



**ANALISIS DAN PEMODELAN VARIASI DESAIN *CAMSHAFT*
SEPEDA MOTOR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN
HINGGA**

SKRIPSI

Oleh

**M. Ikhwan Rama Jatikusuma
NIM 121910101049**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS DAN PEMODELAN VARIASI DESAIN *CAMSHAFT*
SEPEDA MOTOR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN
HINGGA**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
menjadi sarjana Teknik Mesin Universitas Jember

Oleh

**M. Ikhwan Rama Jatikusuma
NIM 121910101049**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT serta dengan tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini kami persembahkan kepada:

1. Allah SWT atas segala rizki, karunia serta RidhoNya yang telah dilimpahkan, serta kepada junjungan Nabi Muhammad SAW.
2. Keluarga kandung, Ibunda Hermin Ulfah, Ayahanda Suroso, Kakak perempuan Ika, Ifa, dan Ira atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, bantuan, motivasi dan bimbingan.
3. Khusus kepada calon istri Alif Puspita Ningrum yang telah sabar menunggu sampai saat ini.
3. Semua keluarga dari Ibu dan semua keluarga dari Ayah.
4. Staf pengajar semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Dr. Agus Triono S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto M.T. selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Moch. Edoward R. S.T., M.T. selaku dosen penguji I, Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T., selaku dosen penguji II, dan Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik.
5. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
6. Teman-teman seperjuangan dan semua Saudara-saudara Teknik Mesin 2012 (Mechanical Engineering) atas semua kebersamaan selama ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

MOTTO

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan; Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”
(Terjemahan Surat Al- Insyiraah (94) ayat 5 dan 6)^{*)}

Allah akan meninggikan derajat orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat
(Terjemah Al-mujaadilah ayat 11)^{**)}

“Wahai mereka yang beriman, mintalah pertolongan kepada Allah SWT dengan sabar dan sholat. Sesungguhnya Allah SWT bersama orang-orang yang sabar
(Terjemah Surat Al-Baqarah (2) ayat 153)^{***)}

^{*)}; ^{**)}; ^{***)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al-Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafindo.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Muhammad Ikhwan Rama Jatikusuma

NIM : 121910101065

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “Analisis dan Pemodelan Variasi Design *Camshaft* Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, July 2018

Yang menyatakan,

M. Ikhwan Rama J

NIM 121910101049

SKRIPSI

**ANALISIS DAN PEMODELAN VARIASI DESAIN CAMSHAFT
SEPEDA MOTOR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Oleh

**M. Ikhwan Rama J.
NIM 121910101065**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Agus Triono S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Dwi Djumhariyanto M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisis dan Pemodelan Variasi Desain Camshaft Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

hari, tanggal : Selasa, 24 Juli 2018

tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Pembimbing

Pembimbing I,

Dr. Agus Triono, S.T., M.T.
NIP 197008072002121001

Pembimbing II,

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T..
NIP 196008121998021001

Penguji

Penguji I,

Moch. Edoward R, S.T., M.T.
NIP 198704302014041001

Penguji II,

M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T.
NIP. 198003072012121003

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M, U. M.
NIP 19661215 199503 2 001

Analisis Dan Pemodelan Variasi Desain *Camshaft* Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga

M. Ikhwan Rama J.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Camshaft merupakan salah satu komponen utama sebagai pengatur mekanisme membuka dan menutupnya suatu katup (*valve*) pada saat yang tepat guna terjadinya aliran campuran udara dan bahan bakar yang ideal. Tujuan dari kajian ini untuk mengetahui besarnya perbedaan hasil tegangan vonmises, tegangan normal, regangan, dan total deformasi maksimum yang terjadi pada *camshaft* standar dan variasi menggunakan metode elemen hingga berbasis simulasi software. Metode eksperimental dilakukan untuk pegujian langsung dan menganalisis berapa besar gaya yang bekerja pada *camshaft*. Pada metode elemen hingga pemodelan dapat dibuat secara dinamis sampai ditemukan desain yang optimal. Sehingga *camshaft* dapat lebih mampu bertahan dalam menanggung semua kasus beban yang bekerja terhadapnya. Pada mulanya desain *camshaft* dibuat berdasarkan kebutuhan dasar mesin agar menghasilkan tenaga yang diinginkan. Kemudian menentukan parameter beban seperti rasio kompresi ruang bakar dan juga kekakuan pegas. Pada saluran In, *camshaft* standar mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 6,2 Mpa, tegangan normal 1,4 Mpa, regangan $3,8 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00032 mm. Sedangkan *camshaft* variasi mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 8,8 Mpa, tegangan normal 2,7 Mpa, regangan $5,8 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00040 mm. Pada saluran Ex, *camshaft* standar mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 7,6 Mpa, tegangan normal 2,4 Mpa, regangan $4,4 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00029 mm. Sedangkan *camshaft* variasi mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 5,2 Mpa, tegangan normal 3,0 Mpa, regangan $3,6 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00027 mm. Sehingga secara keseluruhan *camshaft* variasi lebih banyak memiliki nilai maksimum parameter uji yang lebih besar dibanding dengan *camshaft* standar.

Kata Kunci: *Camshaft*, Metode Elemen Hingga, Analisis Struktural, Teknik Mesin, Universitas Jember

Analysis and Modelling Variation Design Camshaft Motor Cycle Using Finite Element Method

M. Ikhwan Rama J.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRACT

Camshaft is one of the main components as a regulator of opening and closing a valve at the right time for the ideal flow of air and fuel mixture. The purpose of this study was to determine the magnitude of the difference in stress vonmises, normal stress, strain, and total maximum deformation occurring on standard camshafts and variations using finite element method based software simulation. The experimental method is performed for direct test and analyzes how much force acts on the camshaft. In finite element modeling methods can be made dynamically until the optimal design is found. So the camshaft can be more able to withstand all the load cases that work against it. In the beginning the camshaft design was made based on the basic needs of the engine to produce the desired power. Then determine the load parameters such as the compression ratio of the combustion chamber and also the spring stiffness. In the In channel, the standard camshaft has a vonmises stress value of 6.2 MPa, a normal stress of 1.4 MPa, a strain of 3.8×10^{-5} mm / mm, and a total deformation of 0.00032 mm. While the variation camshaft has a vonmises stress value of 8.8 Mpa, normal stress 2.7 Mpa, strain 5.8×10^{-5} mm / mm, and total deformation 0.00040 mm. In Ex channels, standard camshafts have a vonmises stress value of 7.6 MPa, a normal stress of 2.4 MPa, a strain of 4.4×10^{-5} mm / mm, and a total deformation of 0.00029 mm. While the variation camshaft has a vonmises stress value of 5.2 Mpa, normal stress 3.0 Mpa, strain 3.6×10^{-5} mm / mm, and total deformation 0.00027 mm. As a result, the overall camshaft variation has a larger maximum value of test parameters than the standard camshaft.

Keywords : *Camshaft, Finite Element Method, Analysis Structural, Mechanical Engineering, Jember University*

RINGKASAN

Analisis Dan Pemodelan Variasi Desain *Camshaft* Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga; M. Ikhwan Rama J, 121910101049; 2018: 63 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan teknologi industri kendaraan bermotor nasional mengalami kenaikan penjualan setiap tahunnya. Kenaikan tersebut ditunjang dengan adanya inovasi-inovasi yang terus dikembangkan dari waktu ke waktu. Inovasi yang dikembangkan dapat terjadi pada sektor mesin pembakaran dalam (ICE). Pada sebuah kendaraan mesin pembakaran dalam 4 langkah, terdapat berbagai macam komponen mesin yang saling berkaitan. *Camshaft* merupakan salah satu komponen utama sebagai pengatur mekanisme membuka dan menutupnya suatu katup (*valve*) pada saat yang tepat guna terjadinya aliran campuran udara dan bahan bakar yang ideal.

Metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan. Jadi pemodelan sekaligus analisis dapat disimulasikan tanpa harus membuat terlebih dahulu suatu benda dan tanpa melakukan eksperimen. Tujuan akhir analisis dan pemodelan ini yaitu mengetahui kekuatan *camshaft* dalam menanggung beban dari gaya-gaya yang bekerja pada profil *camshaft* yang telah divariasikan menggunakan menggunakan metode elemen hingga.

Penelitian yang dilakukan menghasilkan nilai pada saluran In *camshaft* standar mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 6,2 Mpa, tegangan normal 1,4 Mpa, regangan $3,8 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00032 mm. Sedangkan *camshaft* variasi mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 8,8 Mpa, tegangan normal 2,7 Mpa, regangan $5,8 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00040 mm. Pada saluran Ex, *camshaft* standar mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 7,6 Mpa, tegangan normal 2,4 Mpa, regangan $4,4 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00029 mm.

Sedangkan *camshaft* variasi mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 5,2 Mpa, tegangan normal 3,0 Mpa, regangan $3,6 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00027 mm.



SUMMARY

Analysis and Modelling Variation Design Camshaft Motor Cycle Using Finite Element Method; M. Ikhwan Rama J., 121910101065; 2018; 63 pages; Mechanical Engineering Jember University

The development of national vehicle industry technology has increased sales every year. The increase is supported by the innovations that continue to be developed from time to time. Developed innovations can occur in the internal combustion engine sector (ICE). In a combustion engine vehicle in 4 steps, there are various engine components that are interconnected. Camshaft is one of the main components as a regulator of opening and closing a valve at the right time for the ideal flow of air and fuel mixture.

The finite element method is a method that uses a numerical approach to analyze a structure to find a solution to an approach of a problem. So modeling as well as analysis can be simulated without having to make first an object and without doing experiments. The ultimate goal of this analysis and modeling is to know the strength of the camshaft in bore the burden of forces acting on the camshaft profile that has been varied using the finite element method.

The experiments performed on the standard In camshaft channel have a Von-Mises stress value of 6.2 MPa, 1.4 MPa normal stress, 3.8×10^{-5} mm / mm strain, and a total deformation of 0.00032 mm. While the variation camshaft has a vonmises stress value of 8.8 Mpa, 2.7 Mpa normal stress, strain 5.8×10^{-5} mm / mm, and total deformation 0.00040 mm. In Ex channels, standard camshafts have a Von-Mises stress value of 7.6 MPa, a normal stress of 2.4 MPa, a strain of 4.4×10^{-5} mm / mm, and a total deformation of 0.00029 mm. While the variation camshaft has a VonMises stress value of 5.2 Mpa, normal stress 3.0 Mpa, strain 3.6×10^{-5} mm / mm, and total deformation 0.00027 mm.

PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT, karena dengan limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis dan Pemodelan Variasi Desain *Camshaft* Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Selama penelitian dan penulisan laporan Skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Ir. Entin Hidayah, M. UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., selaku Ketua Program Studi S1 jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember sekaligus Dosen Pembimbing Akademik.
4. Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing utama, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
5. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
6. Bapak Moch. Edoward R., S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi
7. Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi
8. Ayah, Ibu, saudara dan juga keluarga besarku yang telah memberikan dukungan moril, materil, do'a dan semangat demi terselesaikannya kuliah ini khususnya dan selama menuntut ilmu dari awal di bangku sekolah hingga lulus menjadi sarjana.

