UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN PERNYATAAN iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR LAMPIRAN xvii
DAFTAR SIMBOL DAN NOTASI xviii
INTISARI xxix

BAB I PENDAHULUAN
1.1. Latar Belakang Masalah 1
1.2. Rumusan Masalah 3
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah 3
1.4. Tujuan Perancangan 4
1.5. Manfaat Perancangan 4

BAB II LANDASAN TEORI
2.1. Pengenalan Mesin Pembakaran Dalam 5
2.2. Klasifikasi Mesin Pembakaran Dalam 5
2.3. Siklus Kerja Mesin dengan Torak 7
2.4. Penentuan Jenis Motor 12
2.5. Sistem Pembilasan 12
2.6. Sistem Pendinginan 16

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.7. Sistem Injeksi Bahan Bakar 19
2.8. Injeksi Bahan Bakar pada Mesin Bensin 19
2.8.1. Injeksi Tak Langsung (*Indirect Injection*) 19
2.8.2. Injeksi Semi Langsung (*Semi-Direct Injection*) 20
2.8.3. Injeksi Langsung (*Direct Injection*) 20

BAB III PERHITUNGAN DASAR
3.1. Geometri Utama Motor 21
3.2. Volume Langkah Torak 21
3.3. Perbandingan Kompresi Geometri dan Aktual 23
3.4. Panjang Batang Penghubung dan Jari-Jari Engkol 24
3.5. Jarak Sumbu Engkol dengan Pena Torak 25
3.6. Kondisi Awal Siklus Kerja 25
3.6.1. Campuran Udara – Bahan Bakar 26
3.6.2. Keadaan Awal 30
3.7. Analisis Siklus Motor Dua Langkah 31
3.7.1. Pengisian 31
3.7.2. Kompresi 34
3.7.3. Pembakaran 35
3.7.4. Ekspansi 45

BAB IV TORAK DAN PERLENGKAPANNYA
4.1. Torak 54
4.1.1. Konstruksi dan Dimensi 54
4.1.2. Pemilihan Bahan Torak 57
4.1.3. Analisis Kekuatan Torak 58
4.2. Cincin Torak 61
4.2.1. Pemilihan Bahan Cincin Torak 62
4.2.2. Konstruksi dan Dimensi Cincin Torak 62
4.2.3. Analisis Kekuatan Cincin Torak 65
4.2.3.1. Kekuatan cincin torak terhadap tegangan akibat sliding 65
4.2.3.2. Tekanan cincin pada dinding silinder 65

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2.3.3. Tegangan yang terjadi pada cincin torak 66
4.3. Alur Cincin Torak 67
4.4. Pena Torak 68
4.2.1. Pemilihan Bahan Pena Torak 68
4.2.2. Dimensi Pena Torak 69
4.5. Bantalan Pena Torak 70
4.6. Analisis Tegangan Pena Torak 70
4.7. Perancangan Pengunci Pena Torak 73

BAB V SILINDER DAN KEPALA SILINDER

5.1. Bahan Silinder 75
5.2. Dimensi Silinder 75
5.2.1. Dimensi Utama Silinder 75
5.2.2. Tebal Dinding Silinder 75
5.2.3. Tinggi Silinder 76
5.3. Perancangan Liner 76
5.3.1. Diameter Dalam Liner 76
5.3.2. Tebal Liner 76
5.3.3. Tebal Dinding Saluran Air (*Water Jacket Wall*) 76
5.3.4. Lebar Saluran Air 77
5.3.5. Diameter Luar Silinder Total 77
5.4. Konstruksi Silinder 77
5.4.1. Diagram Pembukaan dan Penutupan Lubang (*Port* Diagram) 77
5.4.2. Lubang Pembuangan dan Lubang Pembilasan 78
5.5. Analisis Kekuatan Blok Silinder 83
5.5.1. Tegangan Tangensial Akibat Tekanan Gas dalam Silinder 83
5.5.2. Tegangan pada *Liner* 84
5.6. Kepala Silinder 87
5.5.1. Pemilihan Bahan Kepala Silinder 87
5.5.2. Konstruksi dan Dimensi Kepala Silinder 87
5.5.3. Tegangan pada Kepala Silinder 90

