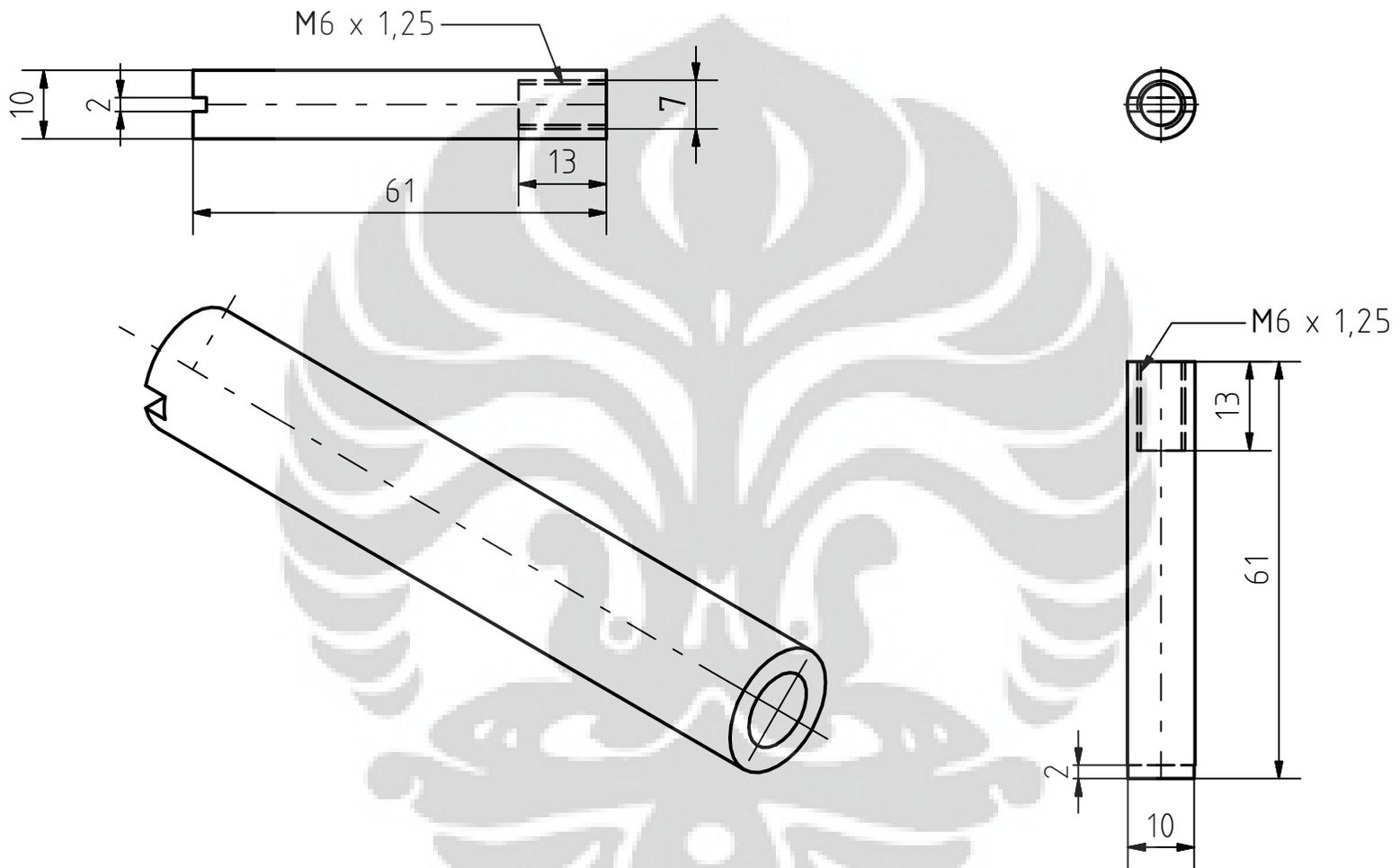
Berdasarkan data-data yang sudah didapat dan percobaan yang dilakukan dilapangan, penulis menyarankan untuk membuat mekanisme bukaan yang tepat dengan membuat kemiringan sudut yang benar pada poros. Pemilihan bahan yang baik dan kuat juga sangat disarankan agar tidak terjadi hal-hal yang dapat merusak part yang ada pada silinder head, seperti klep katup *intake* dan *exhaust* mengalami kerusakan, poros yang tidak kuat sehingga rel yang ada menjadi rusak dan baut penyangga *camshaft* patah.

Penulis menyarankan juga agar mekanisme ini dikembangkan lagi menggunakan sistem otomasi. Sistem otomasi bisa membantu dalam mekanisme ini, agar bisa mendorong dan menarik poros secara otomatis yang disesuaikan dengan timing yang tepat saat perubahannya, misalnya pada RPM diatas 5000 RPM poros bisa bergerak otomatis maju atau mundur agar *LSA(lobe separation angle)* bisa berubah.