9. Dosen, staf, dan teknisi jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
10. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2012 khususnya dan semua teman-teman Fakultas Teknik Universitas Jember pada umumnya.
11. Teman – teman beserta seluruh pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam pelaksanaan skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, July 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
SUMMARY	xii
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.3.1 Tujuan Penelitian.....	2
1.3.2 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Hipotesa	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Motor Bakar	4
2.1.1 Motor Pembakaran Dalam.....	4
2.2.2 Motor Bakar 4 Langkah.....	5
2.2 Camshaft	7

2.3 Sifat Mekanik Bahan	9
2.3.1 Tegangan Regangan	9
2.3.2 Kekakuan	11
2.4 Beban Pegas (<i>Load Spring</i>)	12
2.5 Autodesk Inventor	13
2.6 ANSYS	13
2.6.1 Definisi ANSYS	13
2.6.2 Tahapan dalam Menggunakan ANSYS.....	14
2.7 Metode Elemen Hingga (MEH)	15
2.7.1 Keuntungan MEH.....	15
2.7.2 Keterbatasan MEH	15
2.7.3 Aplikasi MEH.....	16
2.7.4 Analisis Struktural	16
2.8 Teori Kegagalan	16
2.9 Kriteria Desain Optimal	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Metodologi Penelitian	18
3.2 Waktu dan Tempat	18
3.3 Alat dan Bahan	18
3.3.1 Alat	18
3.3.2 Bahan.....	19
3.4 Variabel Penelitian	22
3.4.1 Variabel Terikat.....	22
3.4.2 Variabel Bebas.....	22
3.5 Parameter Pengujian	24
3.6 Prosedur Penelitian	25
3.7 Penyajian Data Penelitian	29
3.8 Diagram Alir Penelitian	30
BAB 4. METODOLOGI PENELITIAN	32
4.1 Hasil Pemodelan <i>Camshaft</i>	32
4.2 <i>Load Spring</i>	33

4.3 Simulasi Penelitian	34
4.3.1 <i>Setting</i> Material	34
4.3.2 <i>Setting</i> Geometri	35
4.3.3 Hasil <i>Meshing</i>	37
4.3.4 <i>Setup</i> Beban dan Tumpuan	38
4.3.5 <i>Solution</i>	39
4.4 Perbandingan Gaya Beban <i>Camshaft</i>	40
4.4.1 Perbandingan Parameter Uji Saluran In	40
4.4.2 Perbandingan Parameter Uji Saluran Ex	48
4.5 Perbandingan Tingkat Keausan dan Performa	60
BAB 5. PENUTUP	64
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Spesifikasi Pegas Kendaraan.....	12
3.1 Material <i>Properties Camshaft</i>	20
3.2 Spesifikasi Data Hasil Pengujian Profil I.....	23
3.3 Spesifikasi Data Hasil Pengujian Profil II.....	24
3.4 Hasil Perbandingan Model dari Struktural Analisis.....	29
4.1 Besarnya Nilai Gaya Pegas.....	33
4.2 Perbandingan Nilai Parameter Pengujian.....	40
4.3 Perbandingan Nilai Tegangan Von-Mises In.....	42
4.4 Perbandingan Nilai Tegangan Normal In.....	44
4.5 Perbandingan Nilai Regangan In.....	46
4.6 Perbandingan Nilai Total Deformation In.....	48
4.7 Perbandingan Nilai Tegangan Von-Mises Ex.....	50
4.8 Perbandingan Nilai Tegangan Normal Ex.....	52
4.9 Perbandingan Nilai Regangan Ex.....	54
4.10 Perbandingan Nilai Total Deformation Ex.....	56
4.11 Hasil Pengujian Performa <i>Camshaft</i> Standar.....	61
4.12 Hasil Pengujian Performa <i>Camshaft</i> Variasi.....	62

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Motor Pembakaran Dalam	5
2.2 Prinsip Kerja Motor 4 Langkah	6
2.3 Bagian – Bagian <i>Camsaft</i>	7
2.4 Grafik Tegangan-Regangan	10
2.5 Tampilan Software ANSYS	14
3.1 Perangkat PC.....	18
3.2 Software ANSYS	19
3.3 Jangka Sorong dan Bagiannya	19
3.4 Bentuk <i>Camsaft</i> Standar dan Variasi	20
3.5 Bentuk Pemodelan <i>Camsaft</i> beban In	21
3.6 Bentuk Pemodelan <i>Camsaft</i> beban Ex	21
3.7 Diagram Durasi <i>Camshaft</i> Standart	22
3.8 Diagram Durasi <i>Camshaft</i> Variasi	23
3.9 <i>Force Body Diagram Camshaft</i>	24
3.10 <i>Add-in Inventor to ANSYS</i>	25
3.11 Analisis Sistem <i>Static Structural</i>	25
3.12 Macam-Macam Element Type	26
3.13 Proses <i>Meshing</i>	26
3.14 Pemilihan Tumpuan	27
3.15 Pemberian <i>Load</i>	28
3.16 Parameter yang ditampilkan.....	28
3.17 Diagram Alir Penelitian	30
4.1 <i>Camshaft</i> Standar	32
4.2 <i>Camshaft</i> Variasi	32
4.3 Perubahan Profil <i>Camshaft</i>	33
4.4 Saluran <i>Camshaft</i>	34
4.5 Hasil <i>Setting Material</i>	35
4.6 Hasil Gambar 3D Inventor	36

4.7 Hasil Impor Geometri	36
4.8 Hasil <i>Meshing</i>	37
4.9 Posisi Beban Saluran Isap	38
4.10 Posisi Beban Saluran Buang	39
4.11 Keterangan Hasil Simulasi	39
4.12 Tegangan Von-mises Standar In	41
4.13 Tegangan Von-mises Variasi In	41
4.14 Tegangan Normal Standar In	43
4.15 Tegangan Normal Variasi In	43
4.16 Regangan Standar In	45
4.17 Regangan Variasi In	45
4.18 Total Deformation Standar In	47
4.19 Total Deformation Variasi In	47
4.20 Tegangan Von-Mises Standar Ex	49
4.21 Tegangan Von-Mises Variasi Ex	49
4.22 Tegangan Normal Standar Ex	51
4.23 Tegangan Normal Variasi Ex	51
4.24 Regangan Standar Ex	53
4.25 Regangan Variasi Ex	53
4.26 Total Deformation Standar Ex	55
4.27 Total Deformation Variasi Ex	55
4.28 Perbandingan Grafik Tegangan Von-Mises	57
4.29 Perbandingan Grafik Tegangan Normal	58
4.30 Perbandingan Grafik Regangan	59
4.31 Perbandingan Grafik Total Deformasi	60
4.32 Grafik Performa <i>camshaft</i> standar	62
4.33 Grafik Performa <i>camshaft</i> variasi	63

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi industri kendaraan bermotor nasional mengalami kenaikan penjualan setiap tahunnya. Kenaikan tersebut ditunjang dengan adanya inovasi-inovasi yang terus dikembangkan dari waktu ke waktu. Sehingga produk kendaraan yang dihasilkan lebih bersifat dinamis dan sesuai dengan regulasi dari kementerian perindustrian. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), industri kendaraan bermotor mengalami kenaikan sebesar 8,89 persen sejak tahun 2013 hingga pertengahan 2016. Kenaikan tersebut meliputi sepeda motor, mobil, dan alat transportasi lainnya.

Inovasi teknologi yang dilakukan setiap industri otomotif mempunyai berbagai macam perbedaan. Inovasi yang dikembangkan dapat terjadi pada sektor mesin pembakaran dalam (ICE). Pada sebuah kendaraan mesin pembakaran dalam 4 langkah, terdapat berbagai macam komponen mesin yang saling berkaitan. *Camshaft* merupakan salah satu komponen utama sebagai pengatur mekanisme membuka dan menutupnya suatu katup (*valve*) pada saat yang tepat guna terjadinya aliran campuran udara dan bahan bakar yang ideal. Setiap mesin memiliki spesifikasi *camshaft* yang berbeda-beda sesuai kebutuhan suatu kendaraan (Setiyo, M, 2012). Sehingga, *camshaft* terus dikembangkan untuk memperoleh efisiensi yang optimal dari segi konstruksi dan penyaluran bahan bakar.

Camshaft mengatur 2 jenis katup, yaitu katup isap (*intake valve*) dan katup buang (*exhaust valve*). Katup isap berfungsi mengatur aliran campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam ruang bakar suatu silinder. Sedangkan katup buang memiliki fungsi untuk mengatur aliran gas buang ke luar dari ruang bakar pada suatu silinder. Mekanisme katup membuka dan menutup masing-masing satu kali setiap satu kali putaran *camshaft* dan dua kali putaran poros engkol (*crankshaft*) (Yoyok Sudrajat Siswanto, 2012). Melalui modifikasi atau desain ulang profil *camshaft* maka dapat membuat kinerja motor bakar 4 langkah menjadi lebih optimal.

Vivekanandan pada 2013 menyatakan bahwa ketahanan dan umur pakai dari *camshaft* merupakan hal utama yang harus diperhatikan. Bentuk profil suatu *camshaft* harus memiliki desain yang tepat pada proses manufakturnya. Sehingga diharapkan *camshaft* dapat mempunyai masa umur pakai yang lebih optimal. Profil dari *camshaft* dapat dibuat hingga berbentuk benda. Kemudian dilakukan eksperimen dengan memberikan gaya beban sesuai kondisi aktualnya. Di zaman saat ini dapat dilakukan cara lain yaitu pemodelan menggunakan *software* simulasi analisis. Salah satunya adalah *software* ANSYS.

ANSYS *mechanical* merupakan *software* berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) atau analisis elemen hingga untuk analisis struktural (ANSYSinfo, 2013). Jadi pemodelan sekaligus analisis dapat disimulasikan tanpa harus membuat terlebih dahulu suatu benda dan tanpa melakukan eksperimen.

Tujuan akhir analisis dan pemodelan ini yaitu mengetahui kekuatan *camshaft* dalam menanggung beban dari gaya-gaya yang bekerja pada profil *camshaft* yang telah divariasikan menggunakan metode elemen hingga.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dirumuskan suatu permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil perbandingan karakterisasi *camshaft* standar dengan variasi?
2. Bagaimana pengaruh variasi desain *camshaft* terhadap gaya beban yang bekerja sesuai sistem yang terjadi pada sepeda motor?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui hasil perbandingan karakterisasi *camshaft* standar dengan variasi.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi *design camshaft* terhadap gaya beban yang bekerja agar diperoleh hasil yang optimal.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah menambah pengetahuan mengenai pengaruh modifikasi yang diterapkan pada *camshaft*, selain itu diharapkan dengan penelitian ini, pelajar ataupun pihak yang menggemari dunia otomotif dapat terus mengembangkan profil dan karakterisasi *camshaft* guna mendapatkan efisiensi yang optimal. Juga kepada masyarakat agar dapat melakukan peningkatan performa kendaraan (*custom tuning*) dengan merubah profil geometri *camshaft* sesuai dengan kebutuhan.

1.4. Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan yang diinginkan dan menghindari meluasnya permasalahan yang ada, maka dalam penelitian ini akan diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penerapan pada motor *camshaft* tunggal.
2. Berdasarkan parameter profil *camshaft* penelitian sebelumnya.
3. Gambar design menggunakan Inventor 2016.
4. Hasil pembahasan berdasarkan simulasi menggunakan software ANSYS 15.07.

1.5. Hipotesis

Dari penelitian yang telah ada diperoleh hipotesis bahwa perubahan bentuk geometri *camshaft* akan mempengaruhi performa suatu kendaraan serta kekuatan dalam menanggung gaya dan beban yang terjadi pada sistem kendaraan. Sehingga bentuk yang dihasilkan bersifat fleksibel dan diperoleh dalam beberapa kali eksperimen. *Camshaft* yang lebih proporsional meliputi dimensi bagian hubungan serta *base circle*, akan dapat menanggung beban lebih kuat dan masa umur pakai yang meningkat.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Bakar

Motor bakar adalah suatu mekanisme atau konstruksi mesin yang merubah energi panas menjadi energi mekanis. Energi panas terjadi karena adanya proses pembakaran, bahan bakar, udara, dan sistem pengapian. Konstruksi mesin memungkinkan terjadinya siklus kerja mesin untuk usaha dan tenaga dorong dari hasil ledakan pembakaran yang diubah oleh konstruksi mesin menjadi energi mekanik atau tenaga penggerak, contohnya seperti energi mekanik yang dihasilkan didalam mesin kemudian disalurkan pada bagian yang akan digerakkan, misal roda pada motor. Bahan bakar yang digunakan adalah campuran antara bensin dan udara untuk motor bensin, sedangkan pada mesin diesel digunakan campuran solar dan udara. Motor bakar masih menjadi pilihan utama untuk dijadikan sebagai penggerak mula. Sehingga, usaha untuk menciptakan motor bakar yang menghasilkan kemampuan tinggi terus diusahakan oleh manusia. Jika ditinjau dari cara memperoleh energi panas atau kalor (proses pembakaran bahan bakar), maka motor bakar dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu motor pembakaran luar dan motor pembakaran dalam.