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.7. Baut Pengikat Kepala Silinder 90
5.7.1. Pemilihan Bahan baut Pengikat Kepala Silinder 91
5.7.2. Ukuran Baut 91
5.7.3. Tegangan pada Baut Silinder 92

BAB VI BATANG PENGHUBUNG

6.1. Bagian Batang Penghubung 93
6.2. Pemilihan Bahan Batang Penghubung 94
6.3. Perencanaan Ujung Kecil Batang Penghubung 94
6.3.1. Pemilihan Bantalan Ujung Kecil 94
6.3.2. Ukuran Ujung Kecil Batang Penghubung 95
6.3.3. Analisis Kekuatan Ujung Kecil Batang Penghubung 96
6.4. Tangkai Batang Penghubung 98
6.4.1. Ukuran Tangkai Batang Penghubung 98
6.4.2. Analisis Tegangan Tangkai Batang Penghubung 99
6.5. Perencanaan Ujung Kecil Batang Penghubung 101
6.5.1. Pemilihan Bantalan Ujung Besar 102
6.5.2. Ukuran Ujung Besar Batang Penghubung 103
6.5.3. Analisis Tegangan Ujung Besar Batang Penghubung 103

BAB VII POROS ENGKOL

7.1. Pemilihan Bahan Poros Engkol 107
7.2. Dimensi Poros Engkol 108
7.3. Analisis Kekuatan Poros Engkol 109
7.3.1. Poros Engkol Saat Momen Lengkung Maksimal 111
7.3.2. Poros Engkol Saat Momen Puntir Maksimal 115
7.4. Pengimbangan Poros Engkol 129

