

## KARAKTERISTIK DASAR SISTEM KENDALI

Karakteristik dasar sistem KENDALI meliputi persoalan :

1. Transient response.
2. Steady state response (ketelitian).
3. Kepekaan (sensitivity)
4. Kestabilan (stability).

1. Transient response (transient periode), ialah waktu gejala peralihan. Setiap sistem KENDALI (F. C. S) diharapkan mempunyai perioda transient sekecil mungkin. Artinya responnya diharapkan secepat mungkin mencapai keadaan yang diinginkan. Akan tetapi osilasi yang besar dalam menuju keadaan yang diinginkan harus dihindarkan, sebab bisa meruhsa beberapa komponennya.

2. Steady state response suatu sistem KENDALI berkaitan dengan masalah ketelitian sistem tersebut. Dalam perioda steady state ini ada dua macam persoalan yang iaerlu diperhatikan, yakni .

a Adanya galat ( steady state error ).

b. Besarnya galat (steady state error) tsb.

Kedua hal tersebut terutama disebabkan oleh macam input dan type sistem.

3. Kepekaan , merupakan ukuran sampai seberapa besar penyimpangan fungsi alifi (transfer fonction) sistem tersebut, bila parameter-parameternya berubah harganya dari harga semula.

4. Kestabilan suatu sistem KENDALI batasannya bermacam-macam bergantung kepada analisisnya. Dalam hal ini kestabilan sistem didefinisikan sbb :

Suatu sistem linier dikatakan stabil bila output (response) terhadap setiap bounded input (input yang harga maksimumnyaterbatas ), adalah suatu bounded output.

Jadi kalau  $r(t)$  = fungsi bounded input ,

maka  $c(t)$  = fungsi bounded output.

### A. KARAKTERISTIK TRANSIENT

Input reference bagi suatu sistem KENDALI ada 3 macam:

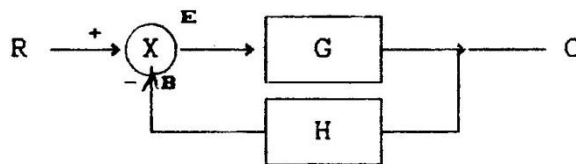
- Fungsi unit step (position)
- Fungsi ramp (velocity)
- Parabolic function (acseleration)

Controlled variable (output) C dapat dinyatakan dengan input reference R dan "forward" serta "feedback path".

$$C = \frac{G}{1 + GH} \cdot R$$

$\frac{G}{1 + GH}$  ; disebut fungsi alih loop tertutup (closed loop transfer function) dari sistem.

GH ; Disebut fungsi alih loop terbuka (open loop transfer function)



R : input reference

C : controlled variable (output)

G : forward path (forward amplifier)

H : feedback path (feedback amplifier)

E : error. signal (signal penggerak)

Analisisnya :

$$\left. \begin{array}{l} E = R - B \\ B = H C \end{array} \right\} E = R - HC \quad \left. \begin{array}{l} C = E G \\ E = \frac{C}{G} \end{array} \right\} \frac{C}{G} = R - HC$$

$$C = RG - GHC \rightarrow C + GHC = RG$$

$$C(1+GH)=RG$$

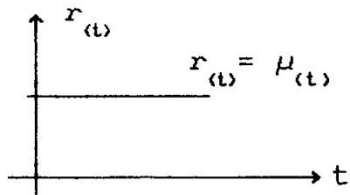
$$\frac{C}{R} = \frac{G}{1 + GH}$$

Sebagai standard karakteristik transient suatu sistem KENDALI adalah karakteristik transient sistem ordo dua dengan inputnya fungsi unit step.

Fungsi unit step dinyatakan dengan  $r(t)$  dimana harganya:

$$r(t) = 1 \quad \text{untuk } t > 0$$

$$r(t) = 0 \quad \text{untuk } t < 0$$



Jika  $r(t)$  ditransformasikan dengan transformasi laplace:

Persamaan gerak suatu sistem KENDALI (hubungan antara input  $r(t)$  dengan output  $C(t)$ , dapat ditulis dalam persamaan diferensial:

$$A_n \frac{d^n C}{dt^n} + A_{n-1} \frac{d^{n-1} C}{dt^{n-1}} + \dots + A_1 \frac{d C}{dt} + A_0 C = r(t)$$

Untuk system orde-2, persamaannya;

$$A_2 \frac{d^2 C}{dt^2} + A_1 \frac{d C}{dt} + A_0 C = r(t)$$

Persamaan di atas jika ditransformasikan dengan transformasi Laplace dan dalam bentuk persamaan orde-2 standard diperoleh:

$$C_{(s)} = \frac{\omega_n^{-1} \cdot R_{(s)}}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$$

Untuk input fungsi unit step  $\left( R_{(s)} = \frac{1}{s} \right)$ , maka

$$C_{(s)} = \frac{\omega_n^{-1} \cdot R_{(s)}}{s(s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2)} = \frac{\omega_n^{-1}}{s(s - s_1)(s - s_2)}$$

di mana, untuk  $0 < \zeta < 1$

$$s_1 = -\zeta \omega_n + j\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

$$s_2 = -\zeta \omega_n - j\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

$\zeta \omega_n =$  koefisien redaman (damping coefficient) =  $\alpha$

$\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} =$  frekuensi natural yang diredam (damped natural frequency) =  $\omega_d$ .