2.1.1 Motor Pembakaran Dalam (*Internal Combustion Engine*)

Mesin pembakaran dalam adalah sebuah mesin yang sumber tenaganya berasal dari pengembangan gas-gas panas bertekanan tinggi hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara, yang berlangsung di dalam ruang tertutup dalam mesin, yang disebut ruang bakar (*combustion chamber*). Mesin pembakaran dalam biasanya merujuk kepada mesin yang pembakarannya dilakukan secara berselang-seling, jika pembakaran berlangsung maka diperlukan adalah bahan bakar dan udara dimasukkan ke dalam motor dan kemudian bahan bakar dimampatkan atau dipanaskan hingga suhu nyala. Pembakaran ini menimbulkan panas yang menghasilkan tekanan yang kemudian menghasilkan tenaga mekanik. Contoh aplikasi dari pembakaran dalam ini digunakan pada power rendah, misalnya motor bensin dan motor diesel.



Gambar 2.1 Motor Pembakaran Dalam (Sumber: anoname, Universitas Sumatra Utara)

2.1.2 Motor Bakar 4 Langkah (4 tak)

Motor 4 tak atau 4 *cicle* engine adalah motor yang dalam satu siklus kerjanya membutuhkan 4 kali piston bolak-balik, 2 kali putaran poros engkol dan menghasilkan 1 kali langkah usaha. Motor 4 tak (4 langkah) dibedakan menjadi 2 yaitu untuk motor bensin dan diesel. Adapun prinsip kerja dari motor empat langkah adalah sebagai berikut.

a. Langkah isap

Piston bergerak dari TMA (titik mati atas) ke TMB (titik mati bawah). Dalam langkah ini, campuran udara dan bahan bakar diisap ke dalam silinder. Katup isap terbuka sedangkan katup buang tertutup. Waktu piston bergerak ke bawah, menyebabkan ruang silinder menjadi vakum, masuknya campuran udara dan bahan bakar ke dalam silinder disebabkan adanya tekanan udara luar (*atmospheric pressure*).

b. Langkah kompresi

Piston bergerak dari TMB ke TMA. Dalam langkah ini, campuran udara dan bahan bakar dikompresikan/dimampatkan. Katup isap dan katup buang tertutup. Waktu torak mulai naik dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA) campuran udara dan bahan bakar yang diisap tadi dikompresikan.

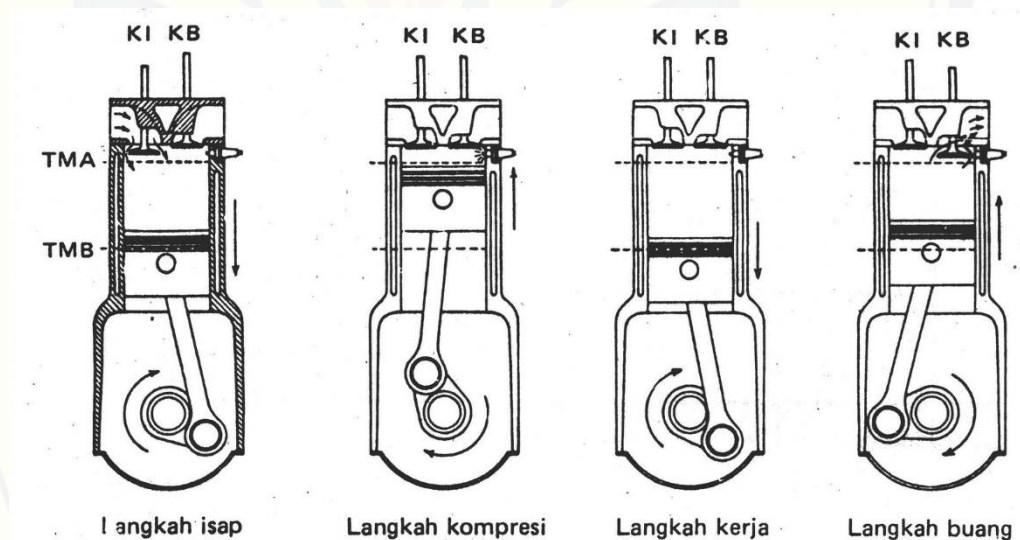
Akibatnya tekanan dan temperaturnya menjadi naik, sehingga akan mudah terbakar.

c. Langkah usaha

Piston bergerak dari TMA ke TMB. Dalam langkah ini, mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Sesaat sebelum torak mencapai TMA pada saat langkah kompresi, busi memberi loncatan bunga api pada campuran yang telah dikompresikan. Dengan terjadinya pembakaran, kekuatan dari tekanan gas pembakaran yang tinggi mendorong torak kebawah. Usaha ini yang menjadi tenaga mesin (*engine power*).

d. Langkah buang

Piston bergerak dari TMB ke TMA. Dalam langkah ini, gas yang terbakar dibuang dari dalam silinder. Katup buang terbuka, piston bergerak dari TMB ke TMA mendorong gas bekas pembakaran ke luar dari silinder. Ketika torak mencapai TMA, akan mulai bergerak lagi untuk persiapan berikutnya, yaitu langkah isap. Prinsip kerja mesin 4 langkah dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.

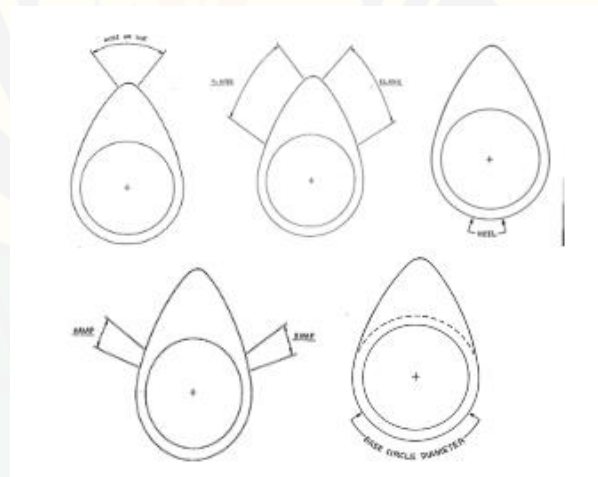


Gambar 2.2 Prinsip Kerja Motor 4 Langkah (Sumber: Arismunandar, 2002)

2.2 Camshaft

Peter Burgess and David Gollan (2003), dalam bukunya “*How To Build, Modify And Power Tune Cylinder Head*”, menjelaskan bahwa fungsi *camshaft* adalah untuk mengukur waktu membuka dan menutupnya katup pada saat yang tepat, dimana hal ini bertujuan untuk mengisi silinder dengan campuran bahan bakar dan udara sebelum terjadi pembakaran dan mengosongkan setelah terjadi proses pembakaran.

Menurut Des Hammill (*How To Chose Camshaft And Time Them For Maximum Power*,1998), ada beberapa bagian *lobe* pada individu *camshaft* yang harus jelas dibedakan antara satu dengan lainnya, karena *lobe* dibagi menjadi masing-masing bidang yang berbeda, yaitu: *heel* (tumit), *nose* (hidung), *base circle* (lingkaran dasar), *opening and closing ramps* (titik waktu buka dan tutup) dan *flanks* (sayap) terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bagian – Bagian *Camshaft*

(Sumber: Prio Andrianto, 2014)

Istilah-istilah yang dipakai pada *camshaft* menurut Des Hammili adalah:

a. *Duration*

Duration atau durasi adalah angka derajat yang menunjukkan lama katup membuka atau saat dimana katup terangkat dari kedudukan katupnya di dalam mesin empat langkah. Derajat durasi *camshaft* selalu diukur dalam derajat putaran *crankshaft* (Prio Andrianto, 2014).

b. *Phasing*

Phasing adalah *lobe centre angle (LCA)* atau *lobe separation angle (LSA)*, yaitu sudut antara titik angkat penuh katup hisap dan titik angkat penuh katup buang.

c. *Valve Lift*

Valve lift yaitu maksimum tinggi angkatan katup (jarak maksimum antara katup dan dudukan katup). Hal ini sangat bervariasi antara profil *camshaft* satu dengan yang lainnya, dari tipe mesin satu dengan tipe mesin lainnya.

d. *Camshaft Lobe Lift*

Camshaft lobe lift adalah maksimum tinggi angkatan pada *camshaft*. Tinggi angkatan pada *camshaft* tidak sama tinggi dengan tingkatan angkatan katub, walaupun untuk tipe-tipe tertentu pada yang sama, dikarenakan rasio pada *rocker arm*.

e. *Overlap*

Overlap adalah waktu dimana posisi katup hisap dan katup buang terbuka bersamaan. *Overlap* terjadi pada saat katup buang akan menutup dan katup hisap mulai membuka, yaitu disaat akhir langkah buang dan disaat awal langkah hisap.

f. *Lift Rate*

Lift rate adalah kecepatan rata-rata katup terangkat dari dudukannya dan kemudian kembali pada dudukannya per derajat putaran *crankshaft*.

g. *Valve Clearance*

Valve clearance adalah jarak yang terjadi antara *camshaft* dengan *rocker arm*.

h. *Full Lift*

Full lift adalah tinggi angkat penuh *camshaft*. Apabila dilihat dari profil *camshaft* maka tinggi angkat penuh *camshaft* berada

pada titik tengah *nose* (hidung). Tinggi angkat penuh camshaft berhubungan dengan tinggi angkat penuh katup.

i. *Camshaft Profile*

Camshaft profile atau bentuk camshaft merupakan satu hal yang mempunyai peranan penting dalam unjuk kerja mesin. Hal ini dikarenakan profil atau bentuk *camshaft* adalah semacam rel tempat berjalannya *rocker arm*. Sehingga jika dilihat dalam bentuk grafik, profil *camshaft* merupakan pembentuk kurva durasi buka tutup katup.

2.3 Sifat Mekanik Bahan

2.3.1 Tegangan - Regangan

Suatu batang uji ketika menerima beban sebesar F kg maka batang uji akan mengalami pertambahan panjang sebesar ΔL mm. Tegangan merupakan perbandingan antara gaya tarik yang bekerja terhadap terhadap luas penampang benda. Regangan yaitu perbandingan antara pertambahan panjang benda dan panjang benda awal (Widiyono dkk., 2011).

Tegangan pada benda uji tersebut ketika bekerja yaitu :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

σ = Tegangan (kg/mm^2) atau (N/m^2)

F = Gaya (N)

A_0 = Luas penampang batang uji awal (mm^2)

Deformasi suatu benda uji ditentukan oleh gaya per satuan luas (Kane dkk., 1976). Apabila sebuah benda uji yang dipengaruhi gaya tarik (F) ke kanan dan gaya yang sama pula tetapi berlawanan arah ke kiri, maka gaya-gaya ini akan terdistribusi secara merata ke luas penampang benda uji (Souisa, 2011).

