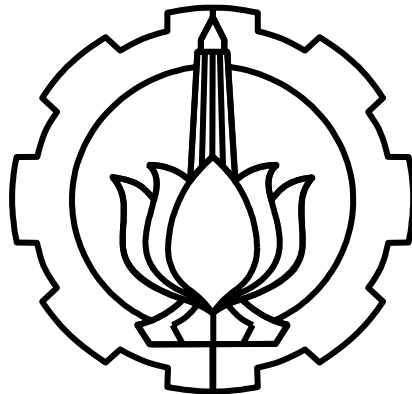


**PENGATURAN KECEPATAN *SPINDLE* PADA MESIN BUBUT  
DENGAN PENGGERAK MOTOR DC MENGGUNAKAN  
SISTEM PENGATURAN *ROBUST* METODE  
*QUANTITATIVE FEEDBACK THEORY* (QFT)**

**MOH. KHAIRUDIN  
NRP. 22 04 202 008**



**PROGRAM STUDI MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM PENGATURAN  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2006**

**PENGATURAN KECEPATAN *SPINDLE* PADA MESIN BUBUT  
DENGAN PENGGERAK MOTOR DC MENGGUNAKAN  
SISTEM PENGATURAN *ROBUST* METODE  
*QUANTITATIVE FEEDBACK THEORY* (QFT)**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :  
**Moh. Khairudin  
NRP : 22 04 202 008**

**Tanggal Ujian : 23 Mei 2006  
Periode Wisuda : September 2006**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tesis :**

1. **Dr. Ir. Moch. Rameli** (Pembimbing I)  
NIP. 130938507
2. **Ir. Rusdhianto Effendy AK, MT** (Pembimbing II)  
NIP. 131435676

**Direktur Program Pascasarjana**

**Prof. Ir. Happy Ratna S, MSc., PhD**  
NIP. 130541829

**PENGATURAN KECEPATAN *SPINDLE* PADA MESIN BUBUT  
DENGAN PENGGERAK MOTOR DC MENGGUNAKAN  
SISTEM PENGATURAN *ROBUST*  
METODE *QUANTITATIVE FEEDBACK THEORY* (QFT)**

Nama : Moh. Khairudin  
NRP : 2204202008  
Pembimbing I : Dr. Ir. Moch. Rameli  
Pembimbing II : Ir. Rusdhianto Effendy AK, MT

Abstrak

Desain kontrol bertujuan untuk memperoleh performansi sesuai keinginan saat implementasi pada *plant* yang sesungguhnya. Pendekatan kontrol secara implementasi selama ini lebih berkonsentrasi pada minimisasi varians sinyal, bukan minimisasi akibat adanya ketidakpastian variasi parameter pada model *plant*.

Desain kontroler pada penelitian ini menggunakan metode *Quantitative Feedback Theory* (QFT) yang secara langsung menyentuh permasalahan ketidakpastian. Ketidakpastian model *plant* diperoleh melalui identifikasi *plant spindle* mesin bubut. Dengan QFT maka ketidakpastian parameter model *plant* diasumsikan dalam sekumpulan *template* pada bidang kompleks, dengan tiap *template* membawa informasi tentang *gain* dan *phase* pada tiap frekuensi. Sekumpulan *template* kemudian digunakan untuk menghitung *bound* pada spesifikasi desain yang diijinkan dalam domain frekuensi dan digambarkan dalam diagram *Nichols*. Hubungan antar *bound* akan menghasilkan *loop shaping* sebagai dasar membentuk kompensator, selanjutnya membentuk *prefilter*.

Kontroler yang telah dirancang ini, kemudian diujicobakan dengan simulasi yang selanjutnya diimplementasikan menggunakan *Personal Computer* (PC). Respon *plant* hasil desain menggunakan kontroler pada kondisi *spindle* tanpa beban, kondisi pemahatan kedalaman 0,2 mm dan kondisi pemahatan kedalaman 0,5 mm menunjukkan respon dapat kembali pada keadaan *steady state* walaupun masih terdapat sedikit gangguan pada *plant*.

