

METODA TANGGAPAN FREKUENSI

1. Pendahuluan

Tanggapan frekuensi adalah tanggapan keadaan mantap suatu sistem terhadap masukan sinusoidal. Dalam metoda tanggapan frekuensi, frekuensi sinyal masukan dalam suatu daerah frekuensi tertentu diubah dan tanggapan frekuensi yang dihasilkan dipelajari. Dalam menggunakan kriteria kestabilan ini tidak diperlukan untuk menentukan akar-akar persamaan karakteristik. Pengujian tanggapan frekuensi pada umumnya sederhana dan dapat dilakukan secara teliti dengan menggunakan pembangkit sinyal sinusoidal yang telah tersedia dan alat-alat ukur yang teliti. Seringkali fungsi alih komponen yang rumit dapat ditentukan secara eksperimental dengan pengujian tanggapan frekuensi. Metoda tanggapan frekuensi dapat diterapkan pada sistem yang tidak mempunyai fungsi rasional. Solusi dari pada itu, sistem yang tidak diketahui atau sistem yang benar-benar dikenal, dapat ditangani dengan metoda tanggapan frekuensi sedemikian sehingga pengaruh kebisingan yang tidak diinginkan dapat diabaikan dan analisis serta perancangan semacam ini dapat diperluas ke sistem kendali non-linier.

2. Diagram Bode

Fungsi alih sinusoidal dapat disajikan dalam dua diagram yang terpisah, satu merupakan diagram besaran terhadap frekuensi dan diagram sudut fasa dalam derajat terhadap frekuensi. Diagram Bode terdiri dari dua grafik. Grafik pertama merupakan diagram dari logaritma besaran fungsi sinusoidal, dan grafik yang lain merupakan sudut fasa di mana kedua grafik digambarkan terhadap frekuensi dalam skala logaritmik. Penyajian standar besaran logaritmik dari $G(j\omega)$ adalah $20 \log|G(j\omega)|$ dengan basis logaritma tersebut adalah 10. Satuan yang digunakan dalam penyajian besaran adalah desibel (dB). Pada penyajian logaritmik, kurva digambarkan pada kertas semilog, dengan menggunakan skala log untuk frekuensi dan skala linier untuk besaran (dalam dB) atau sudut fasa (dalam derajat).

Contoh 1. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan diagram Bode untuk fungsi alih pada persamaan (1) dan (2) berikut

$$G(s) = \frac{15}{s(s+3)(s+5)} \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{7s^3 + 15s^2 + 7s + 80}{s^4 + 8s^3 + 12s^2 + 70s + 110} \quad (2)$$

Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 1. adalah

```

clc
clear all
close all
%
% Fungsi Alih
disp('Fungsi Alih')
num_1 = 15;
den_1 = conv([1 0],conv([1 3],[0 7 5]));
sys_1 = tf(num_1,den_1)
%
% Diagram Bode
figure
bode(num_1,den_1);
grid on
%
% Fungsi Alih
disp('Fungsi Alih')
num_2 = [ 0 7 15 7 80];
den_2 = [ 1 8 12 70 110];
sys_2 = tf(num_2,den_2)
%
% Diagram Bode
figure
bode(num_2,den_2);
grid on

```

Hasil program

Fungsi Alih

Transfer function:

15

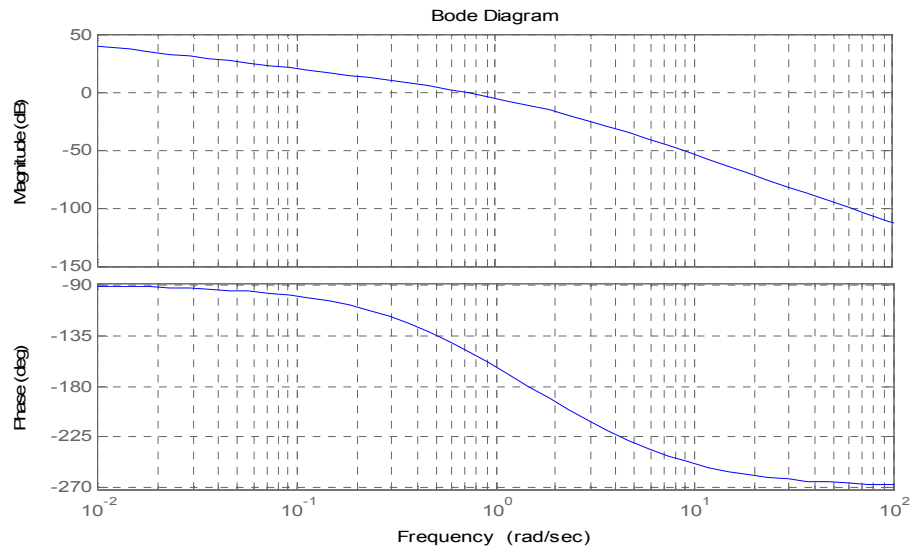
7 s^3 + 26 s^2 + 15 s

Fungsi Alih

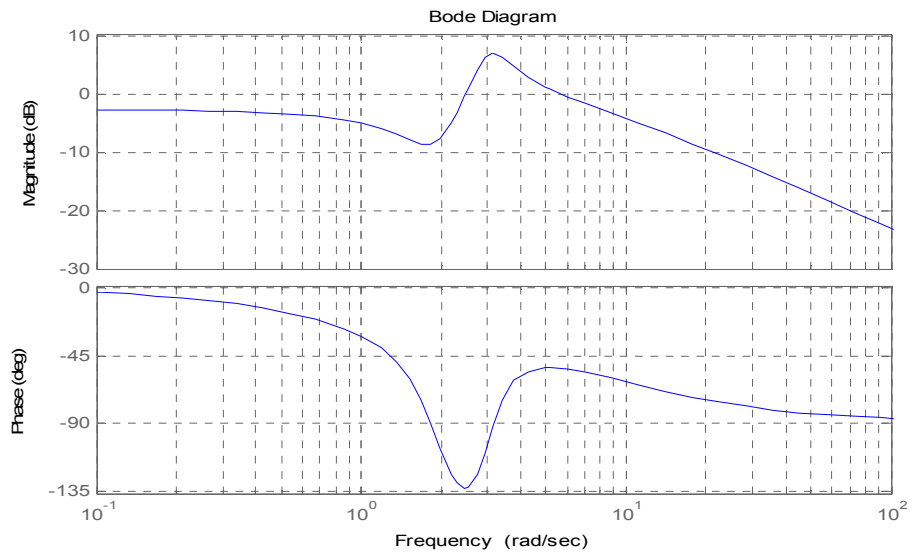
Transfer function:

$$7 s^3 + 15 s^2 + 7 s + 80$$

$$s^4 + 8 s^3 + 12 s^2 + 70 s + 110$$



Gambar 1. Diagram Bode Persamaan (1)



Gambar 2. Diagram Bode Persamaan (2)

Contoh 2. Dengan menggunakan Matlab, tentukan diagram Bode untuk persamaan keadaan (3) dan (4) berikut

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -30 & -7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

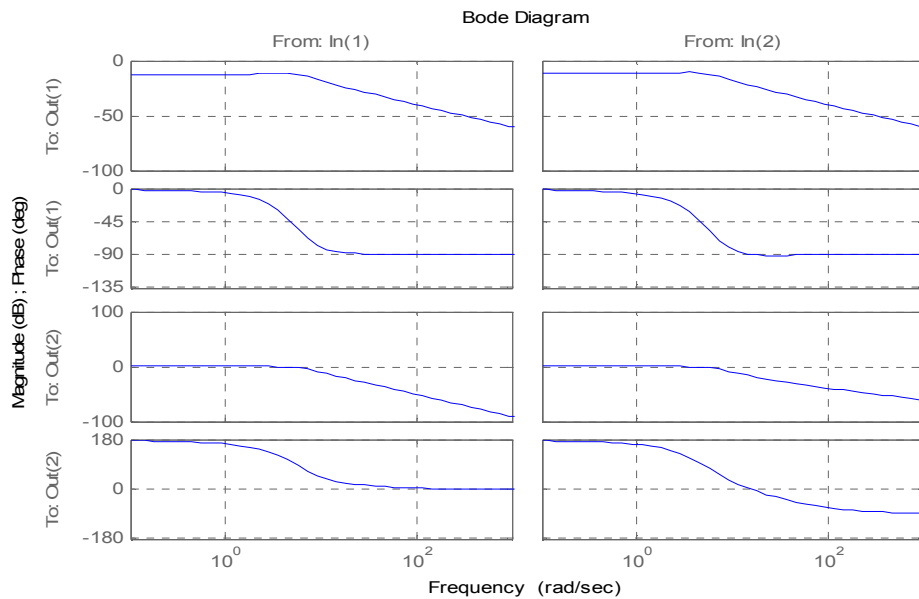
$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 2. adalah

```
clc
clear all
close all
% Contoh 2.
%
% Persamaan Keadaan
disp('Persamaan Keadaan')
A = [ 0  1; -30 -7];
B = [ 1  1; 0  1];
C = [ 1  0; 0  1];
D = [ 0  0; 0  0];
sys = ss(A,B,C,D)
%
% Diagram Bode
bode(sys)
grid on
```

Hasil program



Gambar 3. Diagram Bode Persamaan Keadaan (3) dan (4)

3. Diagram Nyquist

Diagram polar suatu fungsi alih sinusoidal $G(j\omega)$ adalah suatu diagram besaran $G(j\omega)$ terhadap sudut fasa $G(j\omega)$ pada koordinat polar, jika ω diubah dari 0 sampai ∞ . Jadi diagram polar adalah tempat kedudukan vektor $|G(j\omega)|\angle G(j\omega)$ jika ω diubah dari 0 sampai ∞ . Dalam diagram polar, sudut fasa positif (negatif) diukur berlawanan arah dengan arah jarum jam (searah dengan arah jarum jam) dari sumbu nyata positif. Diagram polar sering disebut juga diagram Nyquist.

