

MAKALAH SEMINAR
PENELITIAN DOSEN MUDA



Moh. Khairudin, MT
Sudiyatno, ME

Lab. Kendali Jurusan Pendidikan Teknik Elektro
UNY
2006

KENDALI KECEPATAN *SPINDLE* PADA MESIN BUBUT MENGUNAKAN ROBUST CONTROL

Moh. Khairudin, Sudiyatno

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 minimasi 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.

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

A. PENDAHULUAN

Dalam dunia manufaktur, khususnya teknologi mesin bubut telah banyak dilakukan inovasi untuk kemajuan [3][6][7]. Pemasangan kontroler untuk mesin bubut sebagai pengatur kecepatan putaran *spindle* pada beban torsi penting untuk menjadi perhatian karena berpengaruh pada pemakanan pahat (*feeding*) sehingga mempengaruhi kualitas benda kerja sebagai hasil bubutannya. Pada penelitian yang dilakukan (Ravi Lingarkar, 1990), model dinamik dari sistem permesinan pada *lathe machine* menggunakan metode adaptive. Penelitian ini mengungkapkan proses *feeding* tentang *dept of cut*, *spindle speed* dan jumlah gigi *cutter* pada mesin bubut. Penelitian ini menyimpulkan adanya variasi perubahan *dept of cut* pada mesin bubut dan diikuti dengan variasi perubahan *spindle speed*.

Proses kerja mesin bubut sebenarnya sederhana, bila benda kerja yang dipegang oleh *chuck* dan menyatu pada *spindle*, berputar dan ada pahat (*cutter*) yang mendekat sehingga terjadilah pemotongan. Maju mundurnya pahat diatur oleh *tool post* pada deretan melintang yang dilengkapi *handle* pengatur maju mundur dengan skala ketelitian sehingga menghasilkan benda kerja yang diinginkan

Permasalahan yang muncul adalah mesin bubut telah dikendalikan dengan *Computer Numerical Control* (CNC) akan tetapi harga CNC sangat mahal, secara ekonomis perlu ada teknologi alternatif pengganti fungsi CNC (Sarwanto, 2004).

Dengan kasus tersebut maka direncanakan suatu penelitian untuk pengaturan putaran *spindle* dengan pengatur motor penggerak utama menggunakan sistem pengaturan robust. Adapun performansi yang diharapkan adalah :

1. Kemampuan sistem untuk mengikuti perubahan *set point* dengan cepat dan *overshoot* maksimum yang terjadi sekecil mungkin.
2. Sistem tetap stabil jika ada perubahan parameter plant.
3. Kemampuan sistem kembali ke harga *set point* dengan cepat setelah perubahan parameter plant.
4. *Error steady state* selama mengikuti *set point* dan setelah ada perubahan beban adalah kecil. (Liaw, 1991)

Pendekatan kontroler seringkali berkonsentrasi pada minimasi varians sinyal bukan pada minimasi untukantisipasi adanya ketidakpastian plant. Akibatnya kontroler yang didesain tidak mampu memenuhi performansi yang diinginkan. Untuk itu diperlukan metode yang secara langsung menyentuh permasalahan ketidakpastian. Model sistem pengaturan robust akan digunakan sebagai sistem pengaturan kecepatan *spindle*, sehingga didapat gerakan yang robust terhadap perubahan pembebanan dan ketidakpastian plant.

B. PERUMUSAN MASALAH

Untuk meningkatkan produktifitas dan mutu produksi perlu dilakukan perubahan kecepatan otomatis yang handal agar sesuai dengan diameter benda kerja. Perubahan pembebanan yang terjadi dengan ketidakpastiannya maka perlu dilakukan pengamatan sehingga bisa dilakukan adaptasi pada proses pengaturan kecepatan *spindle*, kemudian kecepatan *spindle* akan bekerja sesuai dengan model supaya menghasilkan benda kerja yang diinginkan. Perubahan diameter benda kerja akan dideteksi oleh sensor posisi (encoder), yang akan diterjemahkan dalam bentuk perubahan tegangan untuk diproses pada kontroler dan sinyal kontrol memicu driver untuk mengatur kecepatan putar motor DC.

