

TUGAS SARJANA

Optimasi Bentuk Desain Connecting Rod Sepeda Motor 4 Langkah



Diajukan Sebagai Syarat Memperoleh Gelar Kesarjanaan Strata Satu (S-1)

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Diponegoro

Disusun oleh:

YUDHA SETIANUSA

L2E 006 091

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2012

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada :
Nama : Yudha Setianusa
NIM : L2E 006 091
Dosen Pembimbing I : Dr. Achmad Widodo, ST, MT
Dosen Pembimbing II : Dr. Rusnaldy, ST, MT
Judul : Optimasi Bentuk Desain *Connecting Rod* Sepeda Motor
4 Langkah

Isi tugas :

1. Menghitung tegangan von Mises yang terjadi pada *connecting rod* saat beban maksimum.
2. Optimasi bentuk *connecting rod* dengan menggunakan software ANSYS 12.0

Dosen pembimbing I



Dr. Achmad Widodo ST, MT

NIP : 197307021999031001

Semarang, Maret 2012

Dosen pembimbing II



Dr. Rusnaldy, ST, MT

NIP : 197005201999031002

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA : Yudha Setianusa

NIM : L2E 006 091

Tanda Tangan : 

Tanggal : Maret 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skrripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Yudha Setianusa

NIM : L2E 006 091

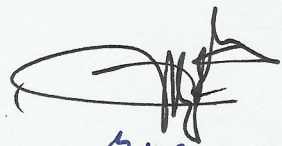
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Optimasi Bentuk Desain *Connecting Rod* Sepeda Motor 4 Langkah

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Achmad Widodo, ST, MT

()

Pembimbing 2 : Dr. Rusnaldy, ST, MT

()

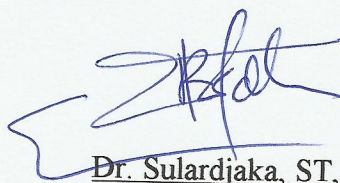
Penguji : Dr. Jamari, ST, MT

()

Semarang, Maret 2011

Jurusan Teknik Mesin

Ketua,



Dr. Sulardjaka, ST, MT

NIP. 197104201998021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yudha Setianusa
NIM : L2E 006 091
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Universitas Diponegoro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Inure Right*) atas karya ilmiah saya dan dosen pembimbing saya yang berjudul :

OPTIMASI BENTUK DESAIN *CONNECTING ROD* SEPEDA MOTOR 4 LANGKAH

Berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama kami sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : Maret 2011

Yang Menyatakan



(Yudha Setianusa)
NIM. L2E 006 091

Persembahkan

Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada :

*Kedua orang tua penulis yang telah memberikan kasih sayang,
dukungan, dan doa tanpa kenal lelah.*

Kakak, adik, serta seluruh keluarga yang telah memberikan semangat

*Seluruh teman-teman teknik mesin angkatan 2006 yang selalu bersama
saat senang dan susah, keep Solidarity Forever*

MOTTO

JADILAH ORANG YANG BERGUNA UNTUK ORANG LAIN

ABSTRAK

Connecting rod merupakan komponen yang penting pada mesin kendaraan bermotor. *Connecting rod* digunakan untuk mengubah gerakan translasi piston menjadi gerakan rotasi *crankshaft*. *Connecting rod* biasanya diproduksi secara massal. Karena itu, optimasi bentuk bertujuan untuk mengurangi massa *connecting rod*, sehingga dapat mengurangi biaya produksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar tegangan maksimum yang bekerja pada *connecting rod*, kemudian bentuk *connecting rod* dioptimasi dengan cara pengurangan massa. Proses optimasi ini, bertujuan untuk menghasilkan *connecting rod* yang ringan dan mempunyai daya tahan tinggi.

Optimasi bentuk *connecting rod* dilakukan dengan menggunakan *software ANSYS 12.0*. Pembebanan yang diberikan pada *connecting rod* diasumsikan sebagai beban tekan pada *pin end* dan beban tekan pada *crank end*. Beban ini masing-masing sebesar 104,85 MPa pada *pin end* dan 46,23 MPa pada *crank end*. Optimasi bentuk dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 10%, 13%, 15%, 18%, dan 20%. Kemudian, analisa tegangan dilakukan pada hasil optimasi bentuk untuk mengetahui *connecting rod* dengan distribusi tegangan yang paling rendah.

Hasil menunjukkan bahwa optimasi bentuk dengan pengurangan massa sebesar 10% memberikan tegangan Von Mises maksimum sebesar 412,7 MPa dan tegangan geser maksimum sebesar 192,7 MPa.

