

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 <i>Slider-Crank</i>	4
2. 1. 1. Gaya Inersia Bolak-balik	5
2. 1. 2. Gaya Inersia Rotasi	6

2. 2. Metode Tradisional untuk Penggantian Massa dari <i>Connecting Rod</i>	7
2. 3. Metode Baru Menganalisa Massa Variabel dari <i>Connecting Rod</i>	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 <i>Slider-Crank</i>	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

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

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
-----------------	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.1. Mekanisme <i>slider-crank</i> poros engkol	5
Gambar 2.3.1. Model dinamika <i>multibody</i>	9
Gambar 2.3.2. Gaya inersia pada <i>connecting rod</i>	10
Gambar 2.3.3. Padanan massa bolak-balik dan rotasi dari <i>connecting rod</i>	12
Gambar 2.4.1. Model analisa elemen hingga (<i>finite-element analysis</i> , 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 <i>slider-crank</i>	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 <i>connecting rod</i> digantikan dua berat terkonsentrasi	41
Gambar 3.4.4. Harga dan arah gaya inersia dari <i>connecting rod</i>	42
Gambar 3.4.5. Gaya inersia <i>connecting rod</i> 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

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 <i>piezoelectric</i>	92
Gambar 3.10.4. Contoh desain secara umum akselerometer tipe <i>piezoelectric</i>	92
Gambar 3.10.5. Desain akselerometer <i>piezoelectric</i> 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

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

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

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 vertikal)	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, $m = 1705 \text{ g}$	157
Tabel 5.4.4. Hubungan simpangan-kecepatan-percepatan, $m = 1695 \text{ g}$	158
Tabel 5.4.5. Hubungan simpangan-kecepatan-percepatan, $m = 1670 \text{ g}$	158

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

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 ($\text{N}\cdot\text{s/m}$, 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 <i>crank pin</i> (N)
f_{1x}	: komponen horisontal gaya inersia dari massa yang terkonsentrasi pada <i>crank pin</i> (N)
f_{1y}	: komponen vertikal gaya inersia dari massa yang terkonsentrasi pada <i>crank pin</i> (N)
f_2	: gaya inersia dari massa yang terkonsentrasi pada <i>piston pin</i> (N)
f_n	: frekuensi natural, atau frekuensi kritis poros engkol (Hz)
f_x	: komponen horisontal gaya inersia <i>connecting rod</i> (N)
f_y	: komponen vertikal gaya inersia <i>connecting rod</i> (N)
G	: kualitas keseimbangan menurut ISO 1940-1 (mm/s)
g	: percepatan gravitasi bumi ($9,8 \text{ m/s}^2$)
h_c	: jarak titik berat dari “ujung besar” <i>connecting rod</i> (mm)
h_p	: jarak titik berat dari “ujung kecil” <i>connecting rod</i> (mm)

I	: momen inersia terhadap sumbu lentur ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
k	: laju, atau konstanta, atau kekakuan pegas (N/cm)
L	: panjang <i>connecting rod</i> (mm)
m	: massa poros (g)
m_{rod}	: massa <i>connecting rod</i> (g)
m_c	: massa <i>connecting rod</i> yang mengikuti gerakan putaran poros engkol (g)
m_p	: massa <i>connecting rod</i> 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 <i>crank pin</i> , 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 ($\text{g}\cdot\text{mm}$)
U_{per}	: harga ketidak seimbangan yang diizinkan ($\text{g}\cdot\text{mm}$)
V	: kecepatan linier maksimum putaran poros engkol (m/s)
v	: kecepatan linier putaran poros pada suatu sudut θ (m/s)
W	: berat <i>connecting rod</i> (N)
W_c	: berat poros engkol (N)
W_c'	: berat <i>connecting rod</i> yang terkonsentrasi pada <i>crank pin</i> (N)
W_c''	: berat poros engkol, bila titik beratnya tepat di <i>crank pin</i> (N)
W_p	: berat <i>piston</i> (N)
W_p'	: berat <i>connecting rod</i> yang terkonsentrasi pada <i>piston</i> (N)
x	: simpangan maksimum poros engkol saat berputar (mm)
x_{st}	: lendutan statis poros engkol (cm)

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 ($= 2\zeta$)
θ (teta)	: sudut engkol terhadap sumbu khayal horisontal, atau sudut fase getaran ($^\circ$)
λ (lamda)	: panjang satu gelombang (mm)
τ (tau)	: perioda, waktu untuk menyelesaikan satu gelombang (s)
ϕ (fi)	: sudut posisi <i>connecting rod</i> terhadap sumbu jalur bolak-balik <i>piston</i> ($^\circ$)
ω (omega)	: kecepatan sudut putaran poros engkol (rad/s)