

# **TUGAS SARJANA**

**ANALISA PERILAKU DINAMIK MESIN *DRILL* AKIBAT MASS  
UNBALANCE DENGAN MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT*  
*METHODE* (FEM)**



*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Kesarjanaan  
Strata Satu (S-1) di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas  
Diponegoro*

**DISUSUN OLEH:  
HERU PURWANTO  
L2E 004 403**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG  
2009**

## TUGAS AKHIR

Diberikan kepada : Nama : Heru Purwanto  
NIM : L2E 004 403

Pembimbing : 1. Dr. Rusnaldy, ST, MT  
2. Dr. Achmad Widodo, ST, MT

Jangka Waktu : 8 (delapan) bulan

Judul : Analisa Perilaku Dinamik Mesin *Drill* Akibat *Mass Unbalance* dengan Menggunakan *Finite Element Methode* (FEM)

Isi Tugas : 1. Mengetahui modus getar dan frekuensi pribadi struktur mesin *drill*  
2. Menampilkan deformasi *mode shape* dengan redaman akibat eksitasi 100N,  
3. Menampilkan grafik FRF akibat gaya eksitasi 100 N dan grafik FFT akibat *mass unbalance*

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Rusnaldy, ST, MT  
NIP. 132 236 132

Dr. Achmad Widodo, ST, MT  
NIP. 132 231 140

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana yang berjudul “Analisa Perilaku Dinamik Mesin *Drill* Akibat *Mass Unbalance* dengan Menggunakan *Finite Element Methode* (FEM),” telah disetujui pada:

Hari : .....  
Tanggal : ..... 2009

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Rusnaldy, ST, MT

NIP. 132 236 132

Dr. Achmad Widodo, ST, MT

NIP. 132 231 140

Mengetahui,

Koordinator Tugas Akhir

Dr. MSK Tony Suryo U, ST, MT

NIP. 132 231 137

## ABSTRAK

Mesin *drill* adalah salah satu mesin perkakas yang luas penggunaannya dalam lingkup industri selain mesin bubut dan mesin *frais*. Mesin *drill* memegang peranan yang sangat penting dalam proses produksi. Akan tetapi, masalah getaran yang sering terjadi pada mesin *drill* baik karena *chatter* ataupun *machine faults* membuat produk yang dihasilkan menjadi cacat. *Mass unbalance* adalah salah satu jenis kerusakan (*machine faults*) pada mesin yang dapat menurunkan kualitas geometri suatu produk akibat getaran yang terjadi. Oleh karena itu, analisa perilaku dinamik sangat dibutuhkan untuk mencegah adanya *mass unbalance*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui frekuensi pribadi dan modus getar struktur mesin *drill*, menampilkan deformasi modus getar dengan redaman akibat gaya eksitasi 100 N, dan menampilkan grafik FRF dan FFT akibat *mass unbalance*. Metode yang digunakan adalah dengan analisa modal. Di sini, struktur utama dan material yang mempengaruhi kekakuan dimodelkan dengan menggunakan *software SolidWork 2007*. Mesin *drill* dimodelkan dalam tiga konfigurasi *head body* yang berbeda untuk mendapatkan perbandingan dari analisa yang dilakukan. Analisa FRF dilakukan dengan *software ANSYS 11.0 Workbench*.

Hasilnya, perbedaan konfigurasi *head body* mempengaruhi perilaku dinamik mesin *drill* yang ditandai dengan adanya perbedaan besar frekuensi pribadi. Semakin besar frekuensi pribadi suatu struktur maka semakin besar juga kekakuannya sehingga struktur tersebut sulit untuk bergetar. Dari FRF kita ketahui bahwa semakin tinggi putaran operasi mesin *drill* maka kecepatan getarannya akibat *mass unbalance* juga akan semakin tinggi.