Regangan terjadi pada batang uji tersebut, sehingga :

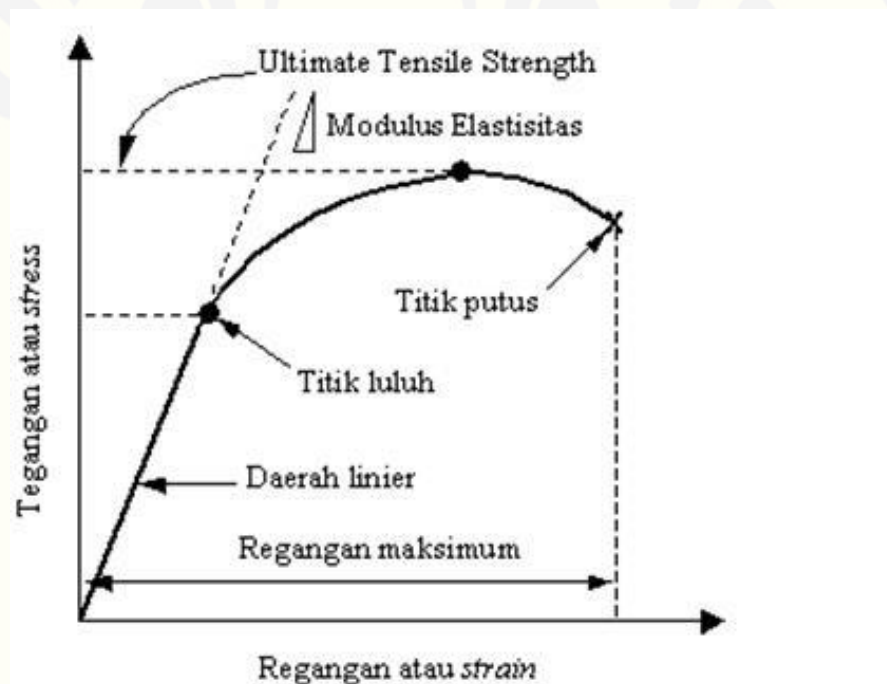
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

ϵ = Regangan

L_0 = Panjang awal (mm)

ΔL = Panjang setelah menerima beban (mm)



Gambar 2.4 Grafik tegangan-regangan
(Sumber: William. N, 1998)

2.3.2 Kekakuan (*Stiffness*)

Suatu bahan yang memiliki kekakuan tinggi apabila mendapat beban atau gaya dimana masih dalam batas elastisnya akan mengalami deformasi elastik. Grafik tegangan – regangan menghasilkan nilai regangan yang berubah secara linier dengan tegangan. Batang jika melampaui titik maksimal akan kembali ke panjang semula, namun berubah bentuk secara tetap.

Modulus Young merupakan daerah linier yang terjadi didalam grafik tegangan – regangan untuk tarikan atau tekanan atau konstanta karakteristik suatu material. Modulus Elastisitas (Modulus Young) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} \\
 &= \frac{\sigma}{\epsilon} \\
 &= \frac{F/A}{\Delta L/L_0} \dots\dots\dots(2.3)
 \end{aligned}$$

Keterangan:

E = Modulus Elastisitas

Kekakuan dapat dinyatakan dengan *poissons ratio*. Batang uji bila ditarik secara unaxial ke arah memanjang maka disamping akan terjadi regangan ke arah memanjang (ϵ_x), juga akan mengalami regangan kearah melintang (ϵ_y). Poisson ratio merupakan perbandingan antara regangan kearah melintang dengan regangan ke arah memanjang. Rumusan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$V = - \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

V = Poisson ratio

ϵ_x = Regangan memanjang

ϵ_y = Regangan melintang

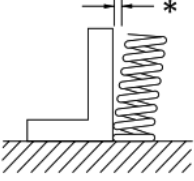
Harga negatif diberikan karena regangan kearah melintang memiliki harga negatif, sedangkan kearah memanjang memiliki harga positif. Harga V untuk logam biasanya berkisar antara 0.25 – 0.35. Harga V suatu logam semakin besar maka kekakuan logam semakin kecil.

2.4 Beban Pegas (*Load Spring*)

Mesin atau peralatan serta komponen-komponennya pasti menerima beban operasional dan beban lingkungan dalam melakukan fungsinya. Beban dapat dalam bentuk gaya, momen, defleksi, temperatur, tekanan dan lain-lain. Analisis pembebanan dalam perancangan mesin atau komponen mesin sangat penting, karena jika beban telah diketahui maka dimensi, kekuatan, material, serta variabel desain lainnya dapat ditentukan. Jenis beban pada suatu mesin dapat dibagi menjadi beberapa kelas berdasarkan karakter beban yang bekerja dan adanya gerakan atau perpindahan. Jika konfigurasi umum dari mesin telah didefinisikan dan gerakan kinematiknya telah dihitung, maka tugas berikutnya adalah menganalisis besar dan arah semua gaya, momen, dan beban lainnya. Beban-beban dapat konstan atau bervariasi terhadap waktu. Komponen mesin dimana gaya tersebut bekerja juga bisa dalam keadaan diam (statik) atau bergerak (dinamik) (Mukti,2003).

Pada hal ini pembebanan didapatkan dari pegas yang bekerja pada *camshaft*. Dengan spesifikasi pegas yang ditunjukkan pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Spesifikasi Pegas Kendaraan
(Sumber: Buku petunjuk service manual GL 200)

Per klep		
Panjang bebas per	33.75 mm	32.05 mm
Panjang per terpasang(menutup)	24.2 mm	----
Tekanan Per	138 ~ 158 N (13.8 ~ 15.8 kgf) at 24.2 mm	----
Kebengkokan per "*"	----	1.4 mm
		
Arah lilitan per	searah jarum jam	----

2.5 Autodesk Inventor

Sejak komputer ditemukan, lahirlah suatu perkembangan yang signifikan, perkembangan tersebut dikenal dengan CAD, Computer Aided Drawing/Design. Pada masa awalnya tahapan CAD masih dalam tahapan 2D. CAD mulai populer secara global pada tahun 1960-an. Sedangkan di Indonesia, orang mulai CAD pada awal 1980-an. Kemudian CAD berevolusi, pada evolusi ini jenis software CAD menjadi semakin banyak serta jenisnya berubah dari 2D menjadi 3D, sedangkan yang paling populer dikeluarkan oleh Autodesk dengan perangkat lunak Autocad (Dicky Seprianto, 2011: 2).

Pada saat ini perkembangan CAD memasuki tahapan yang dikenal dengan solid modeling, dimana produk yang dihasilkan berupa bentuk solid dari alat yang akan dibuat dilengkapi dengan perhitungan kekuatan mekanik, simulasi dan gambar produksi dengan integrasi yang lengkap sehingga memungkinkan desain dibuat oleh beberapa designer walaupun berbeda negara dengan memanfaatkan jaringan internet. Dengan demikian berbagai komponen industri, seperti sales, purchasing, dan bagian produk saling terintegrasi sehingga mempercepat dan memperlancar informasi yang dibutuhkan. Dengan memanfaatkan fungsi dari solid modeling yang melebihi prototype tersebut, dapat menjawab kebutuhan konsumen (manusia) yang selalu menginginkan sesuatu yang selalu baru, hal ini dibuktikan dengan semakin banyak variasi dalam suatu produk, baik itu produk otomotif, elektronik dan lain sebagainya.

2.6 ANSYS

2.6.1 Definisi ANSYS

ANSYS adalah program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah statik, dinamik, analisis struktural (baik linier maupun nonlinier), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik.

2.6.2 Tahapan dalam Menggunakan ANSYS

Secara umum penyelesaian elemen hingga menggunakan ANSYS dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu :

a. *Preprocessing* (pendefinisian masalah)

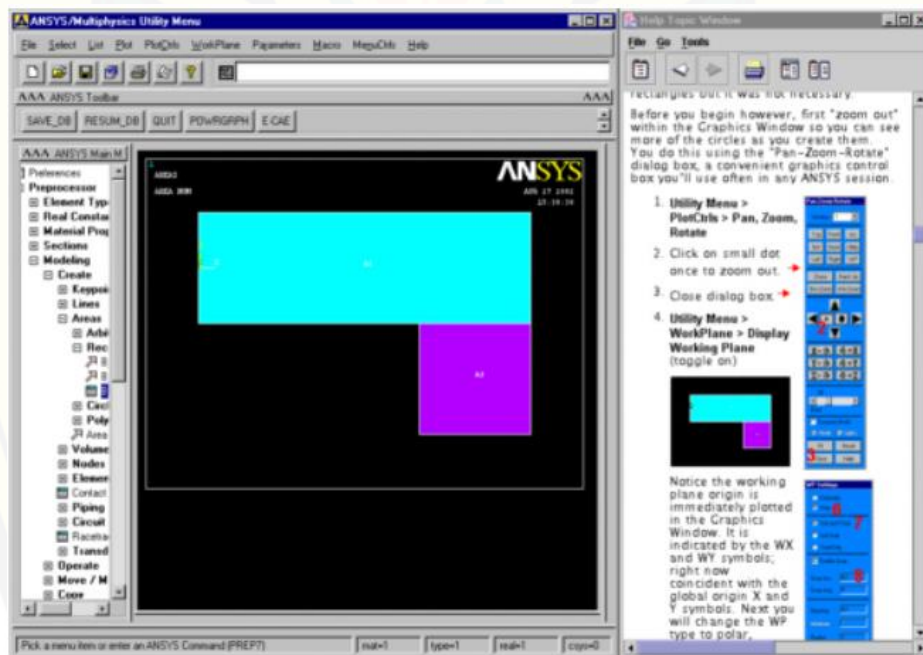
Langkah umum dalam preprocessing terdiri dari (i) mendefinisikan keypoint/lines/areas/volume, (ii) mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/sifat geometrik, dan (iii) mesh lines/areas/volumes sebagaimana dibutuhkan. Jumlah detail yang dibutuhkan akan tergantung pada dimensi daerah yang dianalisis, ie., 1D, 2D, axisymmetric dan 3D.

b. *Solution* (assigning loads, constraints, and solving)

Di sini, perlu menentukan beban (titik atau tekanan), constraints (translasi dan rotasi) dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diset.

c. *Postprocessing* (further processing and viewing of the results)

Dalam bagian ini pengguna mungkin dapat melihat (i) daftar pergeseran nodal, (ii) gaya elemen dan momentum, (iii) *plot deflection* dan (iv) diagram kontur tegangan (*stress*) atau pemetaan suhu.



Gambar 2.5 Tampilan Software ANSYS

(Sumber: ANSYSinfo, 2013)

2.7 Metode Elemen Hingga (MEH)

Analisa kekuatan sebuah struktur telah menjadi bagian penting dalam alur kerja pengembangan desain dan produk. Pada awalnya analisa kekuatan dilakukan dengan menggunakan rumusan-rumusan teoritis yang telah banyak tercantum pada buku-buku panduan mekanika struktur dan teknik. Tetapi hal tersebut memiliki banyak kekurangan, salah satunya adalah harusnya dilakukan penyederhanaan penyederhanaan serta pengidealisasian kondisi-kondisi yang akan dianalisa agar dapat dimasukkan ke dalam rumusan teoritis tersebut. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya akurasi dan ketepatan hasil analisa yang dihasilkan serta akan sangat sulit diaplikasikan pada bentuk struktur yang kompleks.

Untuk mengatasi hal tersebut dikembangkanlah berbagai macam metode analisa yang dapat mengatasi hal tersebut. Salah satu metode tersebut adalah metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan (Rainaldo, 2007).

2.7.1 Keuntungan MEH

Sifat dari setiap elemen dievaluasi secara terpisah, sehingga keuntungan yang jelas adalah bahwa kita dapat menggabungkan sifat material yang berbeda untuk setiap elemen. Dengan demikian hampir semua tingkat non-homogenitas dapat dimasukkan. Tidak ada batasan untuk bentuk media, maka bentuk sewenang-wenang dan tidak teratur menyebabkan kesulitan seperti semua perkiraan numerik MEH didasarkan pada konsep deskripsi. Namun demikian baik sebagai variasi atau pendekatan residual, teknologi mengakui terus menerus multidimensional tetapi juga tidak memerlukan proses interpolasi yang terpisah untuk memperpanjang solusi perkiraan untuk setiap titik dengan kontinum (Uma Mahesh, dkk., 2015).

2.7.2 Keterbatasan MEH

MEH mencapai tingkat tinggi pembangunan sebagai teknologi solusi, namun metode ini menghasilkan hasil yang realistis hanya jika koefisien atau bahan parameter yang menggambarkan fenomena dasar yang tersedia.

