

**PERHITUNGAN PERILAKU DINAMIK SISTEM
SPINDEL UTAMA PADA MESIN PERKAKAS
TU-2A DENGAN BANTUAN MATLAB 6.1**



SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat penyelesaian Pendidikan Sarjana I pada
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya

OLEH :

ITO SEPTIADI 03983150131

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2003

**PERHITUNGAN PERILAKU DINAMIK SISTEM
SPINDEL UTAMA PADA MESIN PERKAKAS
TU-2A DENGAN BANTUAN MATLAB 6.1**



SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat penyelesaian Pendidikan Strata 1 pada
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya

OLEH :

ITO SEPTIADI 03983150131

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2003

**PERHITUNGAN PERILAKU DINAMIK SISTEM
SPINDEL UTAMA PADA MESIN PERKAKAS
TU-2A DENGAN BANTUAN MATLAB 6.1**



SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat penyelesaian Pendidikan Strata 1 pada
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya

OLEH :

ITO SEPTIADI 03983150131

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2003

UNIVERSITAS SRIWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN

Agenda No : 1222 / TA / SA / 03
Diterima Tgl : 19 / 1 / 2003
Paraf : 

SKRIPSI

Nama : Ito Septiadi
NIM : 03983150131
Judul Skripsi : PERHITUNGAN PERILAKU DINAMIK SISTEM
SPINDEL UTAMA PADA MESIN PERKAKAS
TU-2A DENGAN BANTUAN MATLAB 6.1
Dibuat Tanggal : 29 Oktober 2002
Selesai Tanggal : 13 Januari 2003

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik

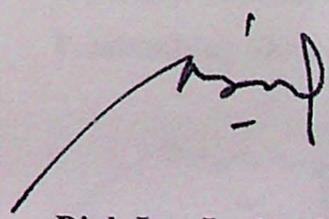
Universitas Sriwijaya



Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA
NIP : 131 467 176

Indralaya, Januari 2003

Disetujui oleh
Pembimbing Skripsi



Dipl.-Ing. Ir. Amrifan SM
NIP : 132 231 463

**PERHITUNGAN PERILAKU DINAMIK SISTEM
SPINDEL UTAMA PADA MESIN PERKAKAS
TU-2A DENGAN BANTUAN MATLAB 6.1**

SKRIPSI

Disetujui oleh

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA

NIP : 131 467 176

Diperiksa dan disetujui

Pembimbing Skripsi

Dipl.-Ing. Ir. Amrifan SM

NIP : 132 231 463

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan Skripsi dengan judul **“Perhitungan Perilaku Dinamik Sistem Spindel Utama Pada Mesin Perkakas TU-2A Dengan Bantuan Matlab 6.1”** ini dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Sholawat dan salam penulis tujukan kepada Rasulullah SAW, yang telah membawa kita kearah kebenaran.

Penulisan Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan jenjang strata 1 pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Dalam penyelesaian Skripsi ini terasa sekali kekurangan penulis, baik dari faktor sarana dan fasilitas maupun faktor penunjang lainnya. Oleh karena itu besar kemungkinan masih jauh dari kesempurnaan dan juga dari apa yang diharapkan, bantuan dan dorongan baik moril maupun material dari semua pihak merupakan sumbangan yang sangat berharga.

Melalui penulisan Skripsi, ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini. Ucapan terima kasih tersebut penulis tujukan kepada:

1. Bapak Dipl.-Ing. Ir. Amrifan Saladin Mohruni, Selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan pengarahannya selama penyusunan Skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. H, Kaprawi, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Ir. Helmi, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Ir. Zainal Abidin, MT, selaku dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak dan Ibu Dosen Staff Pengajar di Jurusan Teknik Mesin yang secara tidak langsung telah memberikan pengetahuan dasar untuk menyelesaikan penulisan Skripsi ini.
6. Staff administrasi Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan bantuan dalam proses perijinan dari awal sampai Skripsi ini selesai.

