

ISSN : 1979 - 911X



**IST AKPRIND**  
INSTITUT SAINS & TEKNOLOGI AKPRIND  
YOGYAKARTA

*Guiding You to a Bright Future*



**PERTAMINA**  
Always There

# Prosiding

*Seminar  
Nasional*

**Aplikasi Sains**



**Teknologi**

Kampus IST AKPRIND Yogyakarta  
Sabtu, 13 Desember 2008

# KONTROL PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF (PID) UNTUK MOTOR DC MENGGUNAKAN PERSONAL COMPUTER

Erwin Susanto

Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom Bandung

Email: [ews@ittelkom.ac.id](mailto:ews@ittelkom.ac.id)

## ABSTRACT

*Proportional Integral Derivative (PID) controller is used to maintaining system's performance such as speed controller of dc motor. Response time and steady state error are often measured to evaluate control system's performance. In this paper, PID is implemented by using personal computer. The personal computer is not only for PID implementation, but also for monitoring of interactive performance graph. Based on Ziegler Nichols method, best condition that is found are 11.175, 22.35 and 1.35 for proportional gain, integral gain, and derivative gain. According to curva that is depicted, the error steady state is about 2%.*

*Keywords: error steady state, PC, PID, Zieger-Nichols*

## INTISARI

Pengendali Proportional Integral Derivative (PID) merupakan salah satu pengendali yang bertujuan memperbaiki kinerja suatu sistem, termasuk sistem kendali putaran motor dc. Kecepatan respon dan *error steady state* merupakan parameter yang diukur untuk menilai kinerja suatu sistem kendali. Kendali PID dalam makalah ini diimplementasikan melalui perangkat lunak berbasis personal computer (PC) yang sekaligus juga dipakai sebagai monitoring kurva respon yang dihasilkan melalui tampilan grafik interaktif. Kondisi terbaik dengan metode *tunning* Ziegler-Nichols diperoleh pada nilai konstanta kendali  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  masing-masing sebesar 11.175, 22.35 dan 1.35 dengan *error steady state* sebesar 2%.

Kata kunci : *error steady state*, PC, PID, Zieger-Nichols

## PENDAHULUAN

Motor searah, lebih dikenal dengan motor DC merupakan motor yang banyak digunakan di industri baik sebagai penggerak dan pengangkat beban maupun sebagai mesin-mesin penggulung atau pelipat pelat. Hal ini dikarenakan motor DC mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya torsi awal yang besar, metode pengontrol putarannya sederhana dan relatif murah.

Untuk sistem pengaturan konvensional, plant yang diatur diasumsikan mempunyai fungsi alih yang tetap, sehingga parameter-parameter kendali yang dirancang dan dihitung besarnya sedemikian rupa untuk mencapai unjuk kerja sistem yang diinginkan saat motor bekerja. Asumsi demikian masih dapat diterima jika perubahan yang terjadi sedemikian kecil, misalnya jika motor dioperasikan tanpa beban.