Kata kunci : Ketidakpastian parameter *plant*, *Quantitative Feedback Theory* (QFT), *template*, diagram *Nichols*, kompensator, *prefilter*, *spindle* mesin bubut.

**ROBUST SPEED CONTROLLER OF  
SPINDLE SYSTEM ON LATHE MACHINE  
USING QUANTITATIVE FEEDBACK THEORY (QFT) METHOD**

By : Moh. Khairudin  
NRP : 2204202008  
Under the supervision : Dr. Ir. Moch. Rameli  
Ir. Rusdhianto Effendy AK, MT

*Abstract*

*The objective of control design is to find performances that will work in the real environment. Unfortunately, the method control design extends in minimization signals variations, nothing minimization uncertain of variation parameter in plant model.*

*The research, the controller has been designed using QFT which can get the problem of uncertainty directly. Uncertainties of parameter plant models thorough system identification of spindle on lathe machine. Assumption uncertainties of parameter plant models in QFT is set using template in complex-plane, where a template to give information about gain and phase in frequency domain. The set template used for computation of bounds in frequency domain specification using Nichols chart, loop shaping from bounds used to design compensator and prefilter.*

*The controller has been designed, furthermore to use in simulation and experimental using Personal Computer (PC). Plant response for spindle without payload, loading with dept of cut 0,2 mm, and loading with dept of cut 0,5 mm which can return to steady state even although there is a disturbance.*

*Keywords : Uncertainties of parameter plant, Quantitative Feedback Theory (QFT), template, Nichols chart, compensator, prefilter, spindle lathe machine.*

## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillah, itulah untaian kata yang semestinya terurai dari hati nurani seorang hamba. Atas bimbingan dan hidayah-Nya penulis menyelesaikan tesis ini.

Penyusunan tesis ini untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan program studi magister pada Bidang Keahlian Teknik Sistem Pengaturan Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tesis ini belumlah sempurna karena itu penulis sangat berharap kritik serta saran demi kemajuan.

Penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya pada :

1. Susiwi, ST dengan ketulusan nuraninya memberikan inspirasi besar demi tercapainya obsesi penulis.
2. Dr. Ir. Moch. Rameli, selaku Dosen Pembimbing I dengan kesabarannya memberikan banyak ide dalam penyusunan tesis ini.
3. Ir. Rusdhianto Effendy AK, MT, Dosen Pembimbing II dan Koordinator Bidang Keahlian Teknik Sistem Pengaturan yang banyak memberikan kemudahan.
4. Seluruh Dosen Bidang Keahlian Teknik Sistem Pengaturan yang banyak memberikan ilmu dan pengetahuannya.
5. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan kesempatan penulis menimba banyak ilmu.
6. Semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan tesis ini.

Semoga segala kebbaikannya akan menjadikan generasi negeri ini menjadi lebih baik dan memberatkan amalnya kelak di akhirat.

Surabaya, Mei 2006

Penulis

## DAFTAR ISI

JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
SIMBOL-SIMBOL .....	xii

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Pembatasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Kontribusi Penelitian.....	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	4
1.7. Sistematika .....	5

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1. Persamaan Dasar .....	6
2.2. <i>Quantitative Feedback Theory</i> (QFT) .....	8