Contoh 3. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan diagram Nyquist dari fungsi alih terbuka pada persamaan (5) berikut

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 1.8s + 1} \quad (5)$$

Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 3.3 adalah

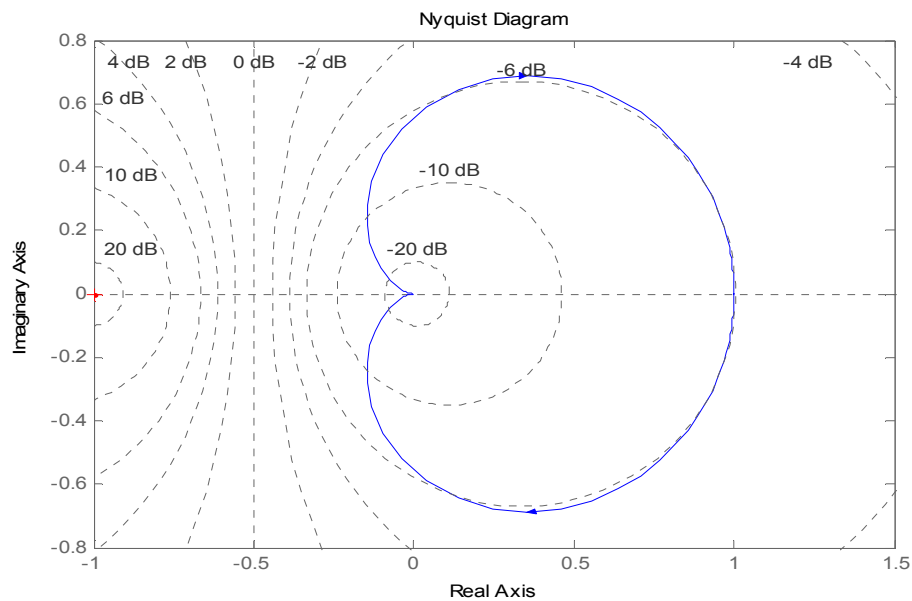
```
clc
clear all
close all
% Contoh 3.
%
% Fungsi Alih Sistem Lingkar Terbuka
disp('Fungsi Alih Sistem Lingkar Terbuka')
num = [0 0 1];
den = [1 1.8 1];
sys = tf(num,den)
%
% Diagram Nyquist
nyquist(num,den)
grid on
```

Hasil program

Fungsi Alih Sistem Lingkar Terbuka

Transfer function:

```
1
-----
s^2 + 1.8 s + 1
```



Gambar 4. Diagram Nyquist Persamaan (5)

Contoh 4. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan diagram Nyquist dari persamaan keadaan (6) dan (7) berikut

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -30 & -7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 30 \end{bmatrix} u \quad (6)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 4. adalah

```

clc
clear all
close all
% Contoh 4.
%
% Persamaan Keadaan
disp('Persamaan Keadaan')
A = [ 0  1; -30 -7];
B = [ 0; 30];
C = [ 1  0];
D = 0;
sys = ss(A,B,C,D)
%
nyquist(A,B,C,D)
grid on

```

Hasil program

Persamaan Keadaan

a =

$$\begin{array}{cc} & x1 & x2 \\ x1 & 0 & 1 \\ x2 & -30 & -7 \end{array}$$

b =

$$\begin{array}{cc} & u1 \\ x1 & 0 \\ x2 & 30 \end{array}$$

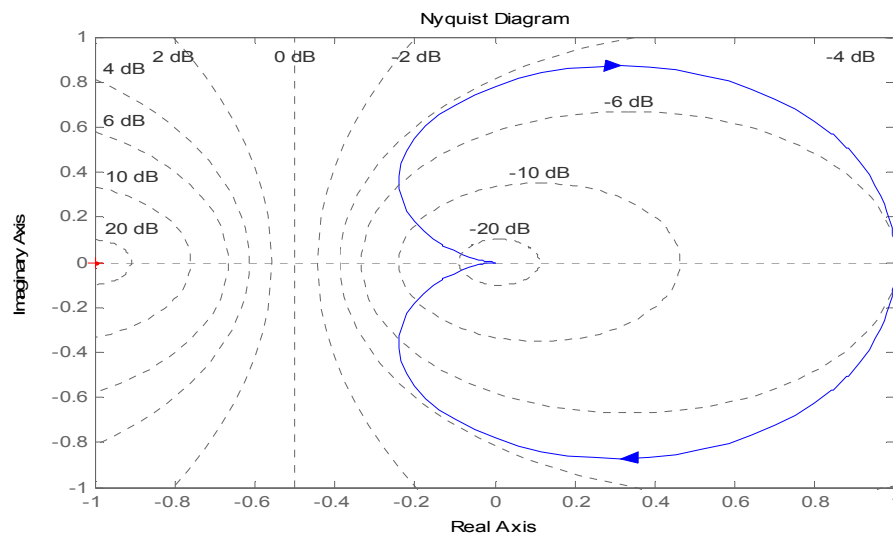
c =

$$\begin{array}{cc} x1 & x2 \\ y1 & 1 & 0 \end{array}$$

d =

$$\begin{array}{cc} & u1 \\ y1 & 0 \end{array}$$

Continuous-time model.