Kata kunci: Mesin *drill*, frekuensi pribadi, *mass unbalance*

## **ABSTRACT**

*Drilling machine is one of the most important machine tools in industry except lathe and frais machine. Drilling machine has an important role on production proceses. But, vibration while drilling operation that caused by chatter or machine faults made the product output failure. One of the machine faults types is mass unbalance that can reduce the quality of product geometry. Therefore, dynamic behaviour analyze is necessary to prevent this mass unbalance will not happen. So, we did the dynamic behaviour analyze of drilling machine used ANSYS 11.0 Workbench.*

*The aim of this research is to find out the natural frequency and the mode shape of drilling machine, could to display their mode shape deformation with damping caused by excitation forces 100 N, and could to display FRF and FFT graphics caused by mass unbalance. In order to achieve the aims, modal analysis method has been adopted. Here, principal structures and their material which influence the stiffness of the drilling machine were modeled used SolidWork 2007 software. The drilling machine were modeled in three configuration of head body position. Software ANSYS 11.0 Workbench used to determine FRF.*

*As the results, the different configuration of head body position has been influence the dynamic behaviour structure that can be signed with the different of natural frequency. More higher the natural frequency, more higher the stiffness and it's allow the structure difficult to vibrate. From the FRF, we know that the increase operation rotation of drilling machine allow higher vibration velocity that caused by mass unbalance.*

*Keywords: Drilling machine, natural frequency, mass unbalance*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

**Kupersembahkan Tugas Sarjana ini untuk:**

- ♥ **Bapak dan Ibu: Sumardiyono dan Sri Wahyuni**, yang senantiasa memberikan dorongan, doa dan segalanya
- ♥ **Adik-adikku: Hery Prabowo dan Ratna Novitasari**, yang telah memberi semangat dan menghiburku
- ♥ **Alm. Pakde Sunardi dan Alm. Bude Painah**, atas curahan kasih sayang selama hidupnya kepada penulis
- ♥ **Alm. Bulik Netti**, atas hp kenangan yang terus menemani perjuangan di Semarang

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Sarjana ini bisa terselesaikan dengan baik. Tugas Sarjana ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Strata Satu di Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Sarjana ini berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dengan segenap rasa tulus dan segenap kerendahan hati penulis sampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Dr. Rusnaldy, ST, MT selaku pembimbing atas bimbingan, saran, dan pemikiran yang sangat berguna bagi penulisan Tugas Sarjana ini.
2. Dr. Achmad Widodo, ST, MT selaku pembimbing atas bimbingan, saran, dan pemikiran yang sangat berguna bagi penulisan Tugas Sarjana ini.
3. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2004 serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Sarjana ini.

Penulis sadar bahwa Tugas Sarjana ini masih jauh dari sempurna. Segala kritik dan saran yang sifatnya membangun guna perbaikan di masa yang akan datang akan sangat dihargai. Semoga Tugas Sarjana ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, Desember 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TUGAS AKHIR</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .	vi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiv

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penulisan .....	2
1.3. Lingkup Pembahasan .....	2
1.4. Metodologi Penelitian .....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3

### **BAB II DASAR TEORI**

2.1. Struktur Mesin Perkakas .....	5
2.1.1. Proses Desain Mesin Perkakas.....	6
2.1.2. Kriteria yang Diperlukan pada Kekakuan.....	8
2.1.3. Perilaku Dinamik .....	10
2.2. Metode Elemen Hingga.....	12
2.2.1. Deskripsi Metode Elemen Hingga.....	12
2.2.2. Jenis-jenis Elemen .....	13
2.3. Pengujian Modal ( <i>Modal Testing</i> ).....	15
2.3.1. Pengertian Dinamika Struktur.....	15
2.3.2. Pendahuluan Pengujian Modal ( <i>Modal Testing</i> ).....	16

2.3.3. Aplikasi Pengujian Modal.....	18
2.3.4. Filosofi Pengujian Modal.....	18
2.3.5. Penyajian dan Properti FRF Data Sistem MDOF .....	20

### **BAB III TEORI ANALISA GETARAN**

3.1. Analisa <i>Normal Modes</i> .....	22
3.2. Alasan Untuk Menghitung Modus Normal .....	24
3.3. Gambaran Analisa Modus Normal.....	25
3.4. Analisa Respon Frekuensi .....	28
3.5. Jenis-jenis Kerusakan Pada <i>Rotating Machinery</i> .....	36
3.5.1. <i>Mass Unbalance</i> .....	36
3.5.2. Penyebab Terjadinya dan Akibat <i>Mass Unbalance</i> .....	38