Metodologi perancangan kontroler domain frekuensi dinamakan *Quantitative Feedback Theory* (QFT), efektif pada perancangan robust dalam spesifikasi standar domain frekuensi. QFT secara langsung ditujukan pada reduksi *uncertain* plant untuk umpan balik, karenanya memungkinkan pemakaian energi minimum pada sebuah plant dengan spesifikasi performansi yang pasti.

C. KAJIAN PUSTAKA

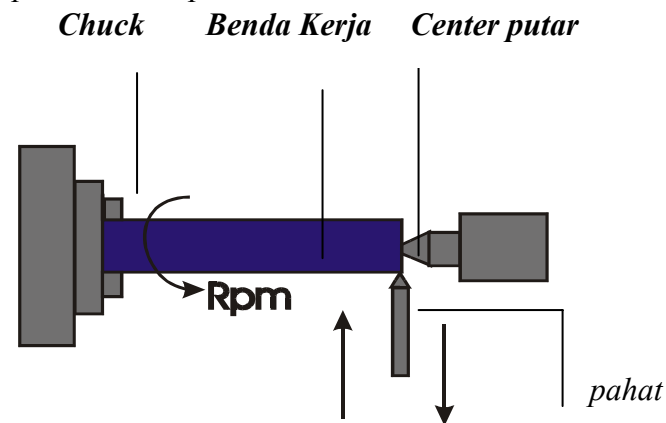
Penelitian proses *feeding* pada mesin bubut dengan metode adaptive (Ravi Lingarkar, 1990). Sarwanto (2004) melakukan penelitian ini dengan metode *PID self tuning*, Harinto (2004) melakukan dengan metode *Fuzzy Logic Controller*. Pemanfaatan sistem robust sebagai kontroler dalam area perubahan beban yang dinamis, Salim Agus (2004) telah melakukan penelitian perancangan kompensator sistem *robust* untuk pengapian *Spark Ignition Engine*. Adanya perubahan beban yang cukup dinamis pada *spindle* mesin bubut, memotivasi untuk dilakukannya penelitian dengan sistem robust, karenanya pada kesempatan ini disusun rancangan penelitian pengaturan kecepatan *spindle* dengan metode sistem pengaturan robust menggunakan metode QFT.

1. Karakteristik Mesin Bubut [Harinto L, 2004]

Mesin Bubut (*Lathe Machine*) merupakan salah satu peralatan mesin perkakas yang penting dalam proses *manufactur*, baik dalam suatu perusahaan permesinan, maupun lembaga-lembaga pendidikan teknik. Pembuatan mesin bubut pada awalnya dilakukan secara sederhana yaitu ada *spindle* dan *chuck* yang berputar dan pahat (*cutter*) yang memotong, peralatan yang lain masih dikendalikan dengan manual. Pada perkembangannya seluruh pergerakan dijalankan secara otomatis hanya dengan menekan atau meggerakkan *handle* maka pergerakan yang diinginkan dapat berjalan secara otomatis, tidak dijalankan dengan tangan secara terus-menerus. Pada perkembangan terakhir, *handle* dan operasi oleh tangan tidak diperlukan karena sudah ada mesin bubut CNC (*Computer Numerically Control*).

Proses kerja mesin bubut sangat sederhana, yaitu benda kerja yang dipegang oleh cekam (*chuck*) dan menyatu pada *spindle*, berputar, dan ada pahat/pisau (*cutter*) yang mendekat sehingga terjadilah pemotongan. Maju mundurnya pahat diatur oleh *tool post* yang ada pada eretan lintang yang ada *handle* pengatur maju mundur dengan skala ketelitian tertentu sehingga terjadilah pemotongan dengan ketelitian yang diinginkan.

Prinsip putaran *spindle*/mesin pada mesin bubut



Gambar 1. Prinsip Putaran *Spindle*/Benda Kerja [Boguslavsky,1965]

$$V = \frac{\pi d n}{1000} \text{ m / menit} \quad \text{atau} \quad n = \frac{V \cdot 1000}{\pi d} \text{ rpm} \quad (2.1)$$

Keterangan:

V = Kecepatan potong dalam m/menit

n = Putaran mesin/putaran *spindle* dalam rpm

d = Diameter benda kerja dalam mm

Sedangkan harga V (kecepatan potong) pada prakteknya sudah tertentu menurut tabel tergantung jenis bahan dan jenis alat potong. Sehingga persamaan di atas merupakan persamaan yang berlaku untuk semua jenis mesin di perusahaan *manufactur*, khususnya untuk mesin bubut diperuntukkan untuk mencari kecepatan putaran *spindle* (n).

