

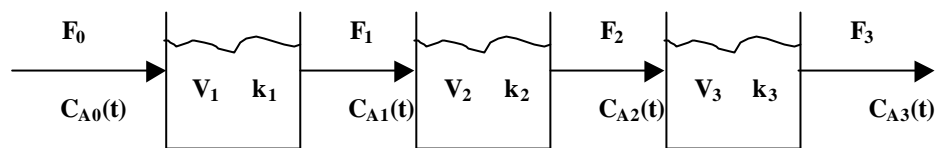
---

## BAB 8

### PEMODELAN DAN SIMULASI REAKTOR CSTR

---

Perhatikan gambar sketsa 3 buah CSTR (*Continuous Stirred-Tank Reactors*) isothermal di bawah ini:



Ketiga CSTR itu digunakan untuk menghasilkan produk B dari reaktan A yang dikonsumsi di setiap reaktor yang tercampur sempurna dengan *reaksi orde satu* dalam fasa cair.

Asumsi-asumsi yang digunakan:

- $F_3 = F_2 = F_1 = F_0$  ?  $F = 20$
- $V_3 = V_2 = V_1$  ?  $V =$  divariasikan setiap kelompoknya.
- $k_3 = k_2 = k_1$  ?  $k = 0.5$

Buatlah:

1. Pemodelan dinamik 3 seri CSTR isothermal di atas sehingga mendapatkan fungsi

$$\text{alih: } G_s(s) = \frac{C_{A3}(s)}{C_{A0}(s)} \text{ (sistem dinamik orde tiga)}$$

2. Grafik respon  $C_{A3}(t)$  jika mendapatkan masukan,  $C_{A0}(t)$ , berupa unit step (gunakan *Matlab*)
3. Gambar sketsa sistem kontrol berumpan-balik untuk 3 seri CSTR di atas dan diagram bloknya (dengan menambahkan komponen-komponen kontrol seperti *sensor-transmitter*, *control valve* dan *controller*; gunakanlah gambar diagram blok menggunakan *simulink* dari *Matlab*).

4. Grafik respon sistem kontrol berumpan-balik di atas jika: sensor-transmitter dan control valve-nya adalah sebagai berikut:
- hanya berupa gain saja (besarnya terserah, tapi minimal ada 2 variasi)
  - fungsi alih orde satu (besar gain dan  $\tau$  terserah, tapi minimal ada 2 variasi)
  - lakukanlah *tuning* sehingga didapatkan harga-harga  $K_c$ ,  $\tau_I$ , dan  $\tau_D$  yang optimum untuk kasus a dan b di atas (dengan mengubah-ubah harga  $K_c$ , sedangkan harga  $\tau_I$  dan  $\tau_D$  diset sama dengan 0). Berilah pembahasan dari hasil yang didapatkan.
5. Gambar Root Locus dan Bode Diagram untuk kasus 4.a dan 4.b di atas dengan bantuan *Matlab*. Berikanlah pembahasan dari gambar-gambar yang dihasilkan.

**JAWABAN:**

Neraca massa reaktor 1 :

Laju mol masuk - laju mol keluar - laju mol terkonsumsi = laju mol terakumulasi

$$F C_{Ao}(t) - F C_{A1}(t) - V r_{cA} = V \frac{dC_{A1}(t)}{dt}$$

$$F C_{Ao}(t) - F C_{A1}(t) - V k C_{A1}(t) = V \frac{dC_{A1}(t)}{dt}$$

dengan menggunakan transformasi Laplace :

$$F C_{Ao}(s) - F C_{A1}(s) - V k C_{A1}(s) = V s C_{A1}(s)$$

$$F C_{Ao}(s) = F C_{A1}(s) + V k C_{A1}(s) + V s C_{A1}(s)$$

$$F C_{Ao}(s) = (F + V k + V s) C_{A1}(s)$$

$$\frac{F}{V} C_{Ao}(s) = \left( \frac{F}{V} + k + s \right) C_{A1}(s)$$

$$\frac{1}{t} C_{Ao}(s) = \left( \frac{1}{t} + k + s \right) C_{A1}(s)$$

$$\frac{C_{A1}(s)}{C_{Ao}(s)} = \frac{1/t}{(s + k + 1/t)}$$

$$\frac{C_{A1}(s)}{C_{Ao}(s)} = \frac{\frac{1}{t}}{\left(s + \frac{kt+1}{t}\right)} = \frac{\frac{1}{kt+1}}{\left(\frac{t}{kt+1}\right)s + 1}$$

Dengan cara yang sama di dapat :

$$\frac{C_{A2}(s)}{C_{A1}(s)} = \frac{\frac{1}{kt+1}}{\left(\frac{t}{kt}\right)s + 1}$$

$$\frac{C_{A3}(s)}{C_{A2}(s)} = \frac{\frac{1}{kt+1}}{\left(\frac{t}{kt+1}\right)s + 1}$$

sehingga menghasilkan :

$$\frac{C_{A3}(s)}{C_{Ao}(s)} = \frac{C_{A3}(s)}{C_{A2}(s)} \frac{C_{A2}(s)}{C_{A1}(s)} \frac{C_{A1}(s)}{C_{Ao}(s)} = \left( \frac{\frac{1}{kt+1}}{\left(\frac{t}{kt+1}\right)s + 1} \right)^3$$

$$\frac{C_{A3}(s)}{C_{Ao}(s)} = \frac{\frac{1}{(kt+1)^3}}{\left(\frac{t}{kt+1}\right)^3 s^3 + 3\left(\frac{t}{kt+1}\right)^2 s^2 + 3\left(\frac{t}{kt+1}\right)s + 1}$$

Dengan substitusi nilai berikut :

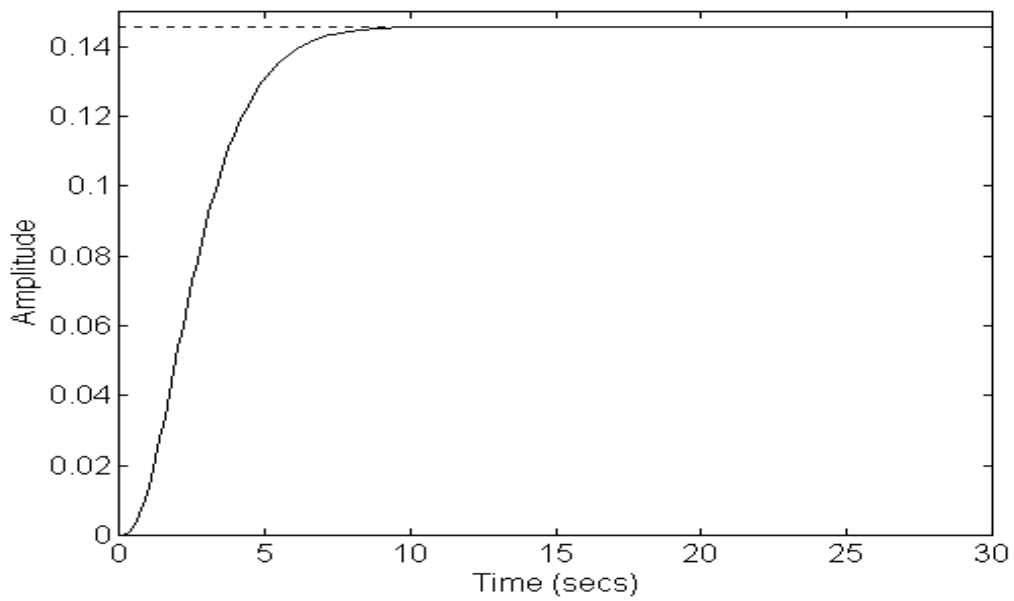
$$t = \frac{V}{F} = \frac{36}{20} = 1.8$$

$$k = 0.5$$

Menghasilkan :