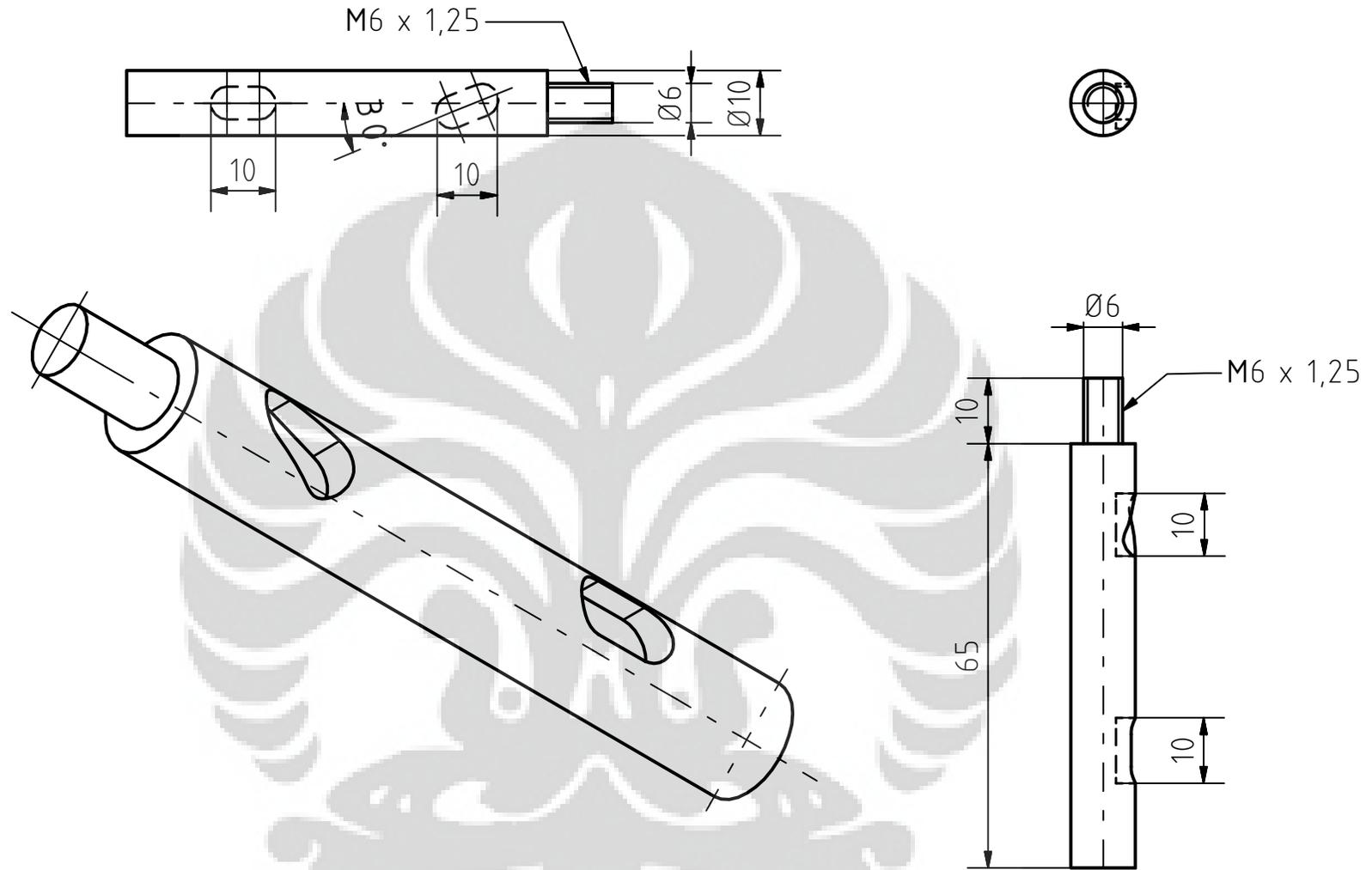
## DAFTAR PUSTAKA

- Connecting road*, ditilik dari <http://penjelasanteknologiomotif.blogspot.com/> pada 20 Juni 2012
- Data spesifikasi mutigas analyzer*, ditilik dari <http://www.tecnotest.com/tcn/ENG/home.asp> pada 12 Mei 2012.
- Fontana, G., Galloni, E. (2008). *Variable valve timing for fuel economy improvement in a small spark-ignition engine*.
- Motor 2-tak dan motor 4-tak* ditilik dari <http://qtussama.wordpress.com/2012/01/12/motor-2-tak-dan-motor-4-tak/> pada 12 Juni 2012.
- Pengertian dari LSA/ Lobe Separation Angle*, ditilik dari <http://etonblue.blogspot.com/2010/05/pengertian-lsa-lobe-separation-angle.html> pada 20 Juni 2012
- Rasio kompresi mesin apakah itu?* Ditilik <http://danangdk.blog.uns.ac.id/2010/04/20/rasio-kompresi-mesin-apakah-itu/> dari pada 25 Juni 2012.
- Sher, E., Bar-Kohany, T. (2002). *Optimization of variable valve timing for maximizing performance of an unthrottled SI engine—a theoretical study*.
- Spesifikasi fit x.2009*. ditilik dari <http://www.bintangmotor.com/index.php/spec/new-megapro/75-spesifikasi-fitx> pada 12 Juni 2012.
- Standar Emisi Euro*, ditilik dari <http://www.pantonanews.com/1117-standar-emisi-euro> pada 1 Juni 2012.
- Sugiarto, B. (2005). *Motor pembakaran dalam*. Depok.