Aspek yang paling membosankan dari penggunaan MEH adalah proses dasar dari sub-membagi kontinum menghasilkan kesalahan input data gratis untuk komputer (Uma Mahesh, dkk., 2015).

2.7.3 Aplikasi MEH

Sehubungan dengan suhu atau panas distribusi fluks dalam kasus masalah perpindahan panas. Mengacu masalah nilai Eigen dalam mekanika padat atau masalah struktural, frekuensi alami, tekuk beban dan bentuk modus ditemukan, stabilitas laminar aliran ditemukan jika itu adalah cairan masalah mekanik dan resonansi karakteristik diperoleh jika itu adalah masalah sirkuit listrik, sementara untuk perbanyakan atau masalah sementara, respon tubuh di bawah waktu kekuatan bervariasi ditemukan di daerah mekanika padat (Uma Mahesh, dkk., 2015).

2.7.4 Analisis Struktural

Analisis ini digunakan untuk melakukan untuk menemukan parameter struktural seperti menekankan, strain, deformasi, bending momen dan stres geser. analisis struktural mungkin adalah aplikasi yang paling umum dari metode elemen hingga seperti menyiratkan jembatan dan bangunan, angkatan laut, penerbangan, dan struktur mekanis seperti lambung kapal, badan pesawat, dan rumah mesin, serta komponen mekanis seperti piston, bagian-bagian mesin, dan alat-alat (Uma Mahesh, dkk., 2015).

2.8 Teori Kegagalan

Kegagalan material (*material failure*) terjadi apabila tegangan yang dihitung melebihi tegangan yang diijinkan oleh suatu material.

Ada tiga teori kegagalan yang sering digunakan:

a. Teori kegagalan Von Mises

Teori tegangan Geser Oktahedral, yang menyatakan: “Kegagalan terjadi jika tegangan geser oktahedral pada suatu titik di pipa sama atau lebih dari tegangan geser oktahedral pada suatu titik di pipa sama atau lebih besar dari tegangan geser oktahedral pada saat material leleh (*yield*) di tes beban tarik uniaksial (Farid Ferdiansyah, 2006).

b. Teori kegagalan Tresca

Teori kegagalan tegangan geser maximum, yang menyatakan: “ Kegagalan terjadi jika tegangan geser maksimum pada suatu titik di pipa sama atau lebih besar dari tegangan geser maksimum pada saat material leleh (*yield*) di tes beban tarik universal (Farid Ferdiansyah, 2006).

c. Teori kegagalan Rankine

Teori kegagalan tegangan maksimum, yang menyatakan:” Kegagalan terjadi jika tegangan tarik maksimum pada suatu titik di pipa sama atau lebih besar dan tegangan tarik maksimum pada saat material leleh (*yield*) di tes beban tarik uniaksial (Farid Ferdiansyah, 2006).

2.9 Kriteria Desain Optimal (*Optimization Design Criterion*)

Dengan metode elemen hingga, mencari suatu prosedur yang konkret dan praktis untuk desain *camshaft* yang optimal menjadi lebih mudah dan ekonomis dalam melakukan analisis parametriknya. Kenaikan ketebalan bagian penting dalam suatu komponen adalah kunci yang akan menyebabkan konvergensi tegangan pada *camshaft*. Namun, bila perubahan ukuran yang sama pada bagian yang berbeda, maka nilai konvergensi akan berbeda pula. Ini menunjukkan bahwa ada ‘titik keseimbangan’ yang ideal di antara bagian-bagian utama pada suatu komponen. Kriteria optimasi sederhana dan praktis yang kemudian dikembangkan berdasarkan kondisi yang membatasi suatu sistem tersebut. Kriteria ini mewakili ‘titik seimbang’ ideal dalam hal distribusi gaya (J. Hong et al. / Journal of Mechanical Science and Technology 25 (10) (2011) 2607~2614)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian simulasi, yaitu melakukan replikasi atau visualisasi dalam bentuk tiruan sebuah objek yang mirip dengan keadaan sesungguhnya untuk mengetahui hubungan sebab akibat dari variasi yang dilakukan. Variasi dalam penelitian ini dalam bentuk *modelling* geometri *camshaft* dalam menerima gaya dan beban untuk mengetahui perbedaan karakteristik masing-masing profil. Adapun literatur buku dan jurnal ilmiah yang relevan dengan masalah yang diteliti diperlukan sebagai bahan pendukung.

3.2 Waktu dan Tempat

Pengujian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 sampai selesai. Proses tersebut meliputi persiapan alat, pengambilan data dan analisis data. Penelitian di laksanakan di Laboratorium Desain, Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

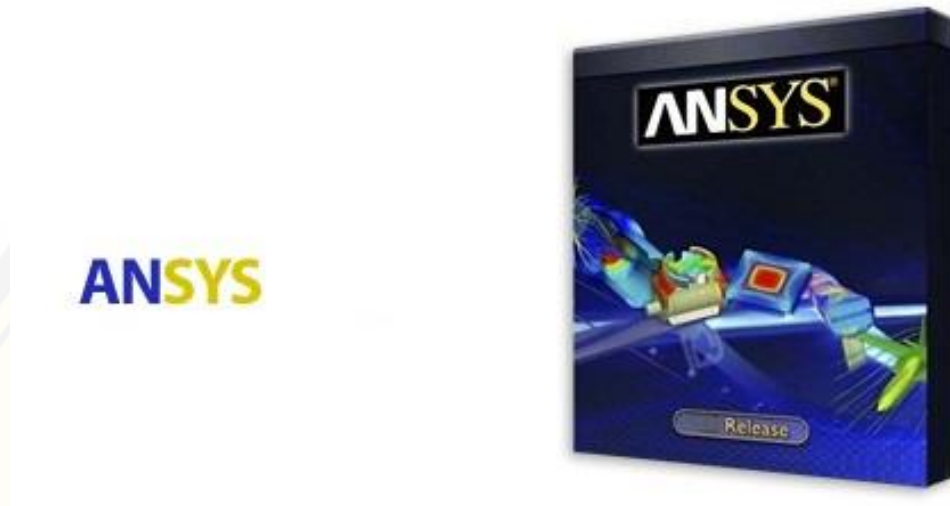
1. Laptop/*Personal Computer* (PC).



Gambar 3.1 Perangkat PC

Sumber: <http://www.belajarkomputer.com>

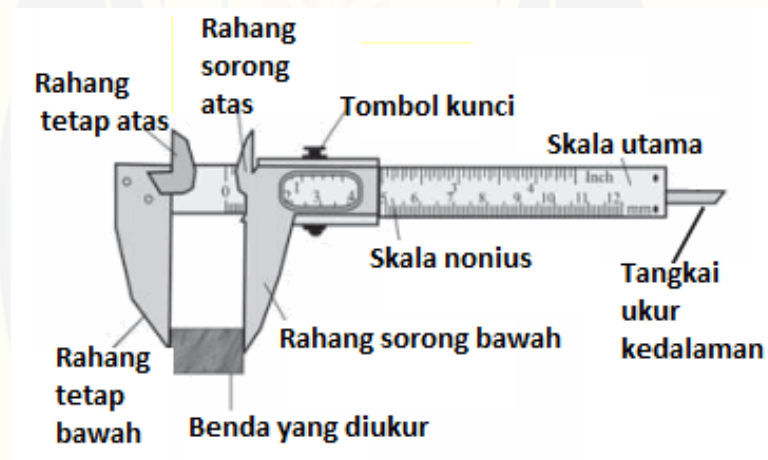
2. Software ANSYS 15.07.



Gambar 3.2 Software ANSYS

Sumber: <http://www.smartlearningindia.com>

3. Alat ukur dimensi (jangka sorong)



Gambar 3.3 Jangka Sorong dan Bagian-bagiannya

Sumber: [http:// www.StudioBelajar.com](http://www.StudioBelajar.com)

4. Pensil
5. Kertas

3.3.2 Bahan

1. Bahan penelitian ini adalah *Camshaft* sepeda motor standar yang divisualisasikan dalam bentuk gambar sebagai dasar variasi dicontohkan Gambar 3.4; 3.5; 3.6 Berikut ditampilkan material properties dari *camshaft* sesuai Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Material Properties Camshaft

No	Unsur	Camshaft original (%)	Camshaft rekondisi (%)
1	C	2,42	3,53
2	Si	1,70	2,14
3	Mn	0,68	0,26
4	P	0,70	0,04
5	S	0,15	0,01
6	Cr	0,13	0,01
7	Mo	0,43	0,01
8	Ni	8,89	0,01
9	Al	0,03	0,01
10	Cu	0,08	0,25
11	Nb	0,17	0,00
12	Ti	0,04	0,04
13	V	0,15	0,01
14	Fe	85,14	93,68



Gambar 3.4 Bentuk Profil Camshaft Standar dan Variasi

(Sumber: Andrianto. P, 2014)



Gambar 3.5 Bentuk Pemodelan *Camshaft* Pembebanan In

Keterangan:

Simbol warna kuning = Arah gaya pada luas penampang



Gambar 3.6 Bentuk Pemodelan *Camshaft* Pembebanan Ex

2. Referensi penunjang

(Buku, Journal, serta sumber lain yang bersifat Ilmiah dan Eksperimental)

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak dapat dikendalikan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data yang diperoleh dari spesifikasi kendaraan yaitu gaya dan beban.

3.4.2 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya dapat ditentukan berdasarkan pertimbangan tertentu dan tujuan dari penelitian itu sendiri. Dalam hal ini variabel Bebasnya adalah profil *camshaft* yang terdiri dari 2 macam variasi dinotasikan sebagai P_{c1} dan P_{c2} yang diambil dari penelitian sebelumnya.

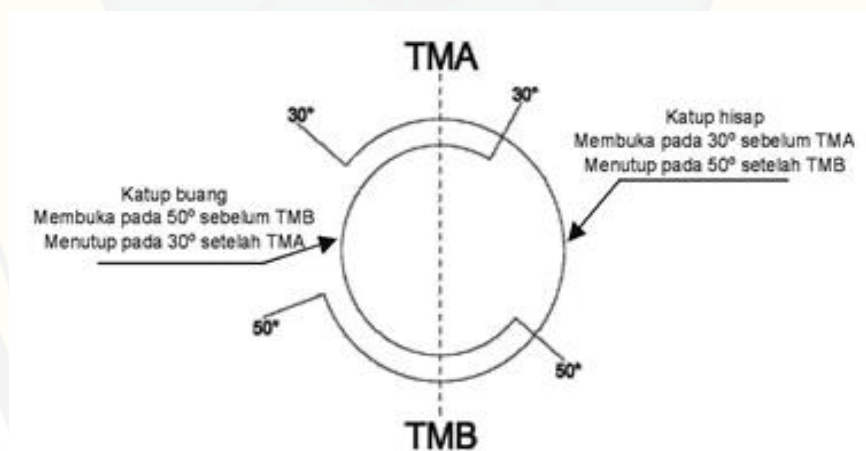
Keterangan:

P_{c1} = Percobaan kesatu (1)

P_{c2} = Percobaan kedua (2)

1. Profil I (Standar)

Camshaft dengan durasi 260° , yaitu katup masuk akan membuka pada titik 30° sebelum TMA dan akan menutup pada titik 50° sesudah TMB dan katup buang akan membuka pada titik 50° sebelum TMB dan akan menutup pada titik 30° setelah TMA. *Camshaft* ini memiliki *camshaft lobe lift* 6,5 mm untuk katup hisap dan 6 mm untuk katup buang seperti Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram Durasi *Camshaft* Standar

Tabel 3.2 Spesifikasi Data Hasil Pengujian Profil 1

(Sumber: Andrianto. P, 2014)