7. Bapak dan Ibu serta saudara-saudaraku, khususnya buat Om Indratno yang telah membiayahi perkuliahan penulis selama ini hingga selesainya penulisan Skripsi ini, I love you all.
8. Teman-teman satu kosan Donny, Amriel, Robby, Berta, Yayan, Fauzan, Andre, Kak Edi, Mbak Wiwid, Windi, Helen, Anik, Lia, Niar, Neka, Ria yang telah berbagi suka dan duka selama ini, dan untuk Vera terima kasih atas dukungan dan doa yang diberikan.
9. Sobat-sobatku angkatan 98 Jurusan Teknik Mesin UNSRI, yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penulisan Tugas Akhir ini hingga selesai.
10. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang ada didalamnya. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, Penulis mengharapkan saran demi kebaikan dan penyempurnaan di masa yang akan datang.

Semoga Skripsi ini bermanfaat bagi kita semua dan penulis sendiri khususnya.

Indralaya, Januari 2003

Penulis

Ito Septiadi

MOTTO

"Very busy people always time for everything conversely, people with immense leisure find time for nothing" (Orang-orang yang sangat sibuk, senantiasa mempunyai waktu untuk melakukan segala apa saja, kebalikannya orang-orang dengan waktu luang yang sangat banyak mempunyai waktu untuk tidak melakukan apa-apa): By Ernest Dimnof

"If you are patient in one moment of angry, you will escape 100 days of sorrow"

*Kalau Anda sabar dalam satu saat kemarahan, Anda akan bebas dari 100 hari penderitaan.
(Pepatah Tiongkok)*

- ❧ *Apabila kamu memperoleh kenikmatan janganlah kamu menghilangkan ujungnya dengan kurang bersyukur.*
- ❧ *Kebahagiaan paling tinggi ialah panjang umur dalam ketaatan kepada Allah.*
- ❧ *"Maka hadapkanlah wajahmu dengan hanif (lurus) kepada agama (Allah) : (tetapkanlah atas) fitrah Allah yang telah menciptakan manusia menurut fitrah itu. Tidak ada perubahan pada fitrah Allah, (itulah) agama yang lurus ; tetapi kebanyakan manusia tidak mengetahui."*

(QS : Ar rum : 30)

Kupersembahkan kepada :

- ❖ *Ayah dan ibu tercinta yang telah membesarkan ku dengan segenap kasih sayang dan perhatian yang tak akan terbalaskan hingga kapanpun.*
- ❖ *Adikku Reta Andriyani dan Ade Gustanti, I Love You All*
- ❖ *Om Indratno yang telah membantu perkuliahan ku.*
- ❖ *Teman-temanku : Donny, Amriel, Robby, Yayan, dan Andre*
- ❖ *Teman-teman satu angkatan (Teknik Mesin '98)*
- ❖ *Almamaterku*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
MOTTO	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMBANG	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar belakang	1-1
1.2 Permasalahan	1-2
1.3 Pembahasan masalah	1-3
1.4 Tujuan pembahasan	1-3
1.5 Sistematika penulisan	1-4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	2-1
2.1 Pengertian umum vibrasi	2-1
2.2 Getaran bebas	2-2
2.3 Prinsip dasar kelakuan dinamik	2-4
2.3.1 Getaran harmonik paksa (<i>Forced harmonic vibrations</i>)	2-5
2.3.2 Ketidak seimbangan yang berputar (<i>Rotating unbalance</i>) ...	2-9
2.3.3 Gerak penopang	2-11
2.4 Sifat-sifat sistem yang bergetar	2-13
2.4.1 Matrik fleksibilitas dan matrik kekakuan	2-14
2.4.2 Teorema timbal balik	2-15
2.4.3 Eigenvalue dan eigenvektor	2-16
2.4.4 Persamaan yang didasarkan pada fleksibilitas	2-17
2.4.5 Sifat orthogonal eigenvektor (<i>Orthogonality of eigenvector</i>)	2-18
2.4.6 Akar berulang	2-19
2.4.7 Matrik ragam P (<i>modal matrix P</i>)	2-20
2.4.8 Redaman ragam (<i>modal damping</i>) dalam getaran paksa	2-22
2.5 Getaran yang terjadi pada mesin perkakas	2-24
2.6 Sistem spindel utama pada mesin perkakas	2-24
2.7 Matlab 6.1	2-29