**LAMPIRAN**

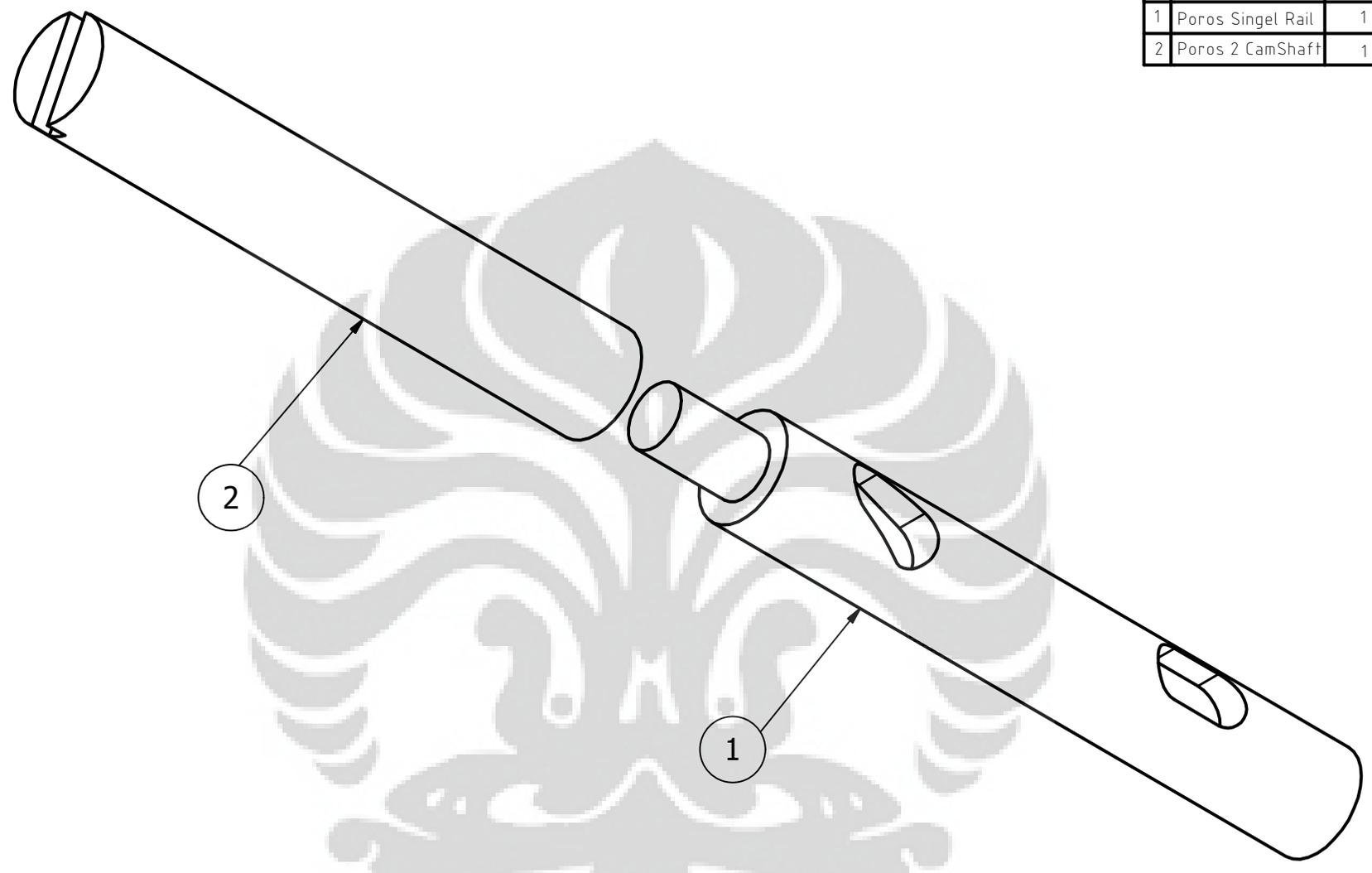


No	Nama Part	Bahan	Jumlah
1	Poros CamShaft	Carbon Steel	1
	Skala : 1 : 1	Nama : Julius Antoni	Keterangan
	Satuan : mm	NPM :	
	Tanggal : 24/07/2012	Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono A. S. DEA. PE	
Departemen Teknik Mesin		Poros 2 CamShaft	
Universitas Indonesia		A4	



