

PERANCANGAN ULANG GEOMETRI KONSTRUKSI RUANG BAKAR PADA MOTOR BAKAR DPE – SACI 2 LANGKAH UNTUK PENINGKATAN RASIO KOMPRESI DARI 6:1 MENJADI 12:1

Ayi Ruswandi, Dipl. Ing. HTL, MT¹, Intan Putri Nasrani²

(1) Dosen Jur. Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Jl. Kanayakan 21 Bandung 40135

(2) Mahasiswi D4 Polman Bandung Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur Konsentrasi Teknik Rekayasa dan Pengembangan Produk, Email: intannasrani@yahoo.com

Abstrak

Emisi gas buang motor bakar 4 langkah lebih bersih dari pada motor bakar 2 langkah. Alasan ini yang kerap membuat industri meninggalkan motor bakar 2 langkah. Akan tetapi, daya yang dihasilkan motor bakar 2 langkah umumnya lebih besar dari pada motor bakar 4 langkah. Oleh karena itu, Polman Bandung dan PT. Copal Utama Indomelt memiliki keinginan untuk mengembangkan motor bakar 2 langkah sehingga dilakukan proyek penelitian *Pengembangan Mesin Pembakaran Dalam Berbahan Bakar Gas dengan Konfigurasi Pembakaran Berdaya Ganda Melalui Sistem Injeksi Pintar*. Proyek ini merupakan proyek penelitian *multi year* yang berlangsung selama tiga tahun dan sudah dimulai sejak tahun 2014 yang lalu. Produk proyek penelitian tersebut adalah Motor Bakar DPE—SACI (*Double Power Ecological—Spark Assisted Compression Ignition*) 2 Langkah.

Pada tahun kedua ini ada tuntutan baru yang harus dipenuhi yaitu rasio kompresi menjadi 12:1 yang mana semula adalah 6:1. Selain itu, udara yang masuk ke dalam silinder harus beraliran turbulen. Oleh karena itu untuk memenuhi tuntutan di atas maka dilakukan analisa dan optimasi untuk konstruksi ruang bakar dari hasil desain tahun pertama.

Analisa dan optimasi yang dilakukan yaitu menentukan komponen – komponen yang perlu untuk direkonstruksi untuk memenuhi tuntutan, seperti *cylinder*, piston, *cylinder head*, dan lain – lain. Selain itu melakukan analisa terhadap aliran udara yang berasal dari *supercharge* atau *turbocharge*. Dari hasil analisa dan optimasi tersebut didapati parameter baru untuk Motor Bakar DPE – SACI 2 Langkah ini. Dari parameter baru tersebut didapati bahwa dengan tuntutan di atas *thermal efficiency* dan daya meningkat kurang lebih 2 kali lipat.

Kata kunci: Motor Bakar DPE – SACI 2 Langkah, Rasio Kompresi, Turbulen

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Proyek penelitian *Pengembangan Mesin Pembakaran Dalam Berbahan Bakar Gas dengan Konfigurasi Pembakaran Berdaya Ganda melalui Sistem Injeksi Pintar* merupakan *multi year project* yang berlangsung selama 3 tahun dan dimulai sejak tahun 2014 kemarin. Disetiap tahunnya tentu terdapat target – target yang ingin dicapai sebagai berikut [berdasarkan Progress Report Riset Andalan Perguruan Tinggi dan Industri – (RAPID)].

- Tahun pertama (2014): desain dan prototipe dengan model *bench scale* untuk memastikan bahwa konstruksi produk memenuhi konsep desain dengan wujud luarnya berupa prototipe mesin dengan bahan polimer.

- Tahun kedua (2015): realisasi *bench scale* model menjadi *real prototype* (berbahan metal) berupa produk seri nol untuk dilakukan uji performa dengan publikasi ilmiah nasional atau internasional serta pendaftaran drafting paten pada empat klaim kebaruan yang ditargetkan sebagai performa mesin berdaya ganda dengan branding DPE Engine.
- Tahun ketiga (2016): persiapan komersial dimulai dari pengintegrasian realisasi hasil penelitian dalam program pendidikan diploma III, diploma IV, Magister Terapan dan Doktor Teknik serta penyusunan rencana usaha (*business plan*) untuk dijalankan bersama mitra industri.