2.3. Karakteristik Mesin Bubut .....	23
2.4. Motor <i>Direct Current</i> (DC) .....	27
2.5. Identifikasi <i>Plant Spindle</i> .....	31
 <b>BAB III. PERANCANGAN SISTEM</b>	
3.1. Deskripsi <i>Plant</i> .....	36
3.2. Proses Identifikasi <i>Plant</i> SISO.....	36
3.3. Ketidakpastian Parameter .....	40
3.4. Perancangan QFT .....	40
 <b>BAB IV. SIMULASI DAN PENGUJIAN</b>	
4.1. Blok Diagram <i>Spindle</i> Secara Keseluruhan .....	54
4.2. Uji <i>Loop</i> Tertutup .....	57
4.3. Uji <i>Tracking</i> Terhadap <i>Input</i> Sinus .....	60
4.4. Uji <i>Disturbance</i> Terhadap Perubahan Beban .....	62
4.5. Implementasi Kompensator dan <i>Prefilter</i> .....	65
 <b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	70
5.2. Saran .....	70
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	 71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konfigurasi Umpan Balik Standar .....	6
Gambar 2.2. Spesifikasi <i>Time Domain</i> yang Diinginkan .....	12
Gambar 2.3 Pembentukan <i>Template</i> .....	13
Gambar 2.4. Tipe-tipe <i>Bound</i> .....	17
Gambar 2.5. Mesin Bubut ( <i>Lathe Machine</i> ) .....	23
Gambar 2.6. Prinsip Putaran <i>Spindle</i> dan Benda Kerja .....	24
Gambar 2.7. Kepala Tetap .....	25
Gambar 2.8. Meja Mesin ( <i>Bed</i> ) .....	25
Gambar 2.9. Kepala Lepas .....	26
Gambar 2.10. Rangkaian <i>Electric Motor DC</i> .....	27
Gambar 2.11. Rangkaian <i>Electric Motor DC</i> Penguat Terpisah .....	28
Gambar 2.12. Diagram Blok Motor DC Penguat Terpisah .....	31
Gambar 2.13. Pembangkitan PRBS Panjang $2^{10}-1=1023$ Periode <i>Sampling</i> .....	32
Gambar 2.14. Pemilihan Durasi Maksimum Pulsa PRBS .....	33
Gambar 2.15. Pembangkitan Proses <i>Random ARX</i> .....	35
Gambar 3.1. Respon Hasil Identifikasi .....	37
Gambar 3.2. Respon Unit <i>Step Spindle</i> .....	39
Gambar 3.3. Respon <i>Spindle</i> Dengan Diagram <i>Bode</i> .....	39
Gambar 3.4. Respon <i>Spindle</i> dalam RPM .....	40
Gambar 3.5. Batas Atas dan Bawah dari <i>Time Response</i> Untuk <i>Plant</i> .....	44
Gambar 3.6. Respon Frekuensi untuk <i>Plant</i> yang Diinginkan .....	45



Gambar 3.7. Perbandingan Respon Frekuensi Model <i>Plant</i> dengan Sistem yang Diinginkan .....	45
Gambar 3.8. <i>Template Plant</i> Daerah Batas dengan Menggunakan 128 Titik .....	46
Gambar 3.9. <i>Nichols Chart</i> Dari TF Model <i>Plant G(s)</i> untuk Semua Frekuensi...	47
Gambar 3.10. <i>Robust Margin Bound</i> Pada 1,833 dB untuk <i>Plant G(s)</i> .....	49
Gambar 3.11. <i>Robust Tracking Bound</i> untuk <i>Plant G(s)</i> .....	49
Gambar 3.12. Diagram untuk Semua <i>Bound</i> untuk <i>Plant G(s)</i> .....	50
Gambar 3.13. Irisan <i>Bound</i> untuk <i>Plant G(s)</i> .....	51
Gambar 3.14. Hasil Desain Kompensator <i>K(s)</i> untuk <i>Plant G(s)</i> .....	52
Gambar 3.15. Elemen yang Ditambahkan untuk Kompensator <i>K(s)</i> .....	52
Gambar 3.16. Hasil Desain <i>Prefilter F(s)</i> untuk <i>Plant G(s)</i> .....	53
Gambar 3.17. Elemen yang Ditambahkan untuk <i>F(s)</i> .....	53
Gambar 4.1. Blok Diagram <i>Loop</i> Tertutup <i>Spindle</i> Keseluruhan .....	54
Gambar 4.2. Blok Diagram <i>Spindle</i> dengan <i>Input Unit Step</i> .....	55
Gambar 4.3 Respon <i>Input Step</i> untuk <i>Spindle (RPM)</i> .....	55
Gambar 4.4. Pengecekan <i>Robust Gain Margin</i> untuk <i>G(s)</i> .....	56
Gambar 4.5. Pengecekan <i>Robust Tracking</i> untuk <i>F(s)</i> .....	57
Gambar 4.6. Respon <i>Spindle</i> dengan Kompensator <i>K(s)</i> dalam RPM .....	58
Gambar 4.7. Respon <i>Spindle</i> dengan Kontroler dan <i>Prefilter</i> .....	59
Gambar 4.8. Perbandingan Respon <i>Spindle</i> Menggunakan Kompensator Tanpa <i>Prefilter</i> dan dengan <i>Prefilter</i> .....	59
Gambar 4.9. Respon <i>Spindle</i> dengan Kompensator dan <i>Prefilter Input</i> 600 RPM .....	61

