

DASAR SISTEM KONTROL **(Fundamental of Control System)**

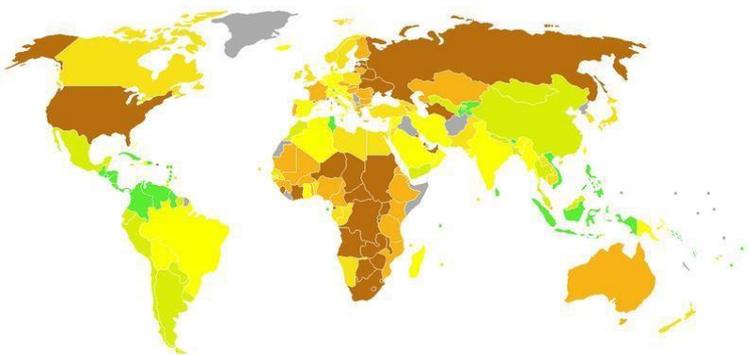
Tim Penyusun:

Ir. Porman Pangaribuan, M.T.

Ig. Prasetya Dwi Wibawa, M.T.

Agung Surya Wibowo, M.T.

Cahyantari Ekaputri, M.T.



BAB 10

Analisis Kriteria kestabilan dgn Diagram Nyquist

Tanggapan Frekuensi

Metoda Diagram Nyquist

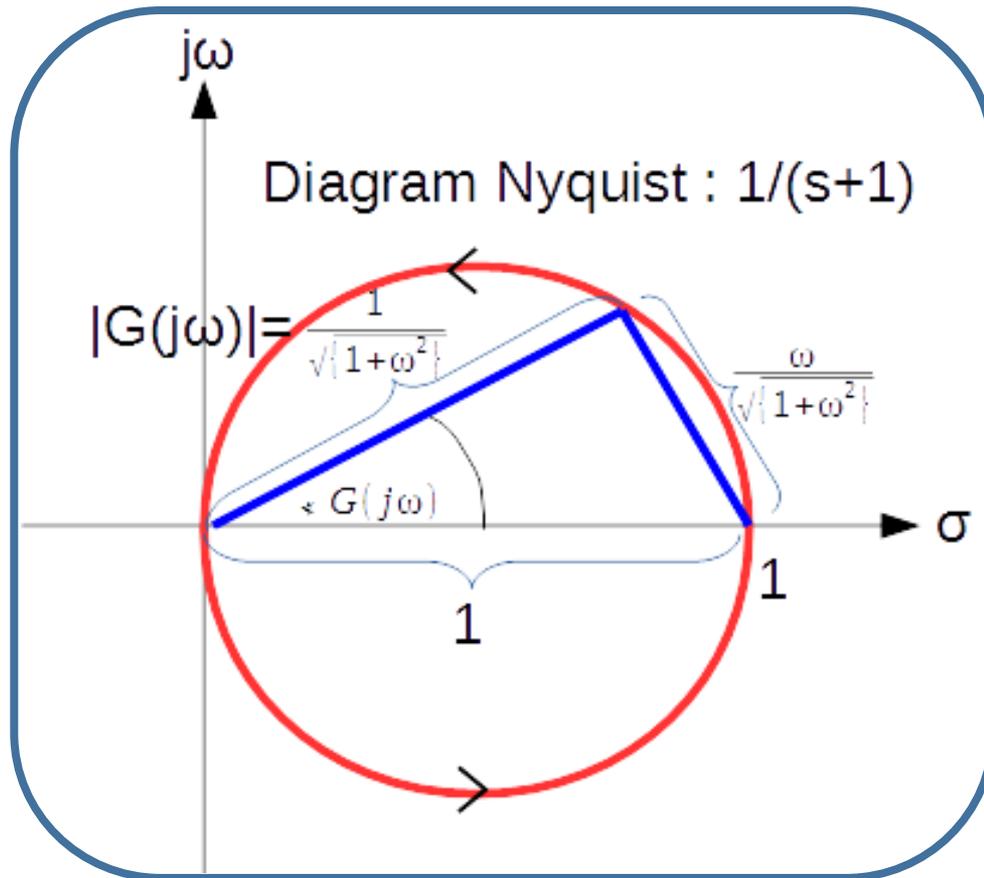
- Diagram Nyquist merupakan plot dari titik titik koordinat kompleks(a,b) $G(j\omega) = a + jb$ mulai dari $-\infty < \omega < \infty$
- Contoh :

Diagram Nyquist untuk $G(s) = \frac{1}{s+1}$, $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega+1}$

Aproksimasi untuk $\omega \gg$ (sangat besar) maka $G(j\omega) \approx 1/j\omega$, sudut fasa $\angle G(j\omega) = -90$

Titik potong disumbu real saat $\sigma = 1$, ($\omega=0$)