Pada Tugas Akhir (TA) ini, penulis mengangkat tema dari sisi desain sehingga terlaksana TA yang berjudul *Perancangan Ulang Geometri Konstruksi Ruang Bakar Pada Motor Bakar DPE-SACI 2 Langkah Untuk Peningkatan*

Rasio Kompresi Dari 6:1 Menjadi 12:1. Pada TA ini akan dilakukan proses analisa dan optimasi untuk menyempurnakan hasil desain tahun pertama dan memenuhi beberapa tuntutan baru.

Pada dasarnya hasil akhir proyek penelitian tersebut berupa motor bakar dua langkah dengan kapasitas 1400 CC yang terdiri dari 4 silinder. Namun, untuk keperluan TA maka hanya dilakukan penelitian yang berfokus pada satu silinder saja sehingga dalam proses perhitungan ke depan ditentukan motor bakar dua langkah yang memiliki kapasitas 350 CC .

Pada tahun kedua ini (2015), penelitian tersebut mengalami beberapa perubahan akan tetapi target penelitian tetap sama. Perubahan yang terjadi pada penelitian ini yaitu perubahan bahan bakar dan rasio kompresinya. Semula dari bahan bakar LNG/CNG diubah menjadi campuran bensin dan etanol 20% (E20) dan rasio kompresi yang semula 6:1 menjadi 12:1.

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

- Apa saja dampak dari perubahan rasio kompresi dan bahan bakar terhadap konstruksi Motor Bakar DPE- SACI 2 Langkah hasil desain tahun pertama?
- Bagaimana menghasilkan turbulensi pada ruang pembakaran setelah dilakukan perubahan rasio kompresi?
- Berapa daya starter yang dibutuhkan untuk menggerakkan Motor Bakar DPE-SACI 2 Langkah?

I.3. Manfaat dan Tujuan Penelitian

I.3.1. Manfaat Penelitian

- Menghasilkan desain untuk pembuatan purwarupa dengan material berbahan metal untuk dilakukan uji performa.

I.3.2. Tujuan Penelitian

- Merancang ulang geometri konstruksi ruang bakar hasil desain tahun pertama dengan spesifikasi baru.
- Memastikan terbentuk aliran udara yang turbulen pada

ruang pembakaran agar terjadi pencampuran bahan bakar dan udara yang sempurna (homogen).

- Menentukan daya *starter* yang dibutuhkan untuk menggerakkan Motor Bakar DPE-SACI 2 Langkah.

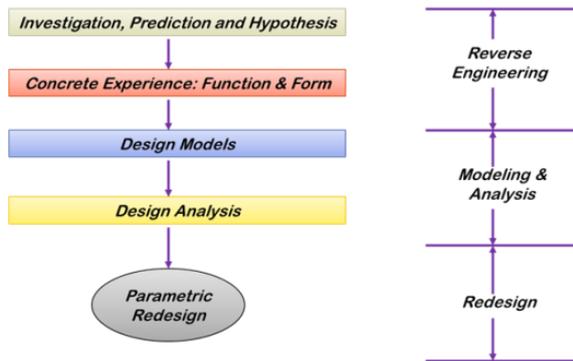
I.4. Pembatasan Masalah

Adapun selama TA berlangsung, permasalahan dibatasi oleh:

- data awal analisa dan desain ulang hasil penelitian RAPID tahun pertama.
 1. Proyek Akhir Sdr. Mohammad Aldi Pratama “ Penggambaran Rancangan Motor Bakar LNG Bagian Atas dengan Metoda Reverse Engineering”
 2. Proyek Akhir Sdr. Fachrizal Muhammad Anhar “Penggamban Rancangan Motor Bakar LNG Bagian Bawah dengan Metoda Reverse Engineering” ;
- fokus penelitian pada bagian ruang pembakaran dari Motor Bakar DPE-SACI 2 Langkah;
- tidak membahas penentuan material dan sensor yang digunakan;
- tidak membahas sistem pelumasan dan pendinginan dari Motor Bakar DPE-SACI 2 Langkah;
- tidak melakukan kontrol kekuatan bahan untuk part – part yang kritis (seperti crankshaft atau connecting rod);
- tidak membahas perhitungan stoikiometri dari bahan bakar dan udara.