BAB 3 PERHITUNGAN DINAMIK SISTEM SPINDEL DENGAN ANALISA MODAL (<i>MODAL ANALISIS</i>)	3-1
3.1 Analisa modal	3-1
3.2 Sentroid dari benda kerja	3-4
3.3 Pembuatan persamaan gerak	3-6
3.3.1 Pembuatan matrik kekakuan	3-6
3.3.2 Pembuatan matrik redaman	3-10
3.3.3 Pembuatan matrik massa	3-14
3.3.4 Pembuatan matrik eksaiter	3-14
3.4 Frekuensi natural, eigenvektor, dan modal matrik	3-15
3.5 Perhitungan respon dinamik	3-20
3.5.1 Massa yang dibuat umum	3-20
3.5.2 Kekakuan yang dibuat umum	3-21
3.5.3 Redaman yang dibuat umum	3-22
3.5.4 Gaya eksaiter yang dibuat umum	3-23
3.5.5 Persamaan gerak	3-24
BAB 4 ANALISA DAN KESIMPULAN	4-1
4.1 Analisa	4-1
4.2 Kesimpulan	4-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Sistem pegas massa dan diagram benda bebas	2-3
2.2 Sistem yang teredam karena kekentalan	2-5
2.3 Hubungan vektor untuk getaran paksa dengan redaman	2-6
2.4 Diagram amplitudo dan fasa untuk getaran harmonik paksa	2-8
2.5 $\omega/\omega_n \ll 1$	2-8
2.6 $\omega/\omega_n = 1$	2-8
2.7 $\omega/\omega_n \gg 1$	2-9
2.8 Gaya pengganggu harmonik yang diperoleh dari ketidak seimbangan yang berputar.....	2-9
2.9 Diagram amplitudo dan fasa untuk getaran paksa dengan ketidak seimbangan yang berputar	2-11
2.10 Sistem yang dieksitasi oleh gerak titik penopang	2-11
2.11 Diagram amplitudo dan fasa untuk gerak penopang	2-12
2.12 Skema getaran yang terjadi pada mesin perkakas	2-24
2.13 Mesin bubut dengan beberapa komponen yang diidentifikasi	2-26
2.14 Threaded spindle nose	2-26
2.15 Long taper with key drive spindle nose	2-27
2.16 Camlock spindle nose	2-27
2.17 Pencekan jenis independent dengan empat gigi pencekam	2-28
2.18 Pencekam jenis universal dengan enam gigi pencekam	2-28
3.1 Pemodelan dari sistem spindel TU-2A	3-6
3.2 DBB sistem spindel setelah mengalami pergeseran dalam arah horizontal sebesar 1 satuan	3-7
3.3 DBB sistem spindel setelah mengalami pergeseran dalam arah vertikal sebesar 1 satuan	3-8
3.4 DBB sistem spindel setelah mengalami pergeseran dalam arah rotasi sebesar 1 satuan	3-9
3.5 DBB sistem spindel setelah mengalami pergeseran dalam arah horizontal sebesar 1 satuan	3-11
3.6 DBB sistem spindel setelah mengalami pergeseran dalam arah vertikal sebesar 1 satuan	3-11
3.7 DBB sistem spindel setelah mengalami pergeseran dalam arah rotasi sebesar 1 satuan	3-13
3.8 Bentuk dari vektor pergeseran akibat ω_{n1}	3-18
3.9 Bentuk dari vektor pergeseran akibat ω_{n2}	3-19
3.10 Bentuk dari vektor pergeseran akibat ω_{n3}	3-20

DAFTAR LAMBANG-LAMBANG

w	m/s^2	Grafitasi
Δ	m	Perubahan bentuk pegas dari kesetimbangan statik
T	s	Periode osilasi
f_n, ω_n	Hz	Frekuensi natural
x	m	Simpangan
\dot{x}	m/s	kecepatan
\ddot{x}	m/s^2	Percepatan
X	-	Matrik simpangan
\emptyset	-	Modal matrik
F	-	Matrik gaya eksaiter
M	-	Matrik massa
C	-	Matrik redaman
K	-	Matrik kekakuan
φ	-	Vektor eigen
M_k^g	-	Massa general
C_k^g	-	Redaman general
K_k^g	-	Kekakuan general
F_k^g	-	Gaya eksaiter general
\bar{d}	m	Diameter rata-rata
\bar{x}	m	Jarak rata-rata
V	m^3	Volume
\dot{q}, \ddot{q}	-	Vektor pergeseran
S_1, S_2, S_3	m	Jarak terhadap titik sentroid

