

VII

AKSI DASAR PENGENDALIAN

Deskripsi : Bab ini memberikan gambaran tentang aksi dasar pengendalian dengan menggunakan pengendali proporsional, integral dan derivatif serta kombinasinya pada berbagai sistem kendali

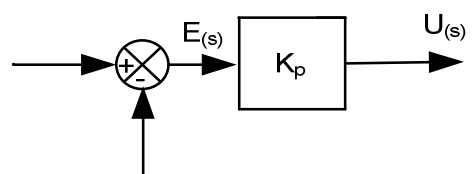
Objektif : Memahami bab ini akan mempermudah pembaca untuk memahami prinsip-prinsip aksi dasar pengendalian pada sistem kendali.

7.1 Pendahuluan

Dalam perencanaan sebuah sistem kendali, hal pertama yang harus dilakukan adalah mendefinisikan struktur sistem tersebut secara tepat. Perencanaan ini biasanya dilakukan agar memenuhi terhadap spesifikasi diantaranya ketelitian, kecepatan memberikan jawaban, lonjakan yang diinginkan, waktu keadaan mantap dan stabilitas yang dinyatakan oleh “gain margin” dan “phase margin”. Jika sebuah sistem kendali bersifat stabil dan hanya memerlukan perbaikan tanggapan maka yang dilakukan adalah penggunaan alat-alat kendali dari jenis P (proporsional), I (integral) atau D (diferensial). Sebaliknya jika pada perencanaan permulaan telah membuktikan ketidakstabilan atau mendekati tidak stabil atau kecenderungan keadaan tidak stabil sewaktu mencoba memperbaiki tanggapan sistem tersebut maka pada sistem harus ditambahkan peralatan kompensasi. Peralatan ini berfungsi untuk mengubah penguatan dan sudut fasa agar dapat menghasilkan perbaikan terhadap “gain margin” dan “phase margin”. Dengan demikian perbaikan sistem kendali dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan controller dan teknik kompensasi. Pada bab ini akan dibahas mengenai alat-alat kendali jenis P (proporsional), I (integral) atau D (diferensial) serta kombinasi dari alat-alat kendali tersebut

7.2 Pengendali Tipe Proporsional (P)

Pada alat kendali jenis P (proporsional) ini terdapat hubungan kesebandingan antara keluaran terhadap kesalahan yaitu



Gambar 7.1 Blok Diagram Untuk Pengendali Proporsional (P)

Persamaan matematis untuk pengendali proporsional

$$u(t) = K_p e(t) \quad (7.1)$$

Fungsi alih untuk pengendali proporsional

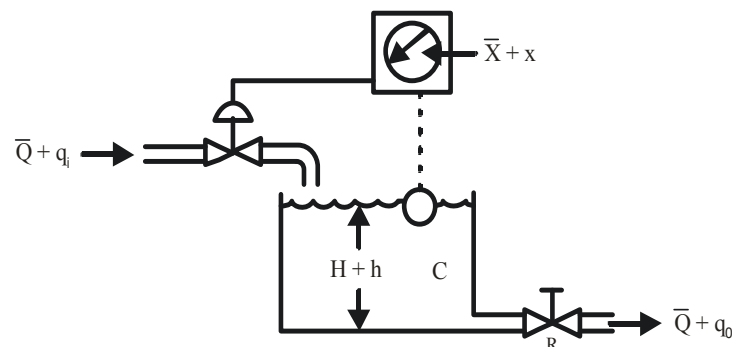
$$U(s) = K_p E(s) \quad (7.2)$$

Dimana

K_p : Konstanta pengendali proporsional

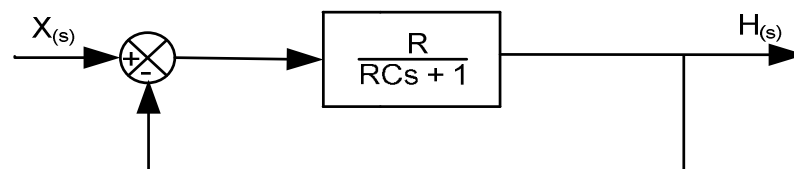
Pertambahan harga K_p akan menaikkan penguatan sistem sehingga dapat digunakan untuk memperbesar kecepatan tanggapan dan mengurangi e_{ss} (penyimpangan dalam keadaan mantap). Pemakaian alat kendali tipe proporsional ini saja sering tidak memuaskan karena penambahan K_p selain akan membuat sistem lebih sensitif tetapi juga cenderung mengakibatkan ketidakstabilan. Disamping itu pertambahan K_p adalah terbatas dan tidak cukup untuk mencapai tanggapan sampai suatu harga yang diinginkan. Kenyataannya dalam usaha mengatur harga K_p terdapat keadaan-keadaan yang bertentangan. Di satu pihak diinginkan mengurangi e_{ss} sebanyak mungkin tetapi hal ini akan mengakibatkan osilasi bagi tanggapan yang berarti memperlama “setling time” sedangkan di pihak lain tanggapan terhadap setiap perubahan masukan harus terjadi secepat mungkin tetapi dengan lonjakan dan osilasi sekecil mungkin. Tanggapan yang cepat memang dapat diperoleh dengan memperbesar K_p tetapi hal ini juga akan mengakibatkan ketidakstabilan sistem.

Contoh 7.1 :



Gambar 7.2 Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Proporsional (P)

Fungsi alih sistem lingkaran tertutup tanpa pengendali proporsional adalah



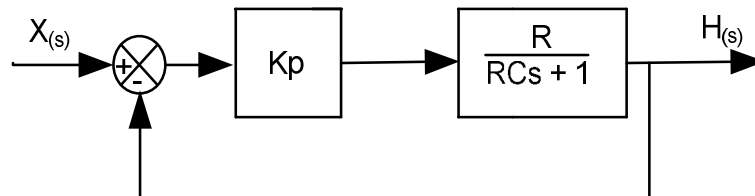
Gambar 7.3 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Proporsional (P)

Dengan menggunakan Matlab, tentukan tanggapan sistem ketinggian air dengan masukan berupa input undak satuan dengan pengendali dan tanpa pengendali proporsional

Jawab :

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup dengan tanpa pengendali proporsional adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{RCs + (1+R)} \quad (7.3)$$



Gambar 7.4 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Dengan Pengendali Proporsional (P)

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup dengan pengendali proporsional adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{K_p R}{RCs + (1+R)} \quad (7.4)$$

Dengan parameter-parameter sebagai berikut

$$R = 0.1 \quad (7.5)$$

$$C = 10 \quad (7.6)$$

$$K_p = 2 \quad (7.7)$$

dengan masukan berupa undak satuan dan didapatkan fungsi alih untuk sistem tanpa pengendali proporsional

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{RCs + (1+R)} = \frac{0.1}{s + 1.1} \quad (7.8)$$

Fungsi alih untuk sistem dengan pengendali proporsional

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{KR}{RCs + (1+R)} = \frac{0.2}{s + 1.1} \quad (7.9)$$

Listing program Matlab

```

clc
clear all
close all
% Program Pengendali Proporsional
%
% Data - Data Parameter
R = 0.1;
C = 10;
  