I.5. Metodologi Penelitian

Dalam menyelesaikan TA ini, dipilih metode penelitian Reverse Engineering (berdasarkan Product Design- Technics in Reverse Engineering and New Product Development) karena metoda ini dinilai lebih sesuai dan mudah diaplikasikan untuk proses perancangan ulang.



Gambar 1. Metoda Reverse Engineering

II. Perancangan

II.1.1. Investigation, Prediction, and Hypothesis

Pada tahap ini dikumpulkan data – data yang berhubungan dengan Motor Bakar DPE-SACI 2 Langkah. Salah satunya yaitu spesifikasi produk berdasarkan hasil desain tahun pertama.

Parameter	Tahun Pertama
Tipe Mesin	2 langkah, Siklus Otto
Volume Pembakaran (cm ³)	350 cm ³
Rasio Kompresi	6 : 1
Diameter Piston (mm)	75
Stroke (mm)	79.22
Panjang Connecting Rod	150
Putaran Mesin (rpm)	6000
Daya (kW)	52.166
Sistem Pembersih	Turbocharge
Sistem Bahan Bakar	Sistem Injeksi Pintar
Bahan Bakar	Liquid Natural Gas

- **Investigasi** : Dengan dilakukannya perubahan rasio kompresi dari 6:1 menjadi 12:1 dan tuntutan menciptakan aliran udara yang turbulen di dalam silinder maka akan berdampak pada perubahan geometri silinder.
- **Prediksi** : Jika dilakukan perubahan geometri dari silinder maka akan berakibat pada perubahan komponen – komponen lain yang berkaitan dengan silinder.

➤ **Hipotesis**: Rasio kompresi sangat erat hubungannya dengan panas atau thermal. Rasio kompresi yang tinggi akan memudahkan tercapainya temperatur pembakaran yang diperlukan mesin, walau dengan bahan bakar yang lebih sedikit. Kompresi tinggi lebih efisien dalam mencapai energi kalor, atau istilah teknisnya “thermal efficiency”. Jika thermal efficiency dapat terpenuhi maka hal tersebut akan berdampak pada daya yang dihasilkan. Menurut hasil perhitungan engineer, dengan rasio kompresi menjadi 12:1 daya yang dihasilkan akan menjadi 2 kali dari daya

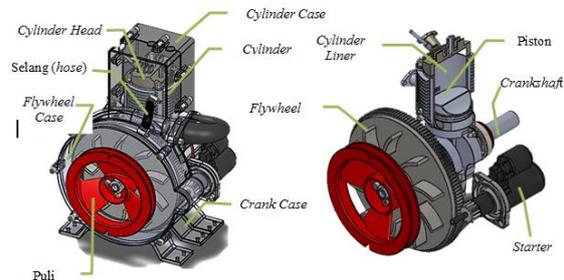
dengan rasio kompresi 6:1.

II.1.2. Concrete Experience: Function & Form

Dalam memenuhi fungsi untuk mencapai rasio kompresi menjadi 12:1 tentu terdapat perubahan dari sisi konstruksi. Perubahan berkaitan dengan tinggi dari silinder karena berhubungan dengan panjang langkah piston.

Selain itu posisi *outlet* harus dipastikan berada di atas *inlet* dengan harapan agar gas hasil pembakaran keluar terlebih dahulu.

Melihat hasil desain tahun pertama didapat bahwa aliran udara berkemungkinan laminar. Dengan kondisi posisi *inlet* yang berada di atas *outlet*, ada kemungkinan udara yang masuk silinder terbawa oleh gerakan piston yang masih bergerak ke bawah sampai lubang *outlet* terbuka. Selain itu desain dari mahkota piston tidak dapat memastikan bahwa udara yang masuk berputar terlebih dahulu di dalam silinder sehingga perlu dilakukan perubahan terhadap konstruksi untuk memastikan aliran dari udara yang masuk menjadi turbulen. Perubahan konstruksi yang dimaksud dapat berupa perubahan pada bagian *inlet* – *outlet* dan pada bentuk kepala piston dan kepala silinder.