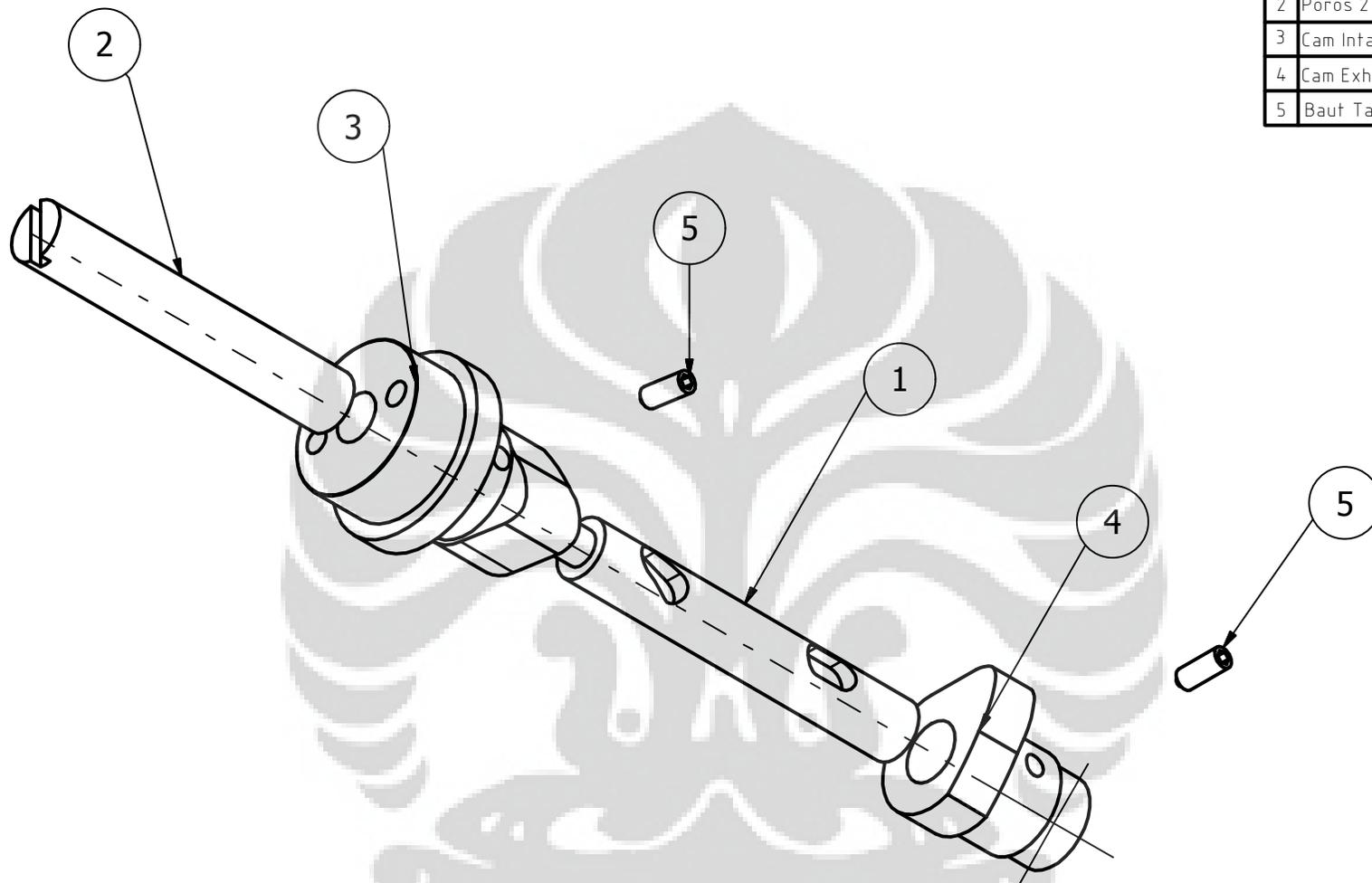
No	Nama Part	Bahan	Jumlah
1	Poros CamShaft	Carbon Steel	1
	Skala : 1 : 1	Nama : Julius Antoni	Keterangan
	Satuan : mm	NPM :	
	Tanggal : 24/07/2012	Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono A. S. DEA. PE	
Departemen Teknik Mesin		Single Rail pada Poros CamShaft	
Universitas Indonesia		A4	

No	Nama Bagian	Jumlah	Catatan
1	Poros Singel Rail	1	
2	Poros 2 CamShaft	1	

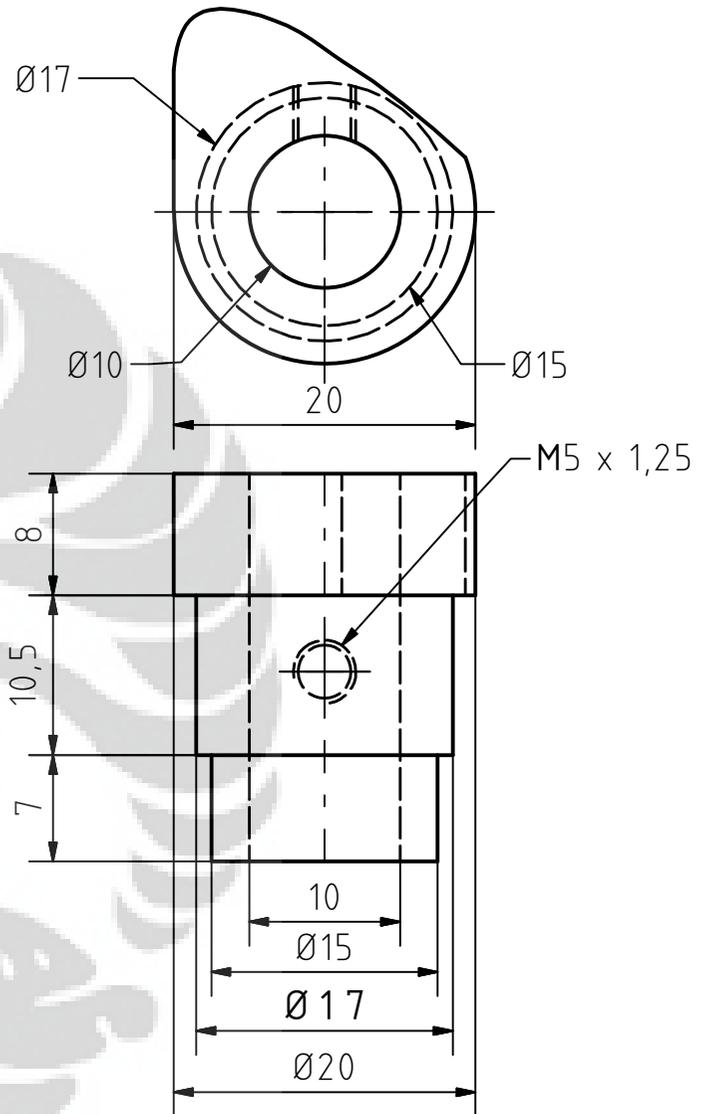
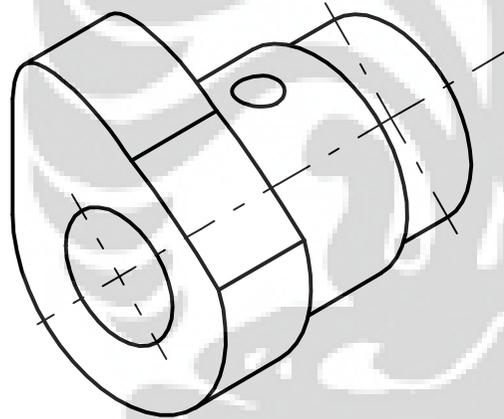
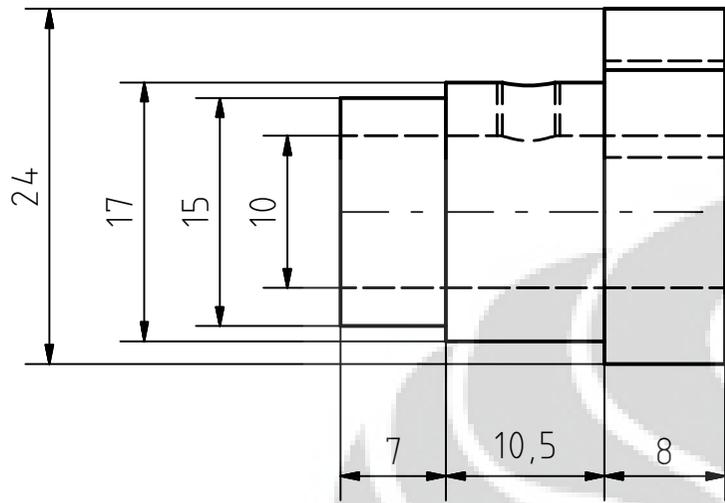


