

Lab 3

Interkoneksi Sistem dan Sikap Sistem Orde-1 dan Orde-2

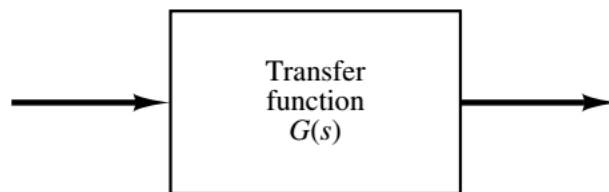
3.1 Tujuan Eksperimen

- Memahami berbagai interkoneksi subsistem
- Menguasai teknik penyederhanaan fungsi alih dari sistem yang terdiri dari berbagai kombinasi subsistem
- Memahami bentuk fungsi alih dalam bentuk persamaan orde-1 dan orde-2
- Memahami teknik analisis dan karakteristik sistem dari sistem orde-1 dan orde-2

3.2 Dasar Teori

3.2.1 Sistem Kalang Terbuka dan Kalang Tertutup

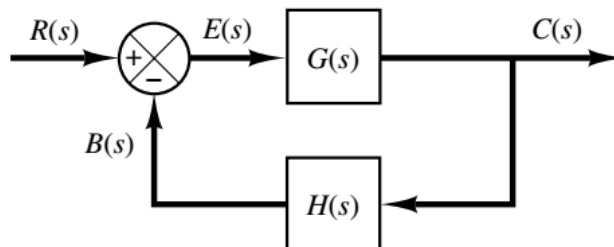
Secara umum, representasi sistem dapat dinyatakan dalam bentuk diagram blok. Konsep representasi diagram blok ini dapat diterapkan pada ranah frekuensi, yang dalam analisis kendali berupa ranah Laplace, karena transformasi Laplace memenuhi sifat *Linear and Time-Invariant* (LTI).



Gambar 3.1 Fungsi alih $G(s)$ dalam representasi diagram blok kalang terbuka

Pada ranah Laplace, representasi fungsi alih dapat dinyatakan dalam bentuk diagram blok kalang terbuka (*open loop*) ataupun kalang tertutup (*closed loop*). Sistem yang dinyatakan dengan diagram blok kalang terbuka adalah sistem dengan fungsi alih $G(s)$ yang hanya memiliki umpan maju, yaitu hanya mengolah sinyal masukan $R(s)$ untuk dihasilkan menjadi sinyal luaran $C(s)$.

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)}$$



Gambar 3.2 Diagram blok kalang tertutup dari sistem yang memiliki umpan balik $H(s)$

Pada sistem yang mengolah umpan balik dari sinyal luaran $C(s)$ dengan fungsi alih $H(s)$ dan menghasilkan sinyal $B(s)$ yang setara dengan masukan sistem $R(s)$ seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2, sistem tersebut digambarkan sebagai diagram blok kalang tertutup dengan fungsi alih $G(s)$ untuk mengolah umpan maju $E(s)$ yang merupakan selisih dari sinyal masukan $R(s)$ dan sinyal umpan balik $B(s)$ untuk dihasilkan sinyal luaran $C(s)$. Pada analisis sistem melalui representasi fungsi alih, sistem dengan umpan balik dapat disederhanakan menjadi fungsi alih tunggal sebagaimana sistem dengan umpan maju tanpa menggunakan umpan balik seperti ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

$$C(s) = G(s)E(s)$$

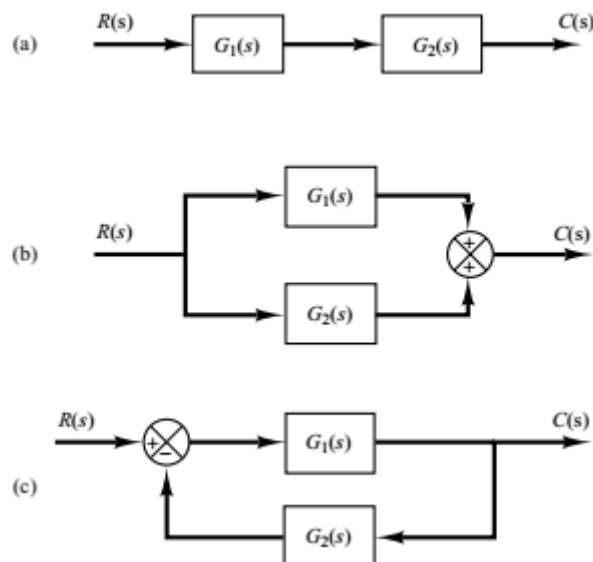
$$E(s) = R(s) - B(s)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

$$C(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} R(s)$$

3.2.2 Interkoneksi Sistem

Dengan memanfaatkan blok-blok fungsi alih untuk representasi setiap subsistem pada diagram blok sebuah sistem, hubungan antar subsistem tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga macam interkoneksi utama seperti ditunjukkan pada gambar Gambar 3.3 berikut. Interkoneksi serial sama dengan mengalikan kedua fungsi alih, interkoneksi paralel seperti halnya menambahkan kedua fungsi alih.