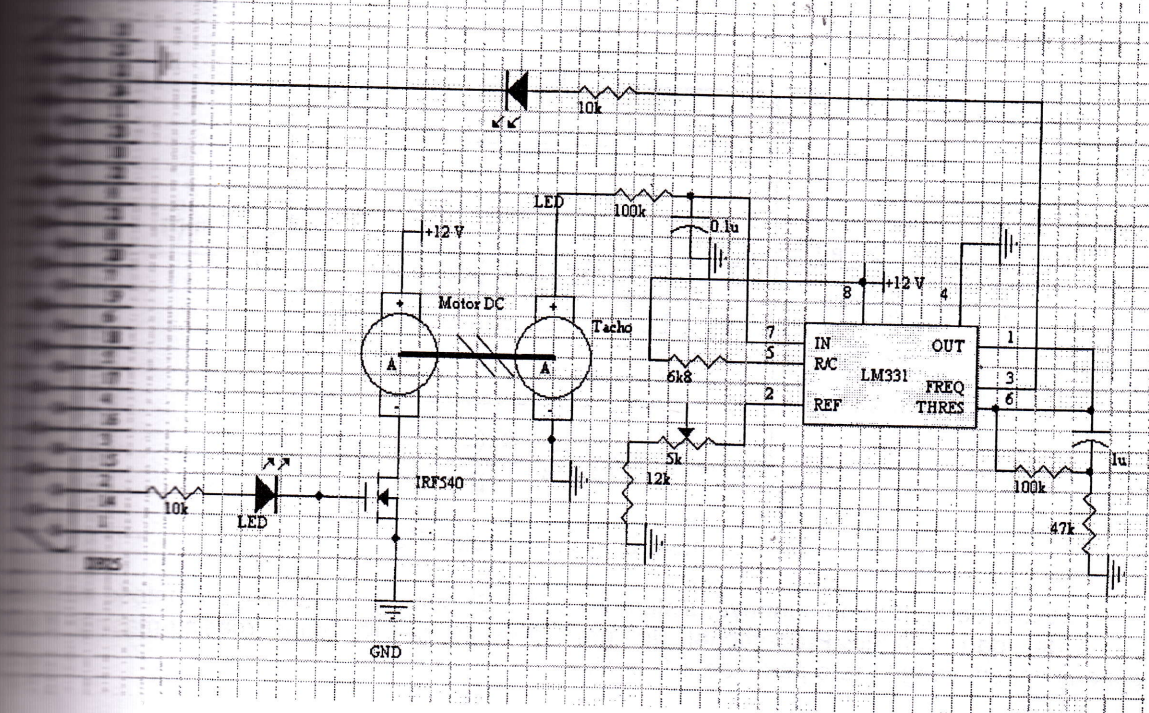
Keberadaan kontroler atau pengendali dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Pada prinsipnya hal itu disebabkan oleh model plant yang diasumsikan tidak dapat diubah, sehingga untuk mengubah karakteristik dan kinerja sistem secara keseluruhan seperti yang diinginkan, diperlukanlah suatu pengendali. Pengendali inilah yang modelnya dapat diubah, sehingga model sistem seluruhnya juga berubah sesuai yang dikehendaki.

Selain itu, salah satu tugas komponen kontroler adalah mereduksi sinyal kesalahan, yaitu perbedaan antara sinyal *setting* dan sinyal actual yang dibandingkan melalui umpan balik. Kontroler akan senantiasa mengubah sinyal aksi selama sinyal *error* terjadi.

Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kontrol yakni untuk mendapatkan sinyal actual yang senantiasa diinginkan sama dengan sinyal acuan yang disetting. Dengan demikian semakin cepat reaksi sistem mengikuti sinyal actual dan semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baiklah kinerja sistem kontrol yang diterapkan.

## DESAIN SISTEM

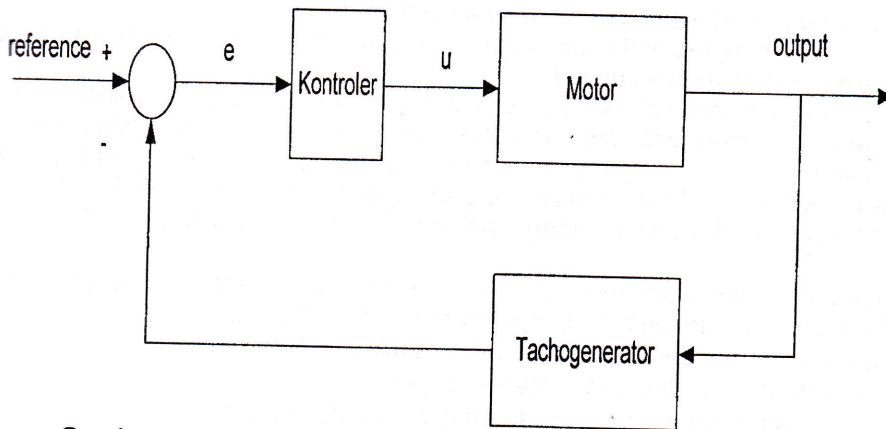
Skema rangkaian ini akan dibangun suatu sistem kendali putaran motor dc dengan kendali PID, secara skematik, sistem yang dirancang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema rangkaian Pengaturan Putaran Motor DC

PC (*Personal Computer*) digunakan sebagai pusat kendali seluruh rangkaian dengan memanfaatkan perangkat lunak delphi. Selain itu PC juga digunakan sebagai sarana input-output yang berguna untuk mengirimkan data dari rangkaian ke PC sebagai input atau dari PC ke rangkaian-output.