No	Nama Part	Bahan	Jumlah
1	Poros CamShaft	Carbon Steel	1
		Skala : 2 : 1	Keterangan
		Nama : Julius Antoni	
		Satuan : mm	
		Tanggal : 24/07/2012	NPM :
		Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono A. S. DEA. PE	
Departemen Teknik Mesin		Assembly Poros	
Universitas Indonesia		A4	

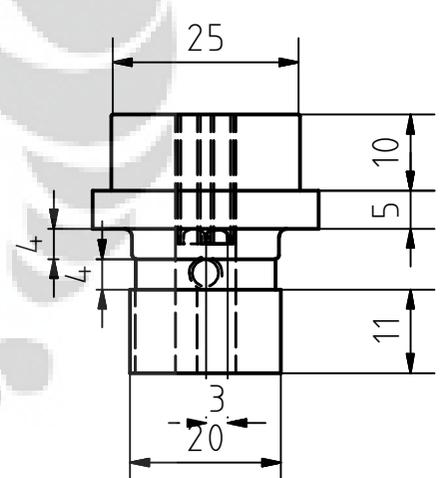
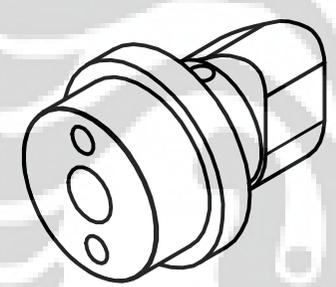
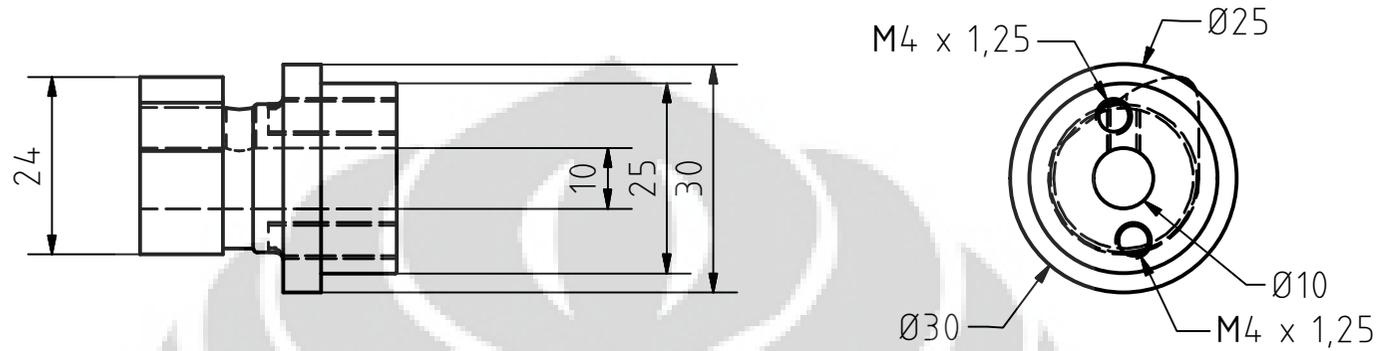
No	Nama Bagian	Jumlah	Catatan
1	Poros Singel Rail	1	
2	Poros 2 CamShaft	1	
3	Cam Intake	1	
4	Cam Exhaust	1	
5	Baut Tanam	2	