```

```

% Data Pengendali
Kp = 2;
%
% Sistem Kendali Lingkar Tertutup Tanpa Pengendali
disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup Tanpa
Pengendali Proporsional')
Num1 = [ 0 R];
Den1 = [(R*C) (1+R)];
sys1 = tf(Num1,Den1)
%
% Sistem Kendali Lingkar Tertutup Dengan Pengendali
disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup Dengan
Pengendali Proporsional')
Num2 = [ 0 (Kp*R)];
Den2 = [(R*C) (1+R)];
sys2 = tf(Num2,Den2)
%
% Tanggapan Sistem Lingkar Tertutup
t = 0:0.1:20;
[y1,x1,t] = step(Num1,Den1,t);
[y2,x2,t] = step(Num2,Den2,t);
plot(t,y1,t,y2);
text(8,0.095,'Sistem Tanpa Pengendali')
text(8,0.185,'Sistem Dengan Pengendali Proporsional')
grid on
%
title('Tanggapan Sistem Terhadap Masukan Undak Satuan')
xlabel('t detik')
ylabel('Keluaran y1 dan y2')

```

Hasil program

Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup Tanpa Pengendali
Proporsional

Transfer function:

```

    0.1
-----
s + 1.1

```

Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup Dengan Pengendali
Proporsional

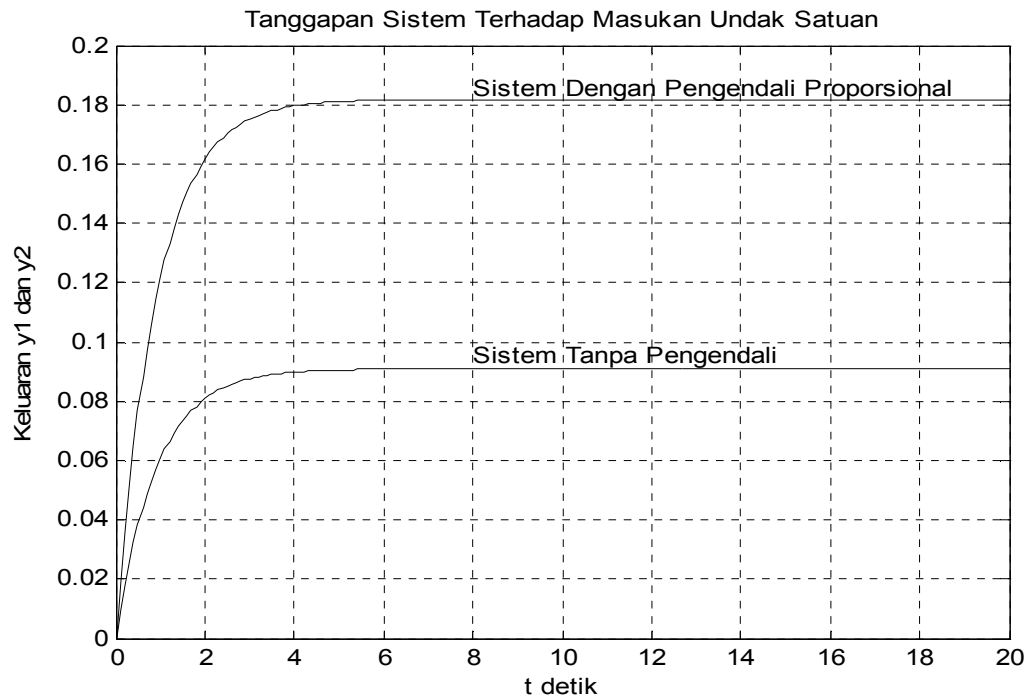
Transfer function:

```

    0.2
-----
s + 1.1

```

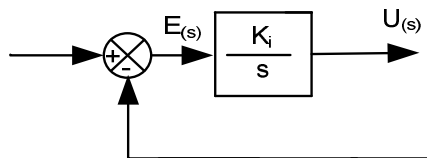
Plot grafik



Gambar 7.5 Tanggapan Ketinggian Air Dengan Pengendali dan Tanpa Pengendali Proporsional (P) Dengan Masukan Undak Satuan

7.3 Pengendali Tipe Integral (I)

Alat kendali jenis I (Integral) bertujuan untuk menghilangkan kesalahan posisi dalam keadaan mantap tanpa mengubah karakteristik-karakteristik frekuensi tinggi dan hal ini dapat dicapai dengan memberikan penguatan tidak tak terhingga pada frekuensi nol yaitu pada kondisi mantap. Adapun diagram blok untuk pengendali integral adalah



Gambar 7.6 Blok Diagram Untuk Pengendali Integral (I)

Adapun persamaan matematis untuk pengendali integral adalah

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (7.10)$$

Fungsi alih untuk pengendali integral adalah

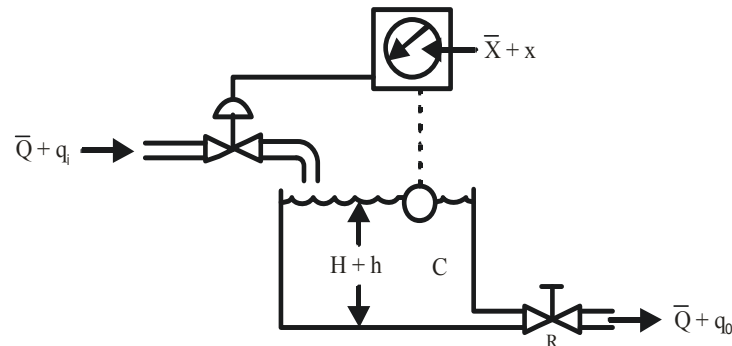
$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (7.11)$$

Dimana

K_i : Konstanta pengendali integral

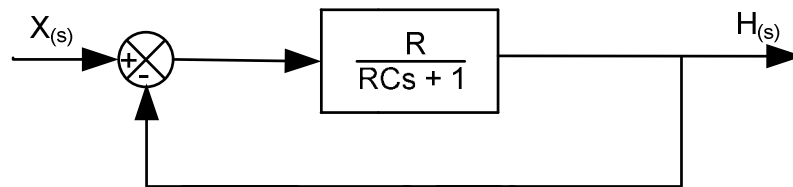
Bila nilai $e(t)$ naik 2 kali, maka laju perubahan $u(t)$ terhadap waktu menjadi 2 kali lebih cepat. Bila $e(t)$ tetap maka nilai $u(t)$ akan tetap seperti semula. Aksi reset setelah ada perubahan beban.

Contoh 7.2 :



Gambar 7.7 Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Integral (I)

Fungsi alih sistem lingkaran tertutup tanpa pengendali integral adalah



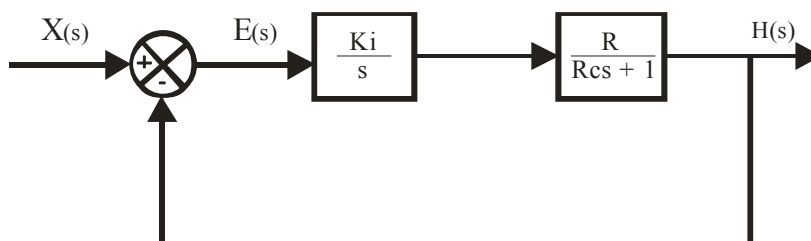
Gambar 7.8 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Integral (I)

Dengan menggunakan Matlab, tentukan tanggapan sistem ketinggian air dengan masukan berupa input undak satuan dengan pengendali dan tanpa pengendali integral.