2.2 Motor Direct Current (DC) [Zuhal, 2000]

Penggerak *spindle* mesin bubut ini menggunakan motor DC magnet permanen karena kecepatan motor mudah dikendalikan dan dikenal mempunyai torsi awal yang besar. Motor ini mempunyai kelemahan yaitu apabila mendapat beban lebih maka kecepatannya akan berkurang sehingga memerlukan kontrol kecepatan agar putaran stabil. Diantaranya dengan menjaga dan mengontrol agar tegangan jangkar tetap stabil.

Rumus motor DC dengan penguat terpisah:

$$Vt = Ea + Ia \quad (2.2)$$

$$Ea = C.n.\phi \quad (2.3)$$

Berdasarkan rumus diatas dapat diturunkan rumus kecepatan (n), yaitu:

$$n = \frac{Vt - Ia \cdot Ra}{C \cdot \phi} \quad (2.4)$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa kecepatan (n) motor DC dapat diatur dengan mengubah-ubah besar tegangan jangkar (Vt), tahanan jangkar (Ra), dan fluks magnet (ϕ).

Besar ggl lawan yang dibangkitkan oleh motor adalah

$$e_b = K_b \cdot \phi \cdot \omega_m \quad (2.5)$$

dan tegangan jangkar adalah

$$e_a = e_b + R_a \cdot i_a \quad (2.6)$$

serta torsi yang dibangkitkan adalah

$$T_m = K_b \cdot \phi \cdot i_a \quad (2.7)$$

Dari persamaan diatas dapat ditentukan persamaan kecepatan jangkar, yaitu:

$$\omega_m = \frac{e_a}{K_b \cdot \phi} - \frac{R_a \cdot i_a}{K_b \cdot \phi} \quad (2.8)$$

$$\omega_m = \frac{e_a}{K_b \cdot \phi} - \frac{R_a \cdot T_m}{(K_b \cdot \phi)^2} \quad (2.9)$$

Persamaan tegangan dari rangkaian jangkar pada kondisi dinamik diberikan dalam bentuk:

$$e_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b \quad (2.10)$$

$$\text{karena: } e_a = K_b \cdot \phi \cdot \omega_m \quad (2.11)$$

$$\text{dan } K_b \cdot \phi = K_i \quad (2.12)$$

$$\text{maka } e_b = K_i \cdot \omega_m \quad (2.13)$$

sehingga:

$$e_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b$$

Dalam bentuk transformasi Laplace dapat ditulis:

$$E_a(s) = R_a I_a(s) + L_a \cdot S \cdot I_a(s) + K_i \cdot \omega_m(s) \quad (2.14)$$

Dari Persamaan 2.14 dapat diturunkan persamaan arus jangkar sbb:

$$I_a(s) = \frac{1}{R_a + L_a \cdot S} \{E_a(s) - K_i \cdot \omega_m(s)\} \quad (2.15)$$

Karena *time constan* rangkaian jangkar (rotor) adalah:

$$\tau_e = \frac{L_a}{R_a} \quad (2.16)$$

Maka :

$$I_a(s) = \frac{1}{R_a(1 + L_a \cdot S \cdot \tau_e)} \{E_a(s) - K_i \cdot \omega_m(s)\} \quad (2.17)$$

Sehingga :

$$I_a(s) = \frac{1/R_a}{(1 + L_a \cdot S \cdot \tau_e)} \{E_a(s) - K_i \cdot \omega_m(s)\} \quad (2.18)$$

Persamaan sistem motor berbeban dalam kondisi dinamik diberikan dalam bentuk:

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_l - B_m \cdot \omega_m \quad (2.19)$$

Sehingga Torsi

$$T_m = J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \cdot \omega_m + T_l \quad (2.20)$$

$$T_m - T_l = J_m \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \cdot \omega_m \quad (2.21)$$