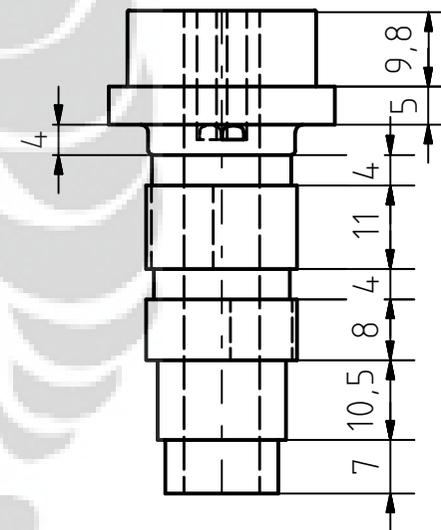
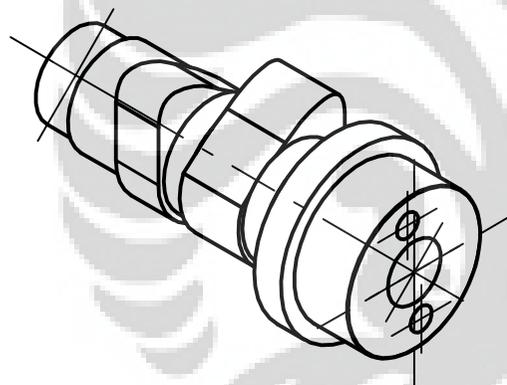
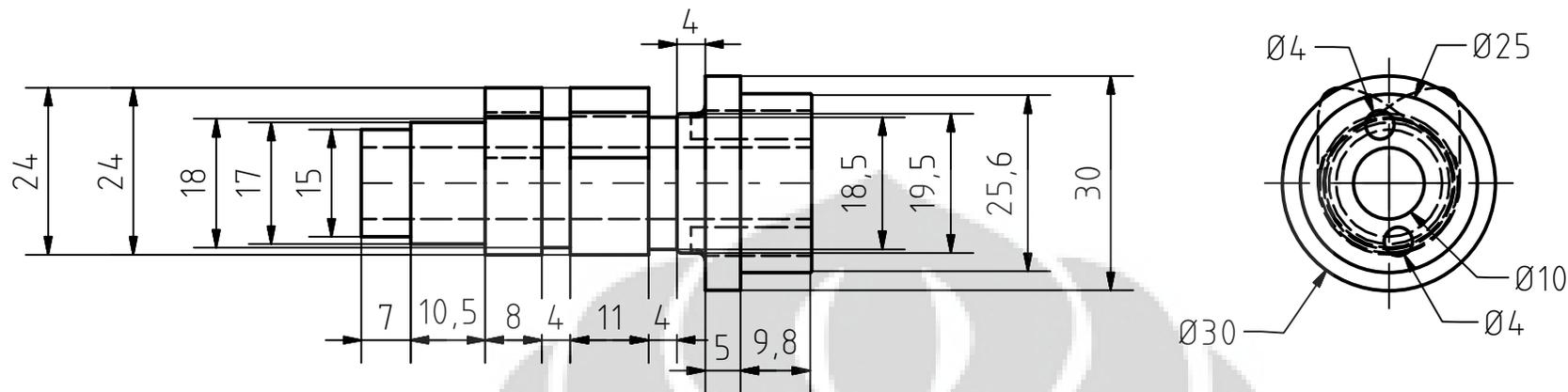
	Skala : 1 : 1	Nama : Julius Antoni	Keterangan
	Satuan : mm	NPM :	
	Tanggal : 24/07/2012	Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono A. S. DEA. PE	
Departemen Teknik Mesin	Assembly CamShaft Modifikasi		A4



No	Nama Part	Bahan	Jumlah
1	CamShaft	Carbon Steel	1
	Skala : 2 : 1	Nama : Julius Antoni	Keterangan
	Satuan : mm	NPM :	
	Tanggal : 24/07/2012	Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono A. S. DEA. PE	
Departemen Teknik Mesin		Cam Exhaust	
Universitas Indonesia		A4	



No	Nama Part	Bahan	Jumlah
1	CamShaft	Carbon Steel	1
	Skala : 1 : 1	Nama : Julius Antoni	Keterangan
	Satuan : mm	NPM :	
	Tanggal : 24/07/2012	Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono A. S. DEA. PE	
Departemen Teknik Mesin		cam intake	A4



No	Nama Part	Bahan	Jumlah
1	CamShaft	Carbon Steel	1
	Skala : 1 : 1	Nama : Julius Antoni	Keterangan
	Satuan : mm	NPM :	
	Tanggal : 24/07/2012	Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono A. S. DEA. PE	
Departemen Teknik Mesin		Cam Standart	
Universitas Indonesia		A4	

# Stress Analysis Report3

# Autodesk®

Analyzed File:	Assembly1.iam
Autodesk Inventor Version:	2012 (Build 160160000, 160)
Creation Date:	7/28/2012, 12:53 AM
Simulation Author:	Julius Antoni
Summary:	

## Project Info (iProperties)

### Summary

Author	Julius Antoni
Company	

### Project

Part Number	Assembly1
Designer	Julius Antoni

### Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

### Physical

Mass	0.0095256 kg
Area	4858.89 mm <sup>2</sup>
Volume	9525.6 mm <sup>3</sup>
Center of Gravity	x=-0.0875481 mm y=0.00449299 mm z=63.3441 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

## Simulation:3

### General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	7/28/2012, 12:48 AM
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

