UNIVERSITAS
GADJAH MADA

BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
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/SKRIPSI iv

HALAMAN PENGESAHAN HASIL UJIAN PENDADARAN v

HALAMAN PERSEMBAHAN vi

INTISARI vii

KATA PENGANTAR viii

DAFTAR ISI x

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR TABEL xviii

DAFTAR NOTASI xx

BAB I PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang 1

1. 2. Perumusan Masalah 2

1. 3. Pembatasan Masalah 2

1. 4. Tujuan Penelitian 3

1. 5. Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Kinematika Mekanisme *Slider-Crank* 4

2. 1. 1. Gaya Inersia Bolak-balik 5

2. 1. 2. Gaya Inersia Rotasi 6

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. 2. Metode Tradisional untuk Penggantian Massa dari *Connecting Rod* 7

2. 3. Metode Baru Menganalisa Massa Variabel dari *Connecting Rod* 7

2. 4. Rancangan Mekanisme Keseimbangan 13

2. 4. 1. Rancangan Beban Penyeimbang Poros Engkol 13

2. 4. 2. Rancangan Poros Penyeimbang Utama 15

2. 5. Kesimpulan 16

BAB III LANDASAN TEORI

3. 1. Pendahuluan 18

3. 1. 1. Material Poros 19

3. 1. 2. Poros Engkol 21

3. 2. Kinematika Mekanisme *Slider-Crank* 23

3. 3. Keseimbangan Rotor 28

3. 3. 1. Keseimbangan Statis 31

3. 3. 2. Keseimbangan Dinamis 32

3. 4. Penyeimbangan Poros Engkol Silinder Tunggal 36

3. 4. 1. Penyeimbangan Massa Rotasi tunggal 36

3. 4. 2. Penyeimbangan Massa Bolak-balik pada Satu Bidang 39

3. 5. Getaran pada Poros 51

3. 5. 1. Massa Bergetar di suatu Bidang Horisontal 51

3. 5. 2. Massa bergetar di suatu Bidang Vertikal 56

3. 6. Pusaran pada Poros 58

3. 7. Efek Gesekan terhadap Kecepatan Kritis 62

3. 8. Kecepatan Pusaran Poros sama dengan Frekuensi Natural Osilasi 67

3. 9. Ketidak Seimbangan Tersisa yang Diizinkan 70

3. 9. 1. Standar Keseimbangan menurut ISO 70

3. 9. 2. Perbandingan diantara standar yang berlaku 80

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3. 10. Parameter dari Konsep Dasar Getaran 83
3. 10. 1. Parameter Fenomena Getaran Umum 84
3. 10. 2. Instrumen Pengukuran Parameter Dasar Getaran 91
3. 11. Mesin-mesin Penyeimbang Poros Engkol Dalam Industri 95

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4. 1. Objek dan Lokasi penelitian 97
4. 2. Peralatan Penelitian yang Digunakan 97
4. 3. Sumber Data Penelitian 99
4. 4. Tahapan Pelaksanaan Penelitian 101
4. 4. 1. Metode Pelaksanaan Penelitian 101
4. 4. 2. Tahapan Penelitian 103
4. 4. 3. Kendala dalam Penelitian 107

BAB V PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

5. 1. Parameter Dasar dari Data 109
5. 2. Konversi Parameter Dasar Getaran 113
5. 3. Data Getaran yang Diperoleh 116
5. 3. 1. Kondisi awal 118
5. 3. 2. Pengurangan massa tahap pertama 121
5. 3. 3. Pengurangan massa tahap kedua 124
5. 3. 4. Pengurangan massa tahap ketiga 126
5. 3. 5. Pengurangan massa tahap keempat 127
5. 3. 6. Pengurangan massa tahap kelima 131
5. 3. 7. Pengurangan massa tahap keenam 134
5. 4. Pembahasan Data yang diperoleh 141

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5. 4. 1. Ketidak seimbangan tersisa yang diizinkan 141

5. 4. 2. Parameter kondisi kritis 149

5. 4. 3. Analisa data sebagai suatu gerak harmonik sederhana 153

5. 5. Aplikasi Parameter hasil Simulasi CAD 164

BAB VI PENUTUP

6. 1. Kesimpulan 176

6. 2. Saran 177

DAFTAR PUSTAKA 179

LAMPIRAN 181

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.1. Mekanisme *slider-crank* poros engkol 5