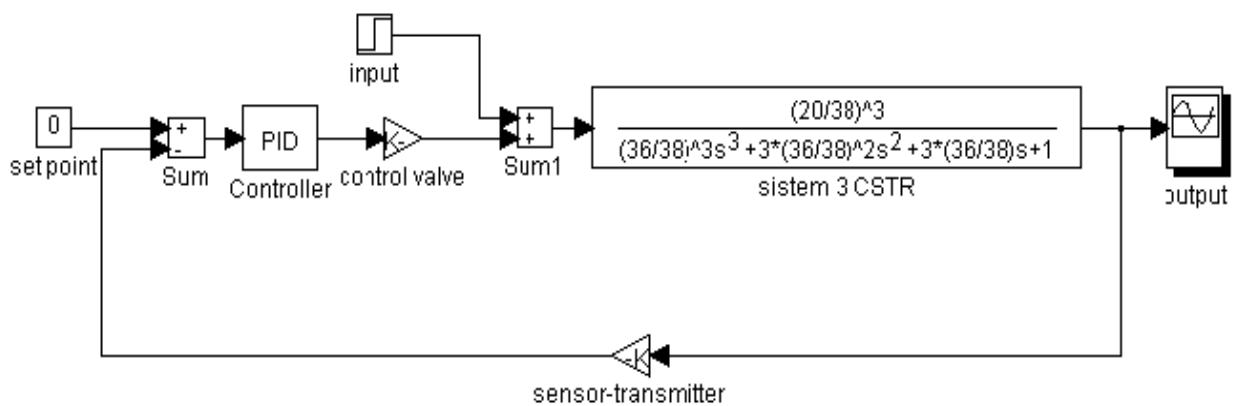
$$\frac{C_{A3}(s)}{C_{Ao}(s)} = \frac{0.14579}{0.85027 s^3 + 2.69252 s^2 + 2.8421 s + 1}$$

Respon step dari transfer function :

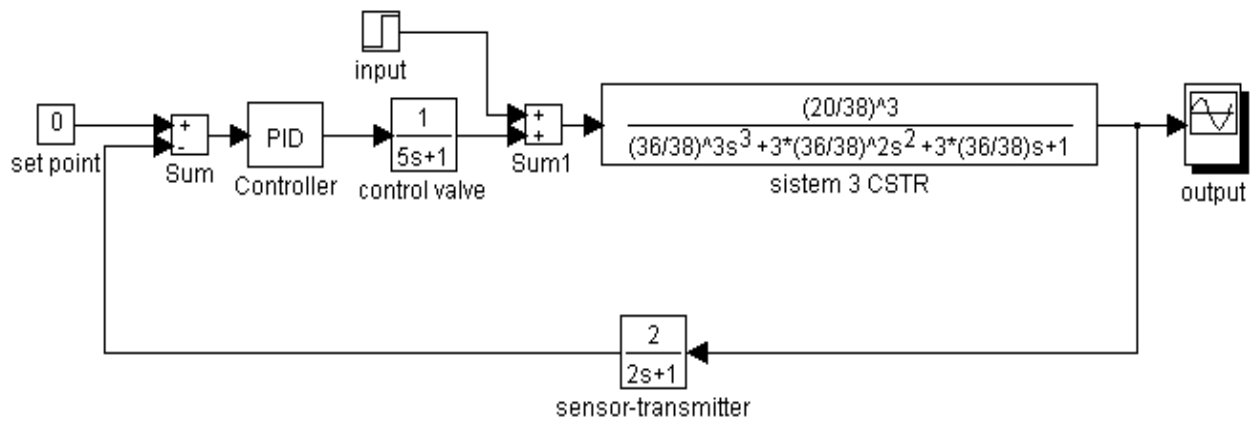


Gambar diagram blok:

- Bila Transmitter dan control valve berupa gain :



- Bila Transmitter dan control valve berupa fungsi orde 1 :



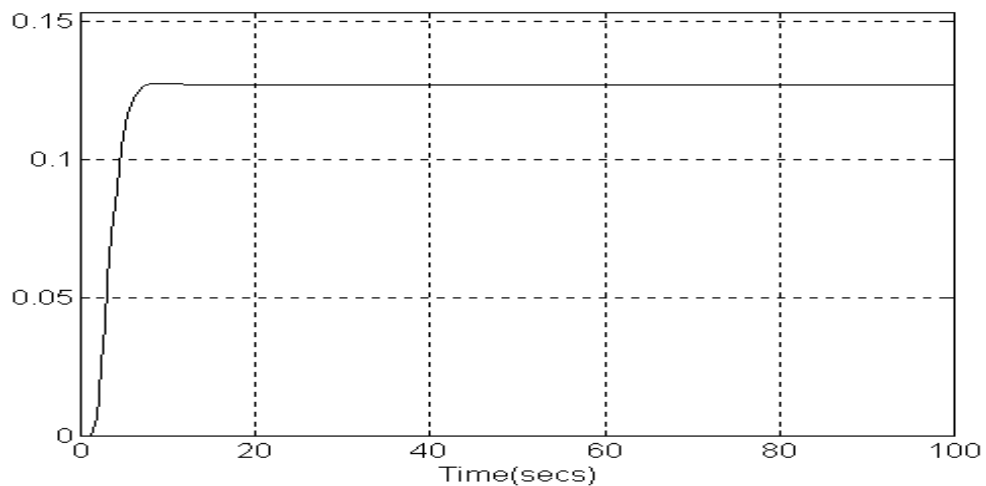
**Tugas no 4.a. :**

Respon dari sistem kontrol dengan variasi transmitter dan control valve berupa gain :

**Variasi 1:**

- Gain controller = 1
- Gain transmitter = 1
- Gain control valve = 1

Respon:



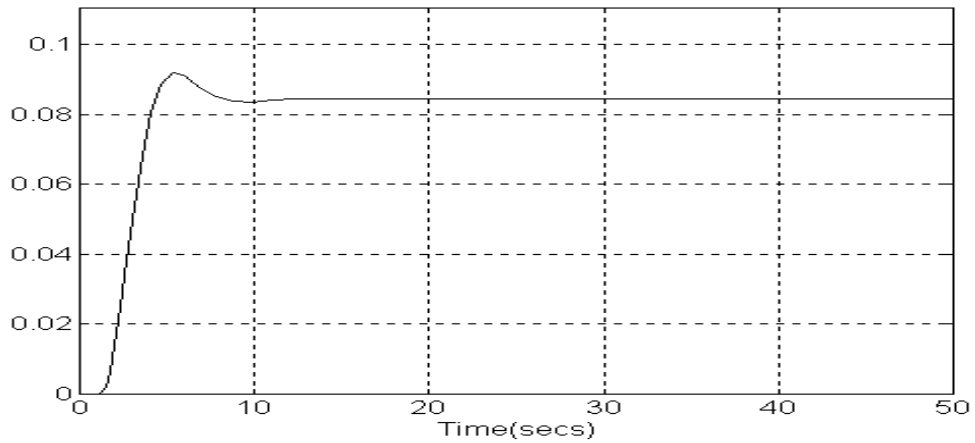
**Variasi 2:**

Gain controller =1

Gain transmitter =5

Gain control valve =1

Respon :