Gambar 5. Diagram Nyquist Persamaan (6) dan (7)

4. Nichols Chart

Selain itu Nichols Chart adalah bentuk analisis frekuensi lainnya yang merupakan modifikasi dari diagram Nyquist dan diagram Bode. Pada dasarnya Nichols Chart ini adalah transformasi lingkaran M dan N pada diagram kutub ke kontur M dan N yang bukan lingkaran (dalam desibel, dB) terhadap kurva sudut fasa dalam koordinat rectangular. Dengan Nichols Chart ini kestabilan relatif

sistem lingkaran terbuka mudah diperoleh akan tetapi kestabilan absolut umumnya tidak praktis. Nichols Chart digunakan karena alasan yang sama dengan cara Nyquist dan Bode serta jika dibandingkan terhadap diagram kutub keuntungannya adalah bahwa rangkuman besaran yang digambarkan lebih besar karena $|G(j\omega)|$ digambarkan dalam skala logaritma. Keuntungan kedua adalah grafik $|G(j\omega)|$ diperoleh dengan menjumlahkan masing-masing besaran dan kontribusi sudut fasa dari harga-harga kutub dan harga – harga nol secara aljabar. Pada Nichols Chart ini, $|G(j\omega)|$ dan argumen $G(j\omega)$ tercakup dalam satu chart. Pada Nichols Chart digambarkan hubungan antara kebesaran (dalam desibel) dan sudut fasa dari tempat kedudukan besaran (db) dan sudut fasa $j\omega$ yang konstan.

Contoh 5. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan Nichols Chart dari fungsi alih lingkaran terbuka pada persamaan (8) berikut

$$G(s)H(s) = \frac{s + 10}{(s + 2)(s + 3)} = \frac{s + 10}{s^2 + 5s + 6} \quad (8)$$

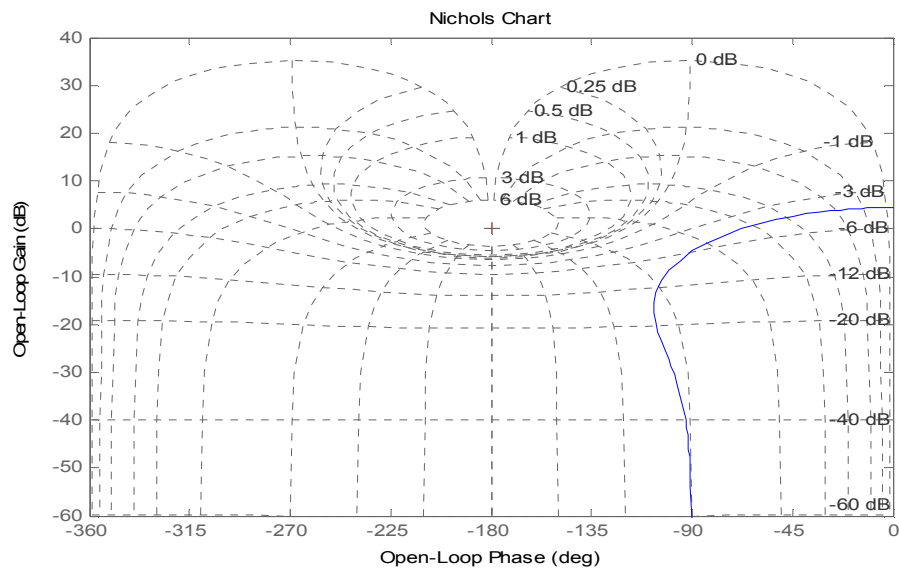
Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 5. adalah

```

clc
clear all
close all
% Contoh 5.
%
% Fungsi Alih Sistem Lingkaran Terbuka
disp('Fungsi Alih Lingkaran Terbuka')
num = [ 0 1 10];
den = [ 1 5 6];
sys = tf(num,den)
%
% Diagram Bode
nichols(sys)
grid on

```

Hasil program



Gambar 6. Nichols Chart Fungsi Alih Lingkar Terbuka Pada Persamaan (8)

Contoh 6. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan Nichols Chart dari persamaan keadaan (9) dan (10) berikut ini

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.7143 & -1.1429 & 0.0000 \\ 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \end{bmatrix} u \quad (9)$$

$$y = \begin{bmatrix} 0.0000 & 0.0000 & 1.1429 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (10)$$

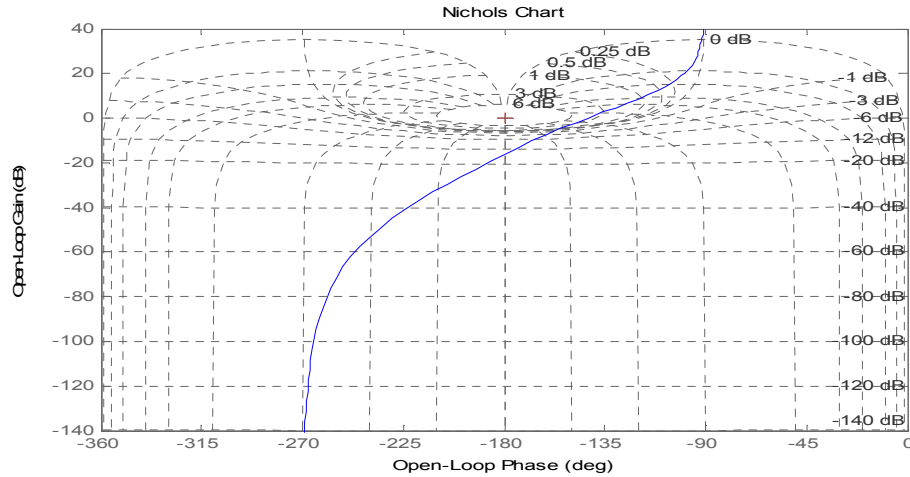
Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 6. adalah

```
clc
clear all
close all
% Contoh 6.
%
% Persamaan Keadaan
disp('Persamaan Keadaan')
A = [-3.7143 -1.1429 0.0000; 1.0000 0.0000 0.0000;
      0.0000 2.0000 0.0000];
B = [1.0000; 0.0000; 0.0000];
C = [0.0000 0.0000 1.1429];
D = 0.0000;
sys = ss(A,B,C,D)
%
% Diagram Nichols
```

```
nichols(sys)
grid on
```