BAB VIII RIM RODA GILA

8.1. Fungsi Rim Roda Gila 132
8.2. Efek Roda Gila 133
8.3. Ukuran Rim Roda Gila 134

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB IX BANTALAN 136

BAB X SISTEM PENGAPIAN 139

BAB XI SISTEM PEMASUKAN BAHAN BAKAR DAN UDARA

11.1. Pemasukan Bahan Bakar 143

11.2. Bahan Injektor 144

11.3. Ukuran Utama Injektor 144

11.3.1. Diameter dan Langkah *Plunger* 144

11.3.2. Katup Injektor 146

11.3.3. Diameter *Spray Tip* atau *Nozzle* Injektor 146

11.4. Pemilihan Injektor 147

11.5. Pemasukan Udara 148

BAB XII SISTEM PENDINGINAN

12.1. Bagan Sistem Pendinginan 151

12.2. Kerugian Panas (*Heat Loss*) 152

12.3. Radiator 153

12.4. Pompa Sirkulasi Air 157

12.5. Thermostat 159

BAB XIII SISTEM PELUMASAN

13.1. Fungsi Pelumasan 160

13.2. Macam Sistem Pelumasan 161

13.3. Pompa Pelumas 162

13.4. Prinsip Kerja Pompa Plunyer 163

13.5. Kapasitas Pompa Plunyer 164

BAB IV PENUTUP

14.1. Kesimpulan 166

14.2. Saran 167

DAFTAR PUSTAKA 168

LAMPIRAN 169

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Geometri Ruang Bakar Mesin Pembakaran Dalam dengan Torak	8
Gambar 2.2	Siklus Empat Langkah	9
Gambar 2.3	Siklus Dua Langkah	11
Gambar 2.4a	Sistem Pembilasan Putar Sederhana	15
Gambar 2.4b	Sistem Pembilasan Putar Celah Berlawanan dengan *Supercharger*	15
Gambar 2.4c	Sistem Pembilasan Putar Penuh	15
Gambar 2.4d	Sistem Pembilasan Searah dengan Katup	16
Gambar 2.4e	Sistem Pembilasan Searah tanpa Katup	16
Gambar 2.5	Sistem Pendingin pada Mesin Pembakaran Dalam	18
Gambar 3.1	Geometri Utama Motor Bakar	21
Gambar 3.2	Diagram Siklus Dua Langkah	31
Gambar 3.3	Grafik Putaran vs Efisiensi Mekanis	53
Gambar 4.1	Parameter Perencanaan Torak	55
Gambar 4.2	Gaya Tekan pada Mahkota Torak	58
Gambar 4.3	Distribusi Temperatur Torak	61
Gambar 4.4	Penampang Cincin Kompresi	63
Gambar 4.5	Kerja Cincin Kompresi *Counterbored*	63
Gambar 4.6	Cincin Torak	64
Gambar 4.7	Alur Cincin Torak	67
Gambar 4.8	Pena Torak Terapung Penuh	68
Gambar 4.9	Rancangan Pena Torak Terapung Penuh	69
Gambar 4.10	Gaya Tekan pada Pena Torak	71
Gambar 5.1	Jenis Liner	74
Gambar 5.2	Timing Diagram Lubang Pembilasan dan Pembuangan	78
Gambar 5.3	Ruang Bakar Bentuk Hemispherical	88
Gambar 5.4	Model Matematika Untuk Menghitung Volume Ruang Bakar	88

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 6.1	Batang Penghubung	93
Gambar 6.2	Ujung Kecil Batang Penghubung	95
Gambar 6.3	Penampang Tangkai Batang Penghubung	98
Gambar 6.4	Penampang Terkecil Batang Penghubung	99
Gambar 7.1	Perencanaan Poros Engkol	105
Gambar 7.2	Diagram Gaya Poros Engkol Saat Momen Lengkung Maksimal	111
Gambar 7.3	Diagram Gaya Momen Puntir Maksimal	116
Gambar 7.4	Sudut Engkol Saat Poros Engkol Menerima Momen Puntir	116
Gambar 7.5	Perubahan Volume Silinder terhadap Perubahan Sudut Engkol	120
Gambar 7.6	Gaya Pada Beban Pengimbang	129
Gambar 8.1	Penampang Rim Roda Gila	134
Gambar 10.1	Sistem Pengapian *Battery*	140
Gambar 10.2	Sistem Pengapian Magnet	140
Gambar 10.3	Sistem Pengapian CDI	142
Gambar 11.1	Bagian-Bagian Utama Unit Injektor	143
Gambar 11.2	Grafik Koefisien Aliran dan Perbedaan Tekanan *Manifold*-Udara Luar	149
Gambar 12.1	Bagan Sistem Radiator	152
Gambar 12.2	Parameter Perencanaan Radiator	154
Gambar 12.3	Pompa Radiator	157
Gambar 12.4	Thermostat	159
Gambar 13.1	Pompa Plunyer	163

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi Elementer Bensin	26
Tabel 3.2	Parameter Proses Kompresi	35
Tabel 3.3	Panas Jenis Rata-Rata Gas pada Volume Konstan (kJ/kmol ^{o}C)	41
Tabel 3.4	Energi Dalam Gas Hasil Pembakaran (MJ/kmol)	44
Tabel 3.5	Parameter Proses Ekspansi	45
Tabel 3.6	Koefisien A dan B untuk Berbagai Tipe Mesin	47
Tabel 3.7	Data Hasil Perhitungan Parameter Motor Bakar Sistem Karburator	51
Tabel 3.8	Data Hasil Perhitungan Parameter Motor Bakar Sistem Injeksi	52
Tabel 4.1	Dimensi Relatif Perencanaan Torak	55
Tabel 4.2	Dimensi Cincin Torak	64
Tabel 4.3	Dimensi Relatif Pena Torak	69
Tabel 4.4	Bantalan Jarum K 15X18X17 TN	70
Tabel 5.1	Batasan Sudut Pembukaan Lubang	79
Tabel 5.2	Luas Lubang Pembilasan dan Pembuangan	80
Tabel 6.1	Bantalan Jarum K 18X22X17	102
Tabel 7.1	Perubahan P_z Akibat Perubahan Volume Silinder	121
Tabel 7.2	Gaya Aksi pada Berbagai Variasi θ	122
Tabel 7.3	Gaya Reaksi Bantalan 1 dan 2 pada Berbagai Variasi θ	123
Tabel 7.4	Analisis Kekuatan Pena Engkol pada Berbagai Variasi θ	124
Tabel 7.5	Analisis Kekuatan Poros Utama Roda Gila pada Berbagai Variasi θ	125
Tabel 7.6	Analisis Kekuatan Poros Utama Roda Penggerak Pompa Pelumas pada Berbagai Variasi θ	126
Tabel 7.7	Analisis Kekuatan Pipi Engkol Arah Radial, Tangensial, Tegangan Tekan Langsung dan Tegangan Total yang	