Jawab :

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup tanpa pengendali integral adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{RCs + (1+R)} \quad (7.12)$$



Gambar 7.9 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Dengan Pengendali Integral (I)

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup dengan pengendali integral adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{K_i R}{RCs^2 + s + K_i R} \quad (7.13)$$

Dengan parameter-parameter sebagai berikut

$$R = 0.05 \quad (7.14)$$

$$C = 15 \quad (7.15)$$

$$K_i = 15 \quad (7.16)$$

dengan masukan berupa undak satuan dan diperoleh fungsi alih untuk sistem tanpa pengendali integral

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{RCs + (1+R)} = \frac{0.05}{0.75s + 1.05} \quad (7.17)$$

Fungsi alih untuk sistem dengan pengendali integral

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{KR}{RCs + (1+R)} = \frac{0.75}{0.75s^2 + s + 15.05} \quad (7.18)$$

Listing program Matlab

```
clc
clear all
close all
% Program Pengendali Integral
%
% Data - Data Parameter
R = 0.05;
C = 15;
% Data Pengendali
Ki = 15;
%
% Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Tanpa Pengendali
disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Tanpa
Pengendali Integral')
Num1 = [ 0 R];
Den1 = [(R*C) (1+R)];
sys1 = tf(Num1,Den1)
%
% Sistem Kontrol Lingkaran Tertutup Dengan Pengendali
disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Dengan
Pengendali Integral')
Num2 = [ 0 0 (Ki*R)];
Den2 = [(R*C) 1 (Ki+R)];
```

```

sys2 = tf(Num2,Den2)
%
% Tanggapan Sistem Lingkaran Tertutup
t = 0:0.1:20;
[y1,x1,t] = step(Num1,Den1,t);
[y2,x2,t] = step(Num2,Den2,t);
plot(t,y1,t,y2);
text(6,0.045,'Sistem Tanpa Pengendali')
text(1.2,0.079,'Sistem Dengan Pengendali Integral')
grid on
%
title('Tanggapan Sistem Terhadap Masukan Undak Satuan')
xlabel('t detik')
ylabel('Keluaran y1 dan y2')

```

Hasil program

Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Tanpa Pengendali Integral

Transfer function:
0.05

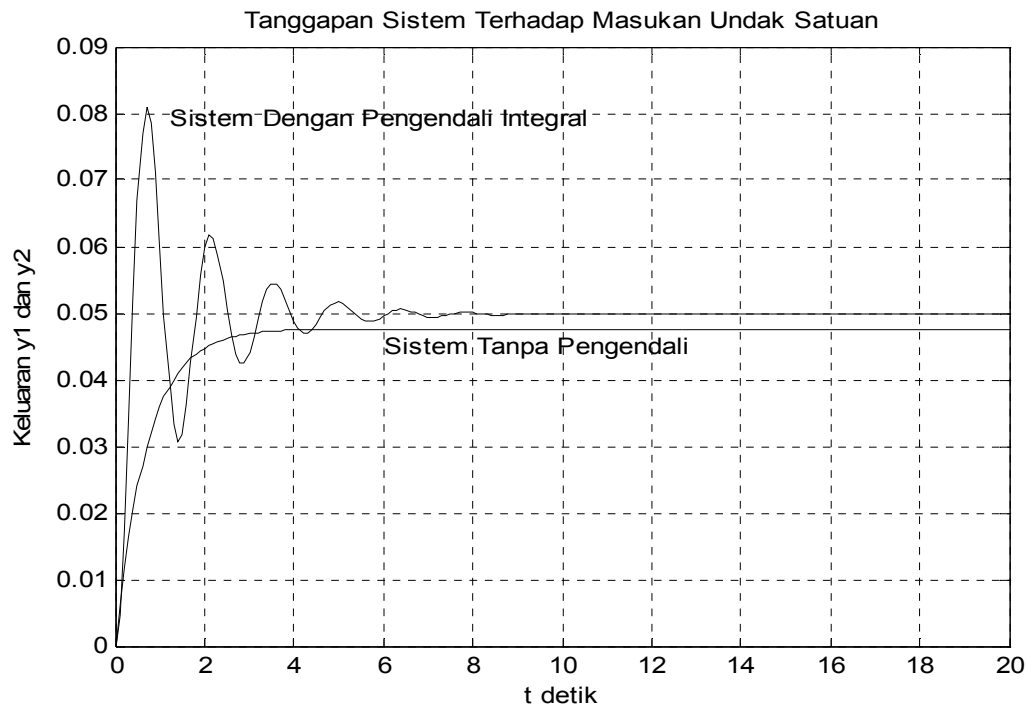
0.75 s + 1.05

Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Dengan Pengendali Integral

Transfer function:
0.75

0.75 s^2 + s + 15.05

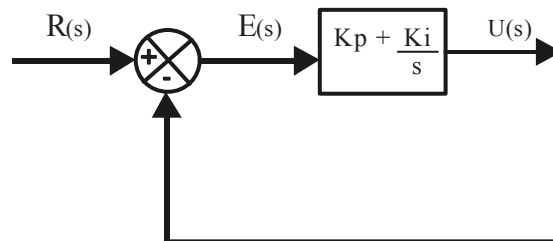
Plot grafik



Gambar 7.10 Tanggapan Ketinggian Air Dengan Pengendali dan Tanpa Pengendali Integral (I) Dengan Masukan Undak Satuan

7.4 Pengendali Tipe Proporsional (P) dan Integral (I)

Diagram blok untuk pengendali proporsional (P) dan integral (I) adalah



Gambar 7.11 Blok Diagram Untuk Pengendali Proporsional (P) dan Integral (I)

Persamaan matematis untuk pengendali proporsional dan integral

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (7.19)$$

Fungsi alih untuk pengendali proporsional dan integral

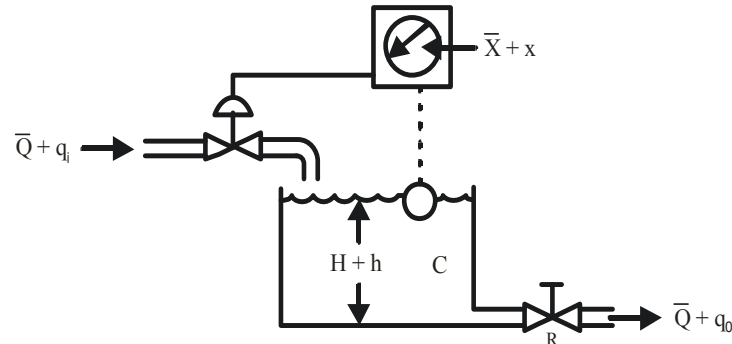
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) = K_p + \frac{K_i}{s} \rightarrow K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (7.20)$$

Dimana

K_p : Konstanta Pengendali Integral

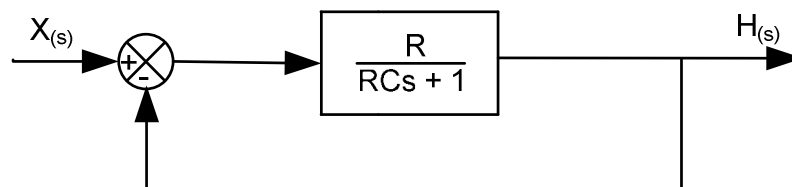
T_i : Waktu integral

Contoh 7.3 :



Gambar 7.12 Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Proporsional (P) dan Integral (I)

Fungsi alih sistem lingkaran tertutup tanpa pengendali proporsional dan integral berikut



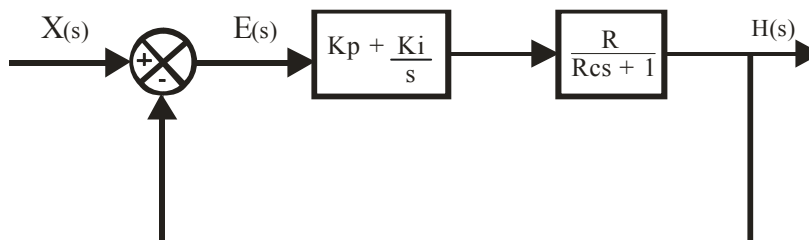
Gambar 7.13 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Proporsional (P) dan Integral (I)

Dengan menggunakan Matlab, tentukan tanggapan sistem ketinggian air dengan masukan berupa input undak satuan dengan pengendali dan tanpa pengendali Proporsional dan Integral.