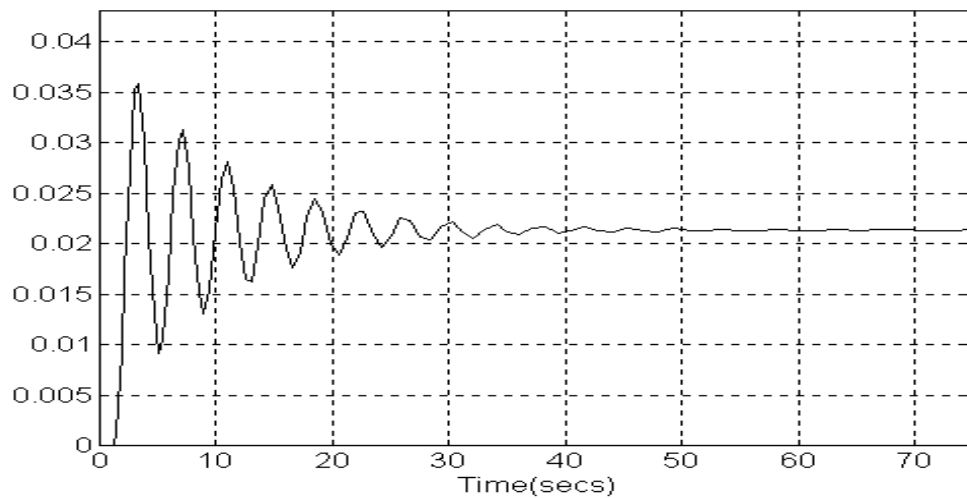
**Variasi 3:**

Gain controller =1

Gain transmitter =5

Gain control valve =8

Respon :



### **Tugas 4b.:**

Respon dari sistem kontrol dengan variasi transmitter dan control valve berupa fungsi orde 1 :

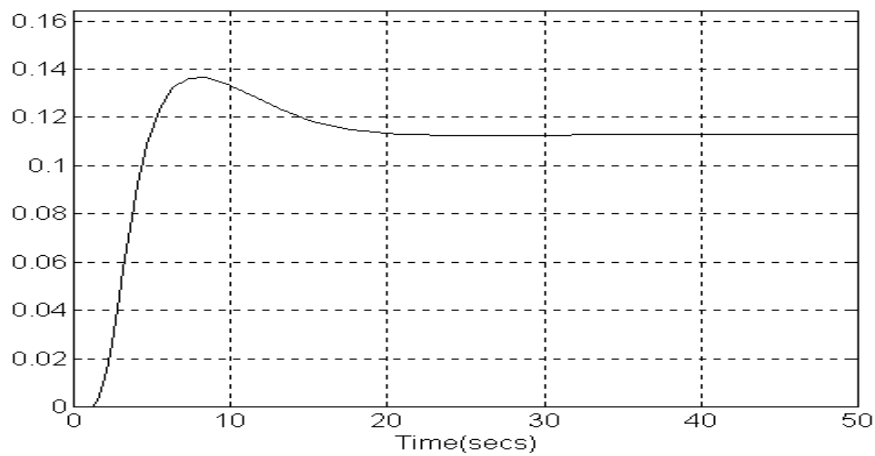
#### **Variasi 1:**

Gain controller =1

transmitter =  $\frac{2}{2s+1}$

control valve =  $\frac{1}{5s+1}$

Respon:



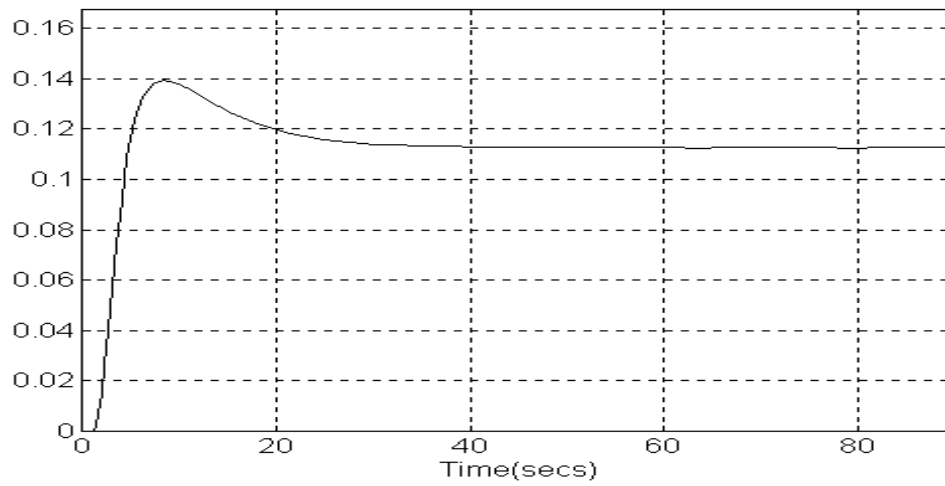
#### **Variasi 2:**

Gain controller =1

transmitter =  $\frac{2}{2s+1}$

control valve =  $\frac{1}{10s+1}$

Respon:



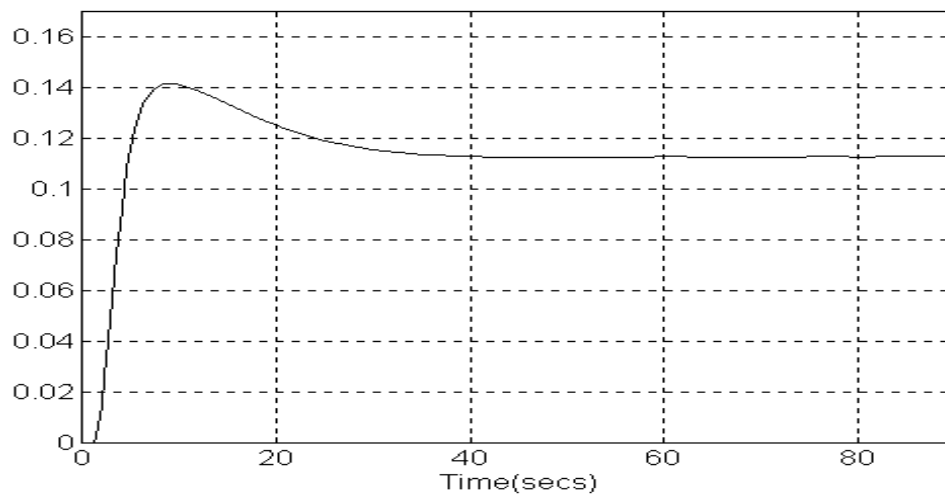
**Variasi 3:**

Gain controller = 1

transmitter =  $\frac{2}{6s + 1}$

control valve =  $\frac{1}{10s + 1}$

Respon:





**Tugas no 4.c. :**

Transmitter dan control valve berupa gain

**Variasi 1:**

Didapat dari simulasi:

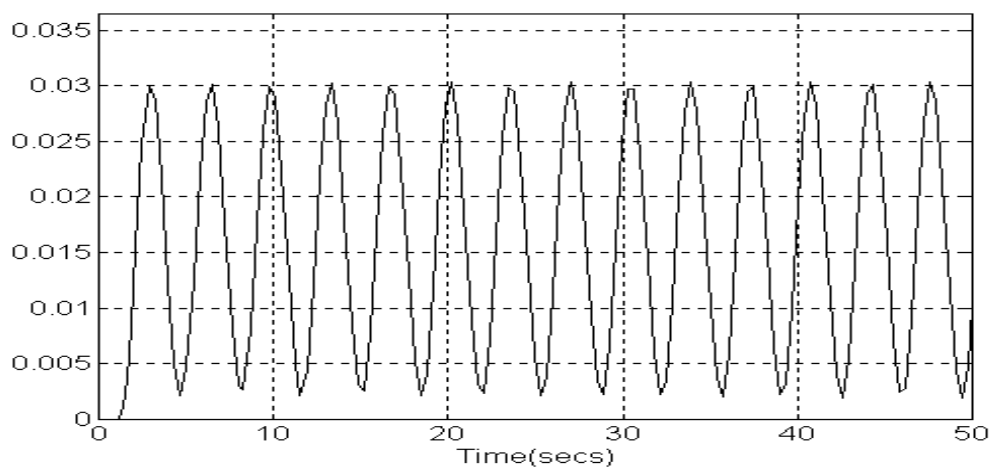
$K_{cu} = 54.9$

$T_u = 3,4$  detik

Kontroller optimum:

Kontroller	Kc	ti	td
P	$K_{cu}/2=27,45$		
PI	$K_{cu}/2,2=24,9545$	$T_u/1,2=2,833$	
PID	$K_{cu}/1,7=32,3941$	$T_u/2=1,7$	$T_u/8=0,425$

Gambar cycling:



### Variasi 2:

Didapat dari simulasi:

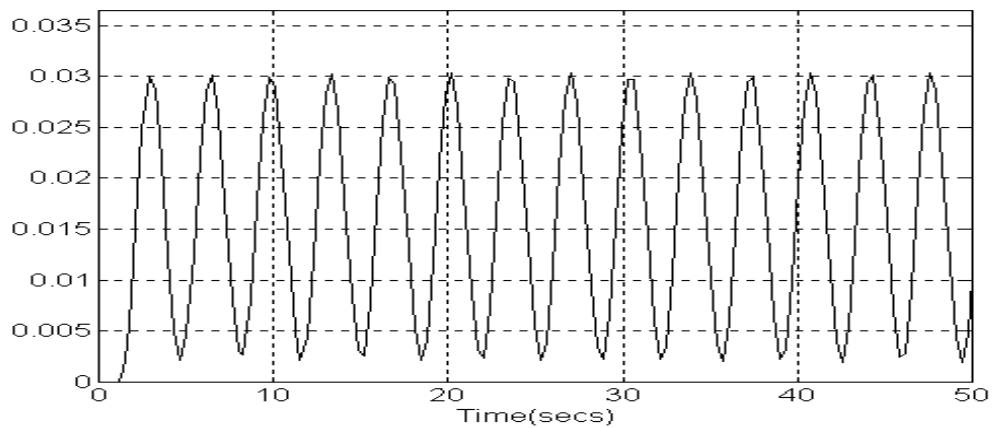
$$K_{cu} = 10.98$$

$$T_u = 3,4 \text{ detik}$$

Kontroller optimum:

Kontroller	Kc	ti	td
P	$K_{cu}/2=5,49$		
PI	$K_{cu}/2,2=4,99$	$T_u/1,2=2,833$	
PID	$K_{cu}/1,7=6.458$	$T_u/2=1,7$	$T_u/8=0,425$

Gambar cycling:



### Variasi 3:

Didapat dari simulasi:

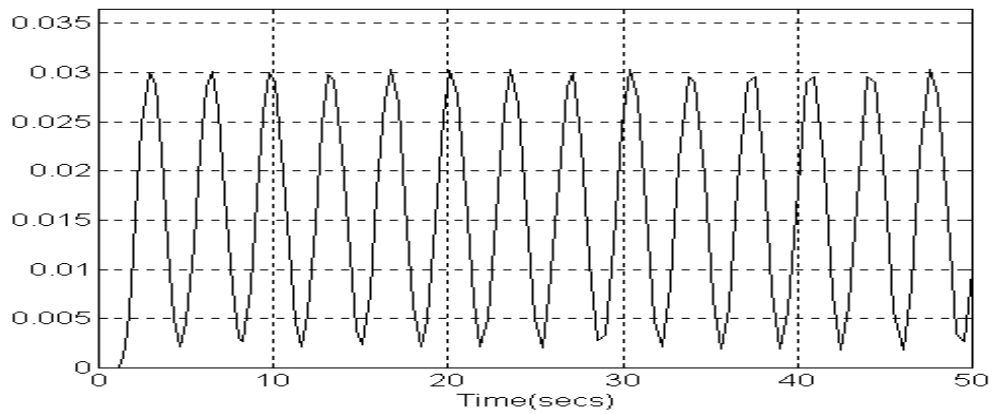
$$K_{cu} = 1,3725$$

$$T_u = 3,4 \text{ detik}$$

Kontroller optimum:

Kontroller	Kc	ti	td
P	$K_{cu}/2=0,68625$		
PI	$K_{cu}/2,2=0,6238$	$T_u/1,2=2,833$	
PID	$K_{cu}/1,7=0,807$	$T_u/2=1,7$	$T_u/8=0,425$

Gambar cycling:



**Transmitter dan control valve berupa fungsi transfer orde satu**

**Variasi 1:**

Didapat dari simulasi:

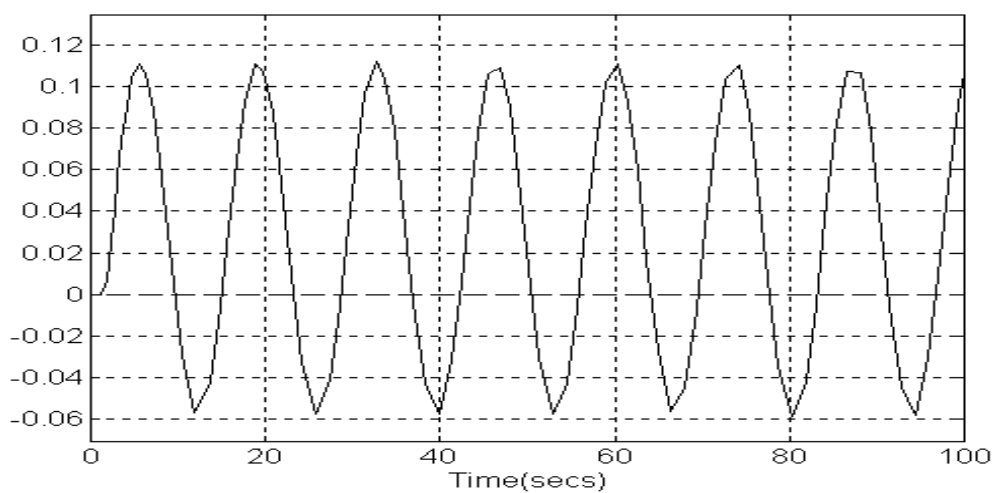
$K_{cu} = 15.25$

$T_u = 13,6$  detik

Kontroller optimum:

Kontroller	$K_c$	$\tau_i$	$\tau_d$
P	$K_{cu}/2=7,625$		
PI	$K_{cu}/2,2=6,931$	$T_u/1,2=11,333$	
PID	$K_{cu}/1,7=8,971$	$T_u/2=8$	$T_u/8=1,7$