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

	Diterima Penampang Pipi Engkol pada Berbagai Variasi θ	127
Tabel 7.8	Momen Puntir Poros Ujung Pipi Engkol, Tegangan Geser Poros Ujung Pipi Engkol, dan Jumlah Total Tegangan yang Diterima Pipi Engkol pada Berbagai Variasi θ	128
Tabel 9.1	Dimensi Bantalan Bola SKF 6005	137

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Karakteristik Minyak Pelumas
Lampiran 2. Tabel Sifat Mekanis Material Standar JIS G 3210
Lampiran 3. Tabel Sifat Mekanis Material Standar JIS G 3221
Lampiran 4. Tabel Sifat Mekanis Material Standar JIS G 4051
Lampiran 5. Tabel Sifat Mekanis Material Standar JIS G 4102
Lampiran 6. Tabel Sifat Mekanis Material Standar JIS G 4105
Lampiran 7. Tabel Sifat Mekanis Material Standar JIS G 5502
Lampiran 8. Tabel Sifat Mekanis Material Standar JIS H 5113

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR SIMBOL DAN NOTASI

a	=	panjang jari-jari engkol	m
a_{act}	=	jumlah udara aktual yang berperan dalam pembakaran	kg
A_{act}	=	jumlah udara aktual yang berperan dalam pembakaran	kmol
A_{cr}	=	luas penampang batang penghubung	m^2
A_{cwt}	=	luas area beban pengimbang	m^2
A_d	=	luas penampang *manifold*	m^2
A_f	=	luas permukaan radiator	m^2
a_{th}	=	kebutuhan udara teoritis dalam pembakaran	kg
A_{th}	=	kebutuhan udara teoritis dalam pembakaran	kmol
A_{ex}	=	luas lubang pembuangan	m^2
a_p	=	penampang melintang *plunger*	m^2
a_s	=	area *nozzle*	m^2
A_{sc}	=	luas lubang pembilasan	m^2
a_t	=	lebar pipa radiator	m
A_{tot}	=	luas permukaan total bidang pendinginan radiator	m^2
a_1	=	celah radial antara diameter dalam alur terhadap cincin torak	m
b	=	tebal dinding silinder	m
B	=	diameter solinder	m
bmep	=	tekanan efektif rata-rata	Pa
b_b	=	jarak antara *boss*	m
b_{ex}	=	lebar lubang pembuangan	m
b_{pr}	=	lebar cincin torak	m
b_{sc}	=	lebar lubang pembilasan	m
b_t	=	tebal pipa radiator	m
b_w	=	lebar pipi engkol	m
b_1	=	kedalaman alur cincin	m

Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

b_2	=	tebal dinding saluran air	m
b’	=	tebal liner	m
C_h	=	koefisien perpindahan panas radiator	$W/m^2\ ^oC$
C_v	=	panas jenis campuran	kJ/kmol ^oC
$(C_v)_i$	=	panas jenis masing-masing produk pembakaran	kJ/kmol ^oC
C_v”	=	panas jenis total komponen hasil pembakaran	kJ/kmol ^oC
c_p	=	perbandingan langkah dan diameter *plunger*	
c_{max}	=	kecepatan maksimum *plunger*	m/s
c_w	=	jarak antara bantalan ujung besar batang penghubung dengan pipi engkol	m
C_w	=	panas jenis air	J/kg ^oC
c_{wj}	=	lebar saluran air	m
D	=	diameter torak	m
d_{bi}	=	diameter dalam ujung besar batang penghubung	m
d_{bo}	=	diameter luar ujung besar batang penghubung	m
$d_{cp\ i}$	=	diameter dalam pena engkol	m
$d_{cp\ o}$	=	diameter luar pena engkol	m
d_d	=	diameter minimal *manifold*	m
D_{ir}	=	diameter cincin torak saat terpasang	m
d_n	=	diameter *nozzle*	m
D_o	=	diameter luar silinder	m
d_p	=	diameter *plunger*	m
D_{pg}	=	diameter dalam alur torak	m
d_p	=	diameter *plunger*	m
$d_{pp.i}$	=	diameter dalam pena torak	m
$d_{pp.o}$	=	diameter luar pena torak	m
d_{rim}	=	diameter roda gila	m
d_s	=	diameter poros utama pada ujung roda gila	m
d_{si}	=	diameter dalam ujung kecil batang penghubung	m
d_{so}	=	diameter luar ujung kecil batang penghubung	m
d_{sp}	=	diameter poros utama pada ujung pipi engkol	m

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

d_{sw}	=	diameter pipa isap radiator	m
E	=	modulus elastisitas	Pa
F_{cr}	=	gaya tekan tangkai batang penghubung	kg
f_h	=	faktor umur bantalan	
F_d	=	gaya pengetatan baut pengikat	N
F_i	=	gaya inersia	N
f_n	=	faktor kecepatan bantalan	
F_p	=	tegangan cincin torak akibat *sliding*	kg/mm^2
F_q	=	gaya akibat gas pembakaran yang diteruskan oleh batang penghubung ke poros engkol	N
F_t	=	gaya tangensial	N
F_r	=	gaya radial	N
F_z	=	gaya tekan gas pembakaran	N
g	=	percepatan gravitasi	m/s^2
G_a	=	jumlah kebutuhan udara pada saluran *manifold* tiap detiknya	kg/s
g_i	=	konsumsi bahan bakar spesifik indikator	kg/kW jam
G_1	=	massa campuran udara-bahan bakar total kg	kg
h	=	*top land* torak	m
H	=	tinggi torak	m
h_{cr}	=	tebal mahkota torak	m
H_{cyl}	=	tinggi silinder	m
H_i	=	nilai kalor pembakaran	kJ/kg
h_{max}	=	panjang langkah total efektif *plunger*	m
h_{sc}	=	tinggi lubang pembilasan	m
h_{ex}	=	tinggi lubang pembuangan	m
h_1	=	tinggi *first land* torak	m
H_1	=	tinggi sumbu pena torak	m
H_2	=	tinggi *skirt* torak	m
K	=	perbandingan jumlah mol hidrogen dan karbon dioksida	

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

k_{1ex}	=	koefisien tinggi lubang pembuangan	
k_{1sc}	=	koefisien tinggi lubang pembilasan	
k_{2sc}	=	koefisien lebar lubang pembilasan	
k_{2ex}	=	koefisien lebar lubang pembuangan	
l	=	panjang batang penghubung	m
L	=	panjang langkah torak	m
l_{cp}	=	panjang pena engkol	m
$l_{cp.b}$	=	panjang pena engkol di dalam bantalan ujung besar batang penghubung	m
L_h	=	umur bantalan	juta putaran
l_{pp}	=	panjang pena torak	m
l_{rad}	=	kedalaman radiator	m
l_s	=	panjang lengan poros	m
M_b	=	momen lengkung pada mahkota torak	N.m
M_{cp}	=	momen lengkung pena engkol	N.m
m_{cp}	=	massa pena engkol	kg
m_{cwt}	=	massa beban pengimbang	kg
m_{fw}	=	massa roda gila	kg
m_p	=	massa torak	kg
M_{pp}	=	momen lengkung pena torak	N.m
m_{pr}	=	koefisien ketergantungan dari cara pemasangan cincin ke alur torak	
m_{rod}	=	massa batang penghubung	kg
$m_{rod.cp}$	=	massa batang penghubung pada axis pena engkol	kg
$m_{rod.pp}$	=	massa batang penghubung pada axis pena torak	kg
M_R	=	momen lengkung radial	N.m
M_{s1}	=	momen lengkung poros utama roda gila	N.m
M_{s2}	=	momen lengkung poros utama roda penggerak pompa	N.m
M_T	=	momen lengkung tangensial pipi engkol	N.m
M_w	=	momen lengkung pipi engkol	N.m