ABSTRAK

Pada mesin-mesin perkakas berkecepatan tinggi, spindel utama merupakan komponen yang dominan dalam menentukan perilaku statis dan dinamis mesin, untuk mengatasi problem-problem yang timbul dalam mesin perkakas maka perlu untuk diadakannya pemikiran yang lebih teliti tentang perencanaan spindel yang stabil sejak dalam fase konstruksi.

Perencanaan sistem spindel yang lebih stabil dapat dipenuhi dengan menggunakan perhitungan dengan menggunakan metode analisa modal, yang mana metode ini cukup kredibel untuk menghitung perilaku dinamis dari sistem spindel. Perhitungan dengan menggunakan analisa modal memungkinkan kita untuk memperoleh perilaku dinamis dari sistem spindel dalam waktu yang singkat, baik itu perhitungan secara manual ataupun dengan menggunakan bantuan dari komputer, yang akan memberikan hasil yang lebih cepat dan lebih akurat.

Perhitungan dilakukan dengan cara memodelkan sistem spindel utama mesin perkakas, dan membentuk persamaan gerak yang akan dialami oleh spindel dari matrik massa, redaman, kekakuan dan eksaiter yang telah dibentuk menjadi umum. Sistem dianggap mengalami pergerakan dalam arah horizontal, vertikal, dan rotasi sebesar 1 satuan. Dari masing-masing pergerakan akan diperoleh bentuk dari matrik kekakuan dan matrik redaman, dengan menggunakan matrik massa, dapat diperoleh berapa besar nilai frekuensi natural sistem yang mungkin terjadi, hingga akhirnya akan diperoleh bentuk dari persamaan gerak sistem.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Perkembangan teknologi yang sedemikian pesat saat ini terjadi di segala bidang, tidak terkecuali pada perkembangan mesin perkakas, dari yang bersifat konvensional menuju kearah yang bersifat NC, yang mana semuanya itu mengarah pada perkembangan teknologi untuk menciptakan mesin-mesin yang memiliki kecepatan tinggi atau yang lebih kita kenal dengan nama High Speed Cutting Machine.

Mesin perkakas yang memiliki kecepatan tinggi berarti akan memiliki kecepatan produksi yang tinggi pula atau dengan kata lain lebih produktif, yang mana akan menghasilkan produksi secepat mungkin dengan waktu produksi yang serendah mungkin. Hal ini dikarenakan pengerjaan dengan kecepatan potong yang tinggi dapat memperpendek waktu pemotongan, dimana di ikuti oleh gaya potong yang tinggi dan akan mempengaruhi kualitas dari permukaan potong.

Penggunaan dari mesin perkakas dengan kecepatan potong yang tinggi tidak akan lepas dari permasalahan yang akan timbul, hal ini biasa timbul pada sistem spindel yang mana terletak pada jalur utama gaya-gaya dalam proses pemotongan, spindel akan menjadi lebih sensitif terhadap setiap gangguan yang timbul, baik berupa gangguan dari luar ataupun gangguan yang timbul dari mesin itu sendiri. Gangguan yang terjadi akan meyebabkan timbulnya vibrasi yang tinggi, hal ini

akan menyebabkan timbulnya gangguan antara mata potong pahat dengan benda kerja.

Selama praktek di lapangan, munculnya semua efek yang terjadi dapat diatasi dengan mengubah parameter proses pemotongan, misalkan dengan menurunkan kecepatan potong ataupun kecepatan makan, hal ini akan menyebabkan penurunan pula terhadap produktifitas dari mesin, oleh karena itu untuk memanfaatkan kemampuan mesin secara maksimal, harus dilakukan secara bersamaan upaya untuk memperbaiki kontruksi dan kondisi proses, yang mana akan menuntut pengetahuan yang memadai mengenai perilaku dinamis pada kontruksi mesin perkakas.

