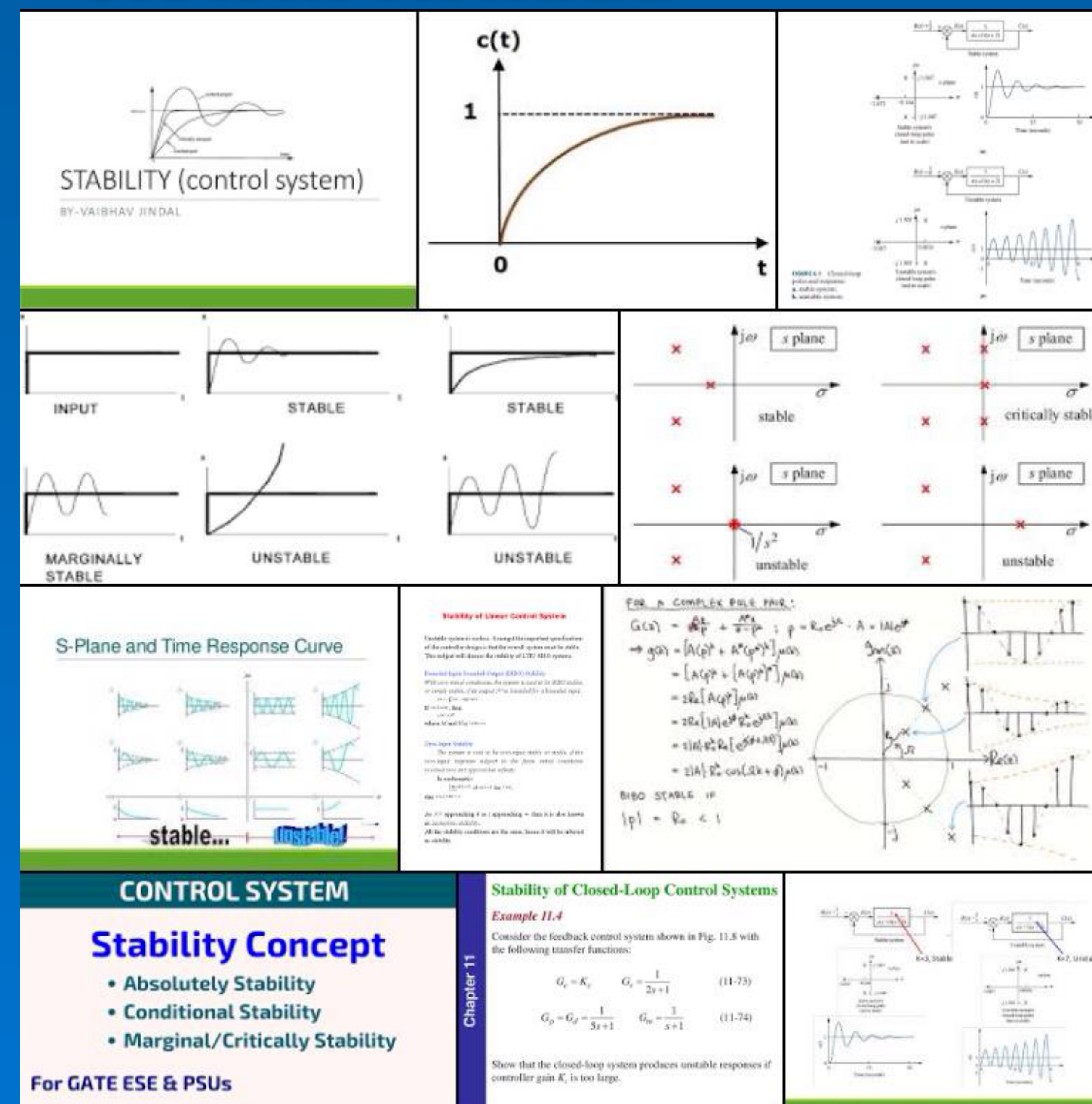
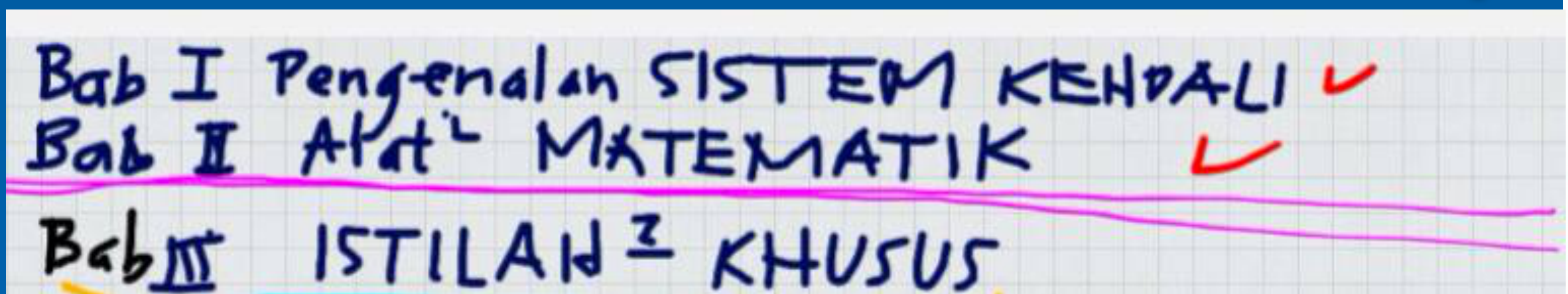
216D4122
DASAR SISTEM KENDALI
MODUL 4 (Pengantar) KESTABILAN Sistem Kendali