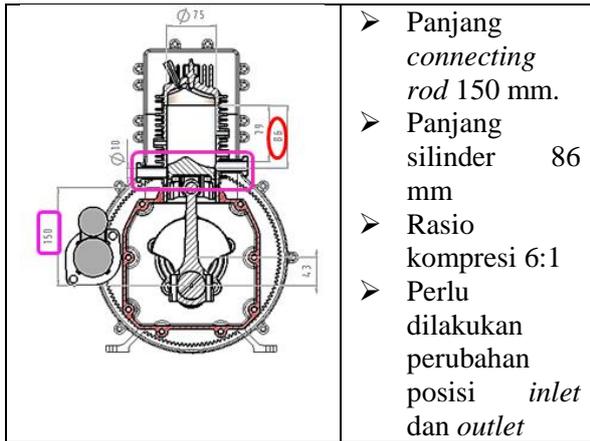


Gambar 2. Hasil desain tahun kedua

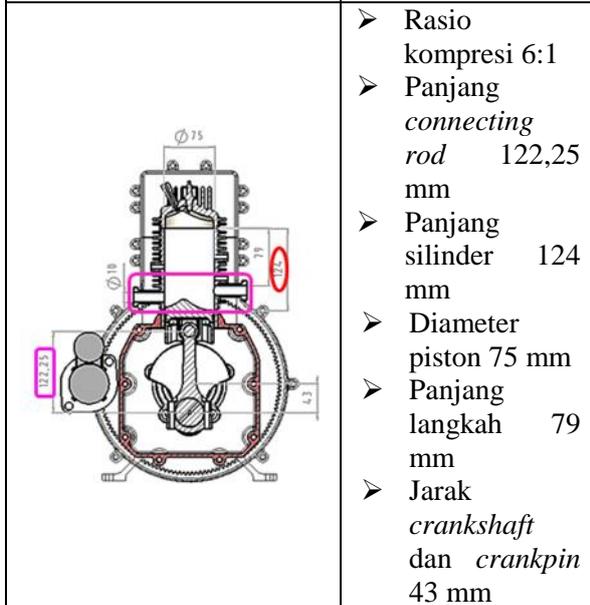
II.2. Design Model

Pada tahap ini, hal – hal yang sudah ditetapkan sebelumnya pada tahap *reverse engineering* direalisasikan dalam bentuk 3D *modeling* dengan menggunakan *software Solidworks 2015*.

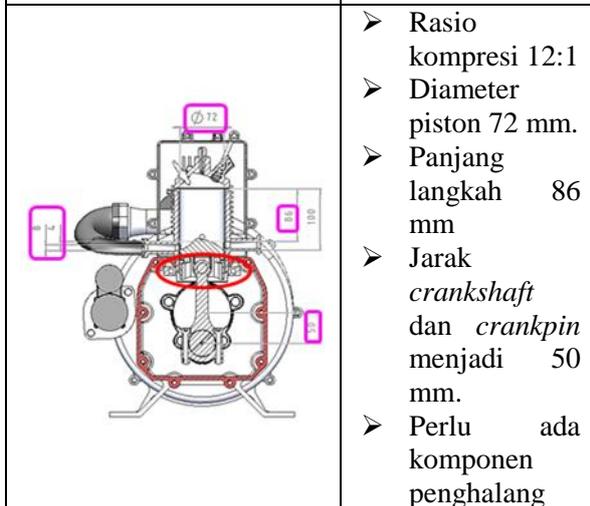
Selama proses desain berlangsung, konstruksi silinder mengalami beberapa kali perubahan.



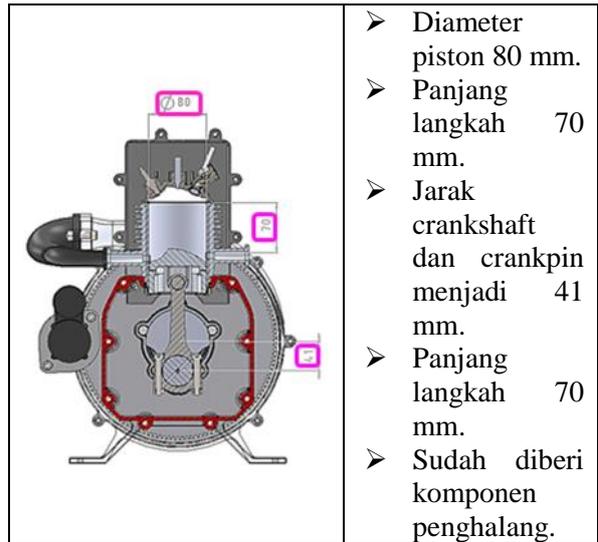
- Panjang *connecting rod* 150 mm.
- Panjang silinder 86 mm
- Rasio kompresi 6:1
- Perlu dilakukan perubahan posisi *inlet* dan *outlet*