Gambar 3.3 Interkoneksi subsistem: (a) Serial (series/cascaded); (b) Paralel (jumlahan/parallel); (c) Umpan balik (feedback)

Sebagai contoh, perhatikan dua buah subsistem berikut

$$G_1(s) = \frac{1}{s + 2}$$

$$G_2(s) = \frac{1}{s^2 + 2s + 2}$$

```
sys_s = series(G1,G2)           % subsistem G1 dilanjutkan G2
sys_p = parallel(G1,G2)        % luaran G1 ditambahkan dengan G2
sys_fneg = feedback(G1,G2)     % sistem dengan umpan balik negatif
sys_fpos = feedback(G1,G2,1)   % sistem dengan umpan balik positif
```

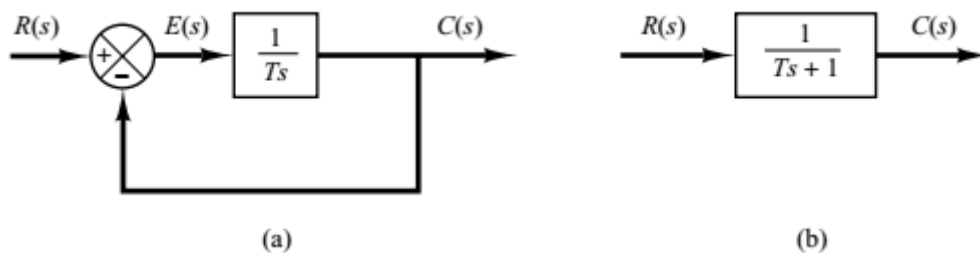
3.2.3 Sistem Orde-1

Representasi sistem dapat dinyatakan dalam persamaan ranah waktu yang berwujud persamaan diferensial. Persamaan diferensial tersebut dapat memiliki orde satu, dua, atau lebih (orde tinggi/*higher order*). Orde dari persamaan diferensial ditentukan oleh diferensial tertinggi dari persamaan tersebut. Semakin tinggi orde, sistem tersebut semakin kompleks, analisis sistem menjadi lebih tidak sederhana, dan tanggapan dari sistem juga akan berbeda.

Sistem orde-1 merupakan sistem dinamik yang paling sederhana. Sistem ini diperoleh dari persamaan sistem yang berupa persamaan diferensial dengan orde-1. Secara umum, persamaan dari fungsi alih dari sistem orde-1 ditunjukkan pada persamaan berikut

$$y' + ay = bu$$

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b}{s + a}$$



Gambar 3.4 Diagram blok dari sistem orde-1. (a) Sistem dengan umpan balik langsung (*unity*); (b) sistem yang disederhanakan menjadi fungsi alih dari sistem umpan maju

Dalam diagram blok, sistem orde-1 dengan umpan balik langsung dengan penguatan tunggal dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.4. Pada representasi seperti pada gambar tersebut, konstanta T adalah konstanta waktu yang dapat digunakan untuk analisis transien dari sistem.

$$H(s) = \frac{b}{s + a} \Rightarrow H(s) = \frac{1}{Ts + 1}$$

Sebagai contoh, perhatikan fungsi alih sistem kalang terbuka orde-1 berikut

$$H(a) = \frac{a}{s + a}$$

Pengaruh penempatan pole pada sistem tersebut akan mempengaruhi tanggap impuls maupun tanggap fungsi langkah dari sistem tersebut.

```
sys_1 = zpk([], [-1], 1) % sistem dengan pole pada titik -1
sys_2 = zpk([], [-2], 2) % sistem dengan pole pada titik -2

figure(1) % tanggap impuls dari kedua sistem
hold all
impulse(sys_1)
impulse(sys_2)
figure(2) % tanggap fungsi langkah dari kedua sistem
hold all
step(sys_1)
step(sys_2)
```

3.2.4 Sistem orde-2

Sistem orde-2 bukan merupakan bentuk paling sederhana untuk representasi sistem, namun merupakan bentuk paling sederhana yang dapat digunakan untuk memodelkan sistem yang mengalami osilasi yang tidak dapat diwakili oleh model sistem orde-1. Sebagian besar model sistem disederhanakan dalam bentuk persamaan fungsi alih orde-1 atau orde-2 untuk memudahkan analisis dan perancangan. Secara umum, persamaan untuk sistem orde-2 akan memenuhi persamaan berikut

$$y'' + ay' + by = cu$$

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{c}{s^2 + as + b}$$

Secara khusus untuk analisis osilasi yang dapat diwakili oleh sinyal dengan frekuensi tertentu ω_n , persamaan yang lebih umum untuk mewakili sistem orde-2 adalah sebagai berikut

$$H(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

Pada persamaan tersebut, ω_n adalah frekuensi natural dan ζ adalah faktor peredaman dimana sifat redaman sistem dapat dikategorikan sebagai berikut