Gambar cycling:



### Variasi 2:

Didapat dari simulasi:

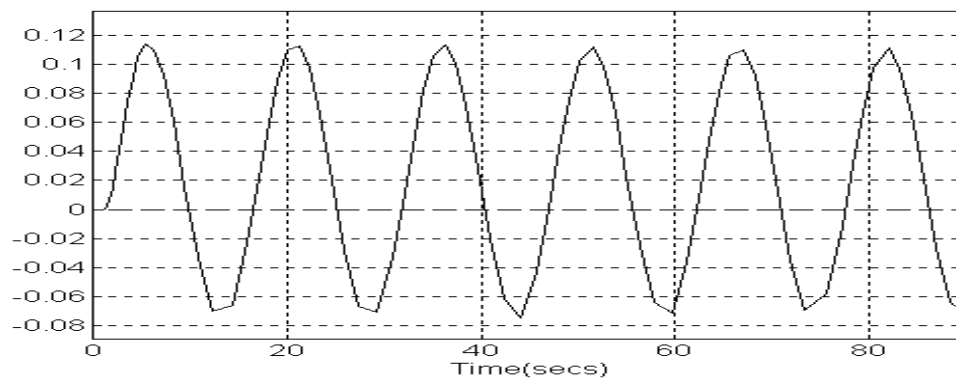
$$K_{cu} = 23,3$$

$$T_u = 15,2 \text{ detik}$$

Kontroller optimum:

Kontroller	Kc	ti	td
P	$K_{cu}/2=11,65$		
PI	$K_{cu}/2,2=10,59$	$T_u/1,2=12,667$	
PID	$K_{cu}/1,7=13,706$	$T_u/2=7,6$	$T_u/8=1,9$

Gambar cycling:



### Variasi 3:

Didapat dari simulasi:

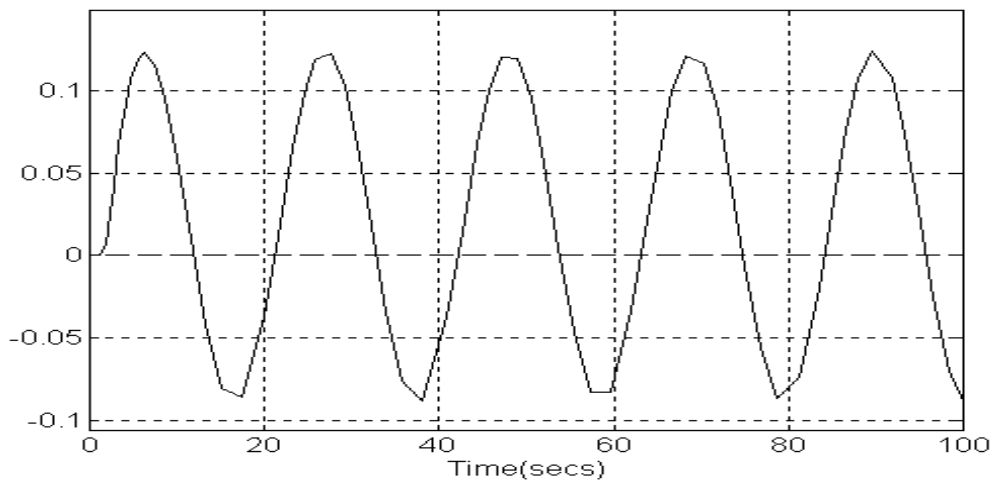
$$K_{cu} = 25$$

$$T_u = 20,9 \text{ detik}$$

Kontroller optimum:

Kontroller	Kc	$\tau_i$	$\tau_d$
P	$K_{cu}/2=12,5$		
PI	$K_{cu}/2,2=11,36$	$T_u/1,2=17,417$	
PID	$K_{cu}/1,7=14,706$	$T_u/2=10,45$	$T_u/8=2,6125$

Gambar cycling:

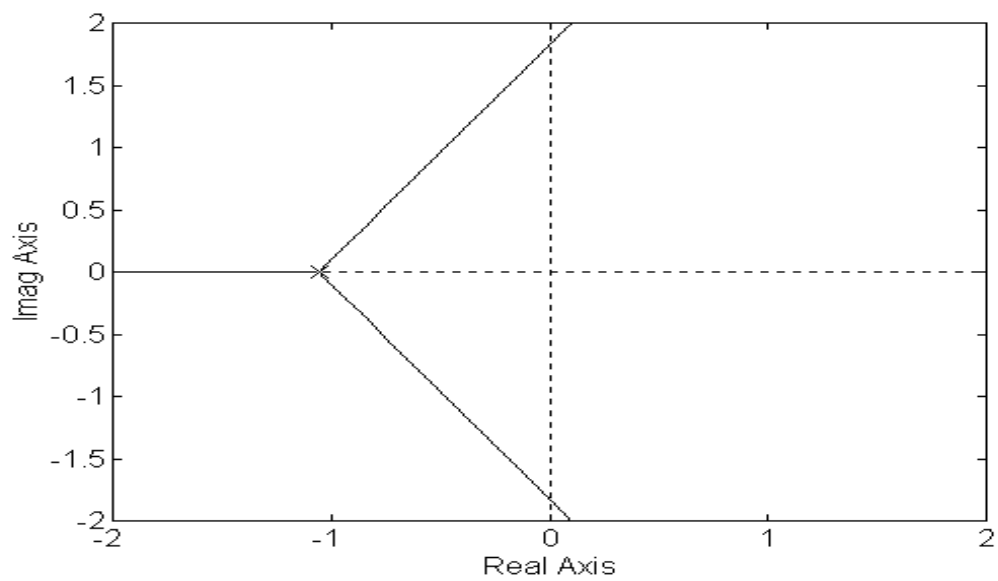


**Tugas no. 5:**

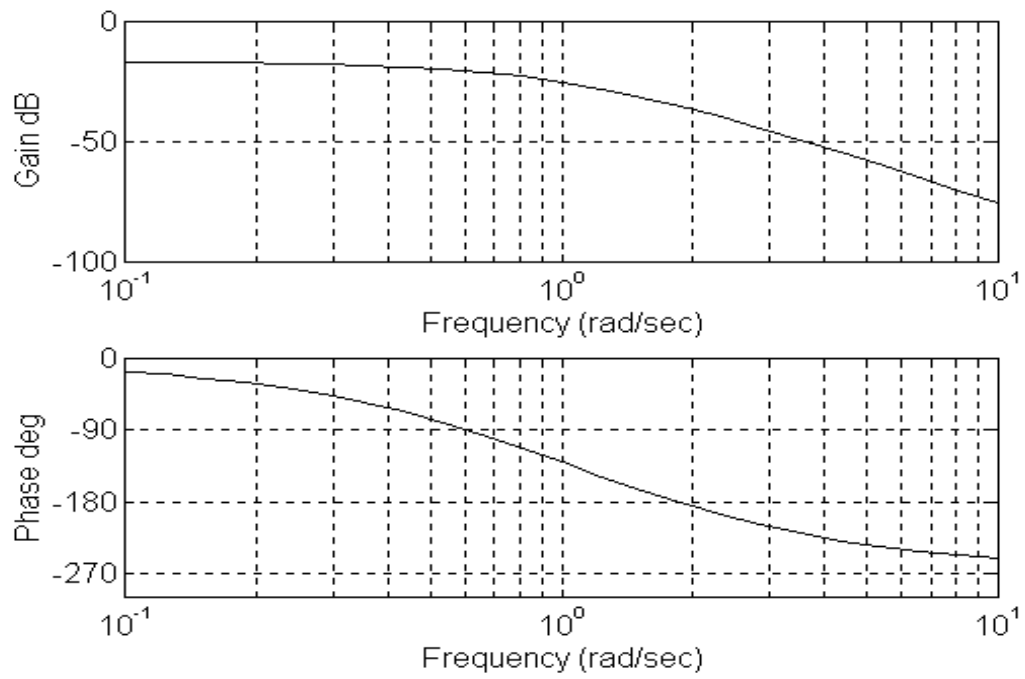
Untuk transmitter dan control valve berupa gain