Kata Kunci: *Connecting rod*, Optimasi bentuk, tegangan Von Mises

ABSTRACT

The connecting rod is an important part in a motor vehicle. Connecting rod is used to convert translation motion of piston to rotation motion of crankshaft. Connecting rod are usually manufactured as mass product. Therefore, the connecting rod optimization aims to reduce the mass of connecting rod, so it can reduce production costs. The purpose of this study are to determine the magnitude of maximum stress acting on connecting rod, then the connecting rod's shape was optimized by means of mass reduction. This optimization process is addressed to produce a connecting rod are lightweight and high durability.

The shape optimization is performed using ANSYS 12.0 software. The load acting on the connecting rod are assumed as compressive load on the pin end and compressive load on the crank end. These load are 104.85 MPa at pin end and 46.23 MPa at crank end respectively. The shape optimization is done by mass reduction of 10%, 13%, 15%, 18%, and 20%. Then, the stress analysis was performed on results to determine the connecting rod with lowest stress distribution.

The results show that the shape optimization with 10% mass reduction give the maximum Von Mises stress at 412.7 MPa and the maximum shear stress 192.7 MPa.

Keywords : connecting rod, shape optimization, Von Mises stress

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin. Semoga puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang tiada hentinya mencurahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga dengan segala karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **"Optimasi Bentuk Desain *Connecting Rod* Sepeda Motor 4 Langkah"** ini.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Achmad Widodo, ST, MT dan Bapak Dr. Rusnaldy, ST, MT, selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan masukan-masukan kepada penulis untuk menyusun Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua Bapak Dwi Sutanto dan Ibu Siti Budiayah yang terhormat, serta keluarga di rumah yang slalu mendoakan dan menyemangati penulis.
3. Saudara-saudaraku mahasiswa Jurusan Teknik Mesin angkatan 2006, atas dukungan, kebersamaan serta kisah suka duka selama perkuliahan.
4. Semua pihak yang tak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu demi kelancaran penyelesaian Tugas Akhir ini.

Dengan penuh kerendahan hati, penyusunan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kemajuan penulis untuk masa yang akan datang.

Terakhir, dengan selesainya Tugas Akhir ini berarti selesai pula masa studi penulis di Teknik Mesin UNDIP. Semoga sepenggal episode kehidupan penulis di kampus dapat memberikan manfaat bagi penulis dan juga kepada orang lain dan dapat dijadikan persiapan untuk menjalani penggalan episode kehidupan selanjutnya Amiin..

Semarang, Maret

Penulis

DAFTAR ISI

Babaman Judul	i
Babaman Tugas Akhir	ii
Babaman Pernyataan Orisinalitas	iii
Babaman Pengesahan	iv
Babaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir untuk Kepentingan Akademis	v
Abstrak	viii
Kata Pengantar	x
Daftar isi	xi
Daftar Gambar	xiv
Daftar Tabel	xvii
Wamenklatur	xviii

DAFTAR ISI PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metode Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	3

DAFTAR ISI DASAR TEORI

2.1 <i>Connecting Rod</i>	5
2.1.1 <i>Connecting rod monolitik (Monolithic Connecting Rod)</i>	6
2.1.2 <i>Connecting Rod Rakitan (Assembled Connecting Rod)</i>	6
2.2 <i>Optimasi Bentuk (Shape Optimization)</i>	7
2.2.1 <i>Optimasi Bentuk Dalam Bidang Teknik (Engineering)</i>	8
2.2.2 <i>Optimasi Bentuk Pada Desain Mekanik</i>	9
2.2.3 <i>Pendekatan Pemrograman Matematis</i>	10
2.2.4 <i>Pendekatan Algoritmik (Pendekatan Geometris)</i>	10