Hasil program

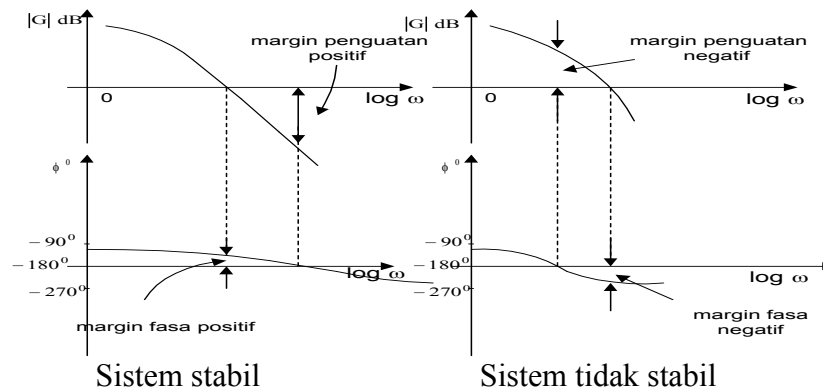


Gambar 7. Nichols Chart Persamaan Keadaan (9) dan (10)

5. Spesifikasi Tanggapan Frekuensi Sistem Lingkar Terbuka

5.1 Margin Fasa (Phase Margin)

Margin fasa adalah banyaknya fasa tertinggal yang ditambahkan pada frekuensi gain crossover yang diinginkan agar sistem berbatasan dengan keadaan tidak stabil. Frekuensi gain crossover adalah frekuensi di mana $|G(j\omega)|=1$. Margin fasa γ adalah 180° ditambah sudut fasa ϕ dari fungsi alih lingkaran terbuka pada frekuensi gain crossover atau $\gamma = 180^\circ + \phi$. Pada Gambar 8. berikut terlihat bahwa dalam diagram polar sebuah garis harus digambar dari pusat ke titik di mana lingkaran satuan berpotongan dengan diagram $G(j\omega)$. Sudut dari sumbu nyata negatif ke garis ini adalah margin fasa. Margin fasa akan bernilai positif untuk $\gamma > 0$ dan negatif untuk $\gamma < 0$. Untuk sistem fasa minimum (tidak terdapat pole atau zero di kanan sumbu khayal bidang s) yang stabil, margin fasa harus positif. Selain itu agar performansi sistem memuaskan maka diusahakan nilai margin fasa berkisar antara 30° sampai 60° . Dalam diagram logaritmik, titik kritis dalam bidang kompleks berkaitan dengan garis 0 dB dan -180° seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8. berikut



Gambar 8. Margin Fasa dan Margin Penguatan dari Sistem Stabil dan Sistem Tidak Stabil

5.2 Margin Penguatan (Gain Margin)

Margin fasa adalah kebalikan dari besaran $|G(j\omega)|$ pada frekuensi di mana sudut fasa 180° . Bila didefinisikan frekuensi phase crossover (ω_1) adalah frekuensi di mana sudut fasa fungsi alih lingkaran terbuka sama dengan 180° maka margin penguatan K_g dinyatakan oleh persamaan (11) berikut

$$K_g = \frac{1}{|G(j\omega_1)|} \quad (11)$$

Dalam bentuk decibel (dB) dinyatakan dalam persamaan (12) berikut

$$K_g \text{ dB} = 20 \log K_g = -20 \log |G(j\omega_1)| \quad (12)$$

Margin penguatan yang diekspresikan dalam decibel (dB), positif jika $K_g > 1$ dan negatif jika $K_g < 1$. Jadi suatu margin fasa positif (dalam desibel) berarti sistem stabil dan margin fasa negatif (dalam desibel) berarti sistem tidak stabil. Sistem stabil dalam fasa minimum ditunjukkan oleh margin penguatannya yaitu seberapa besar penguatan dapat dinaikkan sebelum sistem menjadi tidak stabil. Sistem tidak stabil ditunjukkan oleh seberapa besar penguatan yang harus diturunkan agar sistem menjadi stabil. Selain itu agar performansi sistem memuaskan maka diusahakan nilai margin penguatan ini besar dari 6 dB.

Contoh 7. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan performansi sistem lingkaran terbuka dalam domain frekuensi pada persamaan (13) berikut

$$G(s) = \frac{15}{7s^3 + 26s^2 + 15s} \quad (13)$$

Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 7. adalah

```
clc
clear all
close all
% Contoh 7.
%
% Fungsi Alih Lingkaran Terbuka
disp('Fungsi Alih Lingkaran Terbuka')
num = 15;
den = conv([1 0],conv([1 3],[7 5]));
G = tf(num,den)
%
% Performansi Sistem Lingkaran Terbuka Dalam Domain
Frekuensi
disp('Performansi Sistem Lingkaran Terbuka Dalam Domain
Frekuensi')
y = allmargin(G)
```

Hasil program

Fungsi Alih Lingkaran Terbuka

Transfer function:

15

7 s^3 + 26 s^2 + 15 s

Performansi Sistem Lingkaran Terbuka Dalam Domain
Frekuensi

y =

```
GainMargin: 3.7143
GMFrequency: 1.4639
PhaseMargin: 32.6165
PMFrequency: 0.6971
DelayMargin: 0.8166
DMFrequency: 0.6971
Stable: 1
```

Contoh 8. Dengan menggunakan Matlab, tentukan G_m , P_m , w_{cp} dan w_{cg} untuk persamaan keadaan (14) dan (15) berikut

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6.7143 & -4.1429 & 0.0000 \\ 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \end{bmatrix} u \quad (14)$$

$$y = [0.0000 \quad 0.0000 \quad 2.1429] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 8. adalah

```

clc
clear all
close all
% Contoh 8.
%
% Persamaan Keadaan
disp('Persamaan Keadaan')
A = [-6.7143  -4.1429  0.0000; 1.0000  0.0000  0.0000;
      0.0000  2.0000  0.0000];
B = [1.0000; 0.0000; 0.0000];
C = [0.0000 0.0000 2.1429];
D = 0.0000;
sys = ss(A,B,C,D)
%
% Performansi Sistem Lingkar Terbuka Dalam Domain
Frekuensi
disp('Performansi Sistem Lingkar Terbuka Dalam Domain
Frekuensi')
y = allmargin(sys)
%
% Diagram Bode
bode(sys)
grid on

```

Hasil program

Persamaan Keadaan

```

a =
      x1      x2      x3
x1 -6.714 -4.143  0
x2  1      0      0
x3  0      2      0

```

```

b =
      u1
x1  1
x2  0
x3  0

```

```

c =
      x1      x2      x3
y1  0      0  2.143

```

```

d =
      u1
     y1  0

```

Continuous-time model.

Performansi Sistem Lingkaran Terbuka Dalam Domain Frekuensi

```

y =
  GainMargin: 6.4904
  GMFrequency: 2.0354
  PhaseMargin: 37.2048
  PMFrequency: 0.7130
  DelayMargin: 0.9107
  DMFrequency: 0.7130
  Stable: 1

```

6. Spesifikasi Tanggapan Frekuensi Sistem Lingkaran Tertutup

6.1 Lebar Pita (*Bandwidth*)

Lebar pita (*bandwidth*) adalah frekuensi saat tanggapan magnituda sistem lingkaran tertutup sama dengan -3 dB. Lebar pita (*bandwidth*) ini menunjukkan sifat dari tanggapan peralihan yang berkaitan dengan kecepatan waktu naik.

6.2 Magnitude Maksimum (M_p)

Magnitude Maksimum (M_p) menunjukkan sifat dari tanggapan peralihan yang berkaitan dengan redaman sistem dan lewatan maksimum. Untuk sistem orde kedua hubungan antara rasio magnitude maksimum dengan redaman dinyatakan pada persamaan (16) berikut

$$M_p = \frac{1}{2\zeta\sqrt{(1 - \zeta^2)}} \quad (16)$$

Untuk sistem orde dua nilai magnitude maksimum ini bernilai antara 1.0000 dan 1.5000 agar sistem bersifat stabil.

6.3 Frekuensi Puncak Maksimum (ω_r)

Untuk sistem orde kedua, frekuensi puncak maksimum dinyatakan pada persamaan (17) berikut

$$\omega_r = \omega_n \sqrt{(1 - \zeta^2)} \quad (17)$$

Frekuensi puncak maksimum ini berkaitan dengan kecepatan tanggapan peralihan.

Contoh 9. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan lebar pita (*bandwidth*) dan Rasio Magnitude Maksimum (M_p) dari fungsi alih sistem lingkaran tertutup pada persamaan (18) berikut

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{5}{s^2 + 2s + 5} \quad (18)$$

Jawab

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 9. adalah

```
clc
clear all
close all
% Contoh 9.
%
% Fungsi Alih Lingkaran Tertutup
disp('Fungsi Alih Lingkaran Tertutup')
num = [ 0 0 5];
den = [ 1 2 5];
G = tf(num,den);
%
% Performansi Sistem Lingkaran Tertutup Dalam Domain
Frekuensi
disp('Performansi Sistem Lingkaran Tertutup Dalam Domain
Frekuensi')
[mag,pha] = bode(num,den);
Mp = max(mag)
BW = bandwidth(G)
```

Hasil program

```
Fungsi Alih Lingkaran Tertutup
Transfer function:
      5
-----
s^2 + 2 s + 5
Performansi Sistem Lingkaran Tertutup Dalam Domain
Frekuensi
Mp =
    1.2500
BW =
    2.9699
```

Atau dengan cara lain

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 9. adalah

```

clc
clear all
close all
% Contoh 9.
%
% Fungsi Alih Lingkaran Tertutup
disp('Fungsi Alih Lingkaran Tertutup')
num = [ 0 0 5];
den = [ 1 2 5];
G = tf(num,den)
%
% Performansi Sistem Lingkaran Tertutup Dalam Domain
Frekuensi
disp('Performansi Sistem Lingkaran Tertutup Dalam Domain
Frekuensi')
w = 0 :0.1 : 1000;
[M1,ph1] =bode(G,w);
frqspec(w,M1)