Gambar 2.3.1. Model dinamika *multibody* 9

Gambar 2.3.2. Gaya inersia pada *connecting rod* 10

Gambar 2.3.3. Padanan massa bolak-balik dan rotasi dari *connecting rod* 12

Gambar 2.4.1. Model analisa elemen hingga (*finite-element analysis*, FEA) 13

Gambar 2.4.2. Beban pada bantalan utama 14

Gambar 3.1.1. Komponen pada mesin piston DOHC siklus 4-langkah 21

Gambar 3.1.2. Contoh geometri poros engkol 23

Gambar 3.2.1. Mekanisme *slider-crank* 23

Gambar 3.3.1. Peta ketidak seimbangan gaya sentrifugal 29

Gambar 3.3.2. Pengujian kondisi keseimbangan statis rotor 32

Gambar 3.3.3. Pengujian keseimbangan dinamis rotor 33

Gambar 3.4.1. Penyeimbangan sebuah massa berputar 37

Gambar 3.4.2. Suatu sistem dua massa yang memberikan sebuah kopel 38

Gambar 3.4.3. Berat *connecting rod* digantikan dua berat terkonsentrasi 41

Gambar 3.4.4. Harga dan arah gaya inersia dari connecting rod 42

Gambar 3.4.5. Gaya inersia *connecting rod* digantikan dua berat terkonsentrasi 47

Gambar 3.4.6. Diagram polar gaya kocok 47

Gambar 3.4.7. Bobot penyeimbang yang memberikan keseimbangan parsial 48

Gambar 3.4.8. Penyeimbangan mesin satu silinder dengan satu bobot putar 51

Gambar 3.5.1. Sistem getaran massa horisontal 52

Gambar 3.5.2. Sistem getaran massa vertikal 56

Gambar 3.6.1. Pusaran pada poros akibat lendutan 59

Gambar 3.6.2. Kurva kecepatan kritis 60

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 3.7.1. Pengaruh gaya gesek pada putaran poros 64
Gambar 3.7.2. Pengaruh gesekan terhadap kecepatan kritis 66
Gambar 3.8.1. Analisa getaran linier terhadap kecepatan kritis 68
Gambar 3.9.1. Ketidak seimbangan maksimum tersisa yang diizinkan 75
Gambar 3.9.2. Konfigurasi rotor simetris 77
Gambar 3.9.3. Konfigurasi "rotor dekat" 78
Gambar 3.9.4. Konfigurasi rotor tergantung 79
Gambar 3.9.5. Derivasi kopel-statis 80
Gambar 3.9.6. Perbandingan toleransi API, ISO, dan MIL-STD-167-1 81
Gambar 3.10.1. Konsep gelombang sinusoidal 84
Gambar 3.10.2. Gerak harmonik sederhana dalam diagram lingkaran 89
Gambar 3.10.3. Prinsip kerja akselerometer tipe *piezoelectric* 92
Gambar 3.10.4. Contoh desain secara umum akselerometer tipe *piezoelectri*c 92
Gambar 3.10.5. Desain akselerometer *piezoelectric* konfigurasi delta shear® 93
Gambar 3.11.1 Contoh mesin penyeimbang poros engkol dalam industri 95
Gambar 4.3.1. Susunan alat peraga proses penyeimbangan poros engkol 99
Gambar 4.3.2. Skema rangkaian peralatan pengambilan data 100
Gambar 4.4.1. Diagram alir proses penyeimbangan poros engkol 104
Gambar 4.4.1. Diagram alir proses penyeimbangan poros engkol (lanjutan) 105
Gambar 4.4.2. Rencana pola pengurangan massa 106
Gambar 5.1.1. Metode sederhana mencari lokasi titik berat 110
Gambar 5.2.2. Spesifikasi teknis amplifier 115
Gambar 5.3.1a.Simulasi kondisi awal poros engkol 119
Gambar 5.3.1b. Kondisi riil awal poros engkol 119
Gambar 5.3.1c. Pemetaan pola pengurangan massa 120
Gambar 5.3.1d. Referensi titik berat awal poros engkol 120
Gambar 5.3.2a. Simulasi pengurangan massa tahap pertama 122