### **BAB IV SKENARIO SIMULASI MODUS GETAR**

4.1. Pengantar .....	40
4.2. Permodelan Mesin Drill .....	42
4.2.1. Pendefinisian Struktur Utama .....	42
4.2.2. Geometri Model .....	44
4.2.3. Pendefinisian Material .....	47
4.2.4. Pembagian Elemen.....	47
4.2.5. Pendeskripsian <i>Constraint</i> .....	50
4.3. Analisa Statik Akibat Berat Sendiri .....	50
4.4. Analisa <i>Normal Modes</i> .....	52
4.5. Analisa Respon Frekuensi Modal.....	53

### **BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN**

5.1. Modus Getar Model 1.....	55
5.2. Modus Getar Model 2.....	58
5.3. Modus Getar Model 3.....	61
5.4. Analisa Modus Getar Ketiga Model.....	64
5.5. Perbandingan Frekuensi Pribadi Ketiga Model.....	68
5.6. Daerah Operasi Mesin .....	69

5.7. Penyajian <i>Mode Shape</i> Eksitasi 100 N Dengan Peredaman.....	70
5.7.1. <i>Mode Shape</i> Model 1.....	70
5.7.2. <i>Mode Shape</i> Model 2.....	71
5.7.3. <i>Mode Shape</i> Model 3.....	73
5.8. Penyajian Bentuk Grafik FRF Eksitasi 100 N Dengan Peredaman .	75
5.8.1. Grafik <i>Receptance</i> Modulus vs Frekuensi Eksitasi Dengan Peredaman .....	75
5.9. Penyajian Bentuk Grafik Diagnosa Kerusakan Akibat <i>Mass Unbalance</i> .....	84
5.9.1. <i>Vibration Velocity</i> pada arah Horizontal dengan Kecepatan 160 rpm .....	84
5.9.2. <i>Vibration Velocity</i> pada arah Horizontal dengan Kecepatan 245 rpm .....	86
5.9.3. <i>Vibration Velocity</i> pada arah Horizontal dengan Kecepatan 365 rpm .....	88
5.9.4. <i>Vibration Velocity</i> pada arah Horizontal dengan Kecepatan 640 rpm .....	90
5.9.5. <i>Vibration Velocity</i> pada arah Horizontal dengan Kecepatan 1010 rpm .....	92
5.10. Pembahasan Grafik FFT.....	94

## **BAB V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan.....	95
5.2. Saran.....	96

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	97
-----------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	98
-----------------------	----

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Definisi fungsi respon frekuensi .....	21
Tabel 3.1	Sumber Getaran .....	36
Tabel 4.1	Konfigurasi posisi komponen .....	32
Tabel 4.2	Properti <i>input</i> pada Solid Work 2007.....	48
Tabel 5.1	Perbandingan frekuensi pribadi ketiga model.....	68
Tabel 5.2	Putaran operasi mesin <i>drill Techplus</i> .....	69
Tabel 5.3	Perbandingan kecepatan dan frekuensi <i>unbalance</i> .....	94

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mesin <i>Drill Techplus</i> .....	6
Gambar 2.2	Proses desain struktur mesin perkakas secara tradisional .....	7
Gambar 2.3.	Proses desain struktur mesin perkakas secara modern.....	8
Gambar 2.4.	Getaran yang dibangkitkan oleh eksitasi luar .....	10
Gambar 2.5.	Struktur bidang dengan bentuk sembarang .....	12
Gambar 2.6.	Model elemen hingga yang mungkin pada elemen tersebut .....	13
Gambar 2.7	Elemen garis.....	13
Gambar 2.8	Elemen segitiga.....	14
Gambar 2.9	Elemen empat persegi panjang.....	14
Gambar 2.10	Elemen tetrahedron .....	14
Gambar 2.11	Elemen heksahedron . .....	15
Gambar 2.12	Prosedur pengujian modal.....	15
Gambar 2.13	Diagram blok suatu sistem.....	20
Gambar 3.1	Empat bentuk modus pertama dari beam kantilever .....	23
Gambar 3.2	Tiga bentuk modus pertama dari beam kantilever di kedua ujungnya .....	23
Gambar 3.3	Pergeseran <i>phase</i> .....	29
Gambar 3.4	Bidang kompleks .....	29
Gambar 3.5	<i>Mass Unbalance</i> .....	37
Gambar 3.6	Grafik <i>mass unbalance</i> 1X rpm. ....	38
Gambar 3.7	Potensi terjadinya <i>mass unbalance</i> . ....	39
Gambar 3.8	Jenis-jenis <i>mass unbalance</i> . ....	39
Gambar 4.1	Diagram alir proses. ....	42
Gambar 4.2	Struktur utama mesin <i>drill</i> . ....	44
Gambar 4.3	Bentuk geometri model pada Solid Work 2007.....	46
Gambar 4.4.	Model elemen hingga dari mesin <i>drill</i> .....	49
Gambar 4.5.	Pendefinisian <i>constraint</i> .....	50
Gambar 4.6.	Analisa statik akibat berat sendiri ketiga model .....	52
Gambar 4.7.	Analisa <i>normal modes</i> / modal.....	53