```

Hasil program

Fungsi Alih Lingkaran Tertutup

Transfer function:

```

      5
-----
s^2 + 2 s + 5

```

Performansi Sistem Lingkaran Tertutup Dalam Domain
Frekuensi

Magnitude Puncak = 1.25

Frekuensi Puncak = 1.7

Bandwidth = 2.95

Contoh 10. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan lebar pita (*bandwidth*) dan Rasio Magnitude Maksimum (M_p) persamaan keadaan (19) dan (20) sistem lingkaran tertutup berikut ini

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ -3 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix} u \quad (19)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 10. adalah

```
clc
clear all
close all
% contoh 10.
%
% Persamaan Keadaan
disp('Persamaan Keadaan')
A = [ 0  2; -3 -1];
B = [ 0; 2];
C = [ 1  0];
D = 0;
sys = ss(A,B,C,D)
%
% Performansi Sistem Lingkar Tertutup Dalam Domain
Frekuensi
disp('Performansi Sistem Lingkar Tertutup Dalam Domain
Frekuensi')
[mag,pha] = bode(A,B,C,D);
Mp = max(mag)
BW = bandwidth(sys)
```

Hasil program

Persamaan Keadaan

```
a =
      x1  x2
x1    0   2
x2   -3  -1
```

```
b =
      u1
x1    0
x2    2
```

```
c =
      x1  x2
y1    1   0
```

```
d =
      u1
y1    0
```

Continuous-time model.

Performansi Sistem Lingkar Tertutup Dalam Domain
Frekuensi

```
Mp =
      1.6681
```

```
BW =
```

3.6917

Atau dengan cara lain

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 10. adalah

```
clc
clear all
close all
% contoh 10.
%
% Persamaan Keadaan
disp('Persamaan Keadaan')
A = [ 0  2; -3 -1];
B = [ 0; 2];
C = [ 1  0];
D = 0;
sys = ss(A,B,C,D)
%
%
% Performansi Sistem Lingkar Tertutup Dalam Domain
Frekuensi
disp('Performansi Sistem Lingkar Tertutup Dalam Domain
Frekuensi')
w = 0 :0.1 : 1000;
[M1,ph1] =bode(sys,w);
frqspec(w,M1)
```

Hasil Program

Persamaan Keadaan

```
a =
      x1  x2
x1    0   2
x2   -3  -1
```

```
b =
      u1
x1    0
x2    2
```

```
c =
      x1  x2
y1    1   0
```

```
d =
      u1
y1    0
```

Continuous-time model.

Performansi Sistem Lingkaran Tertutup Dalam Domain Frekuensi

Magnitude Puncak	=	1.66
Frekuensi Puncak	=	2.3
Bandwidth	=	3.65

7. Kriteria Puncak Maksimum

Kriteria puncak maksimum ini terbagi atas 2 bahagian yaitu nilai puncak maksimum sensitivitas (M_s) dan nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer (M_T). Adapun nilai puncak maksimum sensitivitas (M_s) dan nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer (M_T) dihitung dengan dengan persamaan (21) dan (22) berikut

$$M_s = \max_{\omega} |S(j\omega)| \quad (21)$$

$$M_T = \max_{\omega} |T(j\omega)| \quad (22)$$

dimana $S(s)$ adalah fungsi sensitivitas dan $T(s)$ adalah fungsi sensitivitas komplementer.

Contoh 11. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan nilai puncak maksimum sensitivitas (M_s) dan nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer (M_T) dari fungsi alih sistem lingkaran tertutup pada persamaan (23) berikut

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{5}{s^2 + 2s + 5} \quad (23)$$

Jawab

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 11. adalah

```
clc
clear all
close all
% Contoh 11.
%
% Fungsi Alih Lingkaran Tertutup
num = [ 0 0 5];
den = [ 1 2 5];
T = tf(num,den);
S = 1 - T;
%
% Kriteria Puncak Maksimum
```

```

disp('Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas')
Ms=norm(S,inf,1e-4)
disp('Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas
Komplementer')
Mt=norm(T,inf,1e-4)

```

Hasil program

```

Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas
Ms =
    1.5543

```

```

Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas
Komplementer
Mt =
    1.2500

```

Contoh 12. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan nilai puncak maksimum sensitivitas (M_s) dan nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer (M_T) dari persamaan keadaan (24) dan (25) berikut

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ -3 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix} u \quad (24)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 12. adalah

```

clc
clear all
close all
% contoh 12.
%
% Persamaan Keadaan
A = [ 0  2; -3 -1];
B = [ 0; 2];
C = [ 1  0];
D = 0;
%
T = ss(A,B,C,D);
S = 1 - T;
%
% Kriteria Puncak Maksimum
disp('Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas')
Ms=norm(S,inf,1e-4)

```

```
disp('Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas
Komplementer')
Mt=norm(T,inf,1e-4)
```

Hasil program

```
Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas
Ms =
    2.0028
```

```
Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas
Komplementer
Mt =
    1.6681
```

Contoh 13. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan nilai puncak maksimum sensitivitas (M_s) dan nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer (M_T) dari persamaan keadaan (26) dan (27) berikut

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -25 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Jawab :

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 13. adalah

```
clc
clear all
close all
% Contoh 13.
%
A = [ 0 1; -25 -4];
B = [ 1 1; 0 1];
C = [ 1 0; 0 1];
D = [ 0 0; 0 0];
%
T = ss(A,B,C,D);
S = 1 - T;
%
% Kriteria Puncak Maksimum
disp('Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas')
Ms=norm(S,inf,1e-4)
disp('Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas
Komplementer')
Mt=norm(T,inf,1e-4)
```

Hasil program

Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas

Ms =
3.1680

Kriteria Puncak Maksimum Fungsi Sensitivitas
Komplementer

Mt =
1.9987

8. Nilai Singular

Nilai Singular merupakan pengembangan dari tanggapan magnitude diagram Bode untuk sistem banyak masukan banyak keluaran yang digunakan dalam analisa kekokohan. Pada sistem satu masukan satu keluaran nilai singular ini identik dengan tanggapan magnitude diagram Bode.