Sketsa Diagram Nyquist

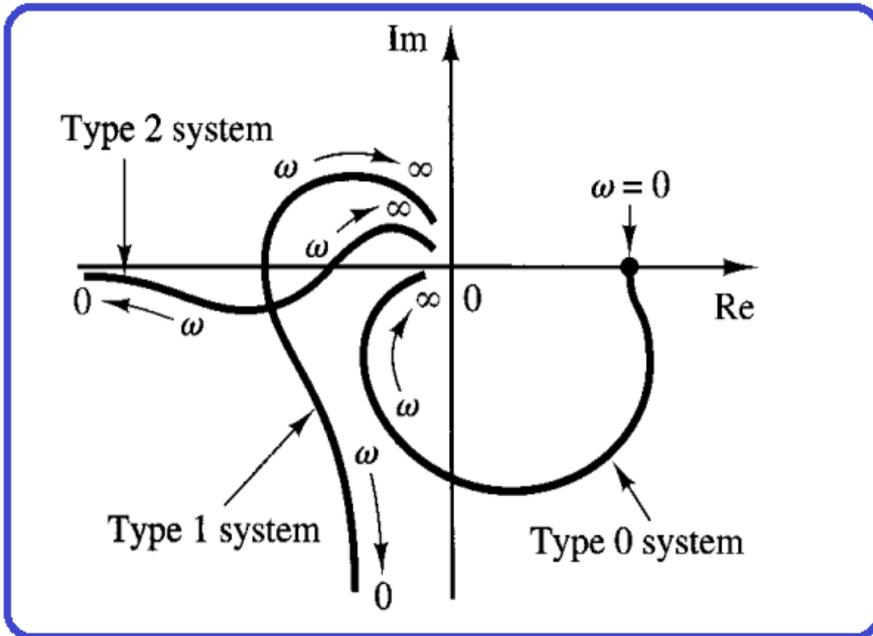


Arah diagram Nyquist menandakan arah plot dari $-\infty < \omega < \infty$.

Gambar diagram Nyquist tidak perlu terlalu detail

Cukup gambar sketsa saja, dilihat dari tipe sistemnya.

Sketsa Diagram Nyquist



Sumber: Modern Control System , Katsuhiko Ogata

Type - 0 :

mulai dari $\omega = 0$ (sudut fasa = 0) sampai dengan $\omega = \infty$ (sudut fasa tergantung orde sistem).

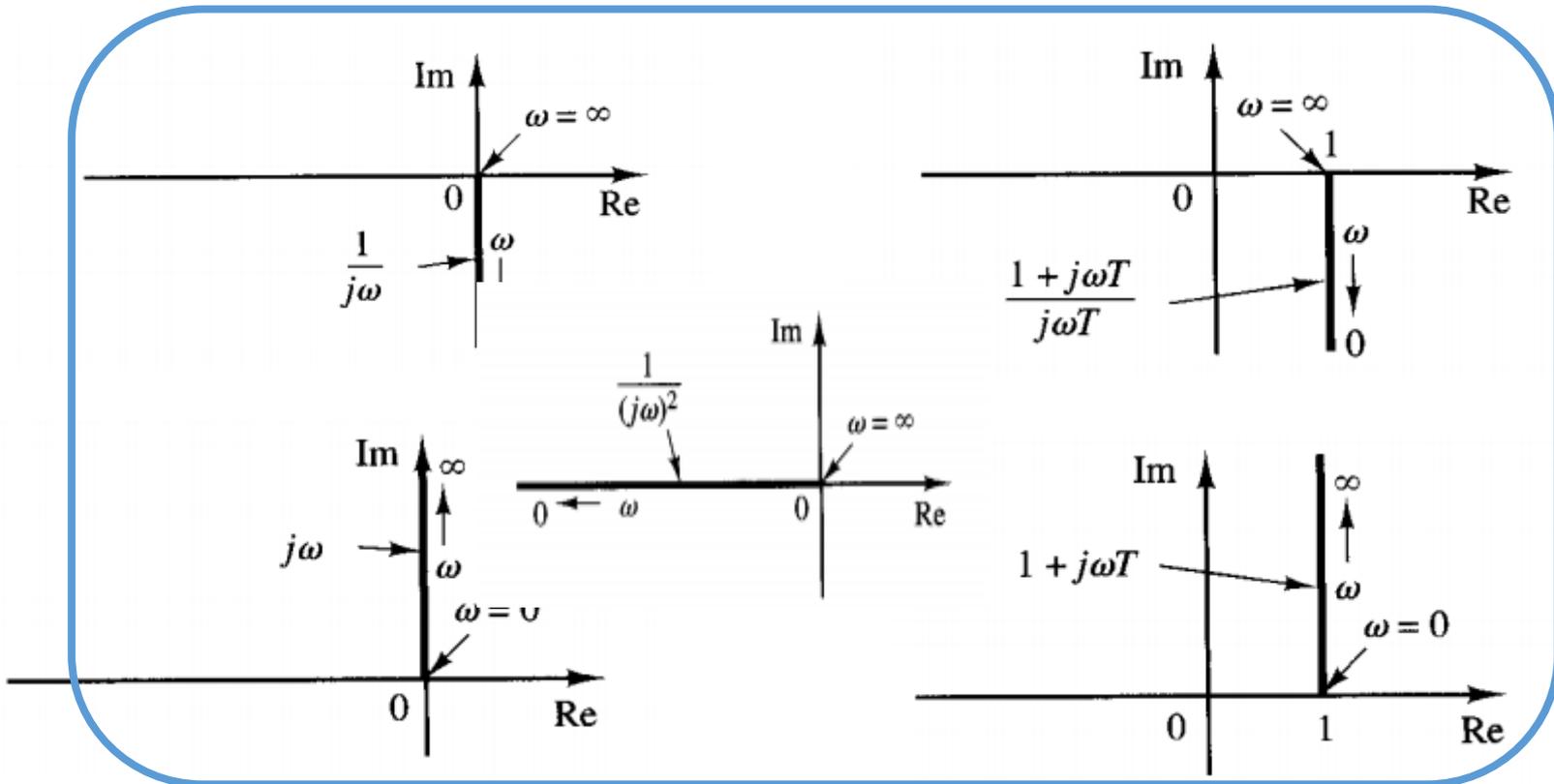
Type - 1 :