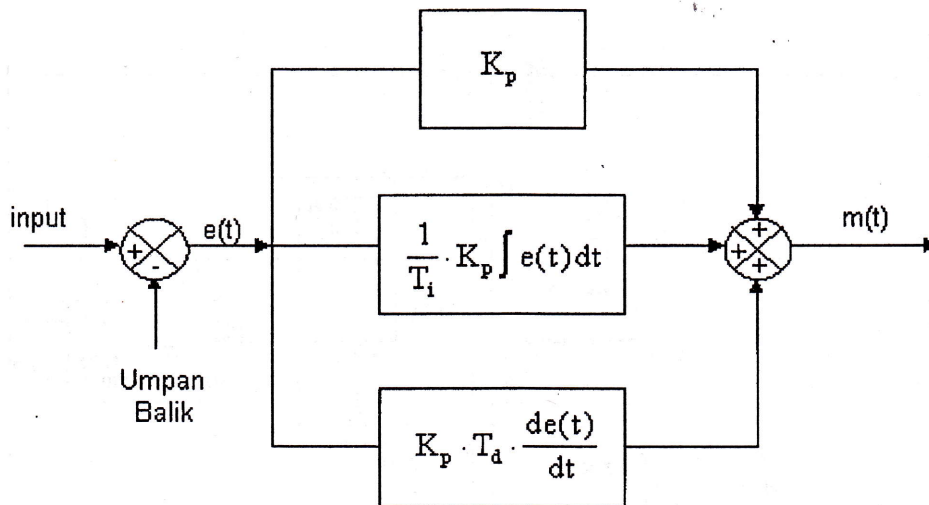
PC memerintahkan paralel port DB25 pada pin 2 untuk mengeluarkan pulsa dengan level 5 volt. Adapun nilai *duty cycle* sesuai dengan putaran yang diinginkan (*reference*), yang prinsipnya sama dengan modulasi lebar pulsa (*pulse width modulation, PWM*). Blok diagram sistem kendali digambarkan berikut:



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Pengaturan Putaran Motor DC

Apabila terdapat perbedaan antara nilai *setting* dengan nilai keluaran maka kontroler akan menghasilkan sinyal *error* yang berfungsi mempengaruhi aksi kendali pada plant. Dengan demikian sistem secara cepat mengubah keluaran *plant* sampai diperoleh selisih antara sinyal *setting* dengan keluaran sistem yang diatur sekecil mungkin.

Kendali yang diaplikasikan pada sistem pengaturan putaran motor dc pada makalah ini adalah kendali PID. Secara umum, blok diagram kontroler PID yang digunakan, terlihat pada gambar 3. dibawah ini:



Gambar 3. Blok Kontroler PID

Sesuai dengan penamaannya, sistem kontrol PID merupakan gabungan metode pengaturan yang terdiri dari kendali Proportional, Integral, dan Derivative yang masing-masing memiliki kegunaan, seperti yang tertera pada tabel 1. berikut:

Tabel 1. Kinerja kendali PID

Respon close loop	Rise time	Overshoot	Error steady state
Proporsional	berkurang	Meningkat	Berkurang
Integral	berkurang	Meningkat	Hampir nol
Derivative	Berubah sedikit	berkurang	Berubah sedikit

Masing-masing kendali dapat bekerja dan diimplementasikan baik secara terpisah maupun kombinasi secara bersamaan dengan tujuan saling melengkapi diantara masing-masing karakteristik kendali tersebut. Penjelasan untuk masing-masing kendali, berikut ini:

Pada aksi kendali proporsional, keluaran sistem kendali akan berbanding lurus dengan masukan dan *error*, dan menghasilkan tanggapan yang cepat. Akan tetapi *overshoot* meningkat sehingga sistem cukup bermasalah terutama saat awal beroperasi.

Untuk kendali integral, keluaran sistem berubah dengan cepat sesuai perubahan *error*, sehingga *error steady state* mendekati nol.