**Variasi 1:**

Root Locus :

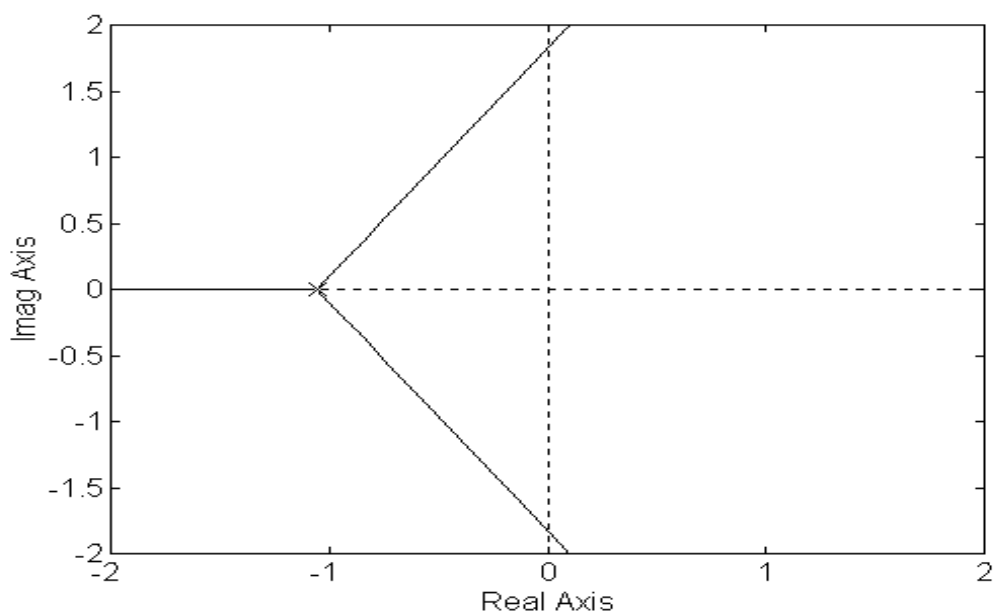


Bode diagram :

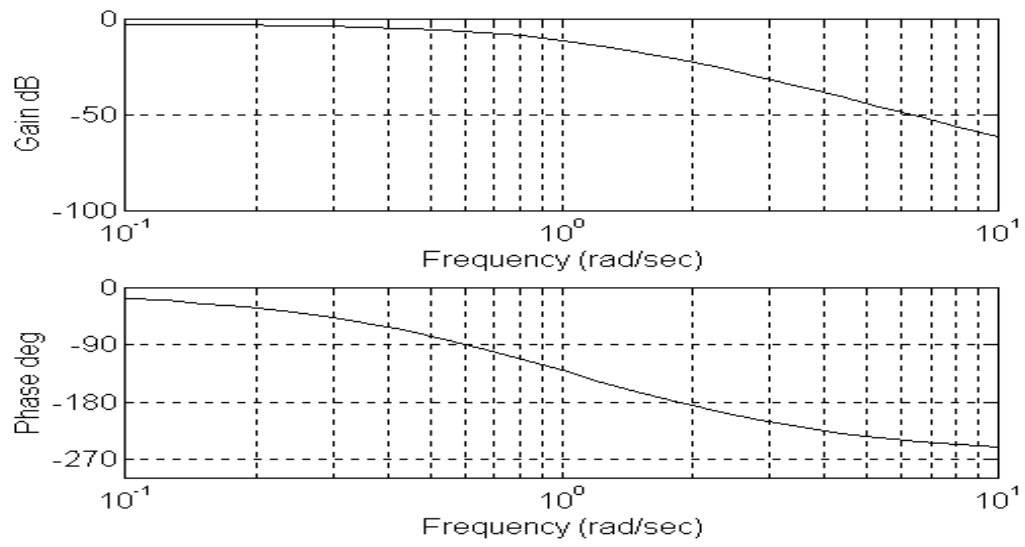


**Variasi 2:**

Root locus :

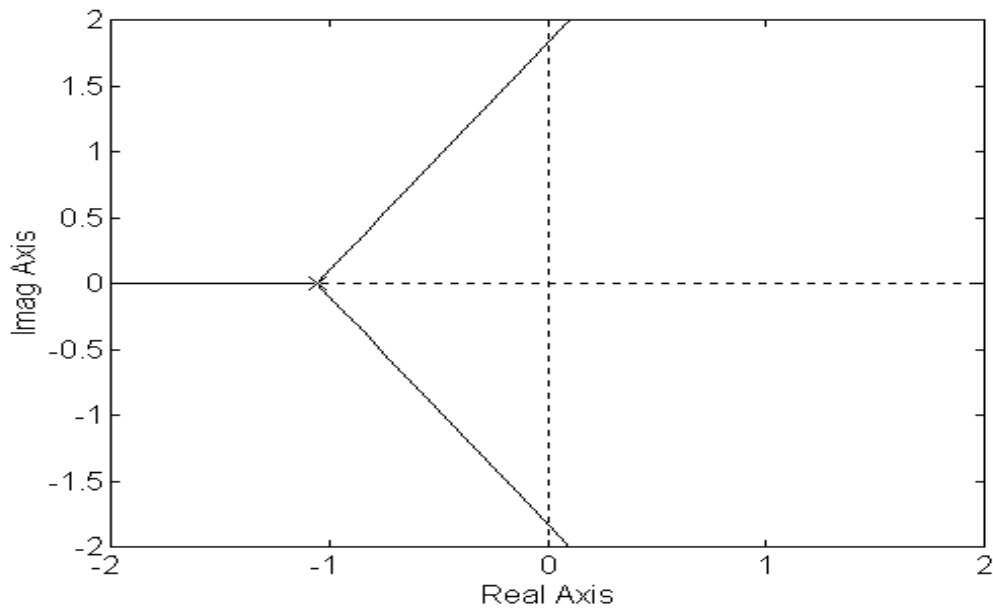


Bode diagram:

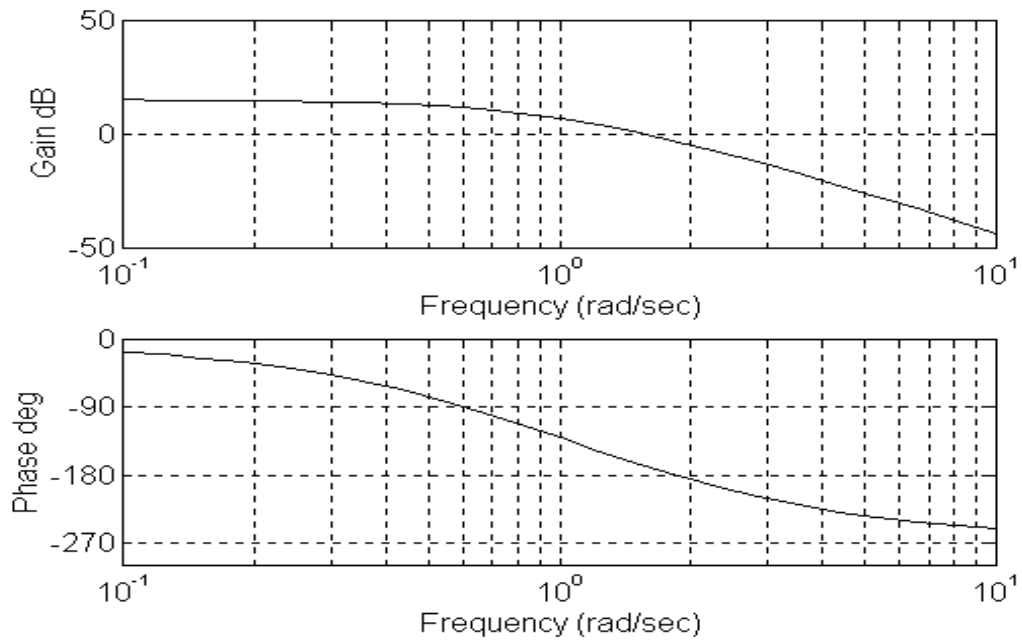


### Variasi 3:

Root locus:



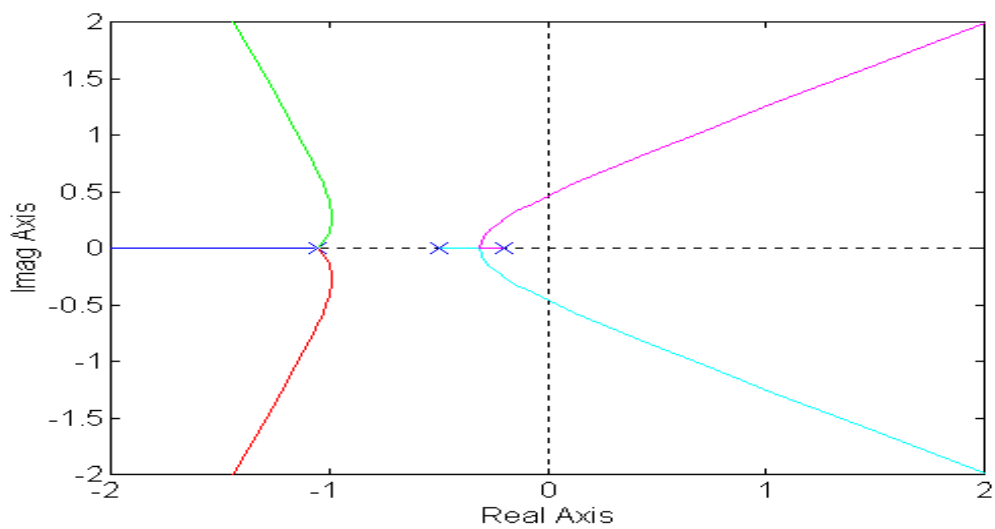
Bode diagram:



**Transmitter dan control valve berupa fungsi transfer orde 1:**

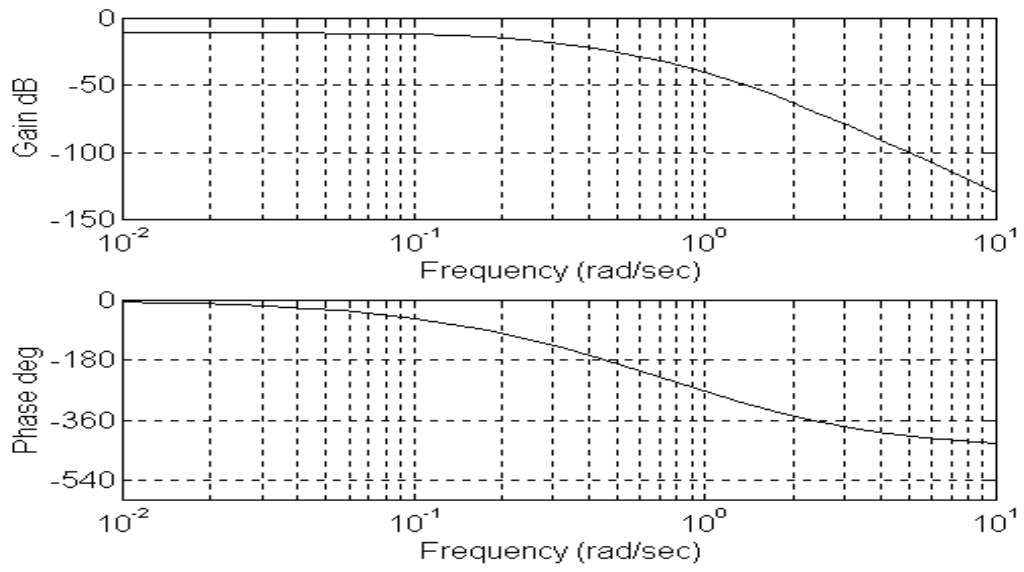
**Variasi 1 :**

Root locus:



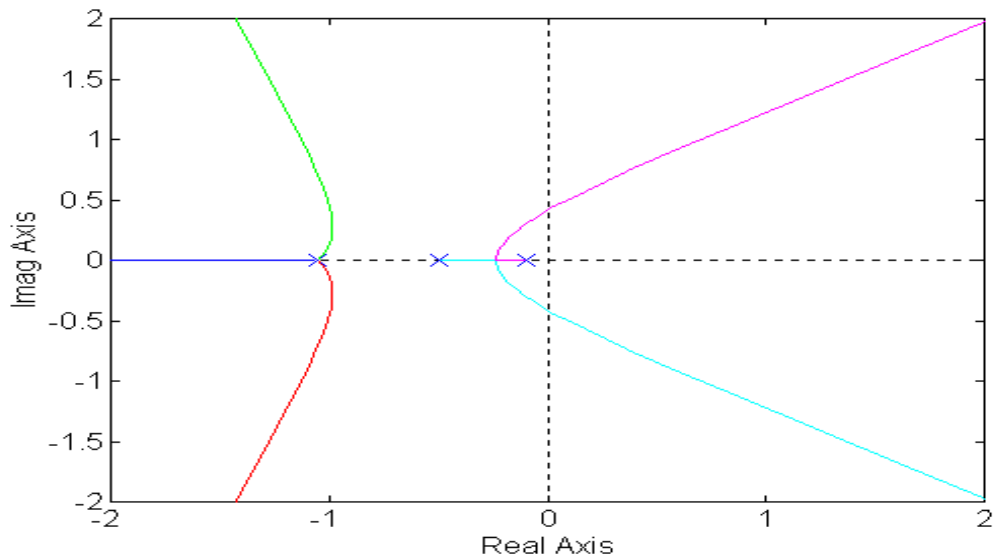


Bode diagram :