- Rasio kompresi 6:1
- Panjang *connecting rod* 122,25 mm
- Panjang silinder 124 mm
- Diameter piston 75 mm
- Panjang langkah 79 mm
- Jarak *crankshaft* dan *crankpin* 43 mm



- Rasio kompresi 12:1
- Diameter piston 72 mm.
- Panjang langkah 86 mm
- Jarak *crankshaft* dan *crankpin* menjadi 50 mm.
- Perlu ada komponen penghalang



- Diameter piston 80 mm.
- Panjang langkah 70 mm.
- Jarak *crankshaft* dan *crankpin* menjadi 41 mm.
- Panjang langkah 70 mm.
- Sudah diberi komponen penghalang.

III. Perhitungan dan Analisa

III.1. Perhitungan

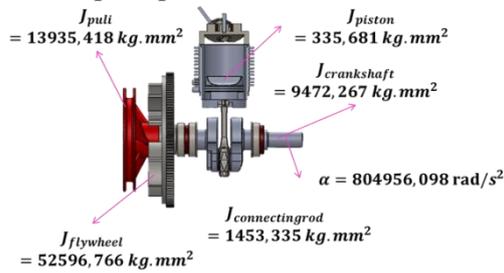
Pada tahap ini dilakukan sejumlah perhitungan dimulai dari perhitungan termodinamika untuk Siklus Otto. Perhitungan ini untuk menemuka besar tekanan akibat pembakaran.

	Tekanan (bar)	Temperatur (K) ³	Keterangan
	$P_1 = 1.013$	$T_1 = 343.15$	Kondisi awal
	$P_2 = 17.651$	$T_2 = 498.151$	Setelah terjadi
	$P_3 = 24.258$	$T_3 = 684.595$	Setelah terjadi
	$P_4 = 16.71$	$T_4 = 471.581$	Kondisi akhir
Kerja Netto Siklus (W _{siklus})	41653.006 J/kg		
Efisiensi Thermal Siklus (η)	31.115 %		
Mean Effective Pressure (MEP)	24.258 bar		sebagai daya indikator

Setelah ditemukan besar tekanan yang terjadi lalu diuraikan menjadi gaya – gaya yang bekerja pada piston, *connecting rod*, dinding silinder, dan *crankshaft*.



Untuk menentukan daya *starter* maka perlu dilakukan perhitungan untuk momen inersia massa dan percepatan sudut.



Gambar 3. Momen inersia massa komponen – komponen penggerak

Dengan menggunakan rumus

$$M = J_{red} \times \alpha$$

Keterangan:

M = momen puntir ($\text{kg.m}^2/\text{s}^2$)

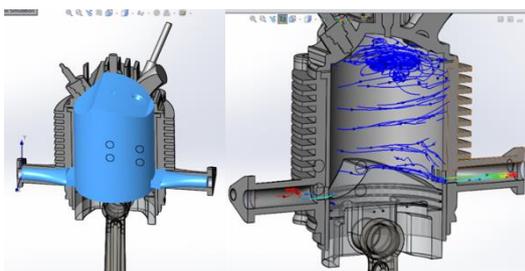
J_{red} = momen inersia massa (gm.mm^2)

α = percepatan sudut (rad/s^2)

diperoleh bahwa daya *starter* yang dibutuhkan yaitu 4,153 kW.

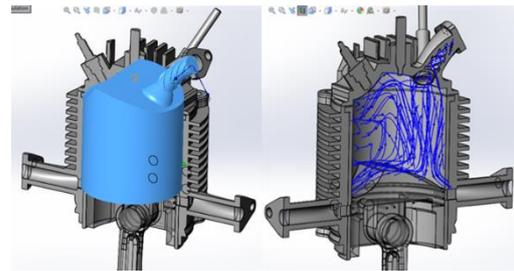
III.2. Analisa

Dalam menganalisa aliran udara yang masuk ke dalam silinder dari *supercharge* dan *turbocharge*, dilakukan analisa menggunakan *tools Flow Simulation* pada *software Solidworks 2015*. Analisa di atas menampilkan aliran udara secara fisik seperti di bawah ini.