$\omega_n =$  frekuensi natural yang tidak diredam (undamped natural frequency).

Jika :  $\alpha = \zeta \omega_n$  dan  $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$ , maka

$$s_1 = -\alpha + j\omega_d$$

$$s_2 = -\alpha - j\omega_d$$

Besaran :  $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\zeta \omega_n} = \tau$ , disebut konstanta

waktu dari sistem :  $\tau = \frac{1}{\zeta \omega_n}$

Bila digambarkan dalam bidang kompleks akar-akar persamaan tersebut:

imajiner

$+ j\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$   
 $\cos \theta = \zeta$   
 $\sin \theta = \sqrt{1 - \zeta^2}$

real

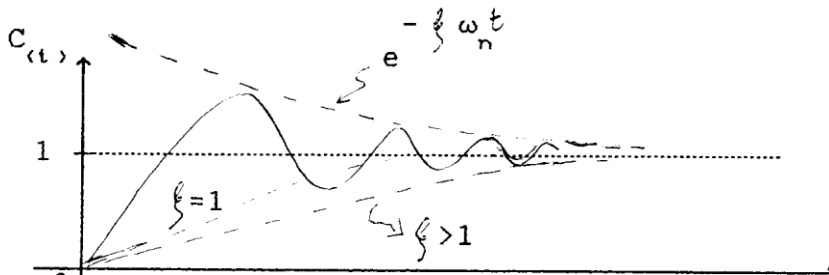
Output :  $C_{(s)} = \frac{\omega_n^2}{s (s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}$

ditransformasi Laplace inverse-kan akan diperoleh  $c(t)$

$$C_{(t)} = \mathcal{L}^{-1} [C_{(s)}] = \int_0^{\infty} \tilde{C}_{(s)} e^{st} ds$$

$$C_{(t)} = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin \left( \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \cdot t + \cos^{-1} \zeta \right)$$

Output dalam fungsi waktu [  $f(t)$  ] jika digambarkan dengan sebagai parameter, diperoleh 4 macam keadaan:



1.  $\zeta < 1$  : underdamped
2.  $\zeta > 1$  : overdamped
3.  $\zeta = 1$  : critical damped
4.  $\zeta = 0$  : undamped (osilasi).

Sistem yang baik adalah yang mempunyai kondisi underdamped, dimana besarnya adalah :  $\pm 0,7$ . Keadaan critical damped atau over damped akan terlalu lama mencapai steady state, sedangkan keadaan undamped akan bersosilasi terus, tidak pernah bisa mencapai harga steady state.

Untuk mencari overshoot maksimum,  $C(t)$  didefferensir sekali kemudian  $dc/dt$  disamakan dengan nol.  $\frac{dc}{dt}=0$ , terjadi pada waktu:

$$\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \cdot t = 0, \pi, 2\pi, \dots \text{dst.}$$

Maka overshoot maksimum terjadi pada waktu:

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \quad , \text{ sehingga}$$

overshoot maksimum besarnya

$$M_p = \text{overshoot maksimum} = 1 + e^{-\frac{\zeta \pi}{\sqrt{1 - \zeta^2}}}$$

$$\omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$$

$t_d$  = delay time ( 0% - 50% ).

$t_r$  = rise time (10% - 90%).

$t_s$  = setting time  $\approx \frac{4}{\xi \omega_n}$

$t_d$  ,  $t_r$  : akan menyatakan waktu yang menunjukkan kecepatan response dari sistem.

$t_s$  : menyatakan waktu dimana sistem telah mencapai steady state.

pada saat kira-kira simpangan + 5% gejala transient dianggap selesai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Sulasno, Thomas, 1991, Dasar Sistem KENDALI, Satya Wacana, Semarang
- Pakpahan, Sahat, 1988, Kontrol Otomatik Teori dan Penerapan, Erlangga, Jakarta
- Widodo, R.J, 1976, Sistem KENDALI Dasar, ITB
- Widodo, R.J, 1986, Diktat Kursus Sistem Penyaluran, ITB
- Distefano, Joseph.J, et.al, Theory and Problems of Feedback and Control Systems, 1983, Schaum Outlines Series, Mc.Graw Hill International Brok Company, Singapore
- Kuo, Benyamin.C, 1976, Automatic Control Systems, Preutice Hall of India, New Delhi
- Dorf, Richard.C. (Farid Ruskanda), 1980, Sistem KENDALI, Erlangga, Jakarta
- Jones, Alam.J,1990, Sensor Technology Materials and Devices, Department of Industri, Technology and commerce, Commonwealth Australia
- Killian, 2004, Modern Control Technology Components and Systems, e book, Delmar
- Ogata, Katshuhiko, 1997, Modern Control Engineering, Preutice-Hall International, Singapore