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

M_1	=	campuran udara-bahan bakar untuk pembakaran 1 kg bahan bakar	kmol
M_2	=	jumlah produk pembakaran	kmol
n	=	bilangan natural perpindahan kalor	
N	=	kecepatan putar poros engkol	rpm
N_b	=	daya efektif mesin	kW
N_i	=	daya indikator mesin	kW
N_{mech}	=	rugi daya mekanis	kW
n_2	=	rata-rata koefisien politropik	
P	=	beban equivalen dinamis	N
P_a	=	tekanan akhir proses pengisian	Pa
P_b	=	tekanan proses ekspansi	Pa
P_{com}	=	tekanan akhir kompresi	Pa
P_i	=	tekanan indikator rata-rata siklus aktual	Pa
$P_{i.d}$	=	tekanan indikator rata-rata siklus	Pa
P_{in}	=	tekanan udara masuk ruang engkol	Pa
P_{mech}	=	tekanan mekanis	Pa
P_o	=	tekanan udara atmosfer	Pa
P_{pr}	=	tekanan cincin torak pada dinding silinder	Pa
P_{res}	=	tekanan gas sisa pembakaran	^oC
P_{se}	=	tekanan pada ujung kecil batang penghubung	Pa
P_z	=	tekanan aktual akhir pembakaran	Pa
$P_{z_{th}}$	=	tekanan teoritis akhir pembakaran	Pa
p_2	=	tegangan yang terjadi antara *liner* dengan badan silinder	Pa
p_2'	=	tekanan dinding luar silinder akibat tekanan dari dalam silinder	Pa
q	=	tekanan akibat pemasangan *liner*	Pa
q_b	=	beban kondisional permukaan dudukan piston	N
Q_{max}	=	jumlah maksimum bahan bakar tiap detik	mm^3/s

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Q_{rad}	=	panas yang diterima radiator	W
q_{rod}	=	beban kondisional permukaan bantalan (*bearing*) di ujung kecil batang penghubung	N
q_w	=	kerugian panas	
Q_w	=	jumlah panas yang diserap air pendingin	W
R	=	perbandingan panjang batang penghubung dan jari-jari engkol	
r_{cwt}	=	jarak pusat gravitasi beban pengimbang dengan sumbu poros	m
r_i	=	volume relatif gas hasil pembakaran	
R_{rim}	=	jari-jari roda gila	m
s	=	jarak sumbu engkol dengan penat torak	m
sfc	=	konsumsi bahan bakar spesifik efektif	kg/kW jam
$\bar{S}_p$	=	kecepatan rata-rata torak	m/s
S_{pr}	=	lebar celah (*gap*) cincin torak saat tidak terpasang	m
S'_{pr}	=	lebar celah (*gap*) cincin torak saat terpasang	m
T_a	=	temperatur akhir proses pengisian	^oC
$t_{a.in}$	=	temperatur udara masuk radiator	^oC
$t_{a.m}$	=	temperatur rata-rata udara	^oC
$t_{a.out}$	=	temperatur udara keluar radiator	^oC
t_b	=	tebal sirip radiator	m
T_b	=	temperatur proses ekspansi	^oC
t_{bb}	=	jarak antar sirip radiator	m
t_{be}	=	tebal ujung besar batang penghubung	m
T_{com}	=	temperatur akhir kompresi	^oC
T_{cp}	=	momen puntir pena engkol	N
t_{cwt}	=	tebal beban pengimbang	m
t_d	=	jarak ketinggian antar pipa radiator	m
T_e	=	momen equivalen pena engkol	N
t_f	=	jarak antar pipa radiator	m

Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$t_{h.wj}$	=	tebal saluran air kepala silinder	m
T_{in}	=	temperatur udara masuk ruang engkol	^oC
T_{max}	=	torsi maksimum	N.m
T_o	=	temperatur udara atmosfer	^oC
t_{pr}	=	tebal cincin torak	m
T_{s1}	=	momen puntir pada poros utama roda gila	N
T_{s2}	=	momen puntir pada poros utama roda penggerak pompa	N
t_{se}	=	tebal ujung kecil batang penghubung	m
T_{res}	=	temperatur gas sisa pembakaran	^oC
t_t	=	tebal dinding pipa radiator	m
t_w	=	tebal pipi engkol	m
$t_{w.in}$	=	temperatur air masuk radiator	^oC
$t_{w.m}$	=	temperatur rata-rata air pendingin	^oC
$t_{w.out}$	=	temperatur air keluar radiator	^oC
T_θ	=	momen puntir poros utama ujung pipi engkol	m
T_z	=	temperatur akhir pembakaran	^oC
U_c	=	energi dalam 1 kmol campuran bahan bakar – udara segar pada akhir kompresi	kJ/kmol
$U"_c$	=	energi dalam dari produk pembakaran di akhir langkah kompresi	kJ/kmol
$U"_z$	=	energi dalam pada akhir proses pembakaran	kJ/kmol
V_b	=	jumlah bahan bakar yang dibutuhkan tiap siklus	m^3
V_c	=	volume minimal silinder	m^3
v_d	=	kecepatan aliran di penampang minimal *manifold*	m/s
V_d	=	volume langkah torak	m^3
V_p	=	volume kerja *plunger*	m^3
V_r	=	volume radiator	m^3
v_w	=	kecepatan aliran pada sisi isap pompa radiator	m/s
V_w	=	kapasitas pompa radiator	m^3/jam
W_{cp}	=	modulus penampang pena engkol	mm^3

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

W_p	=	modulus penampang mahkota torak	mm^3
W_{pp}	=	modulus penampang pena torak	mm^3
w_s	=	kecepatan ijin bahan bakar	m/s
W_s	=	modulus penampang poros utama roda gila karena momen lengkung	mm^3
W_w	=	modulus penampang pipi engkol karena momen lengkung	mm^3
W_1	=	berat roda gila	N
W_2	=	berat roda penggerak minyak pelumas	N
Z	=	modulus penampang karena momen puntir	m^3
Z_p	=	modulus penampang polar	m^3
α	=	koefisien udara	
α_{te}	=	koefisien thermal expansion	
β	=	sudut antara batang penghubung dengan sumbu gerak torak	^{o}
θ	=	sudut poros engkol	^{o}
ε	=	perbandingan kompresi geometri	
ε'	=	perbandingan kompresi aktual	
$(\Delta H_l)_{chem}$	=	kerugian kalor akibat pembakaran tak sempurna	kJ/kg
Δe	=	konstanta tenaga lebih roda gila	
ΔE	=	tenaga lebih roda gila	N.m
ΔM	=	perubahan jumlah ol sebelum dan sesudah pembakaran	kmol
ΔT	=	kenaikan temperatur karena pemanasan dinding silinder	^oC
Δt_a	=	selisih temperatur udara masuk dan keluar radiator	^oC
Δt_w	=	selisih temperatur air masuk dan keluar radiator	^oC
$\Delta t_{w.a}$	=	perbedaan antara temperatur rata-rata air dan udara rata-rata yang melewati radiator	^oC
ΔV_1	=	volume penambahan bahan bakar	m^3
Δp_d	=	perbedaan tekanan di penampang terkecil *manifold* dan udara luar	Pa

