



PERTEMUAN KE 13

# SISTEM KENDALI

Fogot Endro Wibowo, ST.MT.

# **RESPON (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 untuk dipelajari.

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.

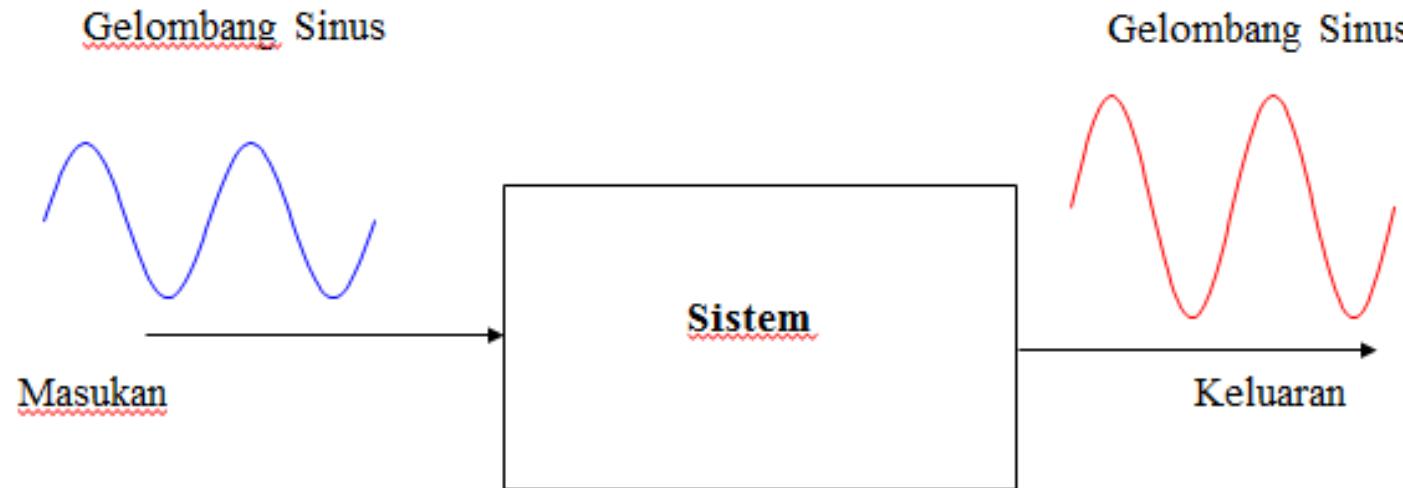
Metoda tanggapan frekuensi dapat diterapkan pada sistem yang tidak mempunyai fungsi rasional.

Solusi dari pada itu, sistem yang tidak diketahui atau sistem yang benar-benar dikenal, dapat ditangani dengan metoda tanggapan frekuensi sehingga pengaruh kebisingan yang tidak diinginkan dapat diabaikan dan dianalisis serta perancangan semacam ini dapat diperluas ke sistem kendali non-linier.



Karakteristik respon frekuensi suatu sistem dapat diperoleh secara langsung dari fungsi alih sinusoida, yaitu fungsi alih yang diperoleh dengan mengganti  $s$  dengan  $j\omega$  (frekuensi).

Tinjau sistem linier parameter konstan, dengan masukkan  $x(t)$  adalah sinusoida:  $x(t) = X \sin \omega t$ .



**Gambar Respon Frekuensi**

Respons frekuensi menggambarkan besar dari gelombang sinus keluaran bervariasi sebagai fungsi dari frekuensi gelombang sinus masukan.

Respons frekuensi menggambarkan besar dari gelombang sinus keluaran bervariasi sebagai fungsi dari frekuensi gelombang sinus masukan.

## B. Keuntungan Respon Frekuensi

1. Data respon frekuensi lebih mudah diperoleh secara eksperimen.
2. Metode respon frekuensi dapat digunakan jika suatu model mengenai plant dan aktuator sukar diperoleh.
3. Metode respon frekuensi dapat digunakan untuk sistem-sistem dengan penunda waktu (time-delays).
4. Kompensator dapat lebih sederhana didisain dan dapat didisain jika hanya terdapat data eksperimen mengenai system.
5. Metode respon frekuensi dapat digunakan untuk menentukan keadaan-keadaan spesifik (properties), seperti keberadaan siklus pembatas dan stabilitas yang berkenaan dengan sistem-sistem non-linier.