Dalam bentuk transformasi *Laplace* dapat ditulis:

$$T_m(s) - T_l(s) = J_m \cdot S \cdot \omega_m(s) + B_m \cdot \Omega_m(s) \quad (2.22)$$

$$T_m(s) - T_l(s) = J_m \cdot S \cdot \omega_m(s) + B_m \cdot \Omega_m(s) \quad (2.23)$$

Dari persamaan di atas dapat diturunkan persamaan kecepatan motor sebagai berikut

$$\Omega_m(s) = \frac{1}{J_m \cdot S + B_m} \cdot \{T_m(s) - T_l(s)\} \quad (2.24)$$

2.3 Spesifikasi Kontroler [Katsuhiko Ogata, 2002]

Dalam setiap perancangan kontroler, diperlukan suatu spesifikasi kontrol yang akan digunakan sebagai acuan perancangan. Pada perancangan kontroler untuk pengaturan kecepatan motor DC dengan mengatur tegangan jangkar, digunakan spesifikasi *performance* untuk respon transien sebagai acuan untuk mendapatkan suatu kontroler yang baik. Respon transien suatu sistem kontrol secara praktek selalu menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai keadaan mantap (*steady state*). Parameter-parameter yang diperlukan untuk menganalisa karakteristik performansi sistem kontrol adalah sebagai berikut :

1. Waktu Tunda (*delay time*), t_d : adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai setengah nilai akhir untuk waktu yang pertama.
 2. Waktu Naik (*rise time*), t_r : adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95%, atau 0% menjadi 100% dari nilai akhir yang biasa digunakan.
 3. Waktu Puncak (*peak time*), t_p : adalah waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai puncak pertama lewatan (*overshoot*).
 4. Maksimum (persen) *overshoot* (*overshoot maximum*), M_p adalah nilai puncak kurva respon diukur dari satuan. Apabila nilai akhir *steady state* responnya jauh dari satu, maka biasa digunakan persen overshoot maksimum dan didefinisikan oleh : Maksimum (%) *overshoot* = $\frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$ (2.25)
- Persentase lewatan maksimum menunjukkan kestabilan relatif dari sistem .
5. Waktu penetapan atau waktu turun (*settling time*), t_s : adalah waktu yang diperlukan untuk merespon kurva agar dapat mencapai dan tetap berada dalam gugus nilai akhir ukuran yang disederhanakan dengan persentase mutlak harga akhirnya (biasanya 2% atau 5%).

2.4. Quantitative Feedback Theory (QFT)

Metode QFT adalah metode yang dihasilkan dengan desain praktis sistem umpan balik. Metode ini bertujuan memperoleh batasan kuantitatif yang memenuhi ketentuan variasi transfer function loop tertutup pada hasil variasi khusus loop gain. Metode desain ini mengandalkan representasi grafis loop gain pada Nichols Chart.

Enam langkah desain dengan metode QFT adalah sebagai berikut :

1. Menentukan set transfer function plant $\{p_i(s)\}$ sistem pengaturan yang akan didesain. Menandai satu transfer function yang berubah-ubah $P_{nom}(s)$ sebagai plant nominal. Untuk setiap set frekuensi $\{\omega_k\}$ (rad/sec) yang dipilih, hitung template plant dari set nilai $\{P_i(j\omega_k)\}$
2. Menentukan spesifikasi loop tertutup dalam domain waktu dan frekuensi. Spesifikasi dalam domain waktu diterjemahkan dalam domain frekuensi.
3. Dari template plant, dan spesifikasi domain waktu, hitung batasan Horowitz $\{\omega_k\}$
4. Menampilkan loop terbuka nominal, $P_{nom}(j\omega)G(j\omega)$ dalam Nichols Chart, desain $G(j\omega)$ melalui *classical loop shaping* sehingga loop terbuka nominal memenuhi batasan Horowitz pada setiap frekuensi $\{\omega_k\}$. Gunakan kriteria Nyquist sebagai penegasan bahwa loop tertutup adalah stabil asimtotik untuk semua kasus plant.
5. Menutup loop $\left\{ \frac{G(s)P_i(s)}{1 + G(s)P_i(s)} \right\}$ dan membentuk loop $F(s)$ dengan bantuan loop

tertutup diagram bode, sehingga transfer function close loop $F(s) = \frac{G(s)P_i(s)}{1 + G(s)P_i(s)}$ dari

referensi ke output berada dalam spesifikasi.