2.2.5	Masalah Umum Optimasi	11
2.2.6	Solusi Numerik	14
2.2.7	Metode Optimasi Untuk Sistem Struktural	15
2.3	Optimasi Desain Pada ANSYS	16
2.3.1	Desain Kekuatan Statis Maksimum	16
2.3.2	Desain Volume Minimum	17
2.4	Metode Elemen Hingga	18
2.4.1	Pengertian Metode Elemen Hingga	18
2.4.2	Sejarah Perkembangan Metode Elemen Hingga	19
2.4.3	Langkah-Langkah Umum Metode Elemen Hingga	21
2.4.4	Aplikasi dari Metode Elemen Hingga	25
2.4.5	Keuntungan dari Metode Elemen Hingga	25
2.4.6	Peran Komputer dalam MEH	26
2.5	Elemen <i>Solid 187</i>	26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Proses <i>Optimasi Connecting Rod</i>	28
3.2	Data Analisa	29
3.2.1	Spesifikasi Sepeda Motor	29
3.2.2	Spesifikasi Material Yang Digunakan	30
3.2.3	Data Perhitungan	31
3.3	Perhitungan Gaya	32
3.3.1	Gaya Aksial Pada <i>Connecting Rod</i>	32
3.3.2	Gaya Pada <i>Pin End 1</i> ($\omega = 628,5714 \text{ rad/s}$)	33
3.3.3	Gaya Pada <i>Pin End 2</i> ($\omega = 838,0952 \text{ rad/s}$)	33
3.3.4	Gaya Pada <i>Rod 1</i> ($\omega = 628,5714 \text{ rad/s}$)	34
3.3.5	Gaya Pada <i>Rod 2</i> ($\omega = 838,0952 \text{ rad/s}$)	35
3.3.6	Gaya Inersia Pada <i>Crank End 1</i> ($\omega = 628,5714 \text{ rad/s}$)	35
3.3.7	Gaya Inersia Pada <i>Crank End 2</i> ($\omega = 838,0952 \text{ rad/s}$)	36
3.4	Pemodelan <i>Connecting Rod</i>	37
3.5	Proses Simulasi Dengan <i>Software ANSYS</i>	38

3.5.1	Memasukkan Data Spesifikasi Material (<i>Engineering Data</i>)...	40
3.5.2	Import Geometri Model Dari Solidwork.....	40
3.5.3	Diskritisasi (<i>Meshing</i>)	41
3.5.4	Pemberian Kondisi Batas Dan Beban	42
3.5.5	Hasil Simulasi (Distribusi Tegangan) Pada <i>Connecting Rod</i> ...	44
3.5.6	Optimasi Bentuk	44

BAB IV DATA DAN ANALISIS DATA

4.1	Hasil Analisa Tegangan Pada <i>Connecting Rod</i>	46
4.1.1	Analisa Tegangan Dengan Beban Tekan Pada <i>Pin End</i>	46
4.1.2	Analisa Tegangan Dengan Beban Tekan Pada <i>Crank End</i>	48
4.2	Analisa Tegangan Optimasi	49
4.2.1	Distribusi Tegangan Saat Pembebanan Untuk Proses Optimasi.....	50
4.2.2	Faktor Keamanan Pada <i>Connecting Rod</i> Sebelum Optimasi ...	51
4.2.3	Besar Tegangan Pada Daerah Yang Berpotensi Mempunyai Tegangan Yang Tinggi.....	52
4.3	Hasil Optimasi Bentuk <i>Connecting Rod</i>	54
4.3.1	Optimasi Dengan Pengurangan Massa Sebesar 10%.....	54
4.3.2	Optimasi Dengan Pengurangan Massa Sebesar 13%.....	58
4.3.3	Optimasi Dengan Pengurangan Massa Sebesar 15%.....	61
4.3.4	Optimasi Dengan Pengurangan Massa Sebesar 18%.....	64
4.3.5	Optimasi Dengan Pengurangan Massa Sebesar 20%.....	67
4.4	Model <i>Connecting Rod</i> Lain Sebagai Pembanding.....	71
4.5	Perbandingan Hasil Dengan Beberapa Referensi Optimasi Bentuk <i>Connecting Rod</i>	73