No	Putaran (Rpm)	Torsi (Nm)	Daya (HP)	mf (kg/jam)	SFC (kg/kWh)	Waktu (secon)	Buret (cc)
1	5500	15,07	12,10	0,65	0,05	20,64	5
2	6000	18,46	15,60	0,90	0,06	14,91	5
3	6500	18,72	17,10	1,32	0,08	10,19	5
4	7000	18,47	18,30	1,93	0,11	6,98	5
5	7500	18,00	19,00	2,88	0,15	4,67	5
6	8000	17,08	19,20	2,04	0,11	6,58	5

Keterangan:

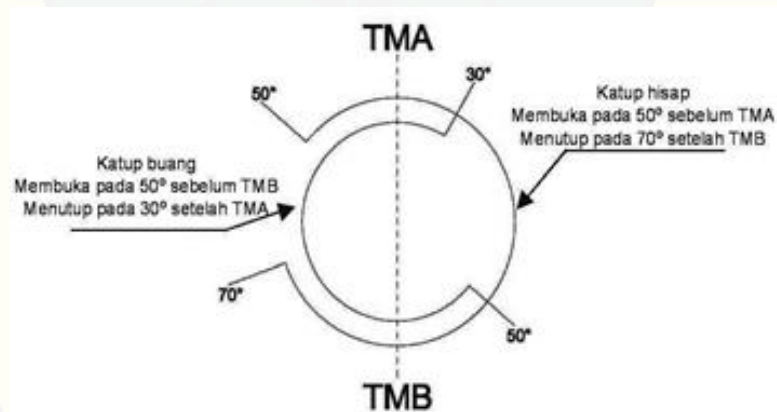
mf = konsumsi bahan bakar (kg/jam)

SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)

Buret = volume ruang bakar (ml)

2. Profil II (Variasi)

Camshaft dengan durasi 300° , yaitu katup masuk akan membuka pada titik 50° sebelum TMA dan akan menutup pada titik 70° sesudah TMB dan katup buang akan membuka pada titik 50° sebelum TMB dan akan menutup pada titik 30° sesudah TMA. *Camshaft* ini memiliki *camshaft lobe lift* 7,5 mm untuk katup hisap dan 6 mm untuk katup buang yang terlihat pada Gambar 3.8.

Gambar 3.8 Diagram Durasi *Camshaft* Variasi

Tabel 3.3 Spesifikasi data hasil pengujian profil II

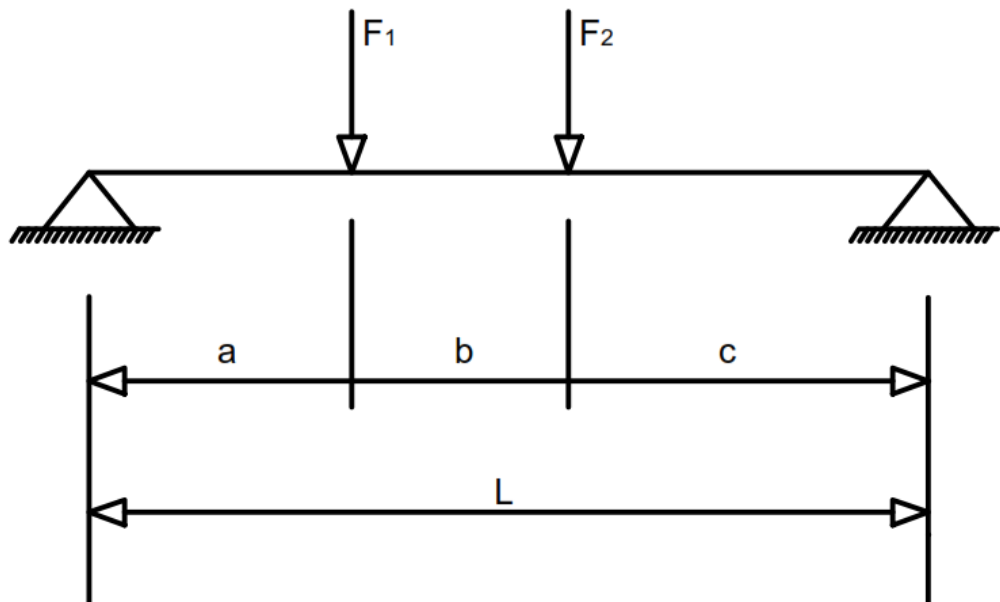
(Sumber: Andrianto. P, 2014)

No	Putaran (Rpm)	Torsi (Nm)	Daya (HP)	mf (kg/jam)	SFC (kg/kWh)	Waktu (secon)	Buret (cc)
1	5500	17,68	13,70	0,59	0,04	22,61	5
2	6000	18,81	15,90	0,66	0,04	20,35	5
3	6500	19,04	17,50	0,78	0,04	17,14	5
4	7000	18,85	18,60	1,17	0,06	11,51	5
5	7500	19,05	20,10	1,29	0,06	10,40	5
6	8000	17,49	19,70	1,17	0,06	11,52	5

3.5 Parameter Pengujian

Adapun parameter-parameter yang dihitung dalam penelitian ini sesuai Gambar 3.9 adalah sebagai berikut:

1. Besarnya gaya yang bekerja pada *camshaft*
2. Beban yang diterima oleh *camshaft*



Gambar 3.9 Force Body Diagram Camshaft

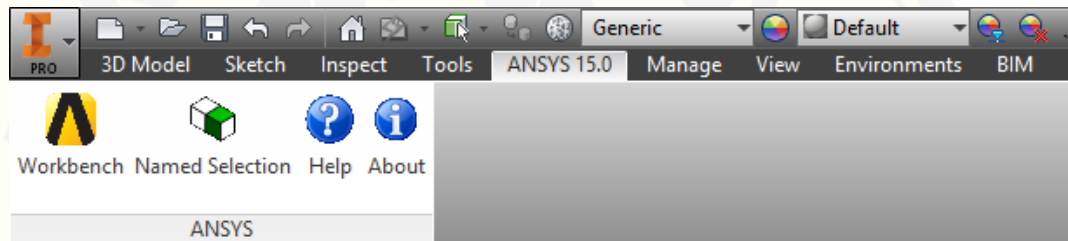
3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Tahap Persiapan

1. Menginstal *software* ANSYS 15.07 dan Inventor 2016 ke dalam laptop
2. Mengukur dimensi geometri *camshaft*
3. Membuat dua pemodelan sesuai dimensi *camshaft* standar dan variasi menggunakan *software* Inventor

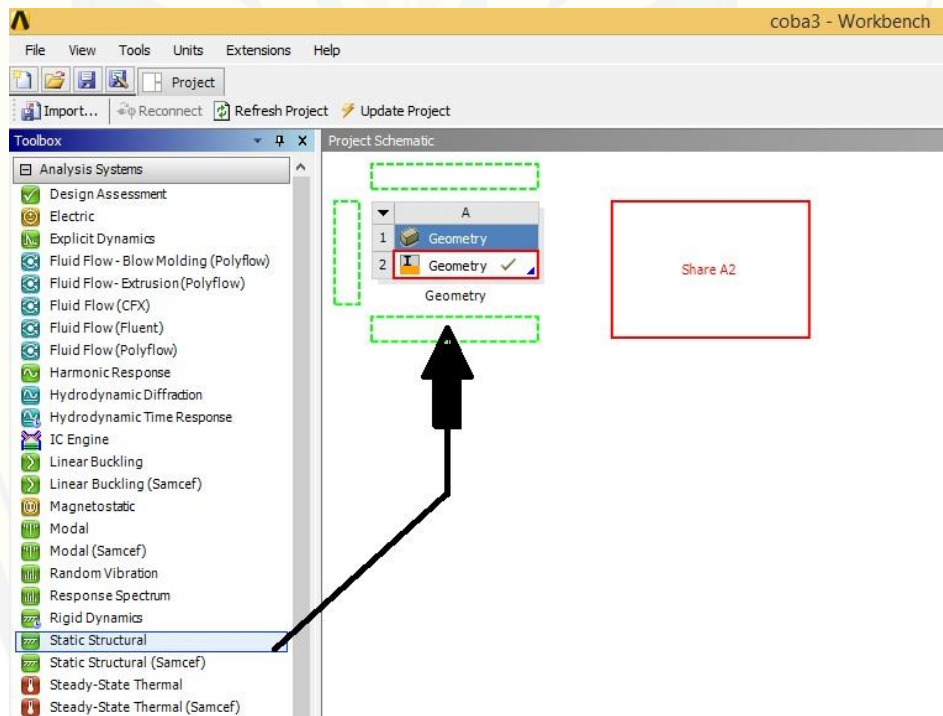
3.6.2 Tahap Penelitian

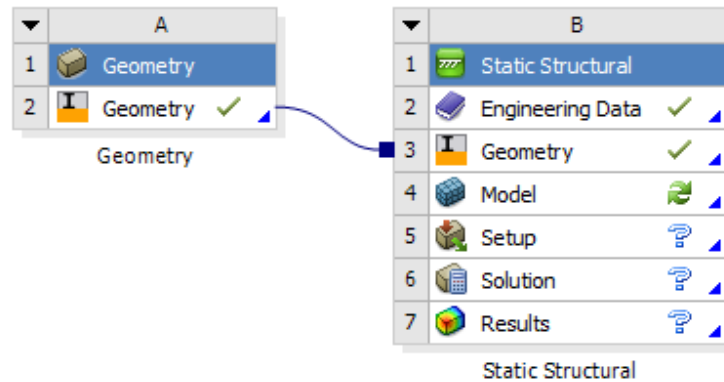
1. Dalam lembar kerja Inventor pilih menu *add-in workbench*



Gambar 3.10 Add-in Inventor to ANSYS

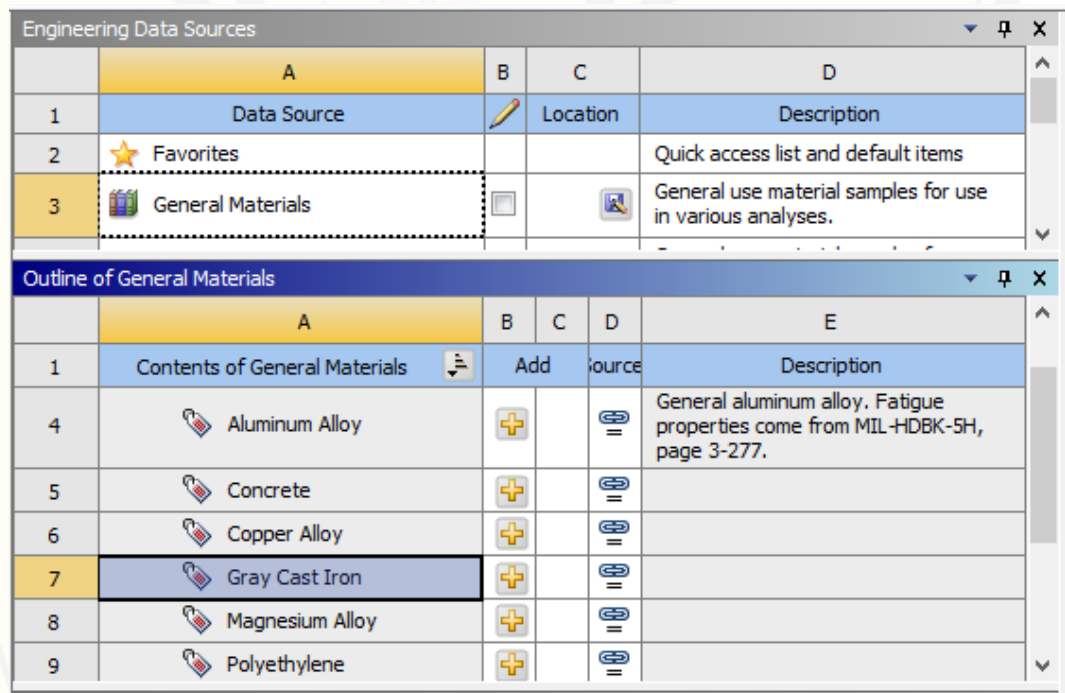
2. Tekan dan tahan menu *static struktural* kemudian arahkan ke dalam geometri yang telah dibuat sesuai pada gambar 3.11