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$\sigma_{b.p}$	=	tegangan lengkung pada mahkota torak akibat momen lengkung	Pa
$\sigma_{b.cp}$	=	tegangan lengkung pena engkol	Pa
$\sigma'_{b.ex}$	=	tegangan pada permukaan luar ujung kecil besar penghubung	Pa
$\sigma'_{b.in}$	=	tegangan pada permukaan dalam ujung besar batang penghubung	Pa
$\sigma_{b.s1}$	=	tegangan lengkung pada poros utama roda gila akibat momen lengkung	Pa
$\sigma_{b.s2}$	=	tegangan lengkung pada poros utama roda penggerak pompa akibat momen lengkung	Pa
σ_{bR}	=	tegangan lengkung radial pipi engkol	Pa
σ_{bT}	=	tegangan lengkung tangensial pipi engkol	Pa
$\sigma_{b.w}$	=	tegangan lengkung pipi engkol akibat momen lengkung	Pa
σ_c	=	tegangan total ujung pipi engkol	Pa
σ_{ch}	=	tegangan pada kepala silinder	Pa
σ_{cr}	=	tegangan pada tangkai batang penghubung	Pa
σ_{cyl}	=	tegangan pada dinding silinder	Pa
$\sigma_{cyl.in}$	=	tegangan di dalam badan silinder	Pa
$(\sigma_c)_{max}$	=	tegangan total pipi engkol	Pa
σ_d	=	*direct compression* pipi engkol akibat momen puntir	Pa
σ_{Fd}	=	tegangan akibat gaya pengetatan baut pengikat	Pa
σ_l	=	tegangan di dalam *liner*	Pa
σ_p	=	tegangan total pada mahkota torak	Pa
σ_{pp}	=	tegangan lengkung pena torak	Pa
σ_{pr}	=	tegangan pada cincin torak	Pa
$\sigma_{pr.max}$	=	tegangan maksimum pada cincin torak	Pa
$\sigma'_{s.ex}$	=	tegangan pada permukaan luar ujung kecil batang penghubung	Pa
$\sigma'_{s.in}$	=	tegangan pada permukaan dalam ujung kecil batang	Pa

Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

		penghubung	
σ_{tg}	=	tegangan tangensial pada *liner* akibat tekanan udara di dalam silinder	Pa
$\sigma_{t.p}$	=	tegangan lengkung pada mahkota torak akibat perbedaan temperatur luar dan dalam mahkota torak	Pa
$\sigma_{c.w}$	=	*direct compression* pipi engkol akibat momen lengkung	Pa
ρ_{bb}	=	massa jenis bahan bakar	kg/m^3
ρ_o	=	massa jenis udara	kg/m^3
ρ_w	=	massa jenis air	kg/m^3
η_{ch}	=	efisiensi pengisian	
η'_{ch}	=	efisiensi pengisian aktual	
η_{fp}	=	koefisien aliran bahan bakar karena rugi-rugi hidrolis pompa	
η_{mech}	=	efisiensi mekanik	
τ_{cp}	=	tegangan equivalen pena engkol	Pa
τ_{pp}	=	tegangan geser pena torak	Pa
τ_{s1}	=	tegangan equivalen poros utama roda gila	Pa
τ_{s2}	=	tegangan equivalen poros utama roda penggerak pompa	Pa
τ_{sw}	=	tegangan geser poros utama ujung pipi engkol	Pa
μ	=	koefisien perubahan jumlah mol aktual	kmol
μ_d	=	koefisien aliran *manifold*	
μ_f	=	massa molekul rata-rata	kmol
μ_{th}	=	koefisien perubahan jumlah mol teoritis	
ω	=	kecepatan sudut	rad/s
ψ_{sc}	=	bagian volume yang hilang selama pembilasan	
γ_{res}	=	koefisien gas residu	
ξ_z	=	koefisien pemanfaatan kalor	
λ	=	perbandingan tekanan toritis akhir proses pembakaran dengan tekanan akhir kompresi	

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN MOTOR BENSIN DUA LANGKAH 150 CC SISTEM INJEKSI LANGSUNG
Firman nasarudin Fata, Ir. Purnomo, MSMC., Ph.D
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

φ	=	koefisien penurunan tekanan	
φ_i	=	koefisien pembulatan	
φ_s	=	koefisien kontraksi aliran bahan bakar pada *nozzle*	
φ_{rad}	=	koefisien volumetris *compactnes*	m^{-1}