mulai dari $\omega = 0$ (sudut fasa = 0) sampai dengan $\omega = \infty$ (sudut fasa tergantung orde sistem).

Type - 2 :

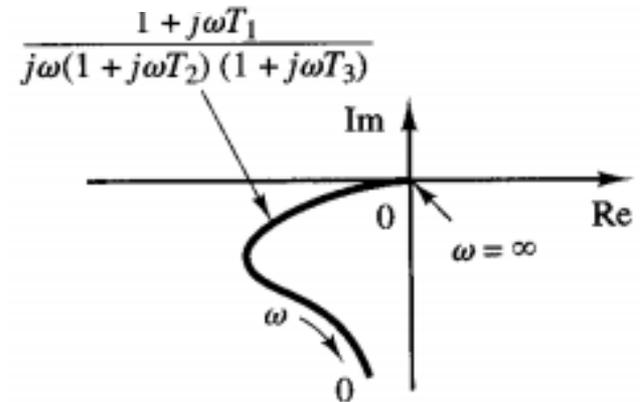
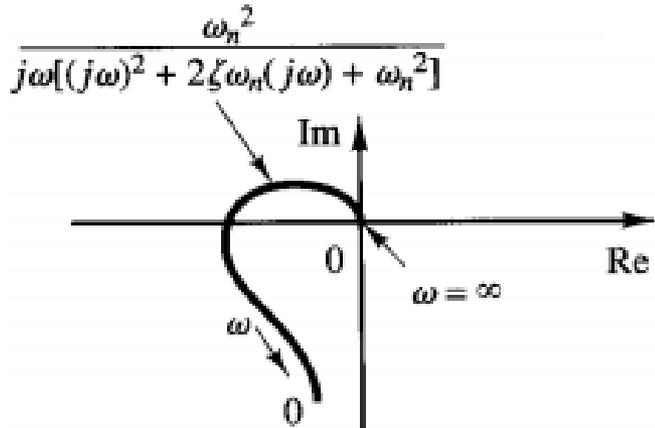
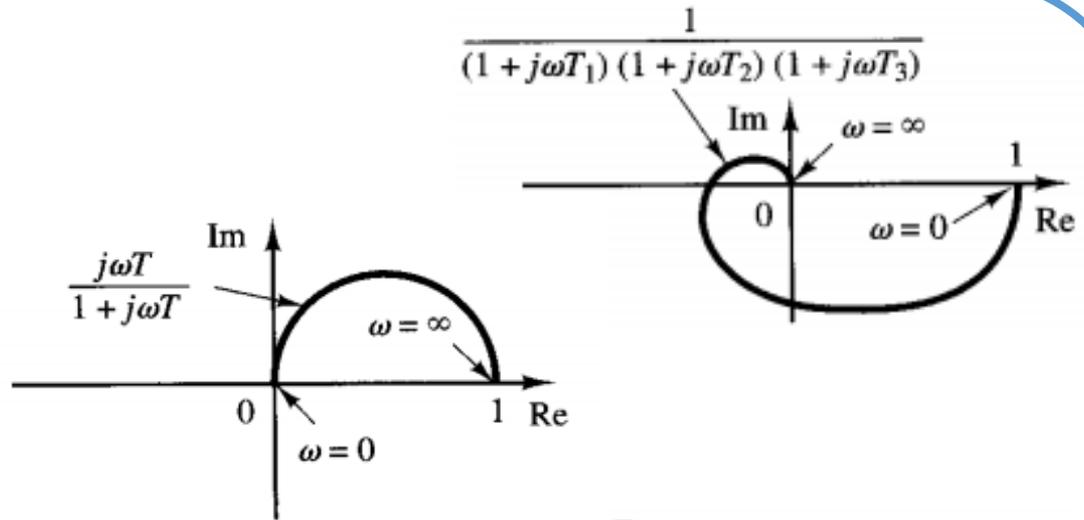
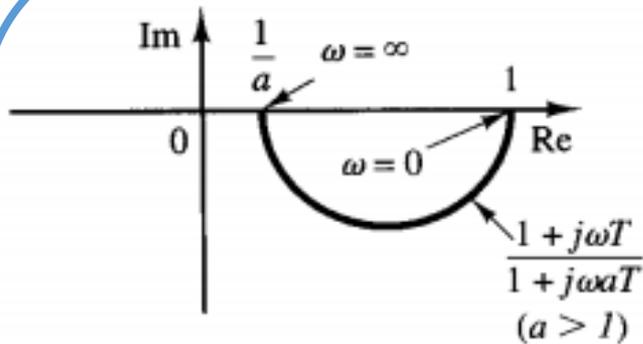
mulai dari $\omega = 0$ (sudut fasa = 0) sampai dengan $\omega = \infty$ (sudut fasa tergantung orde sistem).