## C. Jenis Diagram Yang Digunakan Untuk Analisis Respon Frekuensi

### 1. Diagram Logaritmik atau Diagram Bode

Diagram Bode yang dapat menyajikan fungsi alih sinusoidal dengan dua diagram yang terpisah, satu merupakan diagram besaran terhadap frekuensi dan diagram sudut fasa dalam derajat terhadap frekuensi.

Selain itu diagram 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.

Faktor-faktor yang mempengaruhi fungsi alih sinusoidal pada diagram Bode:

a. Faktor Gain K

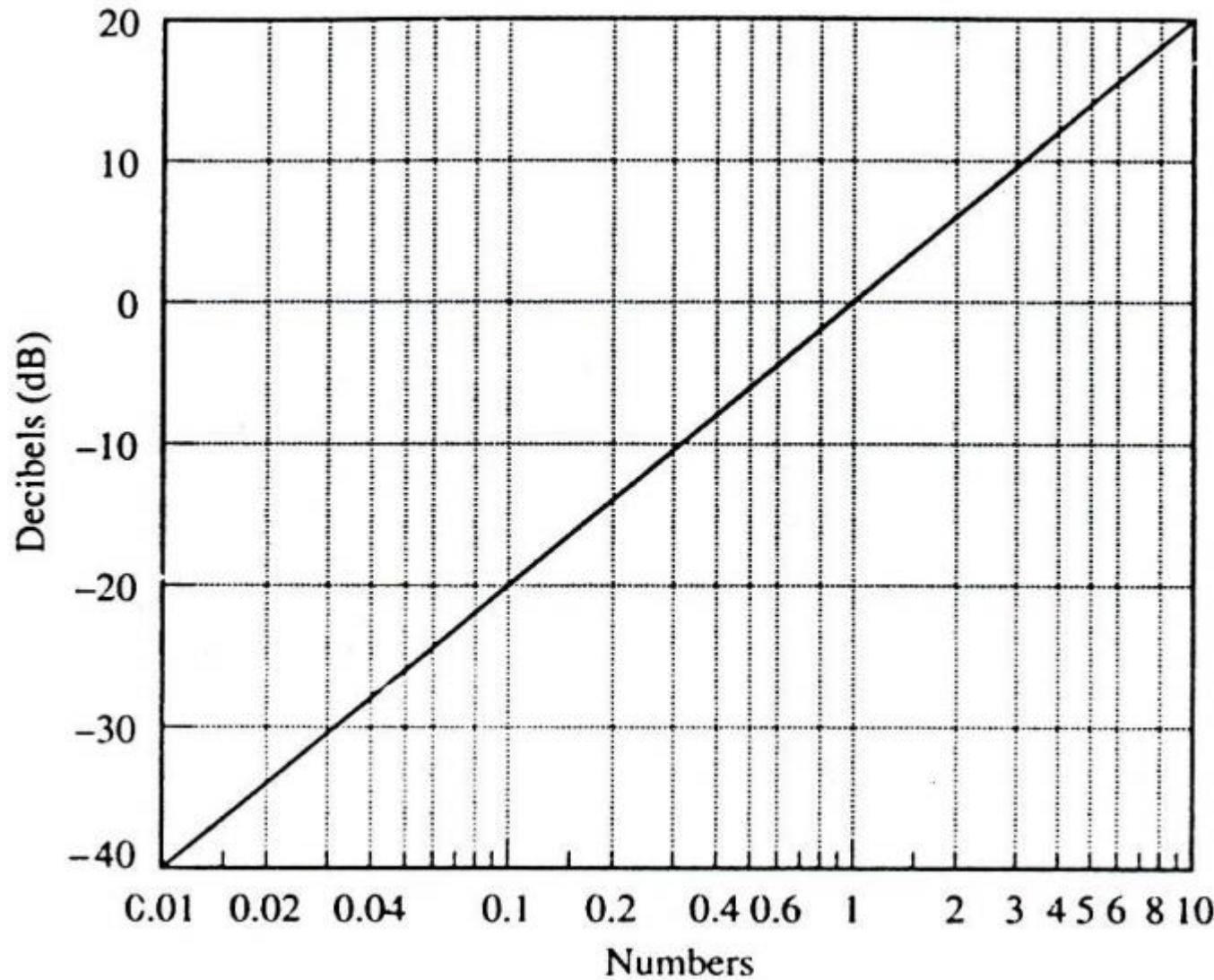
Kurva besaran-log untuk penguatan K yang konstan merupakan garis horizontal dengan besaran  $20 \cdot \log(K)$ .