6. Mensimulasikan transfer function loop tertutup untuk sejumlah kasus plant, dan menegaskan spesifikasi domain waktu telah dipenuhi.

2.5. Desain QFT Untuk Sistem Umpan Balik Robust

Desain sistem umpan balik mudah menentukan spesifikasi peformansi robust. Hal ini dapat diperoleh melalui pembentukan kembali gain loop L . Perubahan respon

frekuensi kompensator $C(j\omega)$ pada beberapa frekuensi ω bernilai untuk menggeser gain loop $L(j\omega)$ pada frekuensi yang sama dalam plot Nichols.

Salah satu alasan penggunaan umpan balik adalah karena respon yang terjadi pada proses loop terbuka tidak memenuhi kriteria performan yang diinginkan atau untuk menghadapi munculnya ketidakpastian dalam bentuk noise dan gangguan yang tidak terprediksi (variasi tak terduga dari respon plant).

F. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan metode pengaturan otomatis, agar kecepatan putar *spindle* sesuai dengan diameter benda kerja menggunakan kontroler robust metode QFT.

G. KONTRIBUSI PENELITIAN

1. Permodelan kecepatan *spindle* dengan penggerak motor DC pada mesin bubut.
2. Pemanfaatan metode Robust dengan QFT untuk pengaturan kecepatan *spindle*.

H. METODOLOGI PENELITIAN

1. Strategi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metodologi berupa tahap-tahap penelitian yang meliputi : studi literatur, identifikasi plant, permodelan sistem, perancangan sistem serta pengujian sistem.

a. Studi literatur : Pada tahapan ini, langkah penelusuran penelitian yang relevan melalui studi pustaka referensi berupa buku dan jurnal yang pernah ada terkait dengan pengaturan kecepatan spindle maupun sistem pengaturan robust.

b. Identifikasi Plant : Tahap ini merupakan proses identifikasi plant. Proses identifikasi plant dilakukan dengan identifikasi dinamis plant loop terbuka menggunakan struktur model ARX. Adapun pengambilan data dilakukan pada tiga kondisi operasi.

c. Permodelan Sistem : Setelah mendapatkan data hasil identifikasi, langkah berikutnya adalah permodelan sistem sehingga diperoleh *transfer function* (TF) untuk ketiga kondisi operasi tersebut.

A) Spindle beroperasi tanpa beban, kondisi ini menghasilkan TF :

$$P_1(s) = \frac{0.08634s + 1.121}{s^2 + 0.1227s + 0.02203}$$

B) Spindle beroperasi pada pemakanan pahat kedalaman 0.1 mm, kondisi ini TF :

$$P_2(s) = \frac{0.06353s + 0.6802}{s^2 + 0.1307s + 0.01384}$$

C) Spindle beroperasi pada pemakanan pahat kedalaman 0.7 mm, kondisi ini TF :

$$P_3(s) = \frac{0.03634s + 0.3221}{s^2 + 0.1088s + 0.00992}$$

d. Perancangan Sistem

Penelitian ini akan dilakukan perancangan sistem pengaturan kecepatan *spindle* menggunakan sistem pengaturan robust metode QFT.

e. Analisa dan Pengujian Sistem

Pengujian sistem ini meliputi : perubahan masukan (set point), gangguan input dan output, penggunaan prefilter dan tanpa prefilter serta noise.

2. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah mesin bubut, dengan melakukan variasi beban bubutan.

3. Alat dan Bahan

a. **Hardware** : Alat dan bahan yang dibutuhkan meliputi : Personal Komputer, mikrokontroler, motor DC, photo dioda, tacho, rotary encoder, serta komponen elektronik untuk rangkain driver motor dan rangkain kontroler. (transistor, FET, resistor, LED, dioda, kapasitor, selector).

b. **Software** : Program yang digunakan adalah delphi, bahasan C dan matlab.