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.3.2b. Pengurangan massa tahap pertama 122
Gambar 5.3.2c. Referensi titik berat pengurangan massa tahap pertama 123
Gambar 5.3.3a. simulasi pengurangan massa tahap kedua 124
Gambar 5.3.3b. Pengurangan massa tahap kedua 125
Gambar 5.3.3c. Referensi titik berat pengurangan massa tahap kedua 125
Gambar 5.3.4a. Simulasi pengurangan massa tahap ketiga 127
Gambar 5.3.4b. Pengurangan massa tahap ketiga 127
Gambar 5.3.4c. Referensi titik berat pengurangan mass tahap ketiga 128
Gambar 5.3.5a. Simulasi pengurangan massa tahap keempat 129
Gambar 5.3.5b. Pengurangan massa tahap keempat 130
Gambar 5.3.5c. Referensi titik berat pengurangan massa tahap keempat 130
Gambar 5.3.6a. Simulasi pengurangan massa tahap kelima 132
Gambar 5.3.6b. Pengurangan massa tahap kelima 132
Gambar 5.3.6c. Referensi titik berat pengurangan massa tahap kelima 133
Gambar 5.3.7a. Simulasi pengurangan massa tahap keenam 134
Gambar 5.3.7b. Pengurangan massa tahap keenam 135
Gambar 5.3.7c. Referensi pengurangan massa tahap keenam 135
Gambar 5.3.8. Rerata dari nilai rata-rata amplitudo titik A 138
Gambar 5.3.9. Rerata dari nilai rata-rata amplitudo titik B 139
Gambar 5.3.10. Perbandingan rerata kondisi amplitudo titik A dan B 140
Gambar 5.4.1. Menentukan e_{per} berdasarkan grafik 144
Gambar 5.4.2. Asumsi model poros engkol 149
Gambar 5.4.3. Proyeksi gerak harmonik sederhana sebagai lingkaran 155
Gambar 5.4.4. Perbandingan rata-rata simpangan di titik A dan B 161
Gambar 5.4.5. Perbandingan rata-rata kecepatan linier di titik A dan B 162
Gambar 5.4.6. Perbandingan rata-rata percepatan linier di titik A dan B 163
Gambar 5.5.1. Grafik perbandingan massa riil dan simulasi 165

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.5.2. Grafik hubungan titik berat simulasi dan yang diizinkan 167

Gambar 5.5.3. gaya sentrifugal dan gaya sentrifugal yang diizinkan 173

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.3.1. Parameter mesin 8

Tabel 2.4.1. Nilai rata-rata beban pada bantalan utama 1 14

Tabel 2.4.2. Properti massa dari beberapa komponen (dalam gram) 16

Tabel 3.3.1. Mesin Horizontal dan Eksiter Vertikal 34

Tabel 3.3.1. Mesin Horizontal dan Eksiter Vertikal (lanjutan) 35

Tabel 3.3.2. Mesin Vertikal (kecuali eksiter vertical) 35

Tabel 3.9.1. Kualitas keseimbangan untuk rotor kaku berdasarkan ISO 1940/1 73

Tabel 3.9.2. Contoh kasus gaya sentrifugal dari beban statis jurnal 82

Tabel 3.10.1. Perbandingan ekivalensi frekuensi-periode 87

Tabel 5.2.1. Spesifikasi teknis accelerometer 4370 114

Tabel 5.3.1. Data kondisi awal (dalam satuan Volt) 121

Tabel 5.3.2. Data pengurangan massa tahap pertama (dalam satuan Volt) 123

Tabel 5.3.3. Data pengurangan massa tahap kedua (dalam satuan Volt) 126

Tabel 5.3.4. Pengurangan massa tahap ketiga (dalam satuan Volt) 128

Tabel 5.3.5. Pengurangan massa tahap keempat (dalam satuan Volt) 131

Tabel 5.3.6. Pengurangan massa tahap kelima (dalam satuan Volt) 133

Tabel 5.3.7. Pengurangan massa tahap keenam (dalam satuan Volt) 136

Tabel 5.3.8. Referensi simulasi lokasi titik berat 137

Tabel 5.3.9. Rerata dari nilai rata-rata dari puncak amplitudo 138

Tabel 5.4.1. Parameter ketidak seimbangan maksimal yang diizinkan 148

Tabel 5.4.2. Parameter kondisi kritis poros engkol 153

Tabel 5.4.3. Hubungan simpangan-kecepatan-percepatan, m = 1705 g 157

Tabel 5.4.4. Hubungan simpangan-kecepatan-percepatan, m = 1695 g 158

Tabel 5.4.5. Hubungan simpangan-kecepatan-percepatan, m = 1670 g 158

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.4.6. Hubungan simpangan-kecepatan-percepatan, m = 1640 g 159

Tabel 5.4.7. Hubungan simpangan-kecepatan-percepatan, m = 1615 g 159

Tabel 5.4.8. Hubungan simpangan-kecepatan-percepatan, m = 1560 g 160

Tabel 5.4.9. Hubungan simpangan-kecepatan-percepatan, m = 1515 g 160

Tabel 5.5.1 Perbandingan massa riil dan simulasi 164

Tabel 5.5.2. Simulasi hubungan titik berat dan massa 166

Tabel 5.5.3. Perbandingan gaya sentrifugal vs gaya sentrifugal yang diizinkan 172