Contoh 14. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan nilai dan tanggapan nilai singular dari fungsi alih sistem lingkaran tertutup pada persamaan (28) berikut

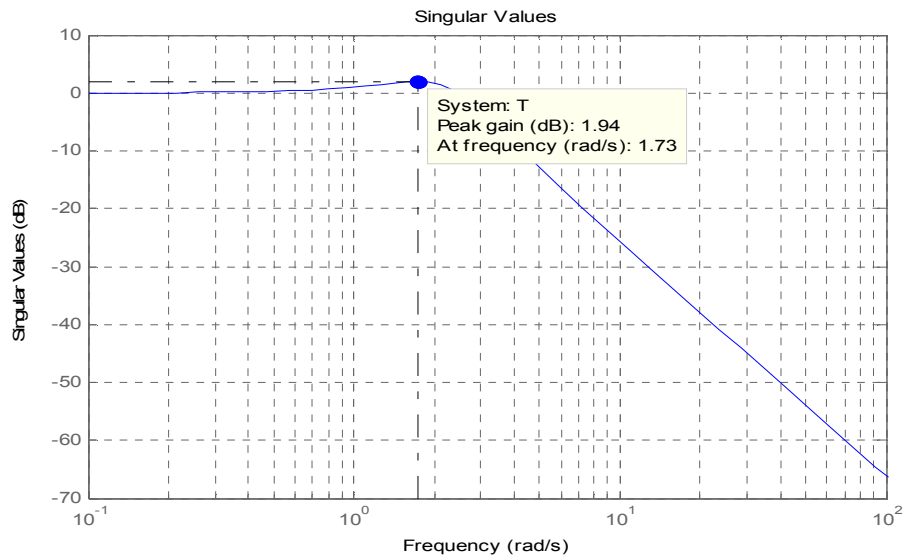
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{5}{s^2 + 2s + 5} \quad (28)$$

Jawab

Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 7.34 adalah

```
clc
clear all
close all
% Contoh 14.
%
% Fungsi Alih Lingkaran Tertutup
num = [ 0 0 5];
den = [ 1 2 5];
T = tf(num,den);
%
% Nilai Singular Fungsi Alih Lingkaran Tertutup
sigma(T)
grid on
```

Hasil program



Gambar 9. Tanggapan Nilai Singular Untuk Fungsi Alih (28)

Contoh 15. : Dengan menggunakan Matlab, tentukan nilai dan tanggapan nilai singular dari dari persamaan keadaan (29) dan (30) berikut

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -25 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$\begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (30)$$

Jawab :

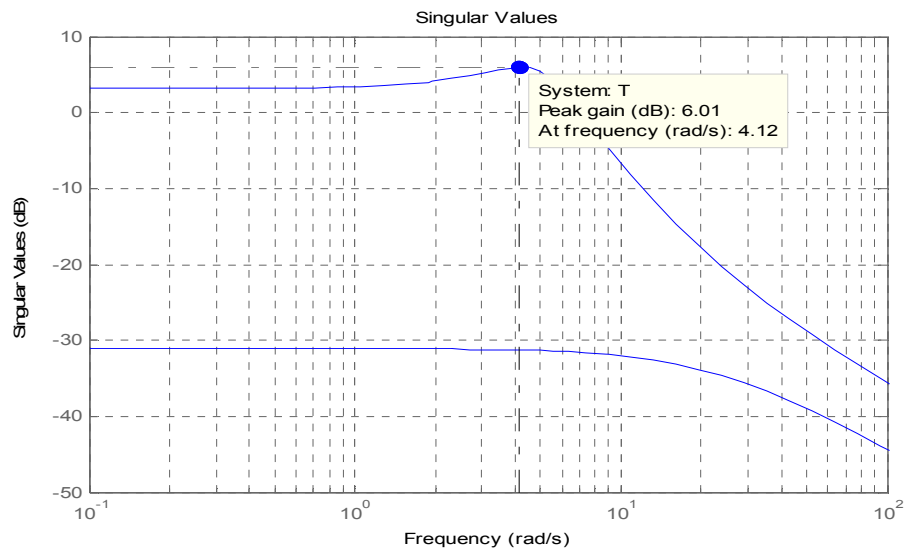
Kode Matlab untuk penyelesaian soal contoh 15. adalah

```

clc
clear all
close all
% Contoh 15.
%
A = [ 0  1; -25  -4];
B = [ 1  1; 0  1];
C = [ 1  0; 0  1];
D = [ 0  0; 0  0];
%
T = ss(A,B,C,D);
%
% Nilai Singular Persamaan Keadaan
sigma(T)
grid on

```

Hasil program



Gambar 10. Tanggapan Nilai Singular Untuk Persamaan Keadaan (29) dan (30)