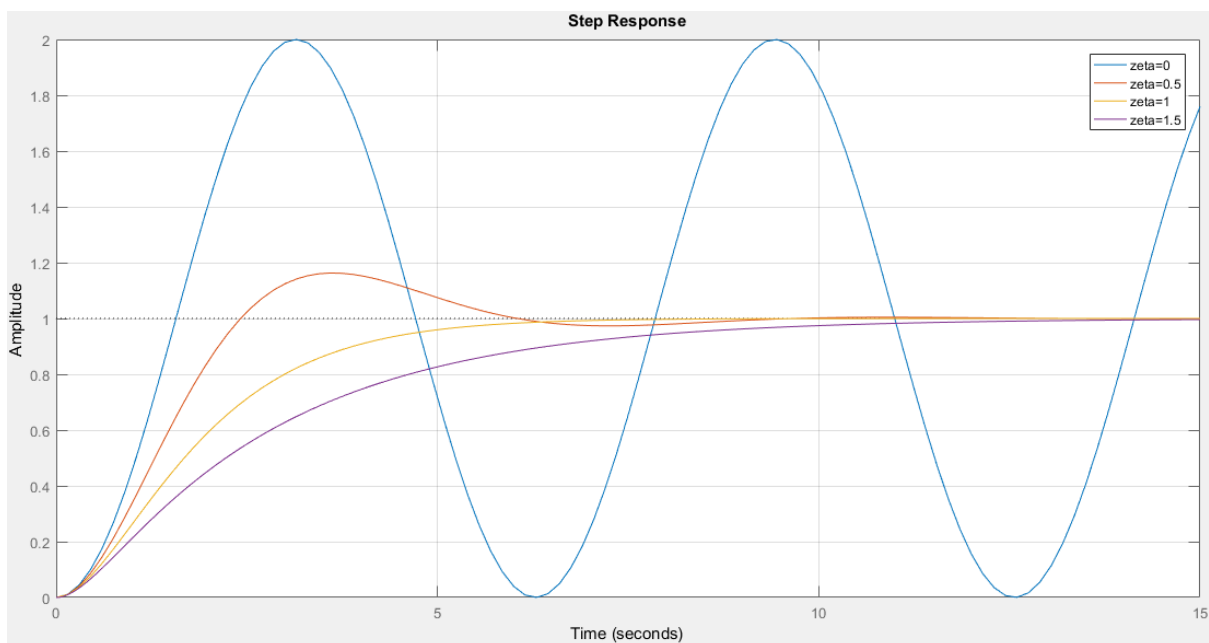
$\zeta = 0$: tak teredam (<i>undamped</i>)	Sistem yang tidak teredam. Memiliki dua kutub imajiner
$0 < \zeta < 1$: redaman bawah (<i>under-damped</i>)	Sistem yang teredam dan memiliki dua kutub imajiner yang stabil. Stabil dengan cepat dan berosilasi.

$\zeta = 1$: redaman kritis (<i>critically damped</i>)	Memiliki dua akar nyata kembar. Sistem yang teredam tanpa mengalami osilasi dan menempuh waktu tercepat yang mungkin dicapai.
$\zeta > 1$: redaman atas (<i>over-damped</i>)	Memiliki dua akar nyata yang stabil. Sistem teredam dengan relatif lebih lambat namun tidak mengalami osilasi.

```

zeta = [0 0.5 1 1.5] % variasi nilai faktor peredaman
wn = 1; % frekuensi natural = 1
figure
for i=1:4
    sys_zeta{i} = tf([wn^2],[1 2*zeta(i)*wn wn^2]);
    % sistem dengan masing-masing faktor peredaman
    hold all
    step(sys_zeta{i},15)
    % tanggap langkah dari masing-masing sistem
end
legend('zeta=0','zeta=0.5','zeta=1','zeta=1.5')

```



Gambar 3.5 Peredaman untuk variasi nilai zeta yang berbeda-beda

Pada sistem orde-2 ini, terkait dengan peredaman yang diharapkan muncul dari sistem yang diamati, terdapat beberapa karakteristik yang perlu dipahami, yaitu *overshoot*, *rise time*, *settling time*, dan *peak time*.