Gambar 4. Aliran udara *supercharge*

Udara dari *turbocharge*



Gambar 5. Aliran udara *turbocharge*

Tidak hanya penampakan secara fisik yang membuktikan udara dari *supercharge* maupun *turbocharge* itu turbulen. Melalui analisa yang dilakukan didapati kecepatan udara yang dapat digunakan untuk menghitung Bilangan Reynold. Dari hasil perhitungan didapati Bilangan Reynold untuk udara *supercharge* sebesar 37239.733 dan udara untuk *turbocharge* sebesar 1500.65. Oleh karena Bilangan Reynold udara *supercharge* di atas > 4000 berarti aliran udaranya betul – betul turbulen. Sedangkan untuk udara dari *turbocharge* berada $1000 < x < 4000$ maka dapat dikatakan aliran udaranya semi turbulen.

IV. Penutup

IV.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan ulang konstruksi ruang pembakaran maka dihasilkan parameter baru hasil perancangan ulang dari Motor Bakar DPE- SACI 2 Langkah ini.

Parameter	Tahun Pertama	Tahun Kedua
Tipe Mesin	2-stroke, Siklus Otto	2-stroke, Siklus Otto
Volume Pembakaran (cm^3)	350 cm^3	350 cm^3
Rasio Kompresi	6 : 1	12:1
Diameter Piston (mm)	75	80
Stroke (mm)	79,22	70
Panjang Connecting Rod(mm)	150	122,25
Putaran Mesin (rpm)	6000	950 (6000)
Daya (kW)	52,166	107,734
Efisiensi Thermal	23.568 %	31.115 %
Scavenging System	Turbocharge	Turbocharge
Sistem Bahan Bakar	Smart Injection	Smart Injection
Bahan Bakar	Liquid Natural Gas	Bensin + Etanol 20%

Pada motor bakar bensin dan diesel, bahan bakar dan udara harus dicampur dengan benar untuk mendapatkan pembakaran yang efisien. Bahan bakar berupa partikel partikel kecil yang disemprotkan ke dalam silinder setelah udara dikompresi, sehingga pencampuran terjadi di dalam silinder. Setiap partikel bahan bakar dikelilingi oleh udara yang cukup untuk

membakar. Udara dalam ruang pembakaran harus bergerak. Pergerakan udara tersebut disebut turbulen.

Motor bakar ini mampu menciptakan turbulensi yang terbukti dari hasil analisis menggunakan *Flow Simulation Solidworks*. Pembuktian tidak hanya berupa tampilan secara fisik tapi diperkuat dengan Bilangan Reynoldnya. Menurut aturan Bilangan Reynold untuk udara *turbocharge* tergolong semi turbulen dan udara dari *supercharge* tergolong turbulen.

Motor Bakar DPE-SACI 2 Langkah ini dapat berfungsi dengan menggunakan penggerak *starter* berdaya 4,153 kW. Salah satu *starter* yang dapat diusulkan yaitu *starter* Bosch CM368027 dengan daya 4 kW; 10 V; dengan jumlah gigi pinion 10.

Daftar Pustaka

- [1] Arismunandar, Wiranto. 2005. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak Edisi Kelima*. Bandung: Penerbit ITB.
- [2] Böge, Alfred dan Wolfgang Böge. 2015. *Handbuch Maschinenbau , Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau – Technik*. Jerman: Springer
- [5] Jennings, Gordon. 2007. *Two-Stroke TUNER'S HANDBOOK*. - : H.P. Books
- [6] Miller, John M. 2010. *Propulsion Systems for Hybrid Vehicles 2nd Edition*. London: The Institution of Engineering and Technology
- [7] Moran, Michael J. , dkk. 2011. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics Seventh Edition*. US: John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Muhs, Dieter. dan Herbert Wittel, dkk. 2007. *Rollof/Matek Maschinenelemente*. Wiesbaden: Vieweg
- [9] Otto, Kevin N. 2001. *Product Design – Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*. New Jersey: Prentice Hall
- [10] Sigh, Onkar. 2009. *Applied Thermodynamics – Third Edition*. New Delhi: New age International