### Advanced settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
--	-----

Konsep pengembangan..., Julius Antoni, FT UI, 2012

Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

## Material(s)

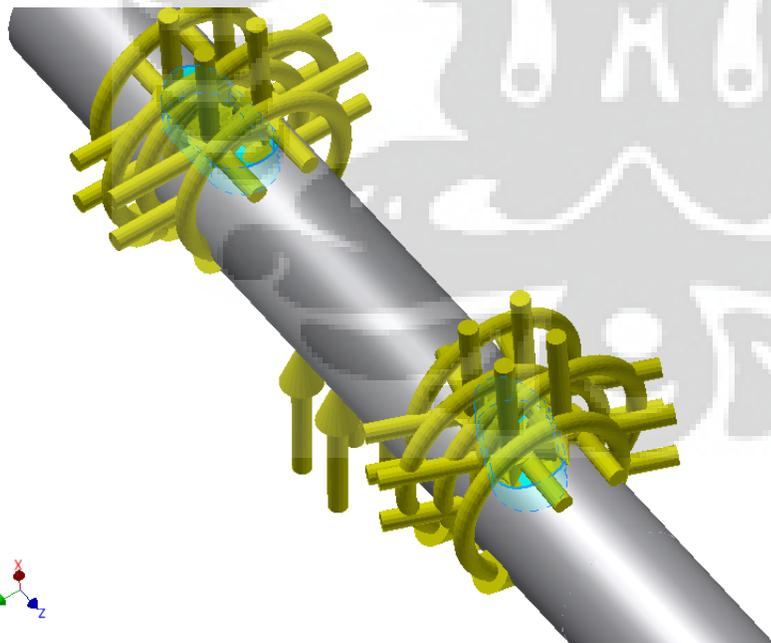
Name	Carbon Steel	
General	Mass Density	7.87 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	350 MPa
	Ultimate Tensile Strength	420 MPa
Stress	Young's Modulus	200 GPa
	Poisson's Ratio	0.29 ul
	Shear Modulus	77.5194 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.000012 ul/c
	Thermal Conductivity	52 W/( m K )
	Specific Heat	486 J/( kg c )
Part Name(s)	AS CO AS CW	

## Operating conditions

### Pressure:1

Load Type	Pressure
Magnitude	0.019 MPa

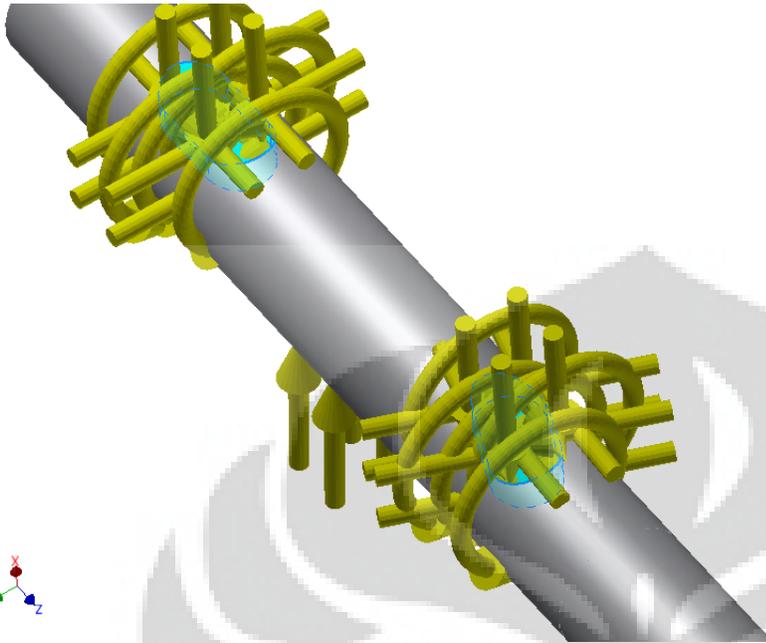
### Selected Face(s)