- Hanya memiliki bagian real saja à tidak ada sudut phasa.
- *log-magnitude*-nya adalah sebuah garis lurus pada  $20 \log(K)$ .

Jika  $K > 1$ , maka magnitude-nya positif

Jika  $K < 1$ , maka magnitude-nya negatif

- Perubahan K hanya mempengaruhi plot *log-magnitude*, sudut phasanya sama.
- Slope bernilai 0 pada frekuensi sudut 0 rad/s.



*Gambar Garis konversi bilangan –dB*

## b. Faktor Turunan ( $j\omega$ )

- Hanya memiliki bagian imaginer saja
- Log-magnitude:  $20 \log (\omega)$
- Sudut phasa:  $90^\circ$  (constant)
- Slope bernilai 20 dB/decade pada frekuensi sudut  $\omega = 1$  rad/s

$$20\log |j\omega| = 20\log |\omega| = 20\log(\omega)$$

### c. Faktor Integral $(j\omega)^{-1}$

- Hanya memiliki bagian imaginer saja
- Log-magnitude =  $-20 \log(\omega)$
- Sudut phasa =  $90^\circ$  (constant)
- Slope bernilai -20 dB/decade pada frekuensi sudut  $\omega = 1$  rad/s

$$20 \log \left| \frac{1}{j\omega} \right| = 20 \log \left| \frac{1}{\omega} \right| = -20 \log(\omega)$$

d. Faktor Orde 1  $(1+j\omega T)^{\pm 1}$

- Turunan:

- Frekuensi sudut terjadi pada  $\omega=1/T$
- Slope = 20 dB/decade
- Sudut phasa =  $45^\circ$  pada frekuensi sudut

- Integral:

- Frekuensi sudut terjadi pada  $\omega=1/T$
- Slope = -20 dB/decade
- Sudut phasa =  $-45^\circ$  pada frekuensi sudut

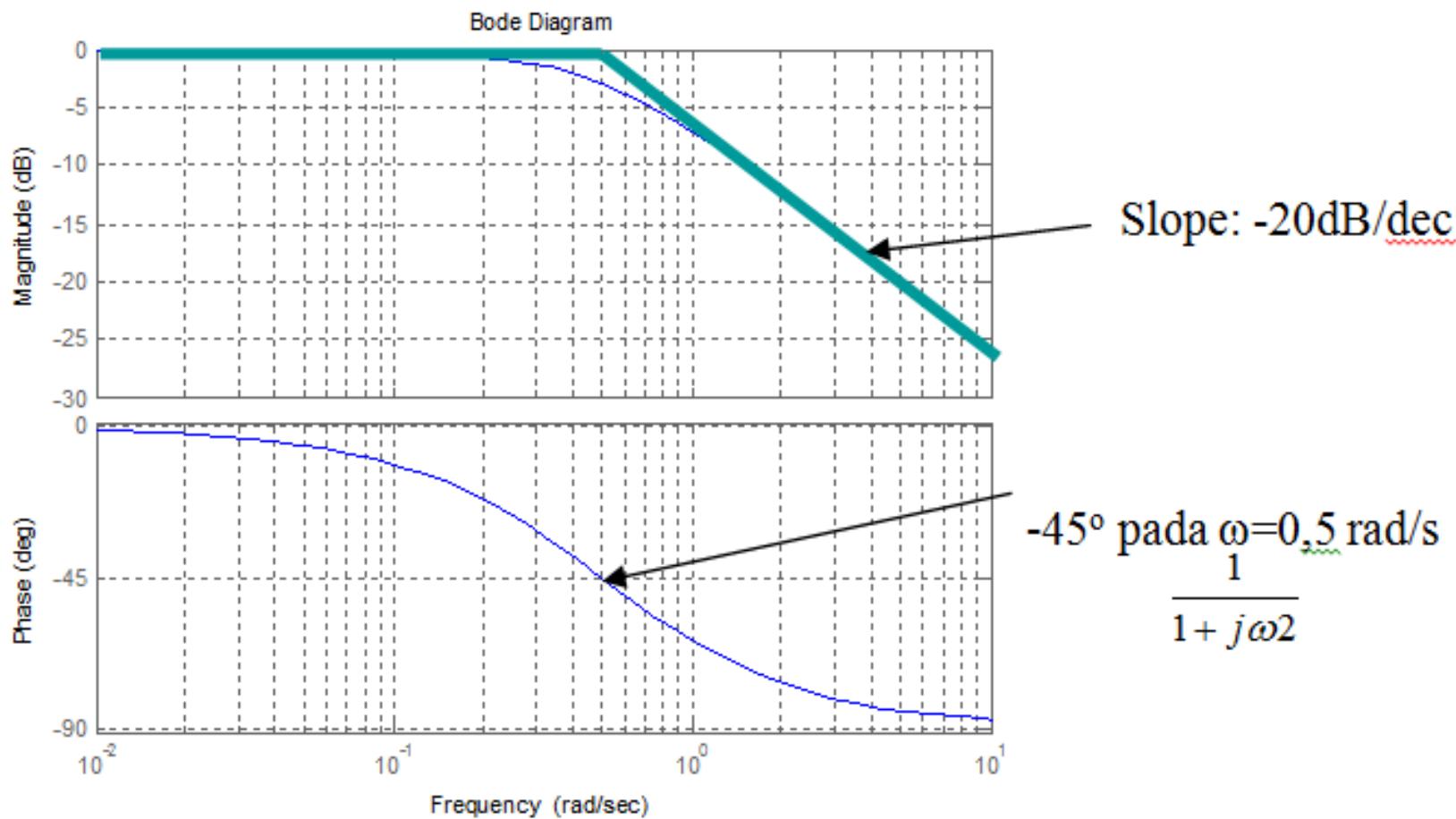
## e. Faktor Kuadratis

- Integral

- Frekuensi sudut terjadi pada  $\omega = \omega_n$
- Slopennya – 40 dB/decade
- Sudut phasanya  $-90^\circ$  pada frekuensi sudut

- Turunan

- Frekuensi sudut terjadi pada  $\omega = \omega_n$ .
- Slopennya 40 dB/decade
- Sudut phasanya  $90^\circ$  pada frekuensi sudut

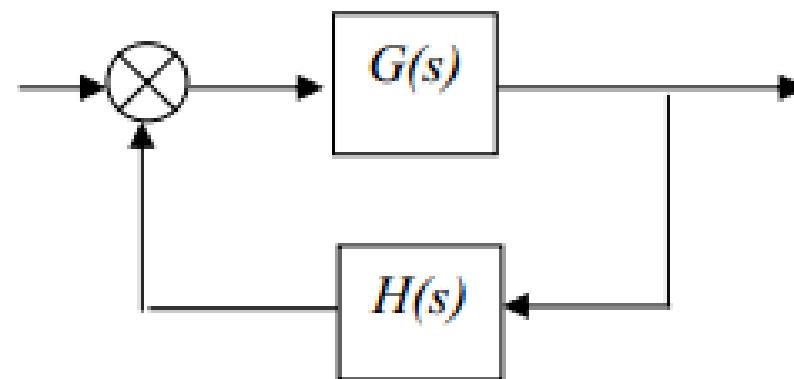


$$\frac{1}{1 + j\omega 2}$$

**Gambar Diagram Bode sistem dengan faktor kuadratis**

## 2. Diagram Polar/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  $\omega$  diubah dari 0 sampai  $\infty$ . Jadi diagram polar adalah tempat kedudukan vektor  $G(j\omega)$   $G(j\omega) \angle$  jika  $\omega$  diubah dari 0 sampai  $\infty$ .



*Gambar Sitem Lup tertutup*

Dalam diagram polar, sudut fasa positif (negatif) diukur berlawanan arah dengan arah jarum jam (searah dengan arah jarum jam) dari sumbu nyata positif. Kriteria Nyquist menyatakan bahwa sistem akan stabil apabila bidang sebelah kanan kurva  $G(j\omega)H(j\omega)$  tidak melingkupi titik (-1,0). Tingkat kestabilan sistem dapat diukur dengan *Gain Margin* (GM) dan *Phase Margin* (PM).

Didefinisikan sebagai berikut:

Jika dibandingkan dengan diagram Bode, diagram polar/ Nyquist plot memiliki keuntungan dan kerugian sebagai berikut :

- Keuntungan: Menunjukkan karakteristik respon frekuensi dari sebuah sistem mencakup seluruh range frekuensi dalam satu plot.
- Kerugian: Tidak terlalu jelas menunjukkan kontribusi dari masing-masing faktor individu dari fungsi transfer loop terbuka.

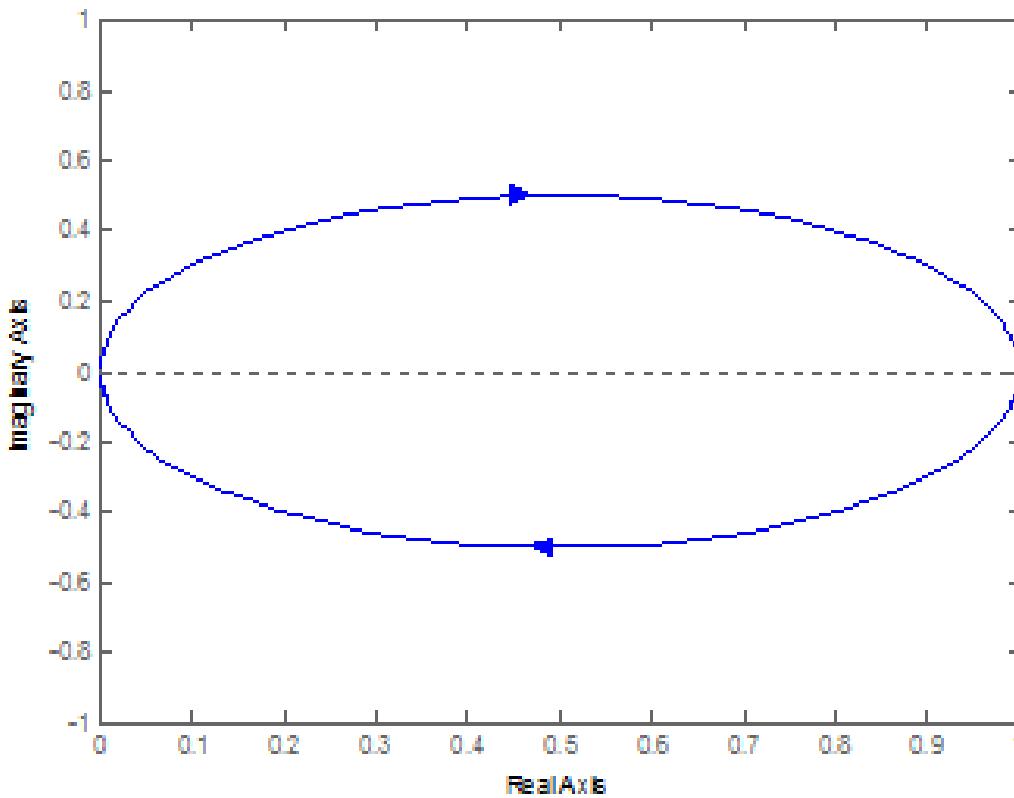
Dalam analisis diagram polar/nyquist ada beberapa parameter yang harus diperhatikan, antara lain:

a. Faktor Integral/turunan

- Nyquist plot dari  $(j\omega)^{-1}$  adalah sumbu imaginer negatif
- Nyquist plot dari  $(j\omega)$  adalah sumbu imaginer positif

b. Faktor Orde 1

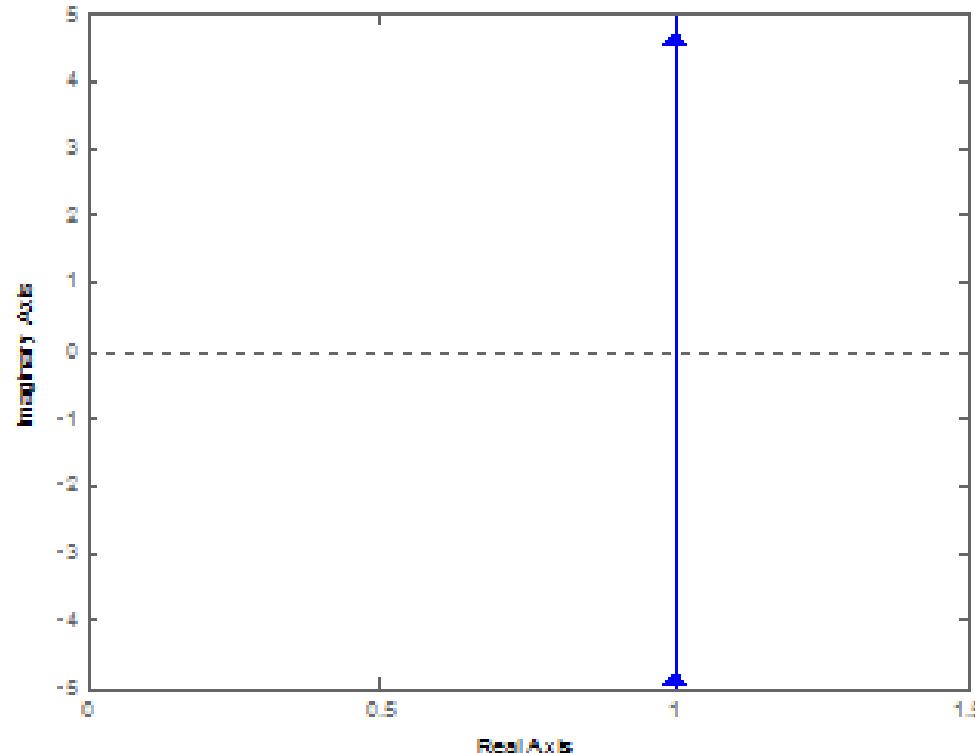
- Untuk  $(1+j\omega T)^{-1}$ 
  - Untuk  $\omega = 0 \rightarrow 1$  sudut  $0^\circ$
  - Untuk  $\omega = 1/T \rightarrow 1/\sqrt{2}$  sudut  $-45^\circ$
  - Untuk  $\omega = \infty \rightarrow 0$  sudut  $-90^\circ$



**Gambar Nyquist plot untuk  $(1+j\omega)^{-1}$**

- Untuk  $(1+j\omega T)$

- Untuk  $\omega = 0$  à 1 sudut  $0^\circ$
- Untuk  $\omega = 1/T$  à  $\sqrt{2}$  sudut  $45^\circ$
- Untuk  $\omega = \infty$  à  $\infty$  sudut  $90^\circ$



Gambar Nyquist plot untuk  $(1+j\omega T)$

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. Solusi dari pada itu, sistem yang tidak diketahui atau sistem yang benar-benar dikenal, dapat ditangani dengan metoda tanggapan frekuensi sehingga pengaruh kebisingan yang tidak diinginkan dapat diabaikan dan dianalisis serta perancangan semacam ini dapat diperluas ke sistem kendali non-linier.

Untuk menggambarkan respon frekuensi ada dua cara dengan menggunakan diagram Bode dan diagram Polar (Nyquist), sehingga tampak pola gelombang yang dihasilkan. Pada suatu rangkaian untuk menghilangkan kebisingan maka perlu ditambahkan namanya filter respon frekuensi.