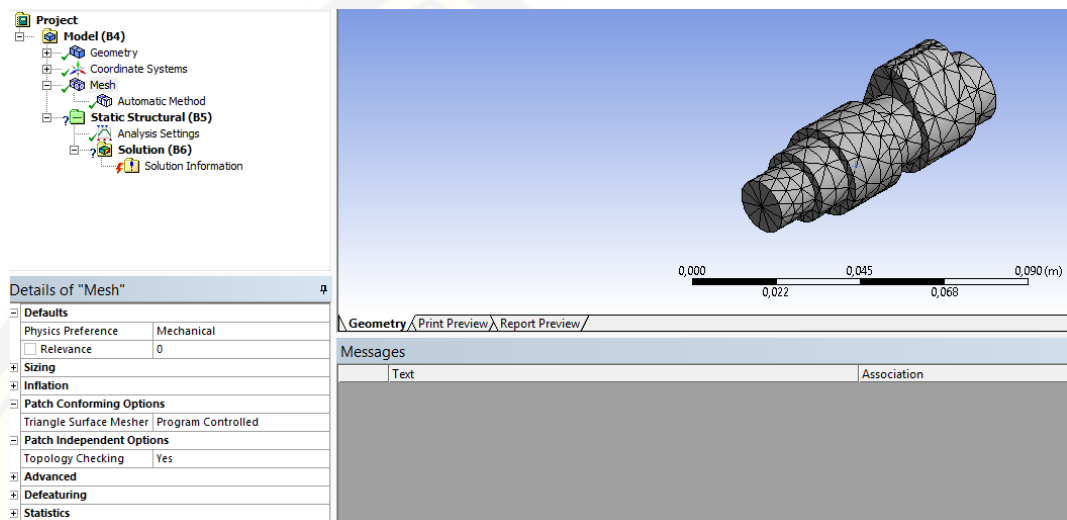
Gambar 3.11 Analisis Sistem *Static Structural*

- Selanjutnya menentukan bahan atau *element type* dari *camshaft* (klik dua kali *engineering data* - pilih *gray cast iron*)



Gambar 3.12 Macam-Macam *Element Type*

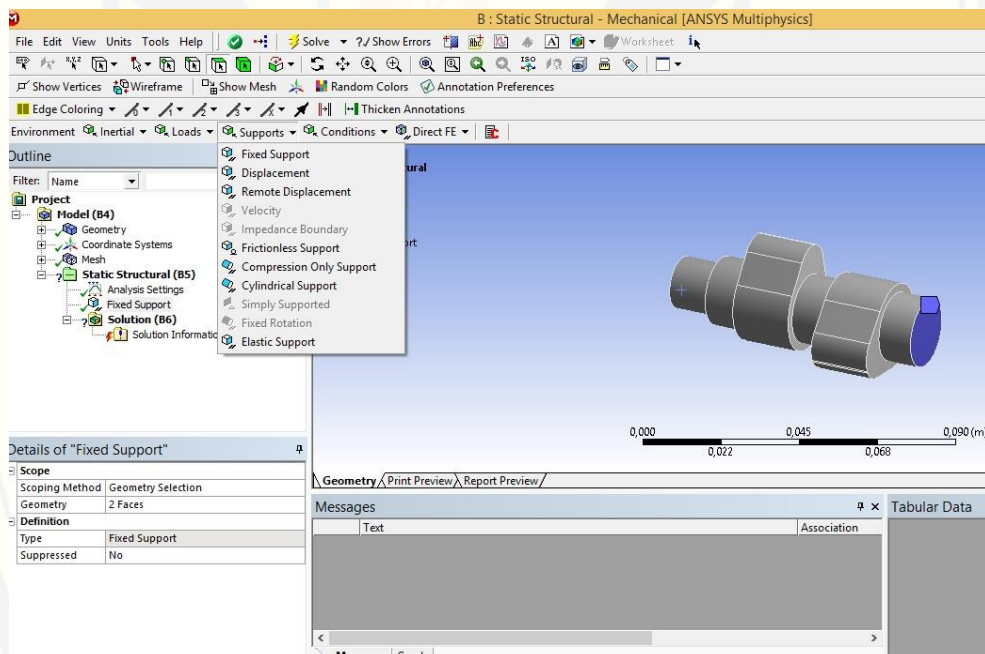
- Proses *meshing* dari model 3D yang telah dibuat (*auto meshing* dengan *tetrahedron method*)

Gambar 3.13 Proses *meshing*

5. Pemberian beban (*setup static structural*)

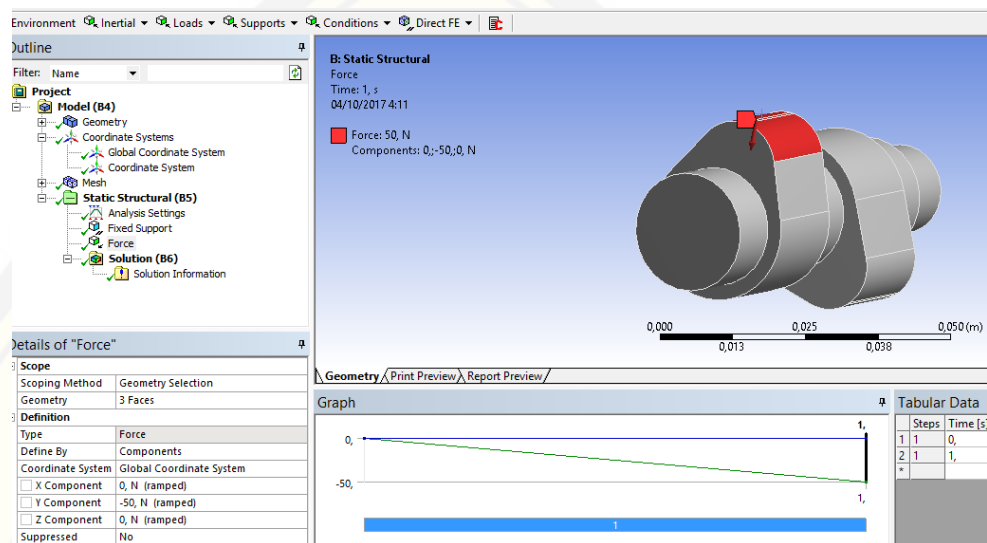
Pemberian beban dapat dilakukan dengan pemilihan tumpuan seperti Gambar 3.14 dan Load seperti Gambar 3.15.

a. Pilih tumpuan (*fix support*)



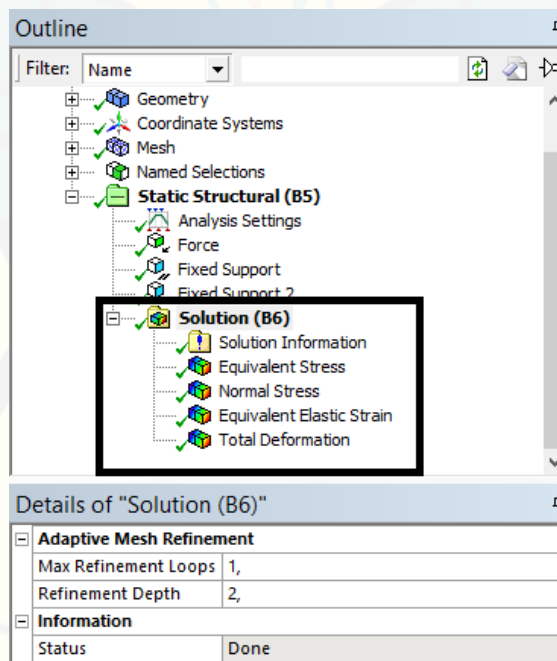
Gambar 3.14 Pemilihan Tumpuan

b. Load



Gambar 3.15 Pemberian Load

6. Solution (parameter yang ditampilkan)
 - a. Von-Mises Stress
 - b. Normal Stress
 - c. Von-Mises Strain
 - d. Total Deformation



Gambar 3.16 Parameter yang ditampilkan

7. Hasil

(*Result* dari perangkat lunak mengenai hasil lembar kerja *camshaft*)

3.7 Penyajian Data Penelitian

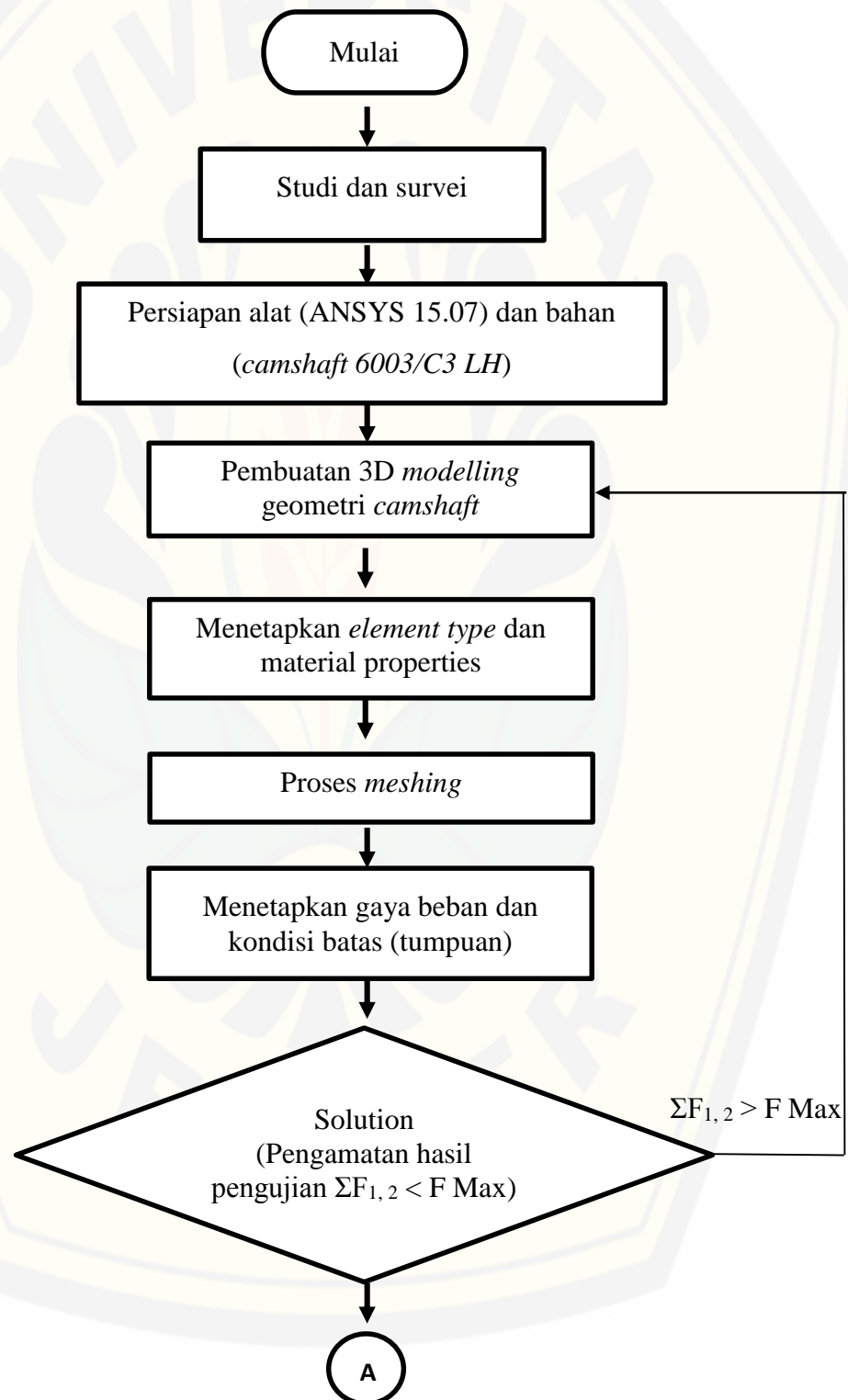
Penyajian data penelitian berupa *result viewer* dari ANSYS dan Tabel 3.1 yang menunjukkan masing-masing karakteristik dari macam model yang telah dibuat berdasarkan kriteria desain optimal pada BAB 2 bagian 2.8:

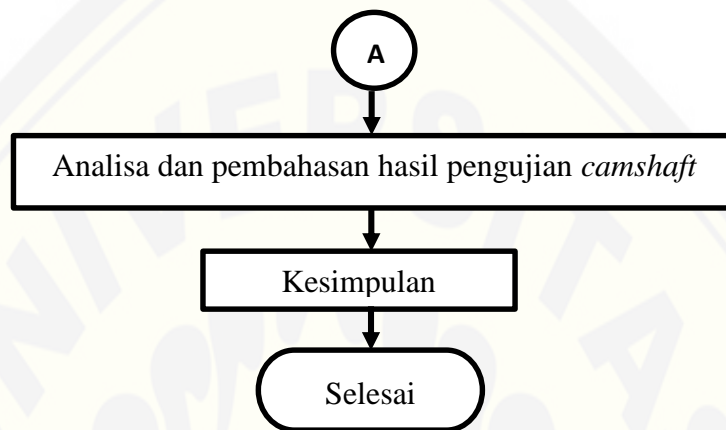
Tabel 3.4 Hasil Perbandingan Model dari Struktural Analisis.