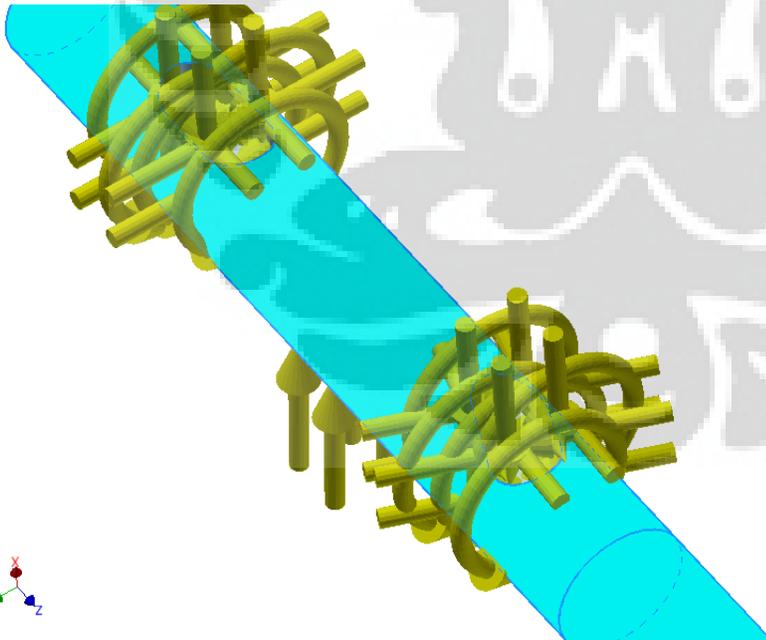
### Moment:1

Load Type	Moment
Magnitude	580.000 N mm
Vector X	0.000 N mm

Vector Y	0.000 N mm
Vector Z	580.000 N mm

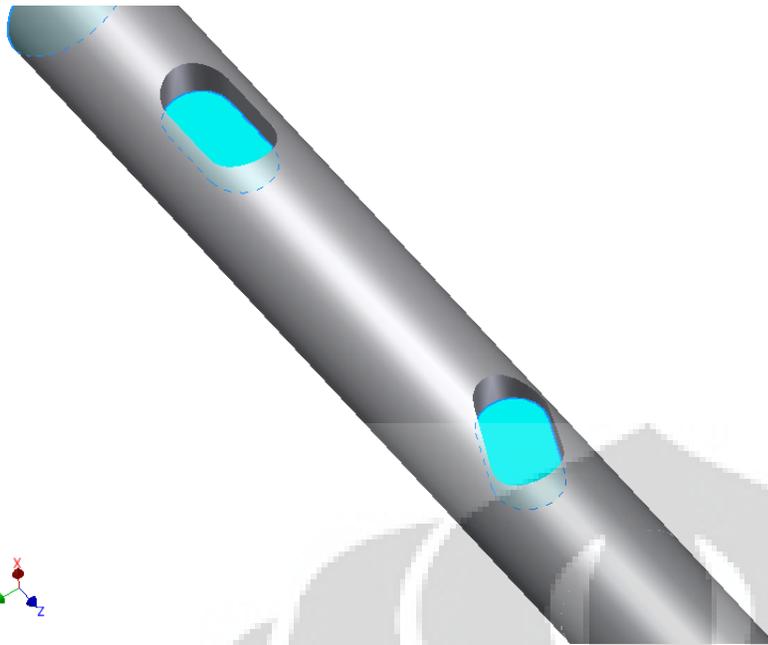
**Selected Face(s)****Pressure:2**

Load Type	Pressure
Magnitude	0.019 MPa

**Selected Face(s)****Fixed Constraint:1**

Constraint Type	Fixed Constraint
-----------------	------------------

**Selected Face(s)**



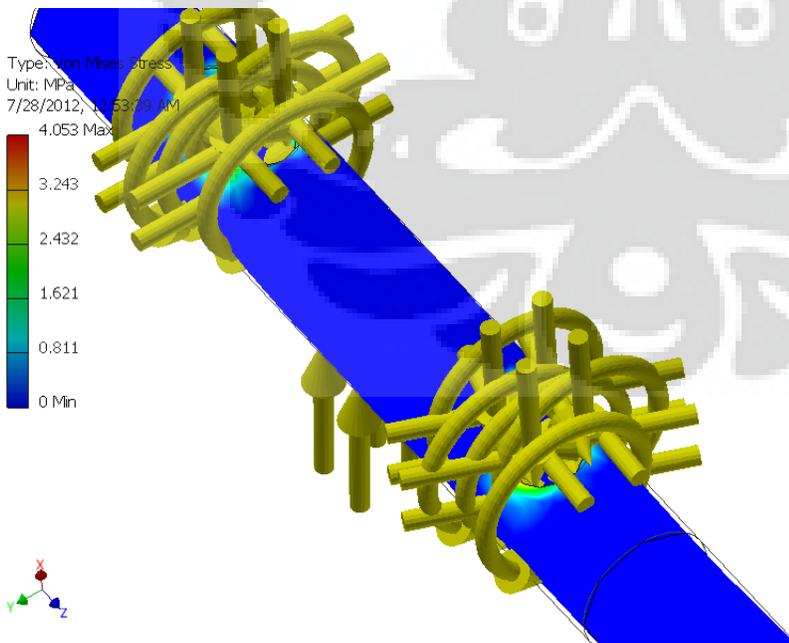
## Results

### Result Summary

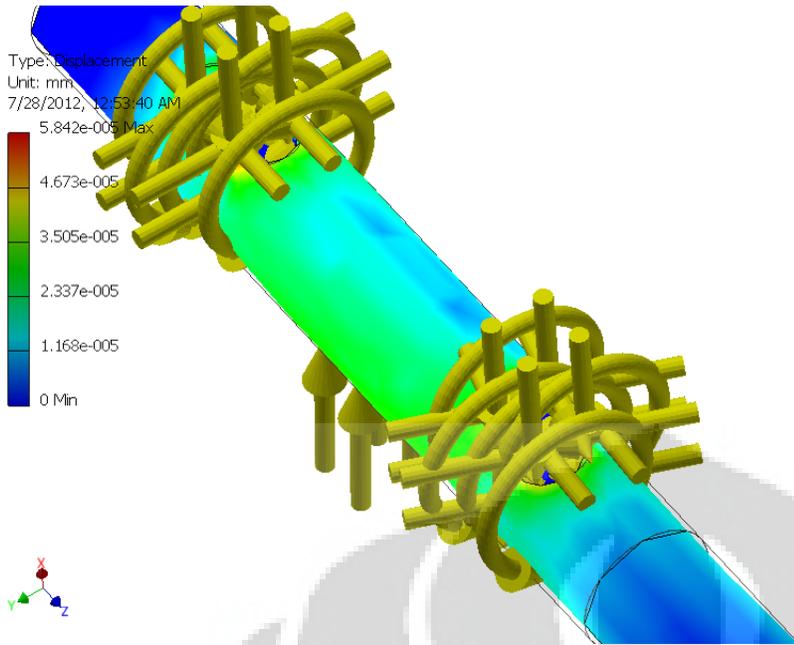
Name	Minimum	Maximum
Volume	9525.53 mm <sup>3</sup>	
Mass	0.0749659 kg	
Von Mises Stress	0.000000117705 MPa	4.05348 MPa
Displacement	0 mm	0.000058418 mm

### Figures

#### Von Mises Stress



#### Displacement



D:\Document\Matakuliah\semester VIII\doc skripsi\CAD CAM\gambar 3D\Assembly1.iam