3.3 Eksperimen

- Sebuah sistem dengan masukan $U(s)$, luaran $Y(s)$ dan tiga subsistem dengan masing-masing fungsi alihnya adalah $G_1(s)$, $G_2(s)$, dan $G_3(s)$.

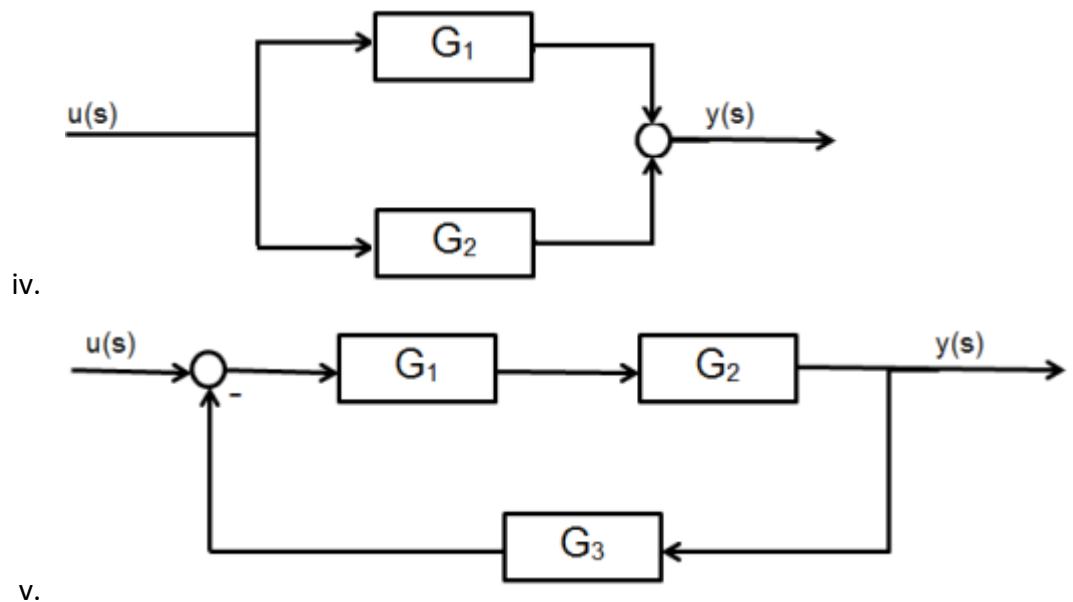
$$G_1(s) = \frac{s+2}{s^2+4s+3}$$

$$G_2(s) = \frac{1}{s+1}$$

$$G_3(s) = \frac{1}{s+2}$$

- a. Temukan persamaan fungsi alih sistem $H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$ pada kombinasi subsistem berikut.

- $H(s) = G_1(s)$
- $H(s) = G_2(s)$
- $H(s) = G_3(s)$



- b. Bandingkan kelima tanggap fungsi langkah dan tanggap impulsnya. (gunakan perintah hold untuk kedua grafik tanggapan)
- Sebuah sistem orde-1 yang memiliki konstanta waktu T dideskripsikan melalui fungsi alih $H(s)$ sebagai berikut

$$H(s) = \frac{1}{Ts+1}$$

Dengan variasi nilai $T = \{1, 3, 5, 7\}$,

- Tuliskan masing-masing persamaan fungsi alih $H(s)$
- Bandingkan tanggap fungsi langkah dari masing-masing nilai T dari fungsi alih $H(s)$ tersebut dalam sebuah grafik tanggapan sistem.
- Bandingkan karakteristik tanggapan dari nilai T dari fungsi alih $H(s)$ tersebut.
- Tampilkan kutub-kutub (*poles*) dari masing-masing nilai T dari fungsi alih $H(s)$ tersebut dalam sebuah grafik pole-zero.

- Sebuah sistem orde-2 yang memiliki dua akar imajiner dideskripsikan melalui fungsi alih $H(s)$ sebagai berikut

$$H(s) = \frac{|w + j2w|^2}{(s + w + j2w)(s + w - j2w)}$$

Dengan w adalah suatu bilangan nyata dan $j = \sqrt{-1}$.

Dengan variasi nilai $w = \{1, 3, 5, 7\}$,

- Tuliskan masing-masing persamaan fungsi alih $H(s)$
- Bandingkan tanggap fungsi langkah dari masing-masing nilai w dari fungsi alih $H(s)$ tersebut dalam sebuah grafik tanggapan sistem.
- Bandingkan karakteristik tanggapan dari masing-masing nilai w dari fungsi alih $H(s)$ tersebut.
- Tampilkan kutub-kutub (*poles*) dari nilai masing-masing w dari fungsi alih $H(s)$ tersebut dalam sebuah grafik pole-zero.