Selanjutnya disini akan dilakukan perhitungan terhadap getaran yang terjadi pada sistem spindel utama mesin perkakas dengan melakukan permodelan dengan mengambil model dari TU-2A, yang dalam perhitungannya akan menggunakan bantuan dari program bahasa komputasi teknis MATLAB 6.1, yang dapat membantu dalam hal komputasi, visualisasi dan permodelan yang terintegrasi.

1.2 Permasalahan

Penggunaan mesin perkakas berkecepatan tinggi, akan menimbulkan efek vibrasi yang tinggi, dan efek ini dapat mengganggu proses yang sedang dilakukan oleh mesin tersebut, sehingga akan dihasilkan kualitas dari benda kerja yang jelek, dengan tidak tercapainya toleransi dari ukuran yang diharapkan. Dari semua penjelasan diatas dapat di ketahui beberapa permasalahan yang dapat timbul pada mesin perkakas, antara lain :

- (a) Sumber-dari terjadinya vibrasi, baik yang berasal dari dalam ataupun dari luar mesin perkakas.
- (b) Pengaruh kecepatan potong, kecepatan makan, kedalaman potong, waktu pemotongan, dan kecepatan penghasilan geram terhadap mesin perkakas.
- (c) Besar dari frekuensi pribadi yang terjadi pada sistem spindel.
- (d) Peredaman yang dapat dilakukan pada sistem spindel untuk mengurangi pengaruh besarnya vibrasi yang terjadi.

1.3 Pembahasan masalah

Setelah mendapatkan permasalahan yang timbul, akan dilakukan beberapa cara untuk membahasnya, sehingga dapat diperoleh penyelesaian yang tepat untuk masalah-masalah yang timbul pada mesin perkakas, diantaranya sebagai berikut :

- (a) Akan dilakukan beberapa perhitungan dengan metode penyelesaian analisa modal, sehingga dapat diperoleh pembahasan yang tepat untuk menyelesaikan masalah yang timbul pada mesin perkakas.
- (b) Menganalisa permasalahan yang ada dengan menggunakan bantuan dari Bahasa komputasi Teknis MATLAB 6.1 sehingga akan diperoleh penyelesaian dari permasalahan diatas dengan tingkat keakuratan yang tinggi.

1.4 Tujuan pembahasan

Pembahasan dari beberapa masalah yang timbul dengan menggunakan metode analisa modal, diharapkan akan dapat menjawab permasalahan yang timbul pada mesin perkakas, dimana permasalahan yang terjadi pada mesin

perkakas bersifat kompleks, maka disini akan dibahas permasalahan yang terjadi pada sistem spindel utama dengan beberapa tujuan yang diharapkan, diantaranya :

- (a) Pengaruh dari vibrasi yang terjadi pada sistem spindel utama dengan proses produksi yang dilakukan.
- (b) Menemukan kunci penyelesaian untuk mencegah ataupun mengurangi dari pengaruh dari vibrasi yang terjadi.
- (c) Memberikan saran dan strategi untuk mendapatkan perilaku dinamis yang tepat, yang diharapkan kemudian dapat menjamin ketepatan posisi relatif antara benda kerja dan alat potong, sehingga dapat dihasilkan produk dengan tingkat toleransi yang diharapkan.

1.5 Sistematika pembahasan

Sistematika pembahasan terhadap permasalahan dinamis yang terjadi pada sistem spindel utama mesin perkakas akan dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :

- (a) Menggambarkan model dari sistem spindel utama.
- (b) Pencarian bentuk dari matrik struktur
- (c) Perhitungan frekuensi natural dan vektor eigen dari sistem tanpa redaman.
- (d) Perhitungan dari respon dinamik.
- (e) Penyelesaian persamaan gerak.
- (f) menganalisa perhitungan yang dilakukan dengan bantuan bahasa komputasi teknis MATLAB 6.1 sehingga dapat diperoleh penyelesaian dengan tingkat keakuratan yang tinggi.

- (g) Saran dan strategi yang diperoleh dari perhitungan dan analisa terhadap sistem spindel utama, untuk di transfer ke sistem spindel utama High Speed Cutting Machine.