Sedangkan aksi kendali derivative bekerja sesuai dengan laju perubahan *error*. Oleh karena itu, kendali ini berfungsi mereduksi laju perubahan *error* sehingga menjaga kestabilan sistem. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  supaya tanggapan keluaran sistem sesuai yang diinginkan. Langkah-langkah yang biasa dilakukan untuk mendesain kendali PID sehingga mendapatkan respon yang diinginkan, sebagai berikut:

- Mengamati respon sistem *open loop* untuk menentukan parameter kinerja yang akan diperbaiki, menggunakan metode Zieger Nichols dengan merujuk pada tabel 2.
- Menambahkan kendali proporsional untuk memperbaiki *rise time*
- Menambahkan kendali derivative untuk mengurangi *overshoot*
- Menambahkan kendali integral untuk mengurangi *error steady state*
- Terakhir, mengubah-ubah parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  sehingga diperoleh kinerja yang diinginkan

#### Penalaan Kontroler (Controller Tuning) PID

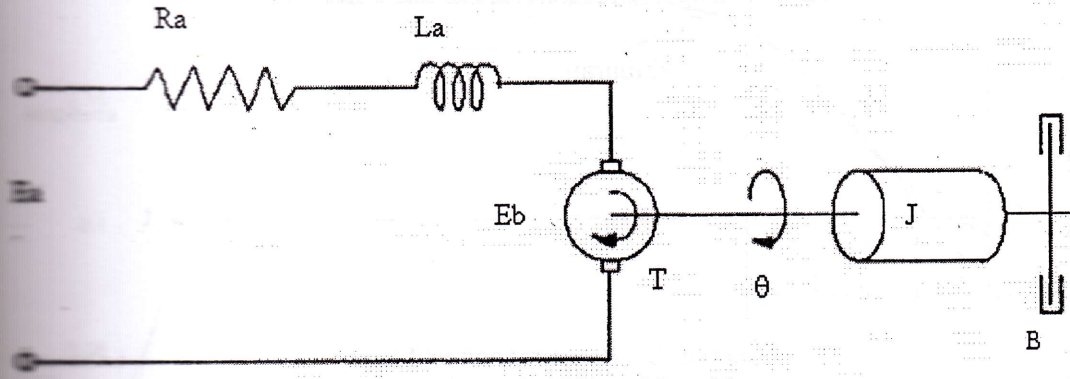
Fungsi tranfer kontroler PID dalam domain  $s$  dinyatakan dengan persamaan :

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (1)$$

di mana :

- $K_p$  = penguatan proporsional
- $K_i$  = penguatan integral
- $K_d$  = penguatan derivatif
- $T_i$  = waktu integral
- $T_d$  = waktu derivatif

Sedangkan rangkaian ekuivalen motor dc digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4. Rangkaian ekuivalen motor dc

Persamaan yang dibentuk berdasarkan rangkaian ekuivalen motor dc pada gambar 4. diatas, adalah ini:

$$E_a(s) = sL_a i_a + R_a i_a + E_b \quad (2)$$

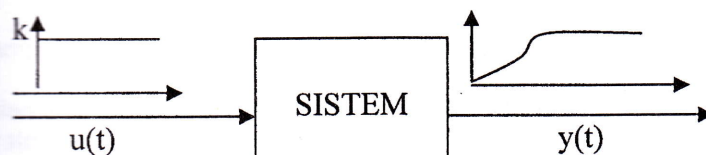
$$E_b(s) = K_b \omega \quad (3)$$

$$T = K_t i_a \quad (4)$$

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (5)$$

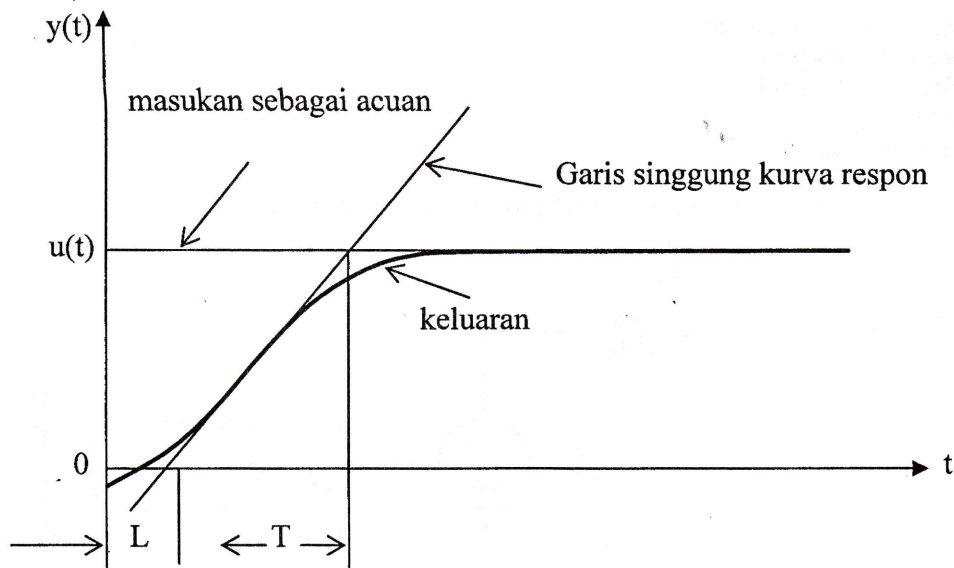
- $E_a$  = tegangan masukan jangkar
- $E_b$  = tegangan emf balik
- $R_a$  = resistansi jangkar
- $J$  = momen inersi poros motor
- $B$  = koefisien viskositas gesek
- $T$  = torsi yang dihasilkan motor
- $K_t$  = konstanta torsi
- $K_b$  = konstanta emf balik
- $\omega$  = kecepatan angular

Pada respons fungsi tangga, umumnya respons sistem terhadap masukan tangga satuan akan mengalami penundaan respon sebelum sistem mencapai nilai acuan yang diinginkan seperti ditunjukkan pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Respon tangga satuan sebuah sistem

Respon keluarannya dapat diperjelas seperti pada gambar 6., yang dapat dipakai untuk menentukan parameter kendali PID yang akan digunakan menurut cara Zieger Nichols.



Gambar 6. Kurva respon unit tangga

Kemudian, dari kurva yang dibentuk berdasarkan respon tangga (unit step) dapat digambarkan garis singgung pada kurva saat transient sehingga dari karakteristik kurva berbentuk-S ini dapat memberikan dua konstanta, yakni waktu tunda  $L$  dan konstanta waktu tunda  $T$ . Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  berdasarkan tabel 2., yang nilainya didapat dari penggambaran garis singgung.

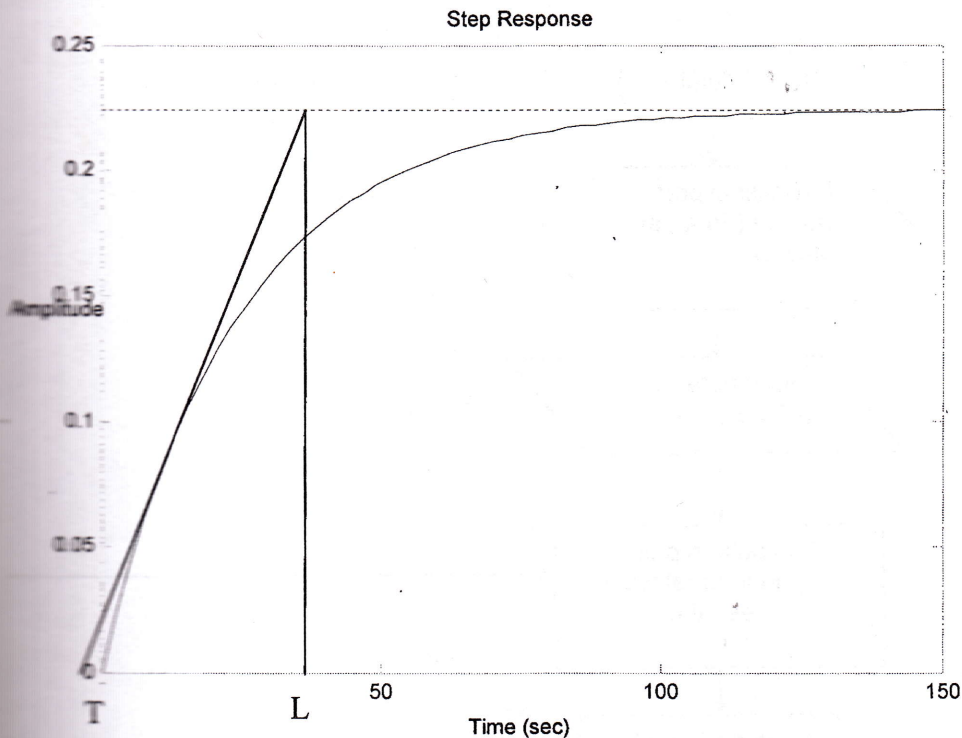
Tabel 2. Aturan penalaan Ziegler-Nichols didasarkan pada respons tangga

Tipe Kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/L$	$\infty$	0
PI	$0,9(T/L)$	$L/0,3$	0
PID	$1,2(T/L)$	$2L$	$0,5L$

Untuk mendapatkan respon keluaran tanpa beban dengan masukan tangga (unit step), dapat disimulasikan untuk fungsi alih motor dc berdasarkan pers.(2) sampai dengan pers.(5), didapatkan fungsi alih putaran-tegangan masukan motor dc sesuai dengan pers.(6) berikut ini:

$$\frac{\omega}{E_a} = \frac{1}{\left(\frac{L_a J}{K_T}\right) s^2 + \left(\frac{L_a B + R_a}{K_T}\right) s + \left(\frac{R_a B}{K_T} + K_b\right)} \quad (6)$$

Pengujian unit step sistem kecepatan motor dc pada pers.(6), menghasilkan kurva respon unit step seperti pada gambar 7., yang kemudian dengan metode grafik ditentukan nilai  $L$  dan  $T$ , berikut ini:



Gambar 7. Kurva respon unit step pada sistem open loop

Kemudian dengan mensubstitusikan tabel 2. pada pers.(1) didapatkan:

$$K_p = 1,2 \frac{T}{L} \quad (7)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{K_p}{2L} \quad (8)$$

$$K_d = K_p T_d = K_p * 0.5L \quad (9)$$

Dengan nilai L dan T yang diketahui, maka berdasarkan tabel 2., diperoleh nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang diharapkan memberi kinerja terbaik.

#### Penyempurnaan Kinerja Sistem

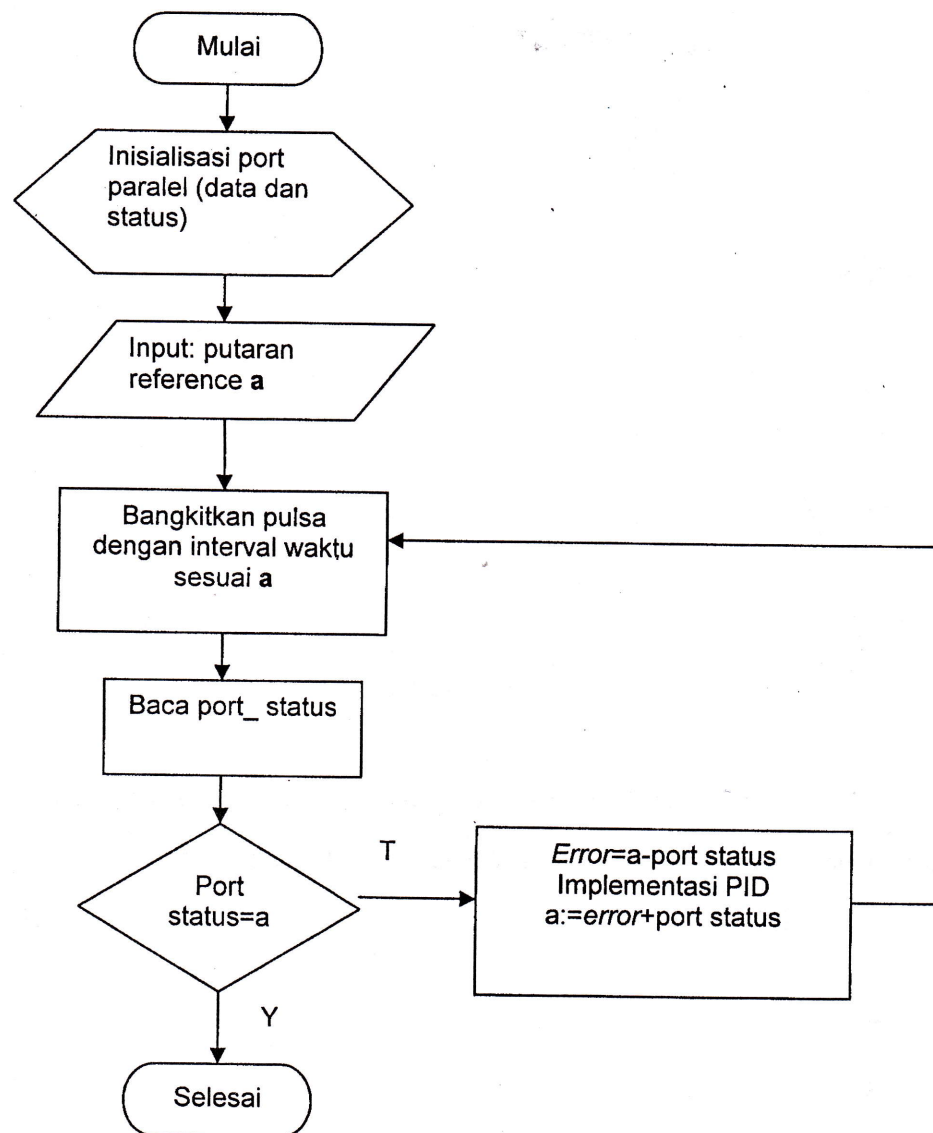
Pengaturan putaran motor DC dilakukan secara *on-line*. Untuk itu diperlukan komputer dengan perangkat lunaknya yang direalisasikan menggunakan bahasa pemrograman delphi.

Sistem pengaturan putaran motor dc ini terdiri dari komponen-komponen peralatan sebagai berikut:

- (i) Personal computer, dilengkapi dengan perangkat lunak yang mengimplementasikan kendali PID,
- (ii) Blok rangkaian penyesuai dan konverter, termasuk yang berfungsi sebagai ADC,
- (iii) Tachogenerator, dan
- (iv) Motor DC.

Peralatan yang dirangkai seperti pada gambar 1., dimana pengaturan putaran motor DC dilakukan melalui personal komputer. Selain itu, PC juga digunakan sebagai sarana input-output yang diperlukan untuk mengirimkan data dari rangkaian ke PC (input) atau dari PC ke rangkaian (output). PC menggunakan parallel port DB25 pada pin 2 untuk mengeluarkan pulsa sebesar 5 volt dengan *duty* disesuaikan dengan putaran yang diinginkan (*reference*). Kemudian pulsa yang dikeluarkan oleh PC

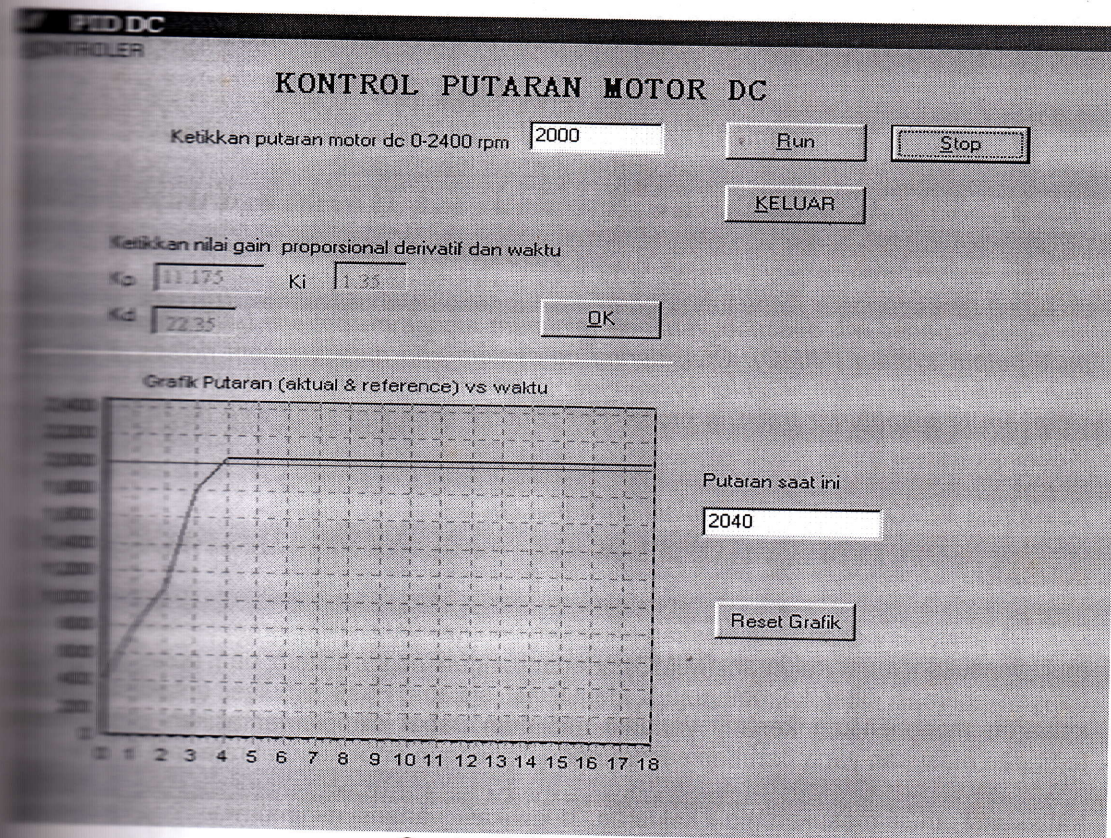
mengemudikan IRF540, yang merupakan transistor jenis FET, berfungsi sebagai saklar elektronik (*on-off*).



Gambar 8. Diagram Alir Program

Kondisi *on-off* inilah yang nantinya mengakibatkan putaran motor bervariasi. Rotor motor DC dikopel dengan tachogenerator dengan range putaran 0 – 2400 rpm, dan range tegangan 0 – 24 volt. Keluaran tachogenerator diumpankan kepada ADC (V to F) sehingga output ADC (V to F) merupakan sinyal pulsa aktual yang akan dibandingkan dengan pulsa yang diinginkan (*reference*). Selanjutnya hasil perbandingan kedua sinyal (*error* sinyal) diolah dengan kontroler PID untuk memperbaiki kinerja motor. Grafik kinerja sistem yang diperoleh terlihat pada gambar 9, berikut:





Gambar 9. Respon Sistem

Dengan memasukkan masing-masing nilai parameter PID yang diperoleh dari gambar 7. untuk sistem model motor yang diketahui, sehingga secara empirik dapat mengukur besarnya  $L$  dan  $T$  berdasarkan tabel 2., diperoleh nilai  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang dianggap sebagai nilai terbaik untuk sistem putaran motor dc tanpa beban.

Sumbu vertikal menunjukkan putaran motor dalam rpm, sedangkan sumbu horisontal menunjukkan waktu dalam 10 detik untuk masing-masing nilai.

#### KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh berdasarkan tampilan grafik interaktif menunjukkan sistem yang dibangun memiliki error steady state rata-rata 2% untuk nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  masing-masing sebesar 11.175, 1.35 dengan kondisi beban nol.

Penelitian dengan variasi beban belum dilakukan dan masih memerlukan identifikasi sistem untuk keseluruhan termasuk nilai parameter beban yang digunakan. Tentu dengan variasi beban, diperlukan lagi tuning parameter PID yang sesuai untuk masing-masing beban yang diukur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Wittenmark, K.J. Bjorn. 1997. *Computer Controlled Systems, Theory and Design*. Prentice Hall
- Prasetyo, Romy. 2007. *Interfacing Paralel dan Serial Menggunakan Delphi*, Graha Ilmu, Jogjakarta
- Richard, 2001, *Modern Control Systems*, 9th edition, Prentice Hall Inc., New Jersey
- Susanto, Diana Rahmawati, Abdul Kholiq 2005, " *Laporan Project Lab*" Pasca Sarjana Teknik Elektro, ITS Surabaya, Tidak Dipublikasikan
- Ogata 1997. *Teknik Kontrol Automatik*. Erlangga Jakarta
- Burns, S. 1995. *Advanced Control Engineering*. University of Plymouth, UK
- Nichols, J.G. & N.B. Nichols, 1942, *Optimum Setting for Automatic Controllers*, Tans. ASME