Gambar 4.8	Skenario pengujian modal dengan eksitasi luar .....	54
Gambar 5.1	Modus getar model 1 .....	58
Gambar 5.2	Modus getar model 2.....	61
Gambar 5.3	Modus getar model 3.....	64
Gambar 5.4	Deformasi struktur utama pada modus pertama.....	64
Gambar 5.5	Deformasi struktur utama pada modus ketiga.....	66
Gambar 5.6	Deformasi struktur utama pada modus keempat.....	67
Gambar 5.7	<i>Mode Shape</i> model 1 .....	71
Gambar 5.8	<i>Mode Shape</i> model 2.....	73
Gambar 5.9	<i>Mode Shape</i> model 3.....	74
Gambar 5.10	Grafik <i>receptance</i> modulus pada model 1 .....	77
Gambar 5.11	Grafik <i>receptance</i> modulus pada model 2 .....	80
Gambar 5.12	Grafik <i>receptance</i> modulus pada model 3 .....	82
Gambar 5.13	Grafik <i>vibration velocity</i> arah horizontal dan FFT pada kecepatan 160 rpm.....	85
Gambar 5.14	Grafik <i>vibration velocity</i> arah horizontal dan FFT pada kecepatan 235 rpm.....	87
Gambar 5.15	Grafik <i>vibration velocity</i> arah horizontal dan FFT pada kecepatan 365 rpm.....	89
Gambar 5.16	Grafik <i>vibration velocity</i> arah horizontal dan FFT pada kecepatan 640 rpm.....	91
Gambar 5.17	Grafik <i>vibration velocity</i> arah horizontal dan FFT pada kecepatan 1010 rpm.....	93

## DAFTAR NOTASI

$[M]$	: Matrik massa
$[K]$	: Matrik kekakuan
$\{\phi\}$	: Vektor eigen atau bentuk modus
$\omega$	: Frekuensi pribadi sirkular
$A$	: Matrik bujur – sangkar ( <i>square matrix</i> )
$\lambda$	: Nilai eigen ( <i>eigenvalue</i> )
$I$	: Matrik identitas ( <i>identity matrix</i> )
$x$	: Vektor eigen ( <i>eigenvector</i> )
$f_i$	: Frekuensi pribadi ke-i
$\{u\}$	: Vektor perpindahan fisik
$\{\phi_i\}$	: Bentuk modus ke-i
$\xi_i$	: Perpindahan modal ke-i
$m_j$	: Massa rampat ke – j
$k_j$	: Kekakuan rampat ke - j
$\theta$	: Sudut phase
$u_r$	: Komponen riil
$u_i$	: Komponen imajiner
$[\phi]^T[M][\phi]$	: Matrik massa modal
$[\phi]^T[K][\phi]$	: Matrik kekakuan modal
$[\phi]^T[P]$	: Vektor pemaksa modal ( <i>modal force vector</i> )
$m_i$	: Massa modal ke-i
$k_i$	: Kekakuan modal ke-i
$E$	: Modulus elastisitas young
$G$	: Modulus elastisitas geser
$\rho$	: Massa jenis
$\zeta$	: Nilai peredaman