Contoh Nyquist Plot untuk Fungsi Alih Sederhana.



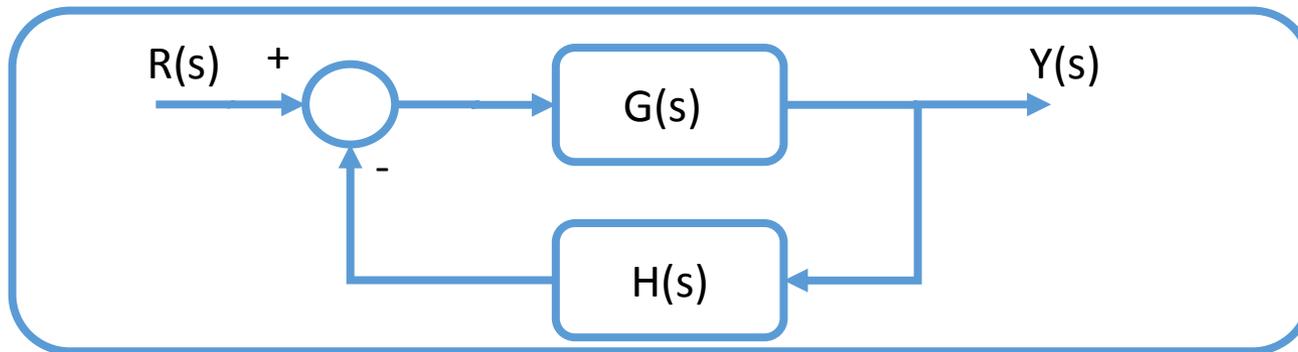
Sumber: Modern Control System , Katsuhiko Ogata

Contoh Nyquist Plot (ctd)



Sumber: Modern Control System , Katsuhiko Ogata

Kriteria Kestabilan Nyquist



- Fungsi Alih Diagram Blok:

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

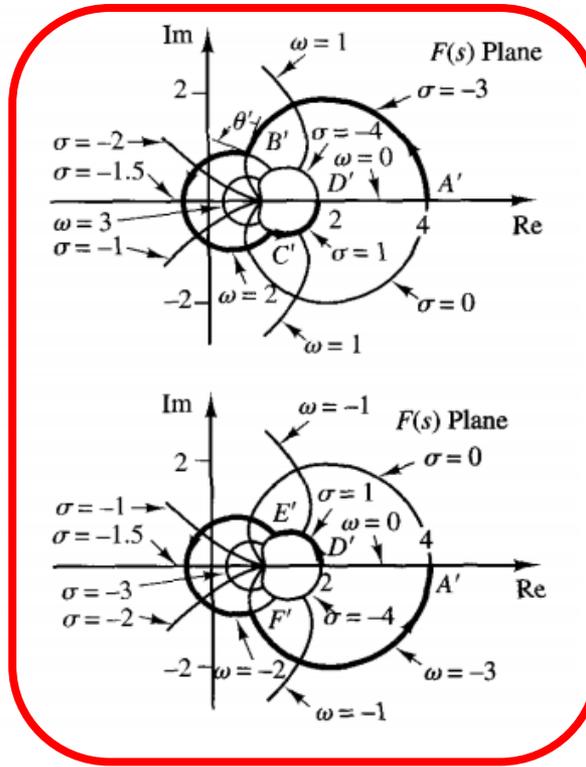
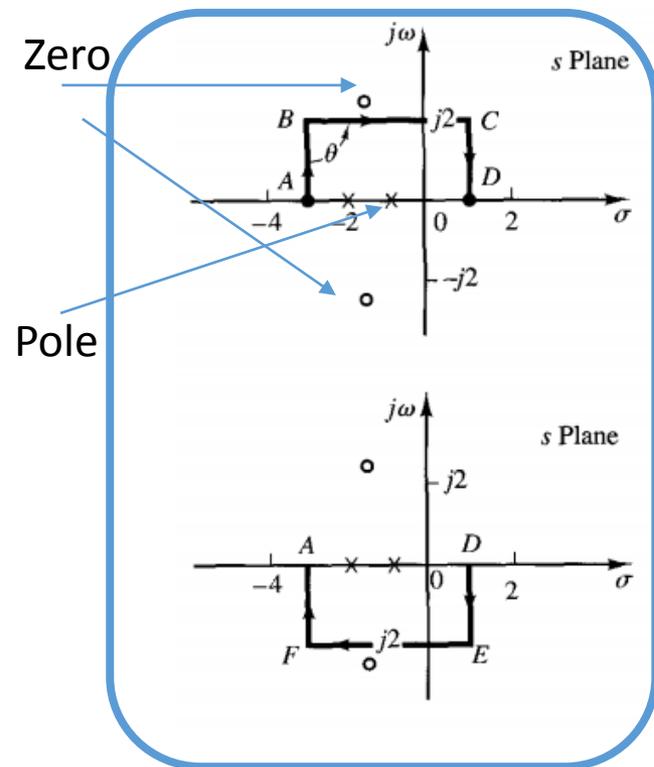
- Syarat Stabil dapat dilihat dari persamaan karakteristik sistem yaitu:
Persamaan Karakteristik $\rightarrow 1 + G(s)H(s)$
- Stabil jika akar-akar persamaan karakteristiknya yaitu dengan membuat
 $1 + G(s)H(s) = 0$
ada negatif atau berada di sebelah kiri sumbu imajiner.

Kriteria Kestabilan Nyquist

- Dari Diagram Nyquist dapat dilihat kestabilan sistem
- Informasi kestabilan dapat diketahui dengan cara mempelajari pemetaan terlebih dahulu dari bidang Bidang $s \rightarrow F(s)$
- Dengan $F(s) = 1 + G(s)H(s)$ (pers Karakteristik)

Pemetaan $s \rightarrow F(s)$

- Berikut beberapa fakta diperoleh dari hasil pemetaan



Gambar Lintasan Kiri

adalah plot pole-pole pada bidang- s

Gambar Lintasan Kanan

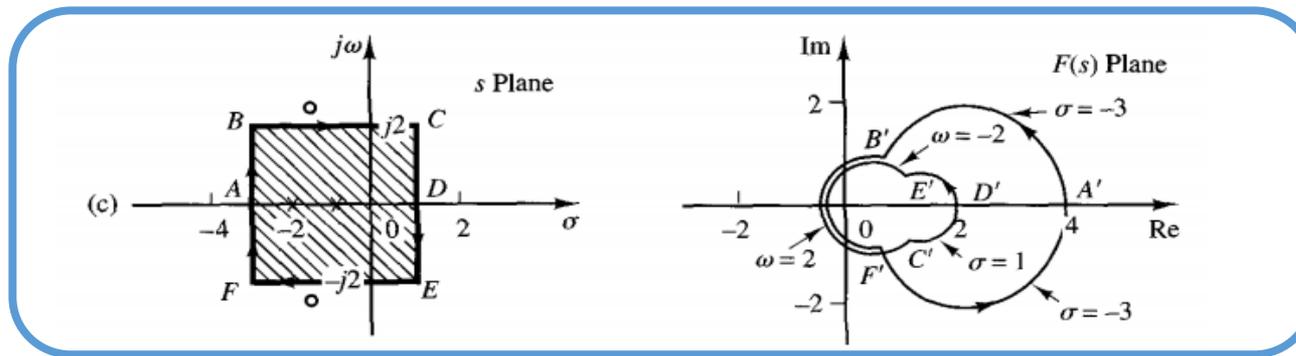
adalah plot pole-pole pada bidang $F(s)$

Terlihat dari gambar lintasan A-B hasil pemetaannya $A'-B'$

Lintasan C-D menunjukkan sistem tidak stabil.

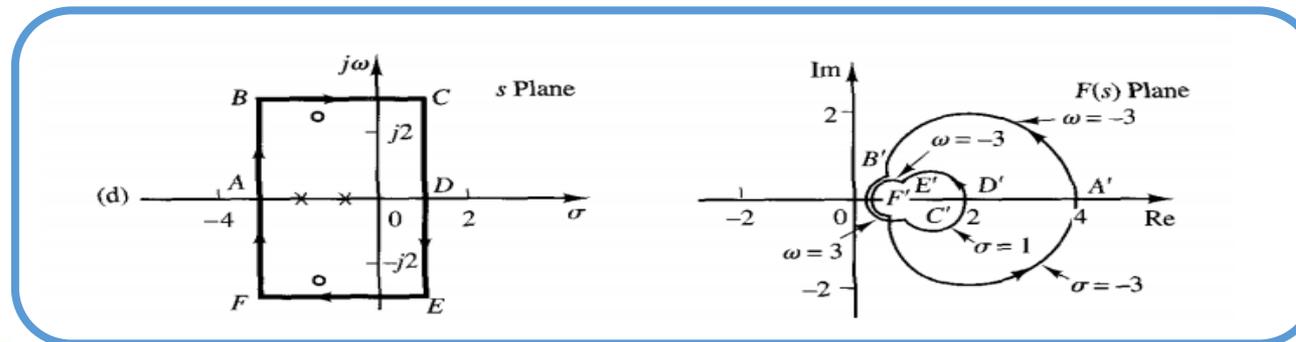
Pemetaan $s \rightarrow F(s)$

- Jika lintasan mengelilingi n pole pada bidang- s maka lintasan $F(s)$ akan mengelilingi titik asal sebanyak n kali berlawanan jarum jam.



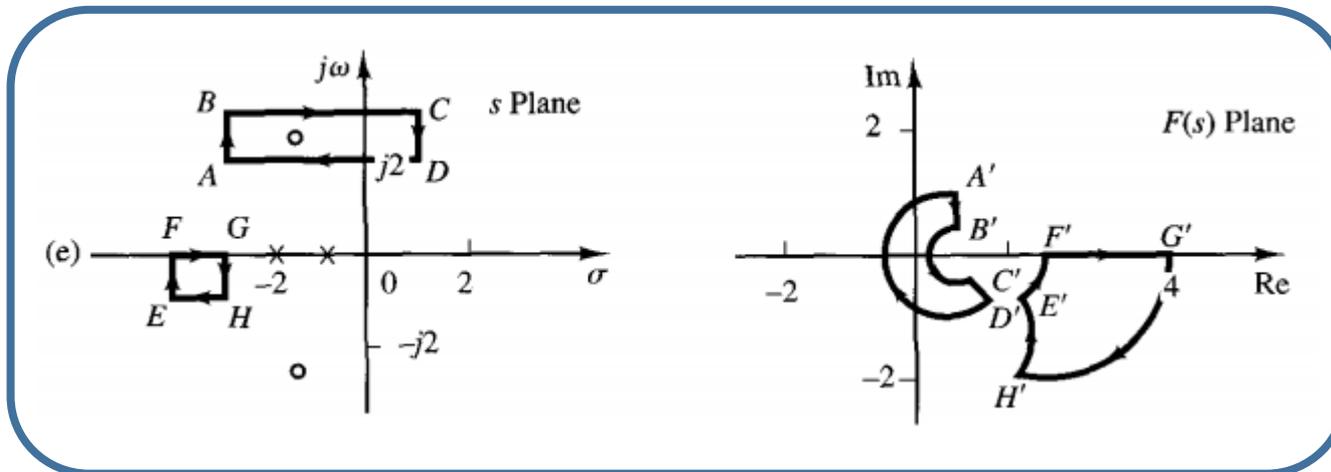
Penting !

- Jika lintasan mengelilingi jumlah pole dan zero yang sama pada bidang- s maka lintasan $F(s)$ tidak akan mengelilingi titik asal.



Pemetaan $s \rightarrow F(s)$

- Jika ada lintasan di bidang- s **mengelilingi n zero** maka lintasan $F(s)$ akan mengelilingi titik asal sebanyak **n kali searah jarum jam.**
- Jika ada lintasan di bidang- s tak mencakup pole atau zero, maka lintasan pemetaannya di bidang $F(s)$ tak mengelilingi titik asal pula.



Penting !

Teori Pemetaan

- Jika :

P = jumlah pole $F(s)$ yang terletak di dalam beberapa lintasan tertutup di bidang- s .

Z = jumlah zero $F(s)$ yang terletak di dalam beberapa lintasan tertutup di bidang- s . (lintasan tersebut tidak melalui pole-pole / zero-zero tersebut) \rightarrow akar persamaan karakteristik.

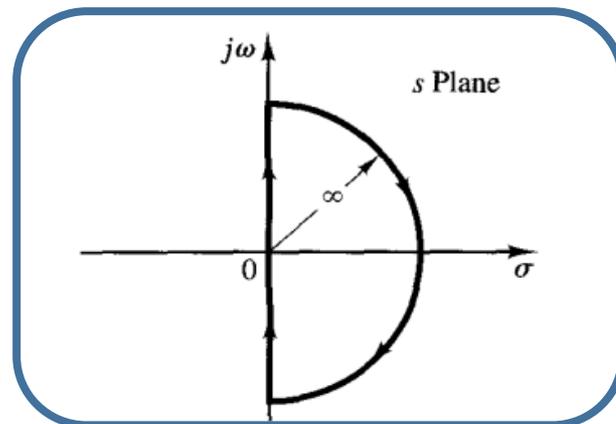
Lintasan-lintasan tersebut dipetakan pada bidang $F(s)$.
Maka :

Total jumlah N lintasan tertutup di bidang- s yang mengelilingi titik asal searah jarum jam = $Z - P$.

$$N = Z - P$$

Aplikasi Teori Pemetaan

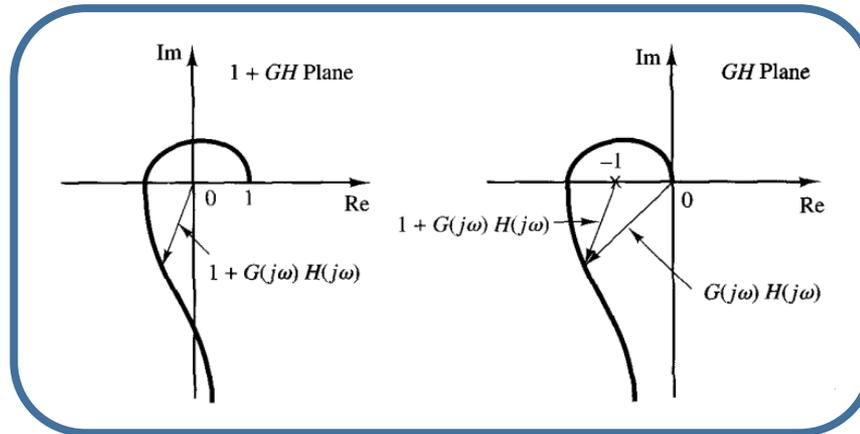
- Misalkan ada lintasan tertutup pada bidang- s yang mencakup semua pole dan zero pada daerah kanan sumbu imajiner sebagai berikut:



- Maka sistem stabil jika tidak ada pole closed loop atau dengan kata lain zero dari $F(s)$ yang dikelilingi oleh lintasan tertutup ini.
- Indikasi tidak ada pole closed loop dalam lintasan tertutup ini ditandai dengan plot lintasan $F(s)$ tidak akan mengelilingi titik asal.

Aplikasi Teori Pemetaan

- Untuk mempermudah gambar maka bidang $F(s)=1+G(s)H(s)$ diganti dengan bidang $L(s)=G(s)H(s)$
- Pengecekan sekarang berubah dari yang tadinya melihat apakah lintasan mengelilingi titik asal atau tidak menjadi lintasan mengelilingi titik $s=-1+0j$ atau tidak.



- Jika ada n zero di sebelah kanan sumbu imajiner (RHP) dari $F(s)$, atau pole pole pada sistem closed loopnya positif (tidak STABIL), maka lintasan $L(s)$ akan mengelilingi titik $s=-1+0j$ sebanyak n kali searah jarum jam.

Kriteria Nyquist

- Banyaknya akar (zero) $F(s)=1+G(s)H(s)$ yang terletak di daerah tak stabil sama dengan banyaknya pole $G(s)H(s)$ di daerah tak stabil ditambah dengan berapa kali lintasan $F(s)$ mengelilingi titik asal searah jarum jam atau lintasan $L(s)$ mengelilingi titik $-1+j0$ searah jarum jam.

$$Z = N + P$$

- Z = Banyaknya akar $F(s)=1+G(s)H(s)$ disebelah kanan bidang- s
 N = Berapa kali titik $-1+j0$ dikelilingi searah jarum jam. (Positif searah jarum jam, Negatif berlawanan jarum jam)
 P = Banyaknya pole $F(s)$ disebelah kanan bidang- s atau dapat juga dikatakan banyaknya pole $L(s)$ disebelah kanan bidang- s . (Pole $F(s)$ =Pole $L(s)$) bidang- s .
- **Sistem stabil bila $Z = 0$:**
 - 1) $P = 0$ dan $N = 0$
 - 2) Bila $P \neq 0$, maka $N = -P$

Analisis Kestabilan dengan Diagram Nyquist

- Contoh 1 :

- $L(s) = G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+1)}$

- Cek kestabilan

Buat pemetaan di bidang-s dengan

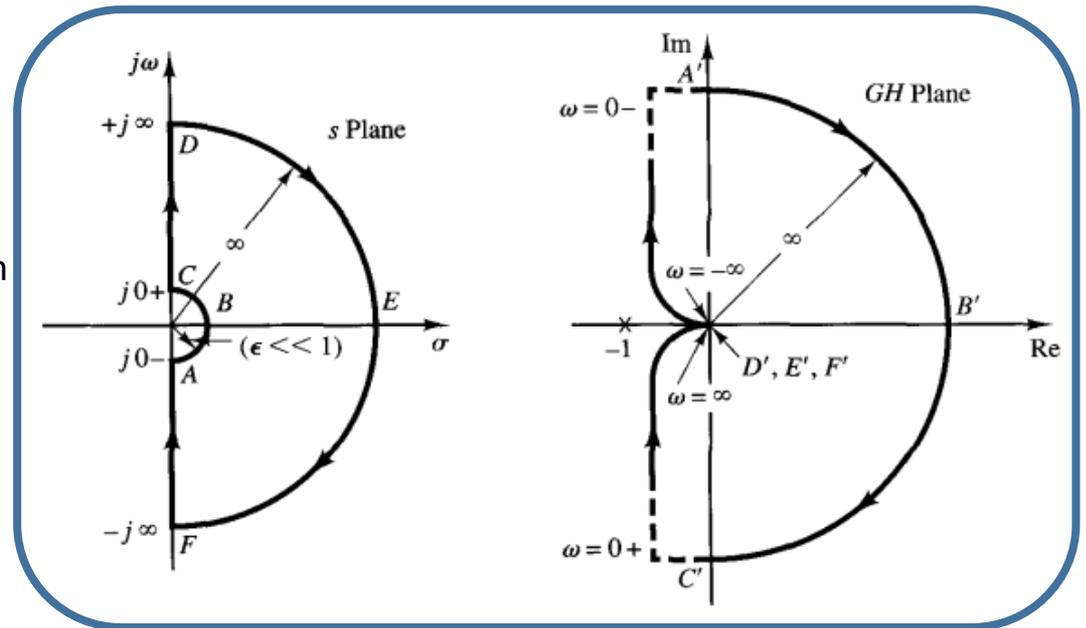
$s = \epsilon e^{j\theta}$ lintasan disekitar titik asal (dalam polar)

- θ mulai dari -90 sampai dengan 90

- Maka dalam bidang $L(s)$ menjadi

- $L(s) = L(\epsilon e^{j\theta}) \approx \frac{K}{\epsilon e^{j\theta}} = \frac{K}{\epsilon} e^{-j\theta}$

(θ mulai dari 90 sampai dengan -90)



$N = 0, P = 0$ maka

$Z = 0$

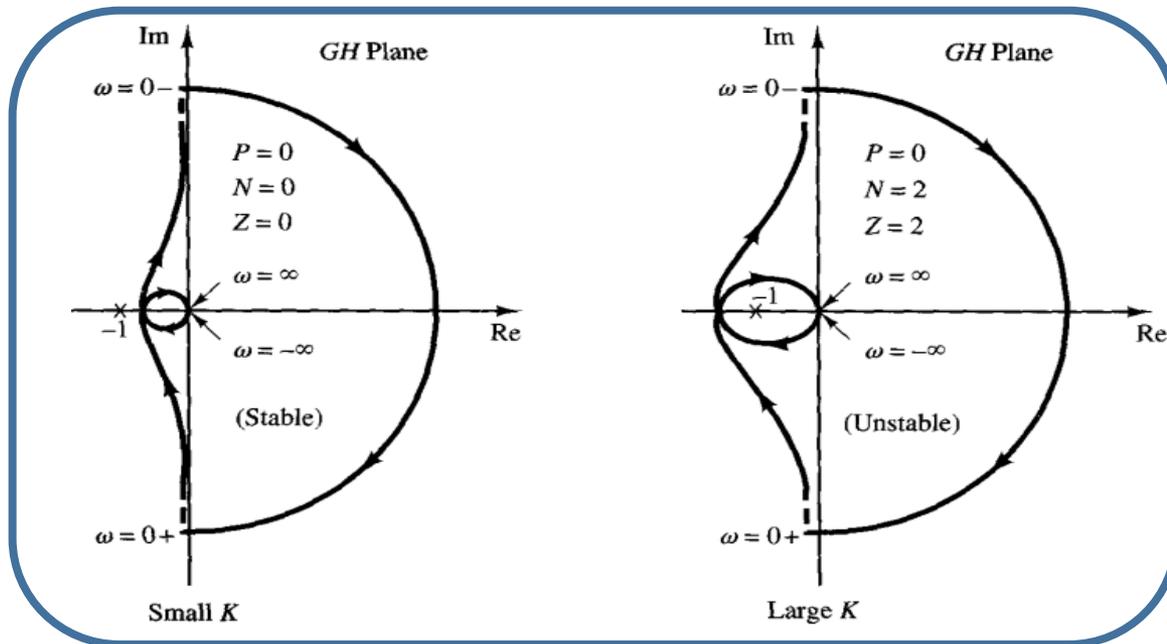
Sistem STABIL

Analisis Kestabilan dengan Diagram Nyquist

- Contoh 2 :

- $L(s) = G(s)H(s) = \frac{K}{s(T_1s+1)(T_1s+1)}$

- Nilai K dapat mempengaruhi kestabilan pada sistem closed loop.



Terima Kasih 😊