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Connecting Rod</i> Monolitik (<i>Monolithic Connecting Rod</i>), <i>Roller Bearing</i> Dan <i>Crank Pin</i>	5
Gambar 2.2	Penampang Melintang Batang <i>Connecting Rod</i>	6
Gambar 2.3	Bantalan Rol Jarum Pada <i>Big End</i>	6
Gambar 2.4	<i>Assembled Connecting Rod</i>	7
Gambar 2.5	Grafik Dari Domain Layak (<i>Feasible Domain</i>).....	14
Gambar 2.6	Elemen Garis (Elemen 1 Dimensi)	21
Gambar 2.7	Elemen Bidang (Elemen 2 Dimensi)	22
Gambar 2.8	Elemen Volume (Elemen 3 Dimensi)	22
Gambar 2.9	Geometri Elemen Solid 187	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Optimasi <i>Connecting Rod</i>	28
Gambar 3.2	Grafik Tekanan Gas	32
Gambar 3.3	Grafik Besarnya Gaya Pada <i>Pin End</i> Saat $\omega = 628,5714 \text{ rad/s}$	33
Gambar 3.4	Grafik Besarnya Gaya Pada <i>Pin End</i> Saat $\omega = 838,0952 \text{ rad/s}$	34
Gambar 3.5	Grafik Besarnya Gaya Pada <i>Rod</i> Saat $\omega = 628,5714 \text{ rad/s}$	34
Gambar 3.6	Grafik Besarnya Gaya Pada <i>Rod</i> Saat $\omega = 838,0952 \text{ rad/s}$	35
Gambar 3.7	Grafik Besarnya Gaya Inersia Pada <i>Crank End</i> Saat $\omega = 628,5714 \text{ rad/s}$	36
Gambar 3.8	Grafik Besarnya Gaya Inersia Pada <i>Crank End</i> Saat $\omega = 838,0952 \text{ rad/s}$	36
Gambar 3.9	<i>Connecting Rod</i> Yang Digunakan Untuk Optimasi.....	37
Gambar 3.10	Dimensi <i>Connecting Rod</i>	37
Gambar 3.11	Model 3D Dari <i>Connecting Rod</i>	38
Gambar 3.12	Diagram Alir Proses Simulasi Dengan ANSYS.....	39
Gambar 3.13	Tampilan Awal ANSYS Workbench.....	40
Gambar 3.14	Tampilan Menu <i>Engineering Data</i>	40
Gambar 3.15	Model <i>Connecting Rod</i> Yang Telah Diimpor Dari Solidwork.....	41
Gambar 3.16	<i>Meshing</i> Yang Telah Dilakukan Pada Model.....	42
Gambar 3.17	Pemberian Batasan (<i>Constrain</i>) Dan Beban (<i>Loading</i>) Pada Model	43

Gambar 3.18	Lokasi Yang Berpotensi Mempunyai Tegangan Yang Tinggi	44
Gambar 4.1	Tegangan Von Mises Saat Pembebanan Pada <i>Pin End</i> (104,85 MPa) ..	46
Gambar 4.2	Tegangan Geser Saat Pembebanan Pada <i>Pin End</i> (104,85 MPa).....	47
Gambar 4.3	Deformasi Saat Pembebanan Pada <i>Pin End</i> (10,79 MPa).....	47
Gambar 4.4	Tegangan Von Mises Saat Pembebanan Pada <i>Crank End</i> (46,23 MPa) 48	
Gambar 4.5	Tegangan Geser Saat Pembebanan Pada <i>Crank End</i> (46,23 MPa).....	48
Gambar 4.6	Deformasi Saat Pembebanan Pada <i>Crank End</i> (46,23 MPa)	49
Gambar 4.7	Kondisi Pembebanan Saat Proses Optimasi Bentuk.....	50
Gambar 4.8	Tegangan Von Mises Pada Proses Optimasi	50
Gambar 4.9	Tegangan Geser Pada Proses Optimasi.....	51
Gambar 4.10	Faktor Keamanan Pada <i>Connecting Rod</i>	51
Gambar 4.11	Grafik Besarnya Tegangan Beberapa Lokasi Pada <i>Connecting Rod</i>	53
Gambar 4.12	Faktor Keamanan Pada Beberapa Lokasi Pada <i>Connecting Rod</i>	53
Gambar 4.13	Hasil Optimasi 10%	54
Gambar 4.14	Model <i>Connecting Rod</i> Setelah Optimasi 10%	55
Gambar 4.15	Tegangan Von Mises Setelah Optimasi 10%	55
Gambar 4.16	Tegangan Geser Setelah Optimasi 10%	56
Gambar 4.17	Faktor Keamanan Setelah Optimasi 10%.....	57
Gambar 4.18	Hasil Optimasi 13%	58
Gambar 4.19	Model <i>Connecting Rod</i> Setelah Optimasi 13%	58
Gambar 4.20	Tegangan Von Mises Setelah Optimasi 13%	59
Gambar 4.21	Tegangan Geser Setelah Optimasi 13%	60
Gambar 4.22	Faktor Keamanan Setelah Optimasi 13%.....	60
Gambar 4.23	Hasil Optimasi 15%	61
Gambar 4.24	Model <i>Connecting Rod</i> Setelah Optimasi 15%	62
Gambar 4.25	Tegangan Von Mises Setelah Optimasi 15%	62
Gambar 4.26	Tegangan Geser Setelah Optimasi 15%	63
Gambar 4.27	Faktor Keamanan Setelah Optimasi 15%.....	63
Gambar 4.28	Hasil Optimasi 18%	64
Gambar 4.29	Model <i>Connecting Rod</i> Setelah Optimasi 18%	65
Gambar 4.30	Tegangan Von Mises Setelah Optimasi 18%	65