No	Model	Von-Mises Stress (Mpa)	Normal Stress (Mpa)	Von-Mises Strain	Total Deformation (mm)
1	Pc1				
2	Pc2				

3.8 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini untuk memudahkan proses dari awal hingga akhir, maka digunakan diagram alir penelitian seperti pada gambar 3.17 untuk mengetahui proses pengerjaan secara runtut dan jelas.





Gambar 3.17 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada saluran In, *camshaft* standar mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 6,2 Mpa, tegangan normal 1,4 Mpa, regangan $3,8 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00032 mm. Sedangkan *camshaft* variasi mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 8,8 Mpa, tegangan normal 2,7 Mpa, regangan $5,8 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00040 mm. Secara keseluruhan parameter uji saluran In untuk *camshaft* standar mempunyai nilai lebih kecil dibandingkan *camshaft* variasi.
2. Pada saluran Ex, *camshaft* standar mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 7,6 Mpa, tegangan normal 2,4 Mpa, regangan $4,4 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00029 mm. Sedangkan *camshaft* variasi mempunyai nilai tegangan vonmises sebesar 5,2 Mpa, tegangan normal 3,0 Mpa, regangan $3,6 \times 10^{-5}$ mm/mm, dan total deformasi 0,00027 mm. Parameter uji pada saluran In untuk *camshaft* standar mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan *camshaft* variasi kecuali nilai tegangan normal.
3. Dari pengujian yang telah dilakukan bila ditinjau berdasarkan performa suatu kendaraan maka *camshaft* variasi lebih unggul dibandingkan *camshaft* standar. Tetapi dari segi ketahanan untuk meminimalisir suatu keausan maka *camshaft* standar lebih unggul dari pada *camshaft* variasi dengan konsekuensi performa yang lebih kecil.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian dan analisi yang telah dilakukan antara lain:

1. Sebelum melakukan modifikasi atau mengganti *camshaft* pada sistem kendaraan, alangkah baiknya ada pertimbangan dan tujuan dari perubahan tersebut. *Camshaft* pada suatu mesin mempunyai karakter berbeda satu dengan yang

lainnya. Sehingga perubahan bentuk profil *camshaft* tidak dapat secara acak menggunakan variabel-variabel yang mempengaruhinya.

2. Perlu adanya kajian lebih dalam antara bidang konversi energi dan desain mengenai kesetimbangan performa suatu kendaraan dengan masa umur pakai kendaraan agar tidak timbul suatu *camshaft* yang performanya unggul tetapi cepat aus. Sebaliknya, masa umur pakai lebih tahan lama tetapi performa berkurang.



DAFTAR PUSTAKA

- ANSYSInfo. 2013. *ANSYS Mechanical APDL Introductory Tutorial*. U.S.A.
- ASTM. SAE. 2009. *Grey Cast Iron Grade G4000d*. U.S.A
- Arismunandar W. 2002. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Institute Teknologi Bandung. Bandung.
- Burgess and David. 2003. *How To Build, Modify And Power Tune Cylinder Head*. Veloce Publishing PLC. United Kingdom.
- Busche. J., Frederick. 1976. *Principles of Physics*. McGraw-Hill Book Co.
- Drajat Yoyok. 2012. *Pengaruh Variasi Lobe Separation Angle Camshaft Dan Variasi Putaran Mesin Terhadap Daya Pada Sepeda Motor Honda Supra X 125 Tahun 2008*. Universitas Surakarta.
- Farid Ferdiansyah. 2006. *Studi Faktor Gesek Analisa Tegangan Pada Cabang Pipa*. SKRIPSI. Universitas Indonesia.
- Giancoli C. Douglas. 2005. *Principle with Application*. Jakarta. Erlangga
- Hammil, Des. 1998. *How To Choose Camshaft and Time Them For Maximum Power*. Veloce Publishing PLC. United Kingdom.
- Jalius Jama, dkk. 2008. *Teknik Sepeda Motor Jilid 1*. E-book. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Kane J. W. and M.M.Sternheim., 1976. terjemahan P. Silaban, 1991., *Fisika*, edisi ke tiga. AIDAB dan ITB, Bandung
- Krebs Robert E. 1999. *Physics Study Gravity*. Germany.GPG.

Maulana Fatih. 2009. *Motor Bakar*. Universitas Sumatra Utara.

Mukti. 2003. *Load Analysis*. Buku. Jakarta. Wacana Prima.

Nimade A., dkk. 2008. *Analisis Struktural Bahan Poros Penggerak Sepeda Motor*. Journal. Vol 2. Universitas Udayana.

Priyo Andrianto. 2014. *Pengaruh Penggunaan Camshaft Standard dan Camshaft Racing Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin Empat Langkah*. SKRIPSI. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Setijo Muji. 2012. *Teknik Sepeda Motor Lanjut*. Universitas Muhammadiyah Magelang.

Seprianto Dicky. 2011. *Perancangan Alat Blanding (Mixing) Menggunakan Perangkat Lunak CAT Autodesk Inventor Profesional*. Vol. 3, No.1.

Souisa Matheus. 2011. *Analisis Modulud Elastisitas Angka Poisson Bahan Dengan Uji Tarik*. Jurnal Berekeng. Vol. 5, No.2, Hal. 9-14. Ambon: Universitas Patimura.

Syed dan Siraj. 2013. *Design and Analysis Of Rocker Arm*. International Journal. Vol.2 No. 3.

Rainaldo. 2007. *Pemodelan Objek Dua Dimensi Dengan Metode Elemen Hingga Untuk Teknologi Optik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Uma Mahesh, dkk. 2015. *Computational Geometric Modeling and Finite Element Structural Analysis of Automobile Camshaft*. International Journal. Vol.5.

Vivakenandan, P. 2013. *Modelling, Design and Finite Element Analysis of Cam Shaft*. International Journal of Current Engineering and Technology ISSN 2277-4106. Vol.3, No.1. India.

Widiyono, dkk., 2011. *Analisis Tegangan Akibat Pembebanan Statis Pada Desain Car Body Teknologi Rail Bus Dengan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

Yoyok Sudrajat Siswanto. 2012. *Pengaruh Variasi Lobe Separation Angle Camshaft dan Variasi Putaran Mesin Terhadap Daya Pada Seepeda Motor Honda Supra X 125 Tahun 2008*. Journal. Universitas Negeri Surakarta.

Yuntian Zhu. 1988. *Materials Science & Engineering. A, Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing*. International Journal

Warren C. Young and Richard G. Budynas, 2011. *Roark's Formula for Stress and Strain*. McGraw-Hill

Lampiran

A. Pengujian Pegas



A.1 Hasil pengukuran beban pegas katup menggunakan alat ukur timbangan pegas

Bagian Standar In = 42 kg



Bagian Variasi In = 49 kg



Bagian Standar/Variasi Ex = 34 kg



Bagian Pegas ketika dalam posisi bebas = 22 kg



A.2 Hasil pengukuran tinggi bukaan katup menggunakan mistar sorong

Tinggi bukaan katup *camshaft* Standar/Variasi Ex = 6mm



Tinggi bukaan katup *camshaft* Standar In = 6,5 mm



Model alat pengukur beban Pegas



Tinggi bukaan katup *camshaft* Variasi In = 7,5 mm



Lampiran

B. Material *Properties* dan Gambar Teknik
Camshaft



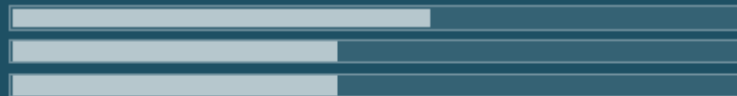
SAE-ASTM Grade G4000d (F10012) Grey Cast Iron

Grade G4000d cast iron is a type of automotive grey cast iron. It is furnished in the as-fabricated (no temper or treatment) condition. F10012 is the UNS number for this material. Additionally, the ASTM designation is ASTM A159 grade 4000d. And the SAE designation is SAE J431 grade 4000d.

The graph bars on the material properties cards below compare grade G4000d cast iron to: cast irons (top), all iron alloys (middle), and the entire database (bottom). The length of each bar shows the given value as a % of the largest value in the relevant set.

Mechanical Properties

Brinell Hardness



280

Elastic (Young's, Tensile) Modulus



180 GPa

26×10^6 psi

Poisson's Ratio



0.29

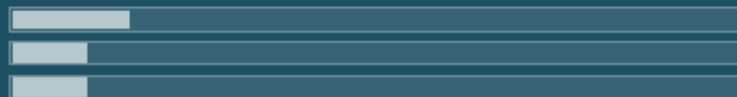
Shear Modulus



70 GPa

10×10^6 psi

Tensile Strength: Ultimate (UTS)



290 MPa

43×10^3 psi

Thermal Properties

Melting Completion (Liquidus)



1390 °C

2530 °F

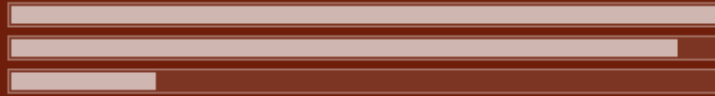
Melting Onset (Solidus)



1350 °C

2460 °F

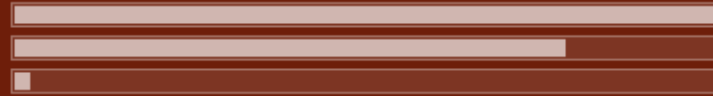
Specific Heat Capacity



490 J/kg-K

0.12 BTU/lb-°F

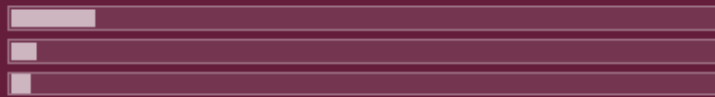
Thermal Expansion



14 μm/m-K

Otherwise Unclassified Properties

Base Metal Price



3.0 % relative

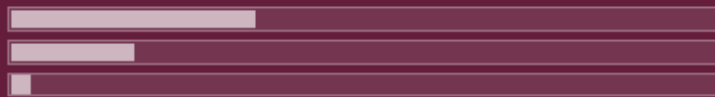
Density



7.5 g/cm³

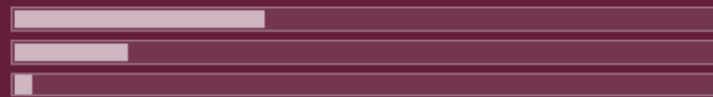
470 lb/ft³

Embodied Carbon



1.7 kg CO₂/kg material

Embodied Energy



24 MJ/kg

10 x 10³ BTU/lb