(versi kuliah DARLING = semi-DARing semi-LurING)
Semester Akhir 2020-2021

SUMBER Materi Ajar

Sumber Lengkap: https://web.unhas.ac.id/rhiza/arsip/kuliah/Dasar-Sistem-Kendali/Catatan-Kuliah-2015/Catatan_Kuliah_Dasar_Sistem_Kendali_2015.pdf



Bab IV (Pengantar) KESTABILAN

web.unhas.ac.id

Index of /rhiza/arsip/kuliah/Dasar-Sistem-Kendali/Catat...

Swipea Kids Apps

Index of /rhiza/arsip/kuliah/Dasar-Sistem-Kendali/Catatan-Kuliah-2015

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory		-	
Perkenalan.pdf	04-Sep-2015 21:32	88K	
Kuliah-DSK-2015-03092015-1.pdf	04-Sep-2015 09:34	347K	
Kuliah-DSK-2015-03092015-2.pdf	04-Sep-2015 09:35	278K	
Kuliah-DSK-2015-03092015-3.pdf	04-Sep-2015 09:36	272K	
Kuliah-DSK-2015-03092015-4.pdf	04-Sep-2015 09:37	314K	
Kuliah-DSK-2015-03092015-5.pdf	04-Sep-2015 09:37	266K	
Kuliah-DSK-2015-03092015-6.pdf	04-Sep-2015 09:38	349K	
Kuliah-DSK-2015-10092015-1.pdf	12-Sep-2015 23:23	308K	
Kuliah-DSK-2015-10092015-2.pdf	12-Sep-2015 23:24	338K	
Kuliah-DSK-2015-10092015-3.pdf	12-Sep-2015 23:24	334K	
Kuliah-DSK-2015-10092015-4.pdf	12-Sep-2015 23:25	320K	
Kuliah-DSK-2015-17092015-1.pdf	19-Sep-2015 04:30	320K	
Kuliah-DSK-2015-17092015-2.pdf	19-Sep-2015 04:31	224K	
Kuliah-DSK-2015-17092015-3.pdf	19-Sep-2015 04:31	354K	
Kuliah-DSK-2015-17092015-4.pdf	19-Sep-2015 04:32	363K	
Kuliah-DSK-2015-17092015-5.pdf	19-Sep-2015 04:32	376K	
Kuliah-DSK-2015-17092015-6.pdf	19-Sep-2015 04:33	311K	
Kuliah-DSK-2015-17092015-7.pdf	19-Sep-2015 04:34	227K	
Kuliah-DSK-2015-17092015-8.pdf	19-Sep-2015 04:34	247K	
Kuliah-DSK-2015-01102015-1.pdf	03-Oct-2015 11:04	276K	
Kuliah-DSK-2015-01102015-2.pdf	03-Oct-2015 11:05	282K	
Kuliah-DSK-2015-01102015-3.pdf	03-Oct-2015 11:05	364K	
Kuliah-DSK-2015-01102015-4.pdf	03-Oct-2015 11:06	360K	
Kuliah-DSK-2015-01102015-5.pdf	03-Oct-2015 11:06	379K	
Kuliah-DSK-2015-01102015-6.pdf	03-Oct-2015 11:06	318K	
Kuliah-DSK-2015-01102015-7.pdf	03-Oct-2015 11:07	422K	
Kuliah-DSK-2015-01102015-8.pdf	03-Oct-2015 11:07	373K	
Kuliah-DSK-2015-08102015-1.pdf	10-Oct-2015 21:37	278K	
Kuliah-DSK-2015-08102015-2.pdf	10-Oct-2015 21:38	246K	
Kuliah-DSK-2015-08102015-3.pdf	10-Oct-2015 21:39	418K	
Kuliah-DSK-2015-08102015-4.pdf	10-Oct-2015 21:39	273K	
Kuliah-DSK-2015-08102015-5.pdf	10-Oct-2015 21:40	273K	
Kuliah-DSK-2015-08102015-6.pdf	10-Oct-2015 21:42	192K	
Kuliah-DSK-2015-15102015-7.pdf	18-Oct-2015 22:57	322K	
Kuliah-DSK-2015-15102015-6.pdf	18-Oct-2015 22:58	326K	
Kuliah-DSK-2015-15102015-5.pdf	18-Oct-2015 22:58	327K	
Kuliah-DSK-2015-15102015-4.pdf	18-Oct-2015 22:58	382K	
Kuliah-DSK-2015-15102015-3.pdf	18-Oct-2015 23:00	385K	

- Sedikit2 bisa diunduh dari: ***https://web.unhas.ac.id/rhiza/arsip/kuliah/Dasar-Sistem-Kendali/Catatan-Kuliah-2015/***
- Mulai dari: **https://web.unhas.ac.id/rhiza/arsip/kuliah/Dasar-Sistem-Kendali/Catatan-Kuliah-2015/Kuliah-DSK-2015-19112015-2.pdf** tertanggal **21-Nov-2015** jam **01:00** dan selanjutnya……..

KONSEP KESTABILAN

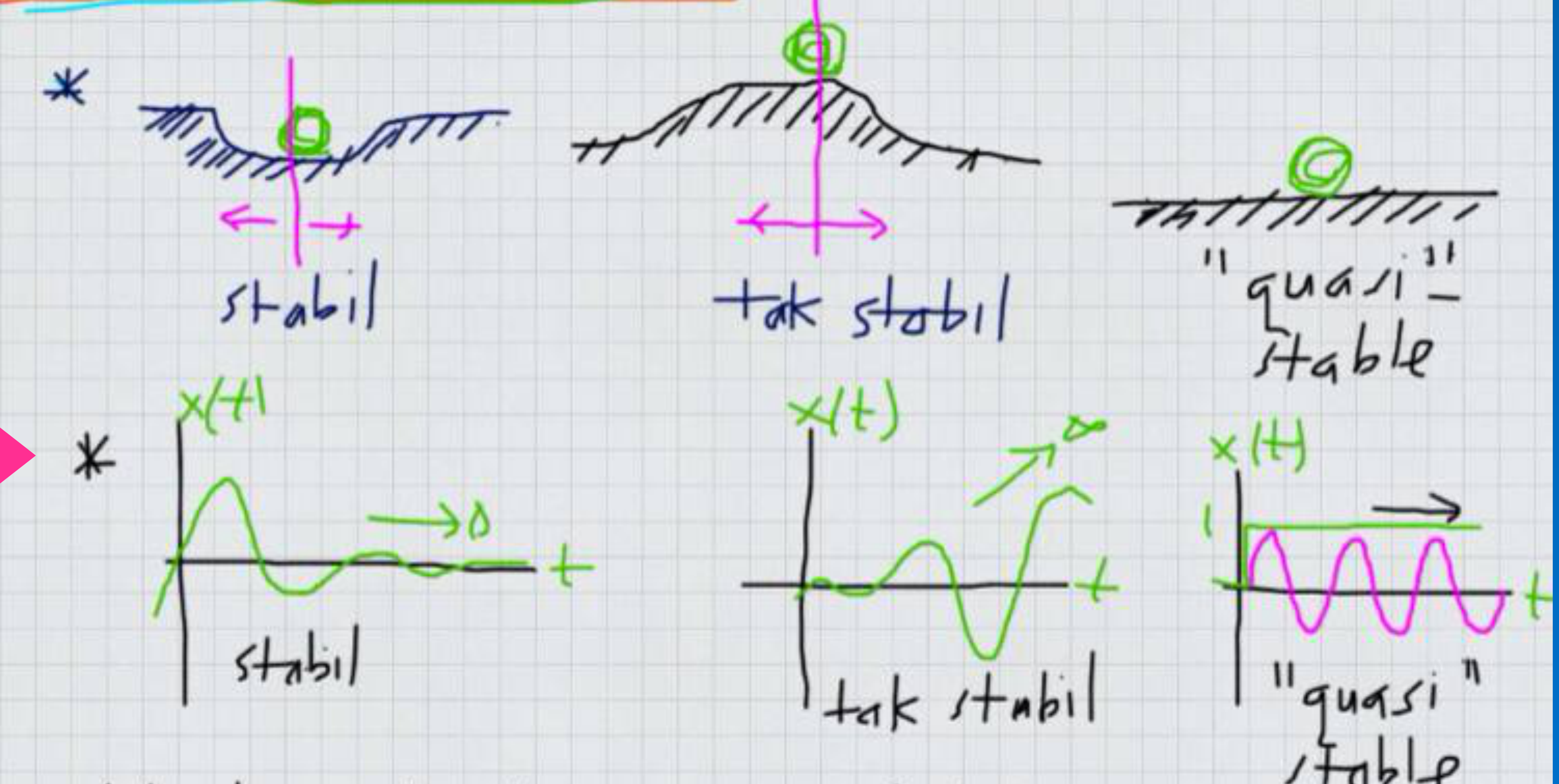
* ANALISIS KESTABILAN

Tujuan utama dari pengendalian sistem adalah untuk men-STABIL-kan sistem tersebut.

Teori Kendali **KLASIK** mem-fokus-kan kajiannya pada **KESTABILAN** sistem.

Visualisasi **KONSEP KESTABILAN**

* STABIL --- ???



Ada banyak definisi kestabilan misalnya:

* Asymptotic stability
* BIBO stability

BIBO = Bounded Input Bounded Output

Setelah suatu SISTEM KENDALI di-STABIL-kan....

Tujuan UTAMA Pengendalian sistem adalah men-**STABIL**-kan-nya. Setelah berhasil di-**STABIL**-kan, barulah dapat dilakukan upaya perbaikan selanjutnya.

Setelah sistem stabil, barulah dilakukan hal-hal lain, misalnya untuk:

* Meng-OPTIMUM-kan kinerja =
  - Me-minimum-kan biaya (cost)
  - Me-maximum-kan keuntungan (benefit)
  - Me-maximum-kan kinerja (performanc

SISTEM KENDALI OPTIMAL

Beberapa CONTOH upaya lanjutan:

Dari suatu **SISTEM KENDALI** yang **STABIL**, dapat dirancang-bangun, misalnya:

- ***Optimal Control Systems*** atau **Sistem Kendali OPTIMAL**
- ***Adaptive Control Systems*** atau **Sistem Kendali Adaptif**
- ***Robust Control Systems*** atau **Sistem Kendali Kokoh**
- ***Smart/Intelligent Control Systems*** atau **Sistem Kendali Cerdas**

* Membuat sistem tidak terpengaruh pada perubahan lingkungan, atau mampu menyesuaikan dengan lingkungan

⇒ SISTEM KENDALI ADAPTIF

* Mampu mengatasi perubahan "internal" (penuaan - aging, ke-aus-an, perubahan setting, kalibrasi, dll)

⇒ SISTEM KENDALI KOKOH (robust)

* Mampu "belajar", bisa "dilatih"

SISTEM KENDALI "CERDAS"

TUGAS MANDIRI (tidak dikumpul). Lacaklah dengan ***Google Search***, kata-kata kunci berikut, lalu pelajari dengan seksama:

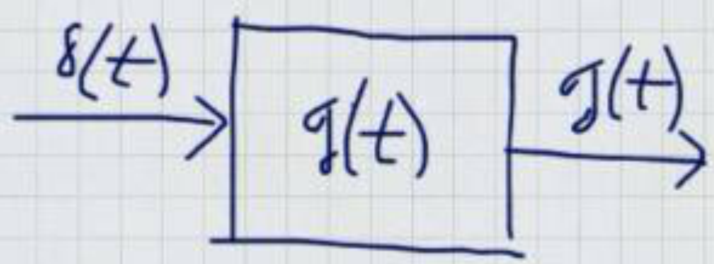
- ***Optimal Control Systems***
- ***Adaptive Control Systems***
- ***Robust Control Systems***
- ***Smart/Intelligent Control Systems***

DEFINISI KESTABILAN

Ada banyak DEFINISI KESTABILAN, tapi …..

Dalam m.k. ini, kestabilan didefinisikan dengan tanggapan denyut (impulse response)

Suatu sistem kendali atau kendalian dikatakan STABIL jika (dan hanya jika) tanggapan denyutnya menuju nol.



sistem $g(t)$ stabil, jika

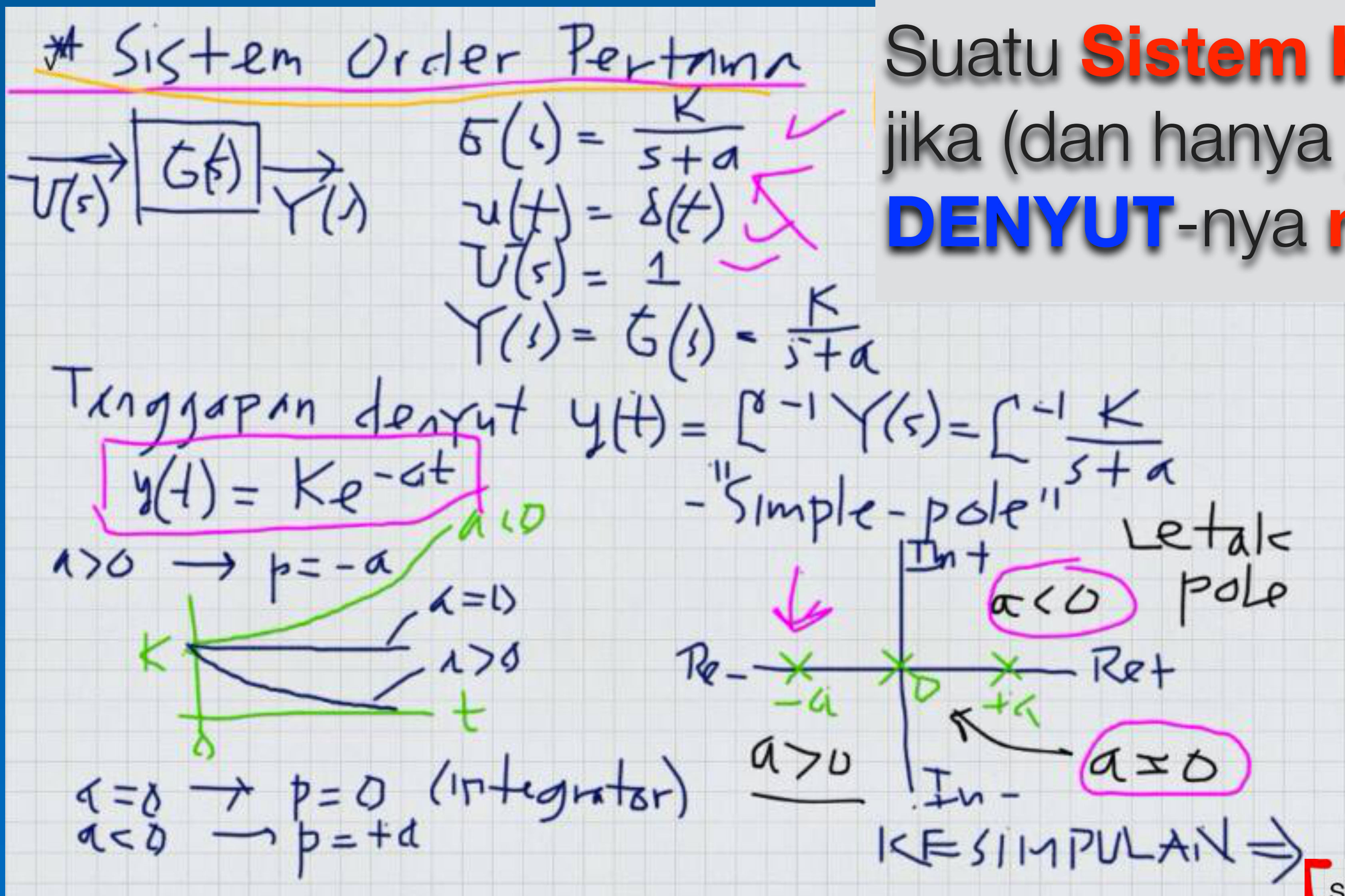
$$\boxed{\lim_{t\to\infty} g(t) = 0}$$

Kestabilan sistem dapat dilihat dari Nisbