

BAB 3

PEMODELAN MATEMATIS DAN SISTEM PENGENDALI

Pada tesis ini akan dilakukan pemodelan matematis persamaan lingkaran tertutup dari sistem pembangkit listrik tenaga nuklir. Pemodelan matematis dibentuk dari pemodelan pada gambar 2.5. Pemodelan pada gambar ini masih berupa pemodelan pembangkit lingkaran terbuka, belum ada umpan balik. Pemodelan matematis dengan memasukan konstanta yang telah diperoleh dan terlihat pada tabel 2.1. dan tabel 2.2. Kemudian diberikan umpan balik *speed droop*. Selanjutnya adalah diberikan masukan perubahan daya beban P_L sebagai gangguan. Dari sini kemudian dibentuk pemodelan matematis persamaan lingkaran tertutup. Persamaan matematis lingkaran tertutup dijalankan secara simulasi untuk melihat tanggapan waktu perubahan frekuensi. Hasil simulasi mungkin belum dapat memberikan hasil yang bisa digunakan dalam kondisi operasi. Oleh karena itu, diperlukan perancangan sebuah sistem pengendali, sistem pengendali yang digunakan adalah metode PID. Pengenalan karakteristik masing-masing masukan PID akan menentukan hasil kurva yang diperoleh.

3.1. Pemodelan Matematis Pembangkit

Pengendalian ini diawali dengan membuat persamaan matematis sistem pembangkit.. Dari gambar 2.10 maka akan dibuat persamaan lingkaran terbuka dengan sebagai masukan adalah perubahan daya beban P_L , sebagai plant (G) adalah generator dan umpan balik (H) adalah turbin, governor dan *speed droop*, sebagai keluaran adalah perubahan kecepatan. Berikut persamaan lingkaran terbuka,

$$G = \left[\left(\frac{1}{(Ms + D)} \right) \right] \quad (3.1)$$

$$H = \left[(R_{Droop}) (T_{turbin} \cdot s) (T_{governor} \cdot s) \right] \quad (3.2)$$

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta P_L} = \left[\left(\frac{G}{G.H + 1} \right) \right] \quad (3.3)$$

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta P_L} = \left[\left(\frac{1}{Ms + D} \right) \left(\frac{1}{1 + \tau_{gov} \cdot s} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 + \tau_{turbine} \cdot s} \right) \left(\frac{1}{R_{drop}} + 1 \right) \right] \quad (3.4)$$

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta P_L} = \left[\left(\frac{1}{2.5789 \cdot s + 1} \right) \left(\frac{1}{1 + 0.03 \cdot s} \right) \left(\frac{s + 2.4}{0.3s^2 + s} \right) (0.15) \right]$$

Maka:

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta PL} = \left[\left(\frac{0.009 \cdot s^3 + 0.33 \cdot s^2 + s}{(0.0232 \cdot s^4 + 0.86 \cdot s^3 + 2.9 \cdot s^2 + 1.15s + 0.36)} \right) \right]$$

Jadi persamaan lingkaran tertutup menjadi

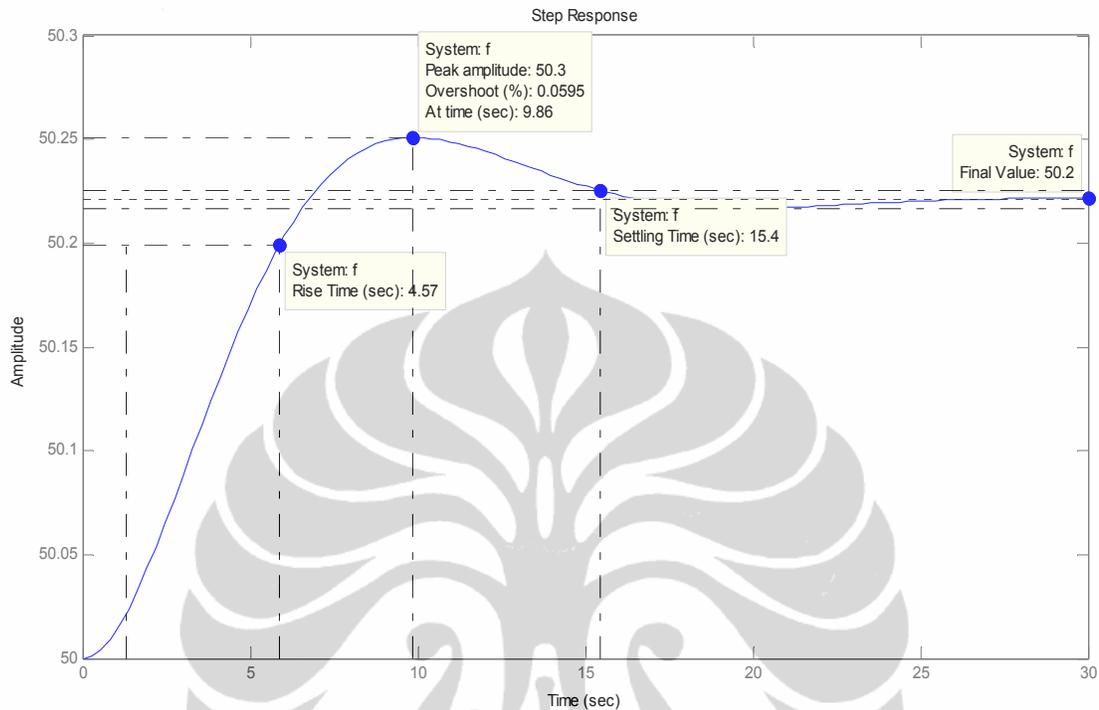
$$\frac{\Delta\omega}{\Delta PL} = \left[\left(\frac{0.009 \cdot s^3 + 0.33 \cdot s^2 + s}{(0.0232 \cdot s^4 + 0.86 \cdot s^3 + 2.9 \cdot s^2 + 1.15s + 0.36)} \right) \right] \quad (3.5)$$

Tanggapan waktu perubahan kecepatan dapat dicari dengan cara menjalankan simulasi persamaan lingkaran terbuka ini dengan menggunakan bantuan MATLAB metode *Script*.

Berikut bentuk perintahnya:

```
%sistem melayani 750MW, terjadi penambahan daya beban
%beban mengalami perubahan beban deltaPL diasumsikan masuk kedalam
sistem
%Besarnya deltaPL adalah 150MW,dalam hal ini adalah 0.2 pu
num=[0 0.009 0.33 1 0]
den=[0.0232 0.86 2.9 1.15 0.36];           %persamaan lingkaran terbuka
sistem
a=tf(num,den);                             %persamaan lingkaran terbuka dikali PL
f=50+a/(4*pi)
ltiview(f)
```

Tanggapan waktu kecepataannya dapat dilihat pada gambar 3.1



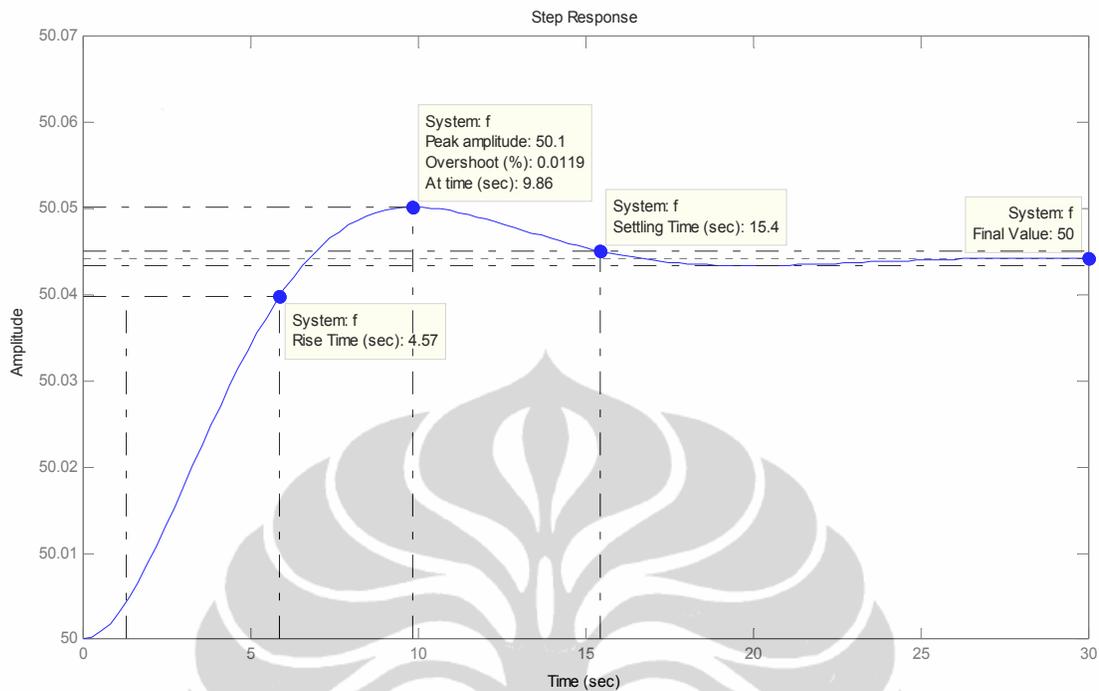
Gambar 3.1 Kurva tanggapan waktu kecepatan persamaan lingkaran terbuka.

Pada gambar 3.1 kurva dapat dilihat memiliki waktu naik ($rise\ time = t_r$) sebesar 4.57 detik. Waktu menuju keadaan mantap ($settling\ time = t_s$) sebesar 15.4 detik. Dan waktu keadaan mantap ($steady\ state\ time = t_{ss}$) sebesar lebih dari 30 detik.

Kemudian akan dilanjutkan dengan memasukan gangguan pada sistem akan diberikan gangguan fungsi step sebesar 0.2 pu dari sistem 750MW, ini berarti ada perubahan daya sebesar 150 MW. Perintah Matlab script adalah sebagai berikut:

```
%sistem melayani 750MW, terjadi penambahan daya beban
%beban mengalami perubahan beban deltaPL diasumsikan masuk kedalam
sistem
%Besarnya deltaPL adalah 150MW,dalam hal ini adalah 0.2 pu
PL=0.2;
num=[0 0.009 0.33 1 0]
den=[0.0232 0.86 2.9 1.15 0.36];           %persamaan lingkaran terbuka
sistem
a=tf(num,den)*PL;                           %persamaan lingkaran terbuka dikali PL
f=50+a/(4*pi)
ltview(f)
```

Dari pemograman diatas diperoleh hasil seperti terlihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Kurva waktu tanggap penalaan *speed droop*

Dari kurva diatas, terjadi penurunan nilai frekuensi dari frekuensi closed loop namunn frekuensi ini belum kembali pada frekuensi normalnya 50 Hz. Dilain fihak, kondisi keadaan mantap tercapai dalam waktu yang sangat lama.yaitu 30 detik. Kurva tidak dapat dikembalikan kedalam posisi normal dengan segera Kondisi ini dapat menimbulkan kerusakan peralatan pada pembangkit. Oleh karena itu diperlukan sebuah teknik pengendalian yang akurat.

3.2.Sistem Pengendali

Keberadaan pengendali dalam sebuah sistem kendali mempunyai peranan yang besar terhadap perilaku sistem, Pada prinsipnya, hal itu disebabkan oleh tidak dapat diubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik sistem pembangkit harus diterima sebagaimana adanya. Sehingga perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan suatu sub pengendali.

Salah satu komponen pengendali adalah mereduksi sinyal kesalahan, yaitu perbedaan antara sinyal *setting* yang diinginkan dengan sinyal aktual. Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kendali adalah mendapatkan sinyal aktual senantiasa (diinginkan)

sama dengan sinyal *setting*. Semakin cepat reaksi sistem mengikuti sinyal aktual dan semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baiklah sistem kendali yang diterapkan.

Apabila perbedaan antara nilai *setting* dengan nilai aktual relatif besar, maka pengendali yang baik seharusnya mampu mengamati perbedaan ini untuk segera menghasilkan sinyal keluaran untuk mempengaruhi sistem pembangkit. Dengan demikian sistem secara cepat mengubah keluaran plant sampai diperoleh selisih antara *setting* dengan besaran yang diatur sekecil mungkin.

Pada sistem ini tujuan dari pengendalian adalah mengendalikan frekuensi yang masih berupa putaran dari sistem pembangkit. Perubahan frekuensi dalam waktu tertentu dapat menyebabkan kerusakan sistem. Pada tesis ini perubahan frekuensi akan diganggu dengan memasukan perubahan beban pada sistem pembangkit.

Salah satu sistem pengendalian adalah kendali PID yang sering digunakan dipenelitian dan industri. Hal ini disebabkan karena sistem ini merupakan sistem kendali lingkaran tertutup yang cukup sederhana dan kompatibel dengan sistem kendali lainnya sehingga dapat dikombinasikan dengan sistem kendali lain seperti *Fuzzy control*, *Adaptif control* dan *Robust control*. Fungsi alih $H(s)$ pada sistem kendali PID merupakan besaran yang nilainya tergantung pada nilai konstanta dari sistem P, I dan D.

$$H(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D \cdot s \quad (3.13)$$

Sistem kendali PID terdiri dari tiga cara pengaturan yaitu kendali P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kendali PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan. Tabel 3.1 menunjukkan kelebihan dan kekurangan masing-masing komponen.

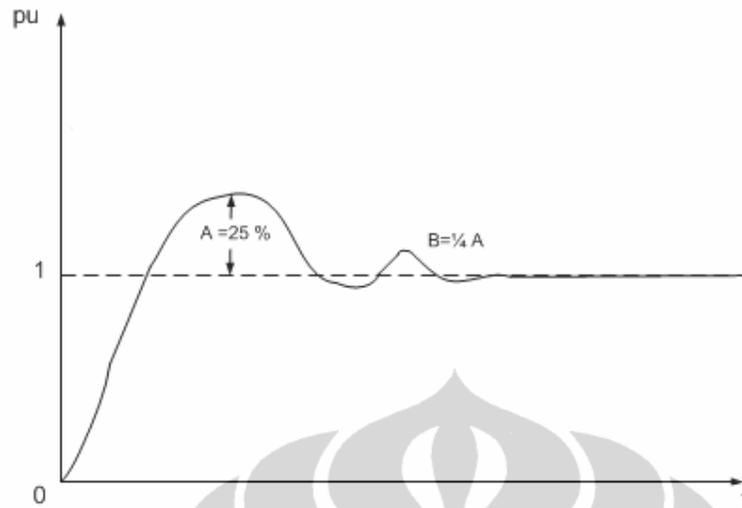
Tabel 3.1 Tanggapan Sistem kendali PID terhadap perubahan parameter^[4]

Tanggapan loop tertutup	Waktu naik	<i>Overshoot</i>	Waktu turun	Kesalahan keadaan tunak
Proporsional (K_p)	Menurun	Meningkat	Perubahan kecil	Menurun
Integral (K_i)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Derivative (K_d)	Perubahan kecil	Menurun	Menurun	Perubahan kecil

Penalaan parameter pengendali PID (*Proporsional Integral Diferensial*) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (model pembangkit). Dengan demikian betapapun rumitnya suatu plant, perilaku plant tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan. Karena penyusunan model matematik pembangkit tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi pembangkit yang dikenai suatu perubahan. Salah satu metode pendekatan eksperimental penalaan pengendali PID, yakni metode *Ziegler-Nichols* serta dilengkapi dengan metode *Quarter decay* dan metode *heuristic* (coba-coba).

3.2.1. Metode Ziegler-Nichols

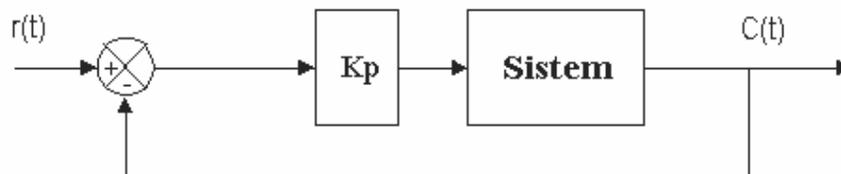
Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Gambar 3.3 memperlihatkan kurva dengan lonjakan 25%.



Gambar 3.3 Kurva respons tangga satuan yang memperlihatkan 25 % lonjakan maksimum

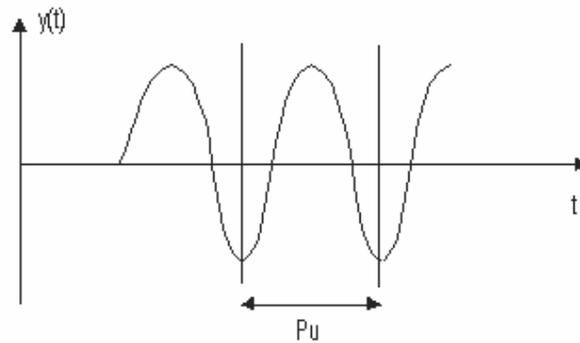
3.2.2. Metode Osilasi atau *Ultimate Cycle Methode*

Metode ini didasarkan pada reaksi sistem untaian tertutup. Model pembangkit disusun serial dengan pengendali PID. Semula parameter parameter integrator disetel tak berhingga dan parameter diferensial disetel nol ($T_i = \infty$; $T_d = 0$). Parameter proporsional kemudian dinaikkan bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi sistem berosilasi. Reaksi sistem harus berosilasi dengan magnitud tetap (*Sustained oscillation*). Gambar 3.4 menunjukkan rangkaian untaian tertutup pada cara osilasi.



Gambar 3.4 Sistem untaian tertutup dengan alat pengendali proporsional

Nilai penguatan proportional pada saat sistem mencapai kondisi *sustained oscillation* disebut *ultimate gain* K_u . Periode dari *sustained oscillation* disebut *ultimate period* P_u . Gambar 3.5 menggambarkan kurva reaksi untaian tertutup ketika berosilasi.



Gambar 3.5 Kurva respon *sustained oscillation*

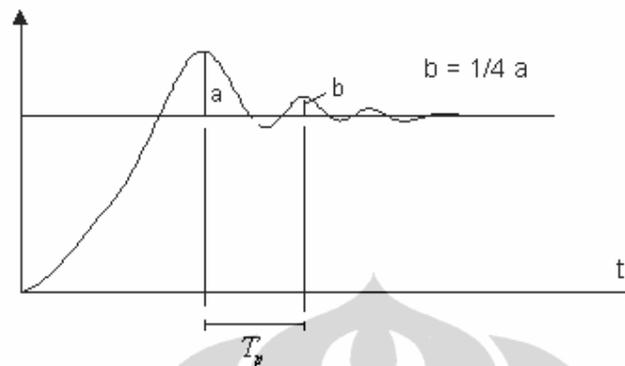
Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen, K_u dan P_u . *Ziegler dan Nichols* menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Penalaan parameter PID dengan metode osilasi ^[14]

Tipe Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 \cdot K_u$		
PI	$0,45 \cdot K_u$	$1/2 P_u$	
PID	$0,6 \cdot K_u$	$0,5 P_u$	$0,125 P_u$

3.2.3. Metode *Quarter - decay*

Karena tidak semua proses dapat mentolerir keadaan osilasi dengan amplituda tetap, *Cohen-coon* berupaya memperbaiki metode osilasi dengan menggunakan metode *quarter amplitude decay*. Tanggapan untai tertutup sistem, pada metode ini, dibuat sehingga respon berbentuk *quarter amplitude decay*. *Quarter amplitude decay* didefinisikan sebagai respon transien yang amplitudanya dalam periode pertama memiliki perbandingan sebesar seperempat ($1/4$).



Gambar 3.6 Kurva respon *quarter amplitude decay*

Pengendali proporsional K_p ditala hingga diperoleh tanggapan *quarter amplitude decay*, periode pada saat tanggapan ini disebut T_p dan parameter T_i dan T_d dihitung dari hubungan. Sedangkan penalaan parameter pengendali PID adalah sama dengan yang digunakan pada metode *Ziegler-Nichols* (lihat tabel 1 - untuk metode kurva reaksi dan tabel 2 untuk metode osilasi)

3.2.4. Metode Heuristic

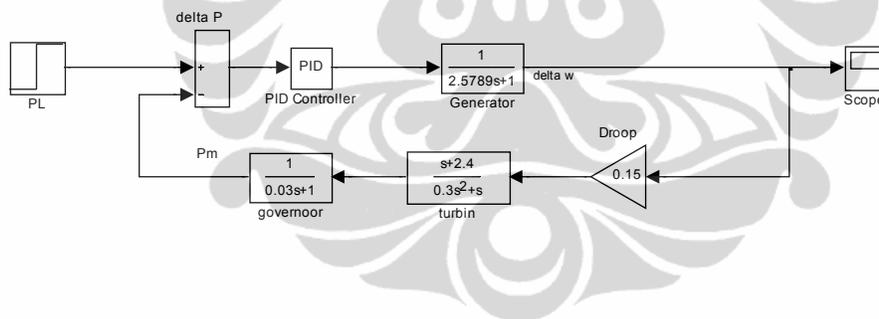
Sebuah metode pemecahan masalah menggunakan eksplorasi dan cara coba-coba *Heuristik* adalah suatu aturan atau metode untuk bisa menyelesaikan solusi secara penalaan. Rancangan metode *Heuristic* ini diperoleh dengan cara perubahan parameter yang disesuaikan dengan kinerja *plant* yang akan dikendalikan. Untuk perancangan sistem pengendalian PID dilakukan pencarian nilai besarnya K_p , T_i , dan T_d . Maka pengujian dilakukan dalam beberapa tahap, dengan penalaan (*Heuristic Method*), dimana penalaan parameter pengendali dimulai dengan hanya menggunakan pengendali P, kemudian baru ditambahkan pengendali I dan terakhir ditambahkan dengan pengendali D. Pemberian nilai parameter disesuaikan dengan karakteristik respon sistem yang diperoleh. Metode ini terdapat berbagai macam caranya. Diantaranya adalah dengan pengembangan lebih lanjut dari metode *Ziegler-Nichols*. Berikut dibawah ini adalah tabel penalaan konstanta PID dengan beberapa metode *Heuristic*.

Tabel 3.3. Penalaan metode PID dengan beberapa cara *Heuristic*^[14]

Nama aturan	Penalaan Parameter PID
<i>Classic Ziegler-Nichols</i>	$K_p = 0.6 K_u$ $T_i = 0.5 T_u$ $T_d = 0.125 T_u$
<i>Pessen Integral Rule</i>	$K_p = 0.7 K_u$ $T_i = 0.4 T_u$ $T_d = 0.15 T_u$
<i>Some Overshoot</i>	$K_p = 0.33 K_u$ $T_i = 0.5 T_u$ $T_d = 0.33 T_u$
<i>No Overshoot</i>	$K_p = 0.2 K_u$ $T_i = 0.5 T_u$ $T_d = 0.33 T_u$

Untuk merancang sistem kendali PID, kebanyakan dilakukan dengan metoda coba-coba atau *trial and error*. Hal ini disebabkan karena parameter K_p , K_i dan K_d tidak bebas. Untuk mendapatkan aksi kendali yang baik diperlukan langkah coba-coba dengan kombinasi antara P, I dan D sampai ditemukan nilai K_p , K_i dan K_d seperti yang diinginkan.

Dari penjelasan pada bab ini disusunlah sebuah pembangkit dengan kendali PID dalam bentuk blok diagram simulasi pada perangkat lunak MATLAB versi 6.1 dengan menggunakan metode *script*. Gambar 3.2 diagram sebuah pembangkit dengan kendali PID



Gambar 3.7. Diagram blok model pembangkit dengan kendali PID

Masukan sistem PID dilakukan secara *trial dan error* dengan kaidah perhitungan bantuan yang ada pada MATLAB.