Gambar 4.10. Respon <i>Spindle</i> dengan Kompensator dan <i>Prefilter Input</i>	
100 RPM .....	61
Gambar 4.11. Respon Pada Kondisi Perubahan Beban Setiap 10 Detik .....	62
Gambar 4.12. Respon Kondisi Perubahan Tanpa Beban ke Kedalaman 0,2 mm...	63
Gambar 4.13. Respon Perubahan Kedalaman Potong 0,2 mm ke Tanpa Beban....	63
Gambar 4.14. Respon Perubahan Kedalaman Potong 0,2mm ke 0,5mm .....	63
Gambar 4.15. Respon Perubahan Kedalaman Potong 0,5mm ke 0,2mm .....	64
Gambar 4.16. Perbandingan Respon Perubahan Beban Setiap 10 Detik .....	65
Gambar 4.17. Diagram Blok Otomasi Terpadu .....	67
Gambar 4.18. Implementasi Diagram Blok Otomasi Terpadu .....	67
Gambar 4.19. <i>Flowchart</i> untuk Kompensator dan <i>Prefilter</i> .....	68
Gambar 4.20. Perubahan Beban Kondisi Tanpa Beban .....	69
Gambar 4.21. Perubahan Tanpa Beban ke Kedalaman 0,2 mm Dilanjutkan Kedalaman 0,5 mm dan Sebaliknya .....	69

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Pembangkitan Panjang Maksimum PRBS.....	33
Tabel 3.1. Perbandingan <i>Norm Error</i> Pada Kondisi Tanpa Beban .....	38
Tabel 3.2. Karakteristik Respon <i>Plant</i> untuk Setiap Kondisi Operasi .....	41
Tabel 4.1. Kompensator Tanpa <i>Prefilter</i> .....	58
Tabel 4.2. Kompensator dan <i>Prefilter</i> .....	60
Tabel 4.3. Performansi Sistem Terhadap Perubahan Beban yang Berurutan .....	64

## SIMBOL – SIMBOL

$e_a$  = tegangan jangkar

$i_a$  = arus jangkar

$R_a$  = tahanan kumparan jangkar

$L_a$  = induktansi kumparan jangkar

$e_b$  = ggl lawan

$K_i$  = konstanta

$\phi$  = fluks magnet

$\omega_m$  = kecepatan jangkar

$V_f$  = tegangan penguat medan

$R_f$  = tahanan kumparan medan

$L_f$  = induktansi kumparan medan

$i_f$  = arus medan magnet

$J_m$  = momen inersia ekuivalen motor dan beban pada poros motor

$B_m$  = koefisien gesekan viskos ekuivalen dari motor dan beban pada poros motor

$T_m$  = torsi yang diberikan oleh motor

$K_b$  = konstanta ggl lawan

$V_t$  = tegangan jangkar

$E_a$  = gaya gerak listrik lawan

$I_a$  = arus jangkar

$R_a$  = tahanan jangkar

$n$  = putaran

$\phi$  = fluks/ kutub

$C$  = konstanta

$p$  = jumlah kutub

$a$  = jalur paralel konduktor

$Z$  = jumlah konduktor jangkar