UNIVERSITAS
GADJAH MADA

BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI

Notasi Abjad Latin

a	: percepatan linier putaran poros engkol pada suatu sudut θ (m/s^2)
a_N	: percepatan linier maksimum gerakan putaran poros engkol (m/s^2)
C	: konstanta redaman (N·s/m, atau kg/s)
D	: simpangan posisi poros engkol (mm)
E	: modulus Young (baja = 200 Gpa)
e_{per}	: jarak titik berat poros dari sumbu putar poros engkol yang diizinkan (μm)
F	: gaya inersia, atau "gaya sentrifugal" putaran poros engkol (N)
F_{per}	: gaya inersia putaran poros engkol yang diizinkan (N)
f	: frekuensi putaran poros engkol (Hz)
f_1	: gaya inersia dari massa yang terkonsentrasi pada *crank pin* (N)
f_1x	: komponen horisontal gaya inersia dari massa yang terkonsentrasi pada *crank pin* (N)
f_1y	: komponen vertikal gaya inersia dari massa yang terkonsentrasi pada *crank pin* (N)
f_2	: gaya inersia dari massa yang terkonsentrasi pada *piston pin* (N)
f_n	: frekuensi natural, atau frekuensi kritis poros engkol (Hz)
f_x	: komponen horisontal gaya inersia *connecting rod* (N)
f_y	: komponen vertikal gaya inersia *connecting rod* (N)
G	: kualitas keseimbangan menurut ISO 1940-1 (mm/s)
g	: percepatan gravitasi bumi (9,8 m/s^2)
h_c	: jarak titik berat dari "ujung besar" *connecting rod* (mm)
h_p	: jarak titik berat dari "ujung kecil" *connecting rod* (mm)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I	: momen inersia terhadap sumbu lentur (kg·m²)
k	: laju, atau konstanta, atau kekakuan pegas (N/cm)
L	: panjang *connecting rod* (mm)
m	: massa poros (g)
m_{rod}	: massa connecting rod (g)
m_c	: massa connecting rod yang mengikuti gerakan putaran poros engkol (g)
m_p	: massa connecting rod yang mengikuti gerak piston (g)
N	: frekuensi putaran poros engkol (rpm)
N_n	: frekuensi natural, atau frekuensi kritis poros engkol (rpm)
P	: beban akibat berat piringan rotor (N)
R	: radius putaran dari pusat *crank pin*, atau radius putaran sistem poros engkol (mm)
r	: jarak titik berat poros engkol dari sumbu putar poros engkol (mm)
t	: waktu (s)
U	: harga ketidak seimbangan (g·mm)
U_{per}	: harga ketidak seimbangan yang diizinkan (g·mm)
V	: kecepatan linier maksimum putaran poros engkol (m/s)
v	: kecepatan linier putaran poros pada suatu sudut θ(m/s)
W	: berat *connecting rod* (N)
W_c	: berat poros engkol (N)
W_c’	: berat *connecting rod* yang terkonsentrasi pada *crank pin* (N)
W_c’’	: berat poros engkol, bila titik beratnya tepat di *crank pin* (N)
W_p	: berat *piston* (N)
W_p’	: berat *connecting rod* yang terkonsentrasi pada *piston* (N)
x	: simpangan maksimum poros engkol saat berputar (mm)
x_{st}	: lendutan statis poros engkol (cm)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
BALANCING POROS ENGKOL SEPEDA MOTOR
Fahmi Ananda Taufan, Ir. Teguh Pudji Purwanto, MT
Universitas Gadjah Mada, 2011 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Notasi Abjad Yunani

α (alfa) : percepatan sudut putaran poros engkol (rad/s^2)

Δ (delta) : perubahan harga

ζ (zeta) : faktor redaman getaran

η (eta) : faktor gesekan, bilangan tak berdimensi (= 2ζ)

θ (teta) : sudut engkol terhadap sumbu khayal horisontal, atau sudut fase getaran (°)

λ (lamda) : panjang satu gelombang (mm)

τ (tau) : perioda, waktu untuk menyelesaikan satu gelombang (s)

φ (fi) : sudut posisi *connecting rod* terhadap sumbu jalur bolak-balik *piston* (°)

ω (omega) : kecepatan sudut putaran poros engkol (rad/s)