Gambar 4.31	Tegangan Geser Setelah Optimasi 18%	66
Gambar 4.32	Faktor Keamanan Setelah Optimasi 18%.....	67
Gambar 4.33	Hasil Optimasi 20%	68
Gambar 4.34	Model Connecting Rod Setelah Optimasi 20%	68
Gambar 4.35	Tegangan Von Mises Setelah Optimasi 20%	69
Gambar 4.36	Tegangan Geser Setelah Optimasi 20%	70
Gambar 4.37	Faktor Keamanan Setelah Optimasi 20%.....	70
Gambar 4.38	Model <i>Connecting Rod</i> Lain Sebagai Pembanding	71
Gambar 4.39	Tegangan Von Mises Pada Model <i>Connecting Rod</i> Alternatif	72
Gambar 4.40	Tegangan Geser pada Model <i>Connecting Rod</i> Alternatif	72
Gambar 4.41	Faktor Keamanan Pada Model <i>Connecting Rod</i> Alternatif.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi Material <i>Connecting Rod</i>	30
Tabel 3.2	Sifat Mekanis Material <i>Connecting rod</i>	30
Tabel 3.3	Besarnya Beban Pada <i>Connecting Rod</i>	43
Tabel 4.1	Besar Tegangan dan Faktor Keamanan Beberapa Lokasi Pada <i>Connecting Rod</i>	52
Tabel 4.2	Pengurangan Massa Pada Proses Optimasi	54
Tabel 4.3	Jumlah Nodal Yang Mempunyai Tegangan Von Mises Tinggi Pada Optimasi 10%	56
Tabel 4.4	Jumlah Nodal Dengan Faktor Keamanan Kritis Pada Optimasi 10%	57
Tabel 4.5	Jumlah Nodal Yang Mempunyai Tegangan Von Mises Tinggi Pada Optimasi 13%	59
Tabel 4.6	Jumlah Nodal Dengan Faktor Keamanan Kritis Pada Optimasi 13%	61
Tabel 4.7	Jumlah Nodal Yang Mempunyai Tegangan Von Mises Tinggi Pada Optimasi 15%	63
Tabel 4.8	Jumlah Nodal Dengan Faktor Keamanan Kritis Pada Optimasi 15%	64
Tabel 4.9	Jumlah Nodal Yang Mempunyai Tegangan Von Mises Tinggi Pada Optimasi 18%	66
Tabel 4.10	Jumlah Nodal Dengan Faktor Keamanan Kritis Pada Optimasi 18%	67
Tabel 4.11	Jumlah Nodal Yang Mempunyai Tegangan Von Mises Tinggi Pada Optimasi 20%	69
Tabel 4.12	Jumlah Nodal Dengan Faktor Keamanan Kritis Pada Optimasi 20%	71
Tabel 4.13	Perbandingan Hasil Optimasi Dengan Referensi Optimasi Bentuk <i>Connecting Rod</i>	74

NOMENKLATUR

Simbol	Definisi	Satuan
P_g	tekanan gas	(Pa)
P_o	tekanan atmosfer	(Pa)
A_p	massa piston dan pin	(kg)
m_{crp}, m_{crC}	massa connecting rod	(kg)
m_c	massa crank shaft	(kg)
R	jari-jari crankshaft	(m)
ω_1, ω_2	kecepatan putar	(rad/s)
λ	rasio jari-jari crank dengan panjang connecting rod	
r	rasio kompresi	
F	Gaya	(N)
P_c	Beban tekan	(Pa)
r_o	Jari-jari rata-rata	(m)
t	Tinggi connecting rod pada tiap ujung	(m)

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Yamagata, Hiroshi, 2005, "*The Science And Technology Of Materials In Automotive Engines*", Woodhead Publishing, Cambridge.
- [2]. R. A. Seireg and Jorge Rodriguez, 1997, "*Optimizing the Shape of Mechanical Elements and Structure*", Marcel Dekker, Inc., New York.
- [3]. Shenoy, Pravardhan S., 2004, "*Dynamic Load Analysis and Optimization of Connecting Rod*", Master's Thesis, University of Toledo.
- [4]. Asadi, M. R., 2010, "*Optimization of Connecting Rod of MF-285 Tractor*", Journal of Agricultural technology .
- [5]. J. V. Horak, 2008, "*ANSYS Implementation Of Shape Design Optimization Problems*", ANSYS conference.
- [6]. Charkha, Pranav G and Santosh Biju, 2009, "*Analysis & Optimization of Connecting Rod*", ICETET, India.
- [7]. Honda Sales Operation, Technical Service Division, Jakarta.
- [8]. Handayanu, "Pengantar Kuliah Metode Elemen Hingga", Institut Teknologi Surabaya.
- [9]. ANSYS Workbench Tutorial, ANSYS inc.