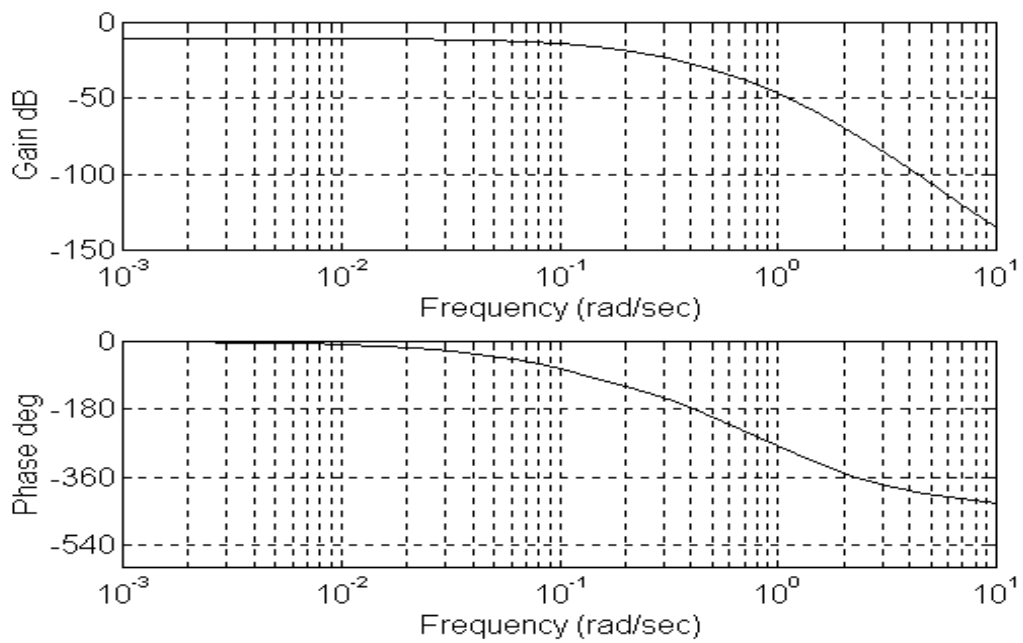


**Variasi 2:**

Root locus :

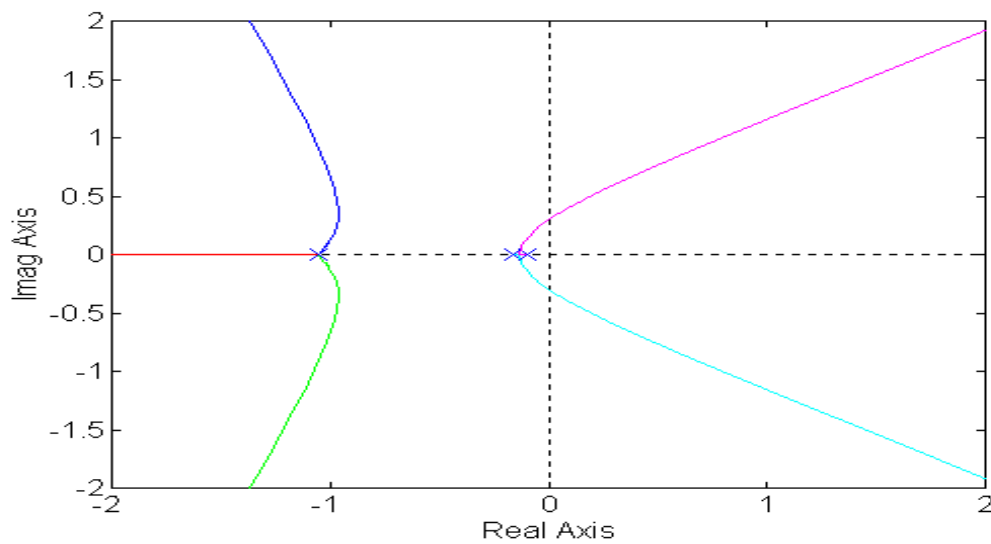


Bode diagram:

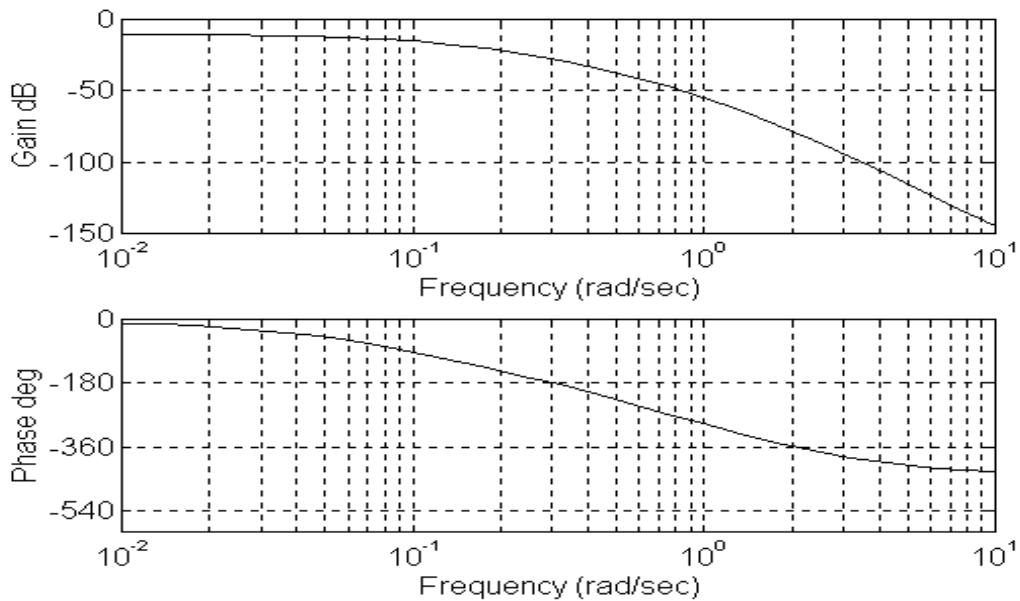


**Variasi 3:**

Root locus:



Bode diagram :



#### **ANALISA DAN KESIMPULAN:**

1. Pengaruh nilai gain transmitter dan control valve terhadap gain ultimate adalah semakin besar nilai gain transmitter dan control valve maka gain ultimate akan semakin kecil.
2. Pengaruh nilai gain transmitter dan control valve terhadap periode ultimate adalah semakin besar nilai gain transmitter dan control valve maka nilai periode ultimate tidak terpengaruh terhadap perubahan nilai gain transmitter dan control valve.
3. Pengaruh  $\tau$  pada transmitter dan control valve terhadap nilai gain ultimate adalah semakin besar nilai  $\tau$  pada transmitter dan control valve maka gain ultimate akan semakin besar.
4. Pengaruh  $\tau$  pada transmitter dan control valve terhadap nilai periode ultimate adalah semakin besar nilai  $\tau$  pada transmitter dan control valve maka nilai periode ultimate akan semakin besar.
5. Dari diagram Root Locus maupun Bode dapat dilihat bahwa untuk transmitter dan control valve baik yang berupa gain saja maupun yang berupa fungsi alih orde satu, terdapat daerah yang menunjukkan bahwa sistem ini tidak stabil (adanya daerah kurva di sebelah kanan s-plane root locus diagram).

6. Pada diagram root locus dengan transmitter dan control valve hanya berupa gain saja, terdapat 3 cabang menuju ke arah tak hingga. Jumlah cabang ini sesuai dengan jumlah pole pada OLTF sistem yaitu 3 pole.
7. Pada diagram root locus dengan transmitter dan control valve berupa fungsi alih orde satu, terdapat 5 cabang menuju ke arah tak hingga. Jumlah cabang ini sesuai dengan jumlah pole pada OLTF sistem yaitu 5 pole.