4. Definisi Operasional

- *Spindle* merupakan bagian penggerak spacement pada mesin bubut supaya spacement dapat berputar untuk dilakukan pebubutan.
- Kedalaman pemotongan spacement adalah kedalaman pahat masuk ke spacement dikalikan dua, sehingga muncul angka kedalaman potong 0.1mm dan 0.7mm.
- Spacement yang akan digunakan dalam hal ini adalah benda kerja satu jenis (akan dipilih almunium yang sudah dalam bentuk silinder).

5. Teknik Pengumpulan Data Penelitian

Data yang diperlukan dalam penelelitian design kontroler spindle dengan robust kontroler terdiri dari :

5.1. Data input yang berasal dari output ADC yang besarnya (0-2,5 Vdc) yang berasal dari sensor. Data dari sensor diubah ke digital sebagai input computer. Dari computer kemudian data akan diubah dengan DAC.

5.2. Data pada saat perancangan robust kontroler

- Data output tegangan tacho pada spindle mesin bubut.
- Data-data tersebut dilakuakn dengan berbagai variasi antara data kecepatan maskimum dan minimum yang bisa ditempuh.

5.3 Data pengujian terhadap plant (spindle mesin bubut), data ini meliputi :

- Data hasil tegangan tacho setelah diberi kontroler (loop tertutup).
- Data kemampuan untuk robust pada bervariasinya kedalaman bubutan.

6. Teknik Analisis Data Penelitian

Analisis data dilakukan melalui beberapa langkah, meliputi ;

a. Memanfaatkan program matlab. Matlab merupakan software untuk keperluan simulasi maupun olah numeris matematis. Program ini dapat melakukan analisis matriks untuk setiap tahap metode robust. Analisis meliputi data input, proses robustness dan output actual.

Dalam matlab terdapat fasilitas simulink dengan fasilitas ini, peneliti akan membandingkan secara langsung antara hasil desain dengan software dan plant secara actual pada saat uji plant. Seberapa besar penyelewengan terhadap set poin yang diinginkan.

b. Untuk data elektronis pada rangkaian driver motor (pada mesin bubut) dari hasil pengukuran dan nilai actual akan dilakukan perbandingan. Nilai beda tersebut akan diolah sehingga tampak nilai signifikansinya.

1. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ad Damen and Siep Weiland (2002), *Robust Control*, Measurement and Control Group Department of Electrical Engineering Eindhoven University of Technology, Draft version of July 17, 2002
- [2] David Gibbs, (1998), Thomas M. Crandell, *Dasar-dasar teknik dan Pemrograman CNC* Rosda Jaya Putra, Jakarta
- [3] Harinto L, 2004. "Pengaturan Kecepatan Spindle Mesin Bubut Dengan Penggerak Motor DC Berdasarkan Diameter Benda Kerja Menggunakan Fuzzy Logic Controller", **Thesis**, Jurusan Teknik Elektro, FTI, ITS.
- [4] Liaw, Chang Ming (1991), *Desain & Implementation Controller for High Performance Induction Motor Drive* IEEE Trans, On system, Man & Cybernetic, Vol 21.no 4
- [5] Ogata Katsuhiko (2002), *Modern Control Engineering*, Fourth Edition, Prentice Hall.
- [6] Ravi Lingarkar. Liu Liu, Mohamed A. Elbastawi, Naresh K. Sinha, (1990), *Knowledge Base adaptive Computer Control in Manufacturing System : Case Study*, IEEE Transaction on System, man and Cybernetics, Vol.20, No.3, Hal.607, May/June,
- [7] Sarwanto (2004), *Perancangan Kontroler PID Self Tuning Untuk Kontrol Spindle Mesin Bubut*, Megister Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [8] Salim Agus (2004), *Desain kompensator Sebagai Kontrol Robust Pada Sistem Pengapian Spark Ignition Engine*, Megister Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [9] Shahian, Bahram, and Michael Hassul, (1993), *Control System Design Using Matlab*, Prentice Hall.
- [10] Son Kuswandi, (2000), *Kendali cerdas*, EEPIS Press, Surabaya-Indonesia
- [11] Yoram Koren, (1985), *Computer Control of Manufacturing System*, McGrawHill Book Co-Singapore.
- [12] Zuhail, (2000), *Dasar TTL dan elektronika Daya*, PT Gramedia Utama, Jakarta.