Jawab :

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup tanpa pengendali proporsional dan integral adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{RCs + (1+R)} \quad (7.21)$$



Gambar 7.14 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Dengan Pengendali Proporsional (P) dan Integral (I)

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup dengan pengendali proporsional dan integral adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{K_p R s + K_i R}{R C s^2 + (R + 1 + K_p R) s + K_i R} \quad (7.22)$$

Dengan parameter-parameter sebagai berikut

$$R = 0.05 \quad (7.23)$$

$$C = 15 \quad (7.24)$$

$$K_p = 5 \quad (7.25)$$

$$K_i = 100 \quad (7.26)$$

dengan masukan berupa undak satuan dan diperoleh fungsi alih untuk sistem tanpa pengendali proporsional adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{R C s + (1 + R)} = \frac{0.05}{0.75 s + 1.05} \quad (7.27)$$

Fungsi alih untuk sistem dengan pengendali proporsional dan integral adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{K_p R s + K_i R}{R C s^2 + (R + K_p R) s + K_i R} = \frac{0.25 s + 5}{0.75 s^2 + 1.25 s + 5} \quad (7.28)$$

Listing program Matlab

```
clc
clear all
close all
% Program Kontroller Proporsional dan Integral
%
% Data - Data Parameter
R = 0.05;
C = 15;
% Data Kontroller
Kp = 5;
Ki = 100;
%
% Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Tanpa Pengendali
disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Tanpa
Pengendali Proporsional dan Integral')
Num1 = [ 0 R];
Den1 = [(R*C) (1+R)];
sys1 = tf(Num1,Den1)
%
% Sistem Kontrol Lingkaran Tertutup Dengan Pengendali
disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Dengan
Pengendali Proporsional dan Integral')
Num2 = [ 0 (Kp*R) (Ki*R)];
Den2 = [(R*C) ((Kp*R)+1) (Ki*R)];
```

```

sys2 = tf(Num2,Den2)
%
% Tanggapan Sistem Lingkaran Tertutup
t = 0:0.1:20;
[y1,x1,t] = step(Num1,Den1,t);
[y2,x2,t] = step(Num2,Den2,t);
plot(t,y1,t,y2);
text(8,0.085,'Sistem Tanpa Pengendali')
text(5.5,1.05,'Sistem Dengan Pengendali Proporsional dan
Integral')
grid on
%
title('Tanggapan Sistem Terhadap Masukan Undak Satuan')
xlabel('t detik')
ylabel('Keluaran y1 dan y2')

```

Hasil program

Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Tanpa Pengendali
Proporsional dan Integral

Transfer function:

0.05

0.75 s + 1.05

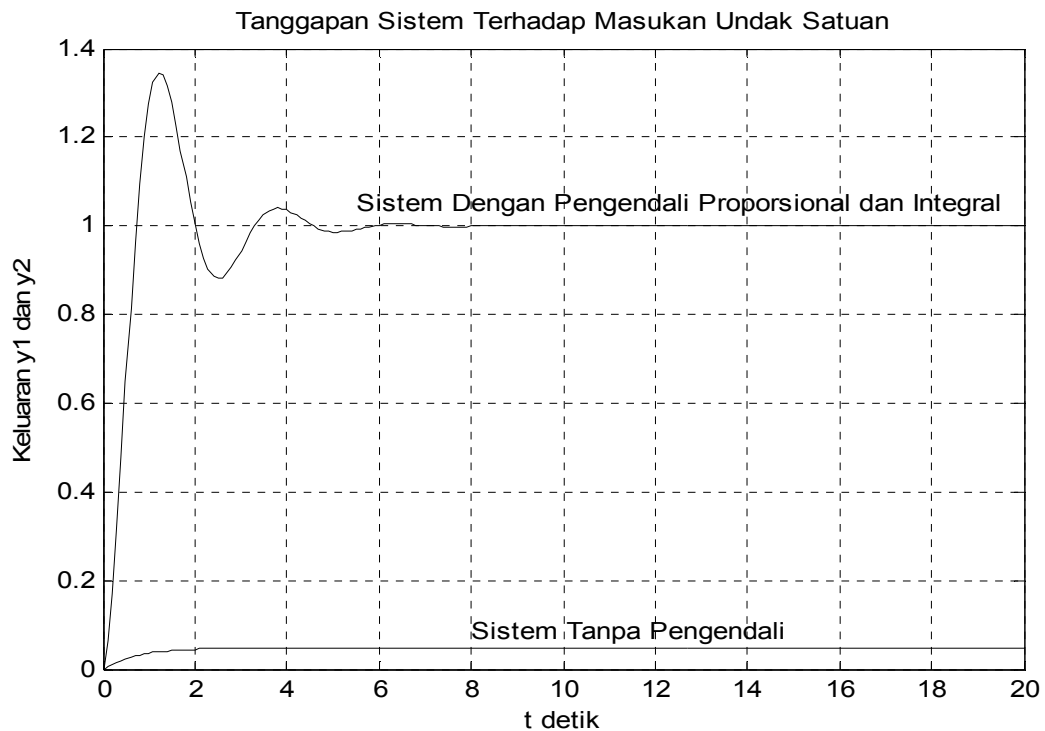
Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Dengan Pengendali
Proporsional dan Integral

Transfer function:

0.25 s + 5

0.75 s^2 + 1.25 s + 5

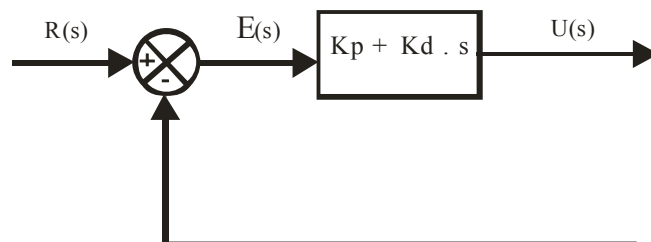
Plot grafik



Gambar 7.15 Tanggapan Ketinggian Air Dengan Pengendali dan Tanpa Pengendali Proporsional (P) dan Integral (I) Dengan Input Undak Satuan

7.5 Pengendali Tipe Proporsional (P) dan Derivatif (D)

Diagram blok untuk pengendali proporsional (P) dan derivatif (D) adalah



Gambar 7.16 Blok Diagram Untuk Pengendali Proporsional (P) dan Derivatif (D)

Persamaan matematis untuk pengendali proporsional dan derivatif

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{T dt} \quad (7.29)$$

Fungsi alih untuk pengendali proporsional dan derivatif

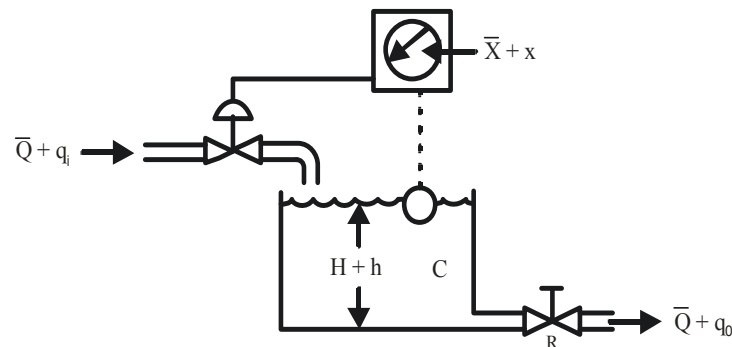
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) = K_p + K_d s \rightarrow K_d = K_p T_d s \quad (7.30)$$

Dimana

K_p : Konstanta Pengendali Integral

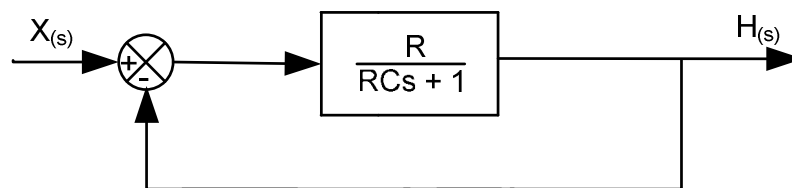
T_d : Waktu derivatif

Contoh 7.4 :



Gambar 7.17 Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Proporsional (P) dan Derivatif (D)

Fungsi alih sistem lingkaran tertutup tanpa pengendali proporsional dan derivatif berikut



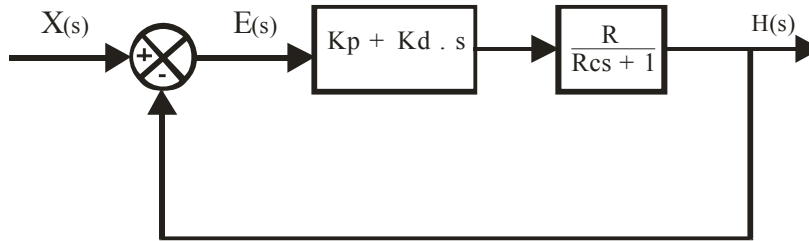
Gambar 7.18 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Proporsional (P) dan Derivatif (D)

Dengan menggunakan Matlab, tentukan tanggapan sistem ketinggian air dengan masukan berupa input undak satuan dengan pengendali dan tanpa pengendali Proporsional dan Derivatif.

Jawab :

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup dengan tanpa pengendali proporsional dan derivatif adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{RCs + (1+R)} \quad (7.31)$$



Gambar 7.19 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Dengan Pengendali Proporsional (P) dan Derivatif (D)

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup dengan pengendali proporsional dan derivatif adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{K_d R s + K_p R}{(K_d R + RC)s + (1 + K_p R)} \quad (7.32)$$

Dengan parameter-parameter sebagai berikut

$$R = 0.05 \quad (7.33)$$

$$C = 15 \quad (7.34)$$

$$K_p = 10 \quad (7.35)$$

$$K_d = 0.01 \quad (7.36)$$

dengan masukan berupa undak satuan dan diperoleh fungsi alih untuk sistem tanpa pengendali proporsional dan derivatif berikut

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{RCs + (1+R)} = \frac{0.05}{0.75s + 1.05} \quad (7.37)$$

Fungsi alih untuk sistem dengan pengendali proporsional dan derivatif adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{K_d R s + K_p R}{(K_d R + RC)s + (1 + K_p R)} = \frac{0.0005s + 0.50}{1.25s + 1.50} \quad (7.38)$$

Listing program Matlab

```

clc
clear all
close all
% Program Kontroller Proporsional dan Derivatif
%
% Data - Data Parameter
R = 0.05;
C = 15;
% Data Kontroller
Kp = 10;
Kd = 0.01;
%
% Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Tanpa Pengendali

```

```

disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup Tanpa
Pengendali Proporsional dan Derivatif')
Num1 = [ 0 R];
Den1 = [(R*C) (1+R)];
sys1 = tf(Num1,Den1)
%
% Sistem Kontrol Lingkar Tertutup Dengan Pengendali
disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup Dengan
Pengendali Proporsional dan Derivatif')
Num2 = [(Kd*R) (Kp*R)];
Den2 = [((Kp*R)+(R*C)) ((Kp*R)+1)];
sys2 = tf(Num2,Den2)
%
% Tanggapan Sistem Lingkar Tertutup
t = 0:0.1:20;
[y1,x1,t] = step(Num1,Den1,t);
[y2,x2,t] = step(Num2,Den2,t);
plot(t,y1,t,y2);
text(4,0.055,'Sistem Tanpa Pengendali')
text(4,0.34,'Sistem Dengan Pengendali Proporsional dan
Derivatif')
grid on
%
title('Tanggapan Sistem Terhadap Masukan Undak Satuan')
xlabel('t detik')
ylabel('Keluaran y1 dan y2')

```

Hasil program :

Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup
Tanpa Pengendali Proporsional dan Derivatif

Transfer function:

0.05

0.75 s + 1.05

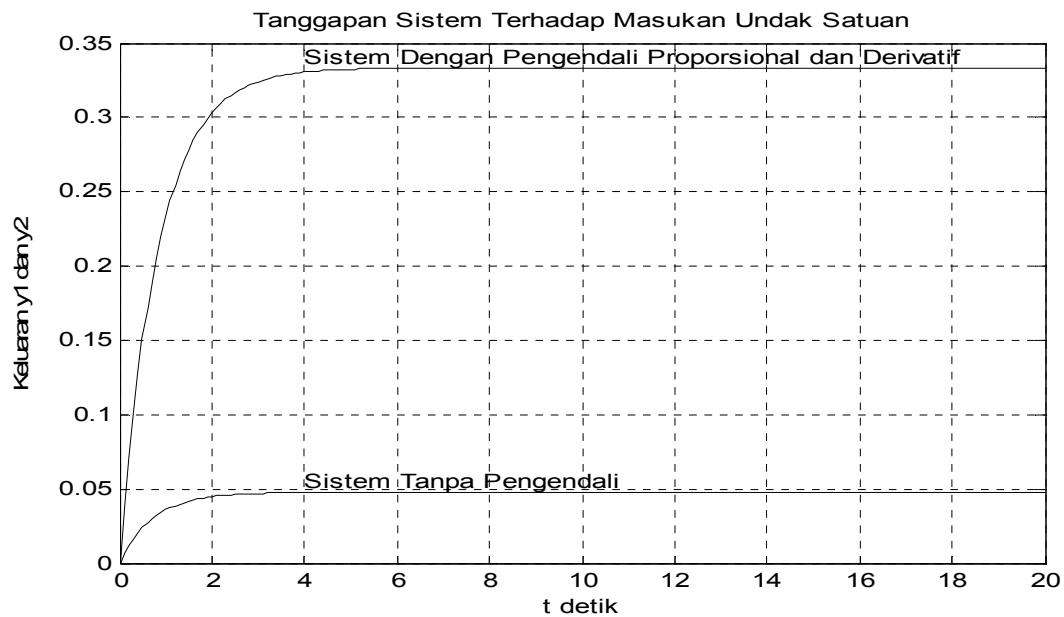
Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup
Dengan Pengendali Proporsional dan Derivatif

Transfer function:

0.0005 s + 0.5

1.25 s + 1.5

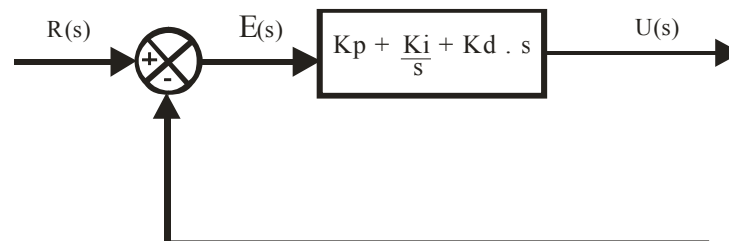
Plot grafik



Gambar 7.20 Tanggapan Ketinggian Air Dengan Pengendali dan Tanpa Pengendali Proporsional (P) dan Derivatif (D) Dengan Masukan Undak Satuan

7.6 Pengendali Tipe Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D)

Diagram blok untuk pengendali proporsional (P), Integral (I) dan derivatif (I) adalah



Gambar 7.21 Blok Diagram Untuk Pengendali Proporsional (P) , Integral (I) dan Derivatif (D)

Persamaan matematis untuk pengendali proporsional dan derivatif

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{T dt} \quad (7.39)$$

Fungsi alih untuk pengendali proporsional dan derivatif

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (7.40)$$

dengan

$$K_d = K_p T_d \quad (7.41)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (7.42)$$

Dimana

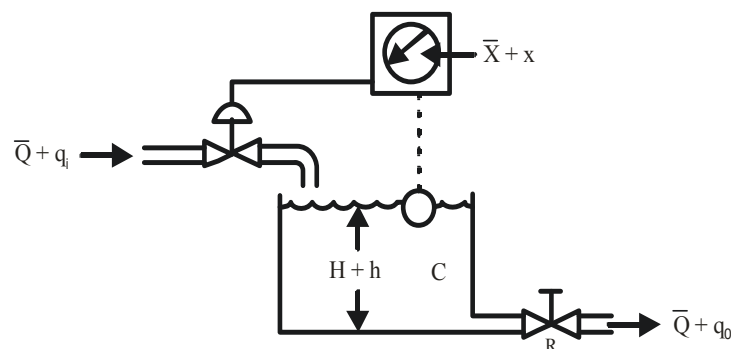
K_p	:	Konstanta proporsional
K_i	:	Konstanta integral
K_d	:	Konstanta derivatif
T_d	:	Waktu derivatif
T_i	:	Waktu integral

Pengendali proporsional (K_p) akan memberikan efek mengurangi waktu naik tetapi tidak menghapus kesalahan keadaan tunak. Pengendali integral (K_i) akan memberikan efek menghapus kesalahan keadaan tunak tetapi berakibat memburuknya tanggapan peralihan. Pengendali derivatif (K_d) akan memberikan efek meningkatnya stabilitas sistem, mengurangi lewatan maksimum dan menaikkan tanggapan fungsi alih. Efek dari setiap pengendali dalam sistem lingkak tertutup diperlihatkan pada Tabel 7.1 berikut

Tabel 7.1 Efek Setiap Pengendali Untuk Sistem Lingkak Tertutup

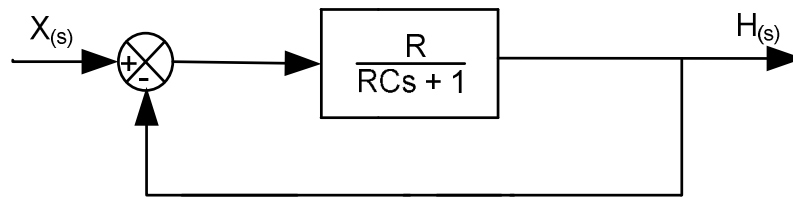
Tanggapan Lingkak Tertutup	Waktu Naik	Lewatan Maksimum	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
K_p	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
K_i	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
K_d	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

Contoh 7.5 :



Gambar 7.22 Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D)

Fungsi alih sistem lingkak tertutup tanpa pengendali proporsional, integral dan derivatif adalah



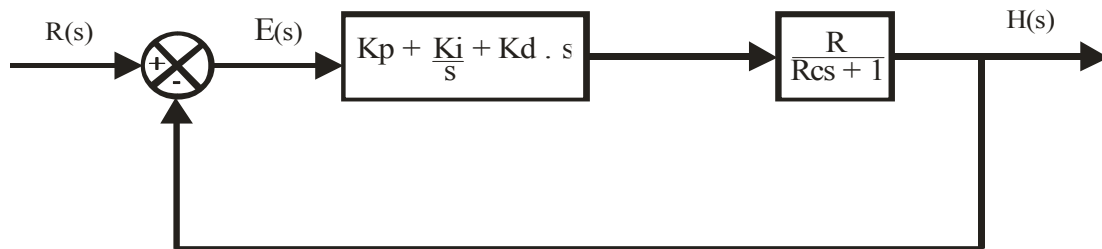
Gambar 7.23 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Tanpa Pengendali Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D)

Dengan menggunakan Matlab, tentukan tanggapan sistem ketinggian air dengan masukan berupa input undak satuan dengan pengendali dan tanpa pengendali proporsional, integral dan derivatif.

Jawab :

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup tanpa pengendali proporsional dan derivatif adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{RCs + (1+R)} \quad (7.43)$$



Gambar 7.24 Diagram Blok Sistem Kendali Ketinggian Air Dengan Pengendali Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D)

Fungsi alih untuk sistem lingkaran tertutup dengan pengendali proporsional, integral dan derivatif adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{K_d R s^2 + K_p R s + K_i R}{(K_d R + RC)s^2 + (1 + K_p R)s + RK_i} \quad (7.44)$$

Dengan parameter-parameter sebagai berikut

$$R = 0.05 \quad (7.45)$$

$$C = 15 \quad (7.46)$$

$$K_p = 10 \quad (7.47)$$

$$K_d = 0.01 \quad (7.48)$$

$$K_i = 100 \quad (7.49)$$

dengan masukan berupa undak satuan dan diperoleh

Fungsi alih untuk sistem tanpa pengendali proporsional, integral dan derivatif

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{R}{RCs + (1+R)} = \frac{0.05}{0.75s + 1.05} \quad (7.50)$$

Fungsi alih untuk sistem dengan pengendali proporsional, integral dan derivatif adalah

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{K_d R s^2 + K_p R s + K_i R}{(K_d R + RC)s^2 + (1 + K_p R)s + RK_i} \quad (7.51)$$

$$\frac{H(s)}{X(s)} = \frac{0.0005s^2 + 0.5s + 5}{0.7505s^2 + 1.50s + 5} \quad (7.52)$$

Listing program Matlab

```
clc
clear all
close all
% Program Kontroller Proporsional Integral dan Derivatif
%
% Data - Data Parameter
R = 0.05;
C = 15;
% Data Kontroller
Kp = 10;
Kd = 0.01;
Ki = 100;
%
% Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Tanpa Pengendali
disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Tanpa
Pengendali Proporsional Integral dan Derivatif')
Num1 = [ 0 R];
Den1 = [(R*C) (1+R)];
sys1 = tf(Num1,Den1)
%
% Sistem Kontrol Lingkaran Tertutup Dengan Pengendali
disp('Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkaran Tertutup Dengan
Pengendali Proporsional Integral dan Derivatif')
Num2 = [(Kd*R) (Kp*R) (Ki*R)];
Den2 = [((Kd*R)+(R*C)) ((Kp*R)+1) (R*Ki)];
sys2 = tf(Num2,Den2)
%
% Tanggapan Sistem Lingkaran Tertutup
t = 0:0.1:20;
[y1,x1,t] = step(Num1,Den1,t);
[y2,x2,t] = step(Num2,Den2,t);
plot(t,y1,t,y2);
text(4,0.115,'Sistem Tanpa Pengendali')
```

```

text(3.75,1.055,'Sistem Dengan Pengendali Proporsional
Integral dan Derivatif')
grid on
%
title('Tanggapan Sistem Terhadap Masukan Undak Satuan')
xlabel('t detik')
ylabel('Keluaran y1 dan y2')

```

Hasil program

Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup Tanpa Pengendali Proporsional Integral dan Derivatif

Transfer function:

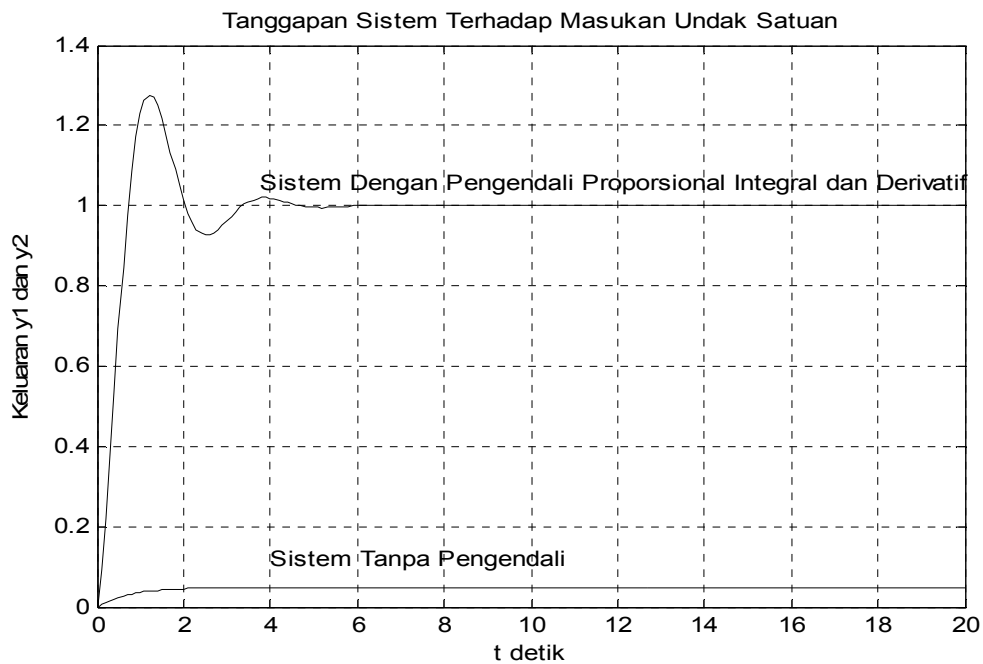
$$\frac{0.05}{0.75 s + 1.05}$$

Fungsi Alih Sistem Kendali Lingkar Tertutup Dengan Pengendali Proporsional Integral dan Derivatif

Transfer function:

$$\frac{0.0005 s^2 + 0.5 s + 5}{0.7505 s^2 + 1.5 s + 5}$$

Plot grafik

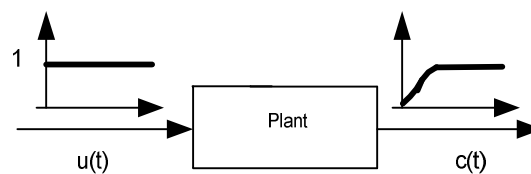


Gambar 7.25 Tanggapan Ketinggian Air Dengan Pengendali dan Tanpa Pengendali Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D) Dengan Masukan Undak Satuan

Adapun proses pemilihan parameter-parameter K_p , K_i dan K_d agar menghasilkan spesifikasi kinerja yang diinginkan disebut penyepadanan alat kendali (*controller tuning*). Ziegler dan Nichols menyarankan aturan-aturan untuk penyepadanan alat-alat kendali PID berarti menyetel nilai K_p , K_i dan K_d yang didasarkan pada tanggapan fungsi tangga eksperimental atau pada nilai K_p yang menghasilkan kestabilan marginal dengan hanya menggunakan tindakan kendali proporsional. Aturan-aturan Ziegler-Nichols yang disajikan berikut sangat menyenangkan bila model-model matematis kinerja tidak diketahui dan aturan ini tentunya dapat diterapkan terhadap rancangan sistem dengan model matematis yang diketahui.

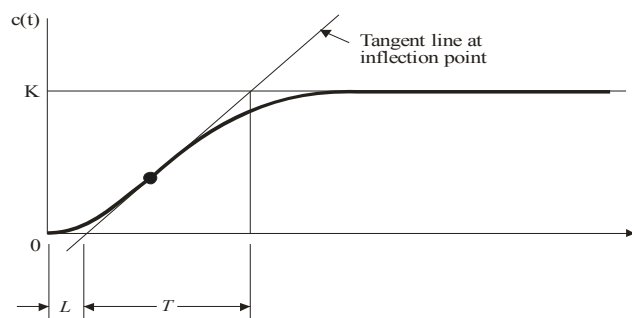
Ada dua metode yang dinamakan aturan penyepadanan Ziegler-Nichols. Dalam kedua metode ini ditujukan pada pencapaian 25 % lonjakan maksimum dalam respon tangga. Adapun kedua metode tersebut adalah :

1. **Metode Pertama.** Dalam metode pertama, secara eksperimental diperoleh tanggapan sistem terhadap masukan undak satuan seperti diperlihatkan pada Gambar 7.22 berikut :



Gambar 7.26 Tanggapan Undak Satuan Sebuah Sistem

Jika sistem tidak mencakup integrator ataupun nilai-nilai kutub pasangan kompleks yang dominan maka kurva tanggapan sebuah undak satuan mungkin kelihatan seperti kurva berbentuk -S seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.23 berikut ini :



Gambar 7.27 Kurva Tanggapan Berbentuk S

Kurva-kurva tanggapan undak sedemikian dapat dihasilkan secara eksperimen atau dari simulasi dinamik sistem. Karakteristik kurva berbentuk-S dapat diberikan oleh dua konstanta yakni waktu tunda L dan konstanta waktu tunda T . Konstanta waktu ditentukan dengan menggambarkan garis singgung pada titik perubahan kurva berbentuk S dan menentukan perpotongan garis singgung dengan sumbu waktu dan garis $c(t) = K$ seperti diperlihatkan pada Gambar 7.23. Ziegler-Nichols menyarankan penyetelan nilai K_p , T_d dan T_i berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada Tabel 7.2 berikut ini :

Tabel 7.2 Aturan Penyepadanan Ziegler-Nichols Didasarkan Pada Tanggapan Undak Sistem

Tipe Alat Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Alat kendali Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D) yang disepadankan oleh metode pertama aturan Ziegler-Nichols adalah

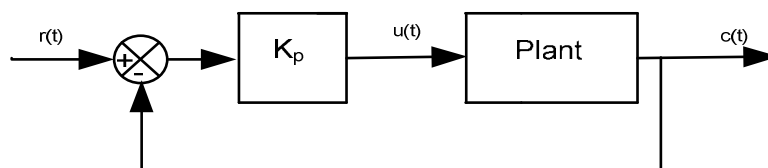
$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (7.53)$$

$$G_c(s) = 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) \quad (7.54)$$

$$G_c(s) = 0.6T \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s} \quad (7.55)$$

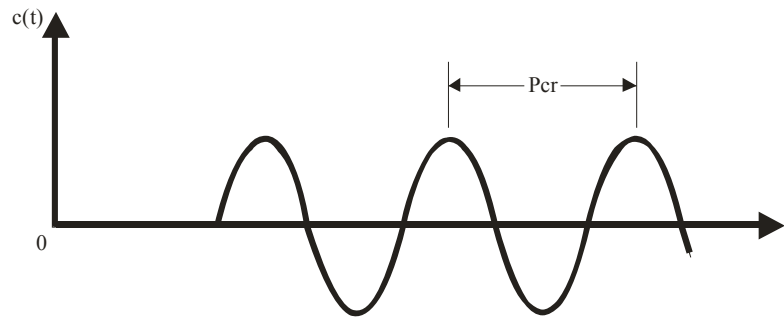
Jadi alat kendali PID memiliki suatu nilai kutub pada titik asal dan nilai nol ganda pada $s = -\frac{1}{L}$

2. **Metode Kedua.** Dalam metode kedua, mula-mula diatur $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Dengan menggunakan tindakan kendali proporsional ditambahkan nilai K_p dari 0 ke suatu nilai kritis K_{cr} . Hal ini diperlihatkan pada Gambar 7.24 berikut



Gambar 7.28 Sistem Lingkar Tertutup Dengan Alat Kendali Proporsional

Disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan, jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p maupun yang boleh diambil maka metode ini tidak berlaku. Jadi penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} yang sesuai ditentukan secara eksperimen. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 7.25 berikut :



Gambar 7.29 Osilasi Berkesinambungan Dari Periode P_{cr}

Ziegler-Nichols menyarankan penyetelan nilai K_p , T_d dan T_i berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada Tabel 7.3 berikut ini :

Tabel 7.3 Aturan Penyepadanan Ziegler-Nichols Didasarkan Pada Penguatan Kritis K_{cr} dan Periode P_{cr}

Tipe Alat Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Alat kendali Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D) yang disepadankan oleh metode kedua aturan Ziegler-Nichols adalah

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (7.56)$$

$$G_c(s) = 0.6K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0.5P_{cr}s} + 0.125P_{cr}s \right) \quad (7.57)$$

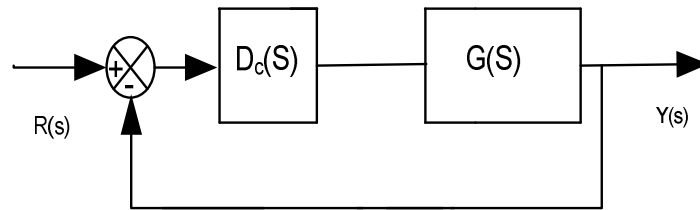
$$G_c(s) = 0.75K_{cr}P_{cr} \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s} \quad (7.58)$$

Jadi alat kendali PID memiliki suatu nilai kutub pada titik asal dan nilai nol ganda pada

$$s = -\frac{4}{P_{cr}}$$

Contoh 7.6 :

Sistem kendali dengan diagram blok berikut



Gambar 7.30 Diagram Blok Sistem Kendali

Dimana

$$G(s) = \frac{25}{s(s+2)(s+5)} \quad (7.59)$$

Dengan pengendali Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D) yang mempunyai fungsi alih berbentuk

$$D_c(s) = k_p \left(1 + \frac{k_i}{s} + k_d s \right) \quad (7.60)$$

Dengan menggunakan kriteria Ziegler-Nichols tentukan konstanta k_p , k_d dan k_i .

Jawab :

Dari persamaan (7.43) terlihat bahwa plant mempunyai 1 buah integrator. Dengan demikian metode yang digunakan adalah metode Ziegler-Nichols tipe kedua dimana untuk kondisi awal $K_i = 0$ dan $K_d = 0$ sehingga fungsi alih lingkaran tertutup diperoleh

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_p}{s(s+2)(s+5) + K_p} = \frac{K_p}{s^3 + 7s^2 + 10s + K_p} \quad (7.61)$$

$$\text{dimana } K_p = 25k_p \quad (7.62)$$

Selanjutnya akan dihitung nilai K_{cr} dan T_{cr} . Nilai K_{cr} dan P_{cr} diperoleh dari persamaan karakteristik sistem lingkaran tertutup sebagai berikut :

$$s^3 + 7s^2 + 10s + K_p \quad (7.63)$$

Dengan menggunakan kriteria Routh diperoleh

$$\begin{array}{ccc} s^3 & 1 & 10 \\ s^2 & 7 & K \\ s^1 & \frac{70-K}{7} & 0 \\ s^0 & K & 0 \end{array} \quad (7.64)$$

Didapatkan $K = 70 \rightarrow K_{cr} = 70$ didapatkan frekwensi osilasi

$$7s^2 + K = 7s^2 + 70 = 0 \rightarrow s = \pm j\sqrt{10} = \pm j3.1623 \quad (7.65)$$

Perioda osilasi

$$P_{cr} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{10}} = 1.9869 \text{ detik} \quad (7.66)$$

Berdasarkan Tabel 7.3 diperoleh parameter – parameter Proporsional (P), Integral (I) dan Derivatif (D) sebagai berikut

$$K_p = 0.6K_{cr} = 0.6(70) = 42 \rightarrow k_p = \frac{42}{25} = 1.68 \quad (7.67)$$

$$k_i = \frac{2}{P_{cr}} = \frac{2}{1.9869} = 1.007 \quad (7.68)$$

$$k_d = 0.125(1.9869) = 0.2484 \quad (7.69)$$

Fungsi alih kontroler Proporsional, Integral dan Derivatif (PID) menjadi

$$D_c(s) = 1.68 \left(1 + \frac{1.007}{s} + 0.2484s \right) \quad (7.70)$$

7.7 Rangkuman

Sistem yang dirancang dapat memenuhi spesifikasi dalam kondisi-kondisi kerja normal tetapi dapat menyimpang jauh dari spesifikasi bilamana perubahan-perubahan lingkungan dipertimbangkan karena perubahan-perubahan dalam lingkungan mempengaruhi penguatan dan konstanta waktu sistem adalah perlu untuk melengkapi dengan alat otomatis atau manual untuk menyetel penguatan guna mengkompensir perubahan lingkungan. Selain itu perancangan harus mengingat bahwa setiap sistem dipengaruhi oleh perubahan-perubahan kecil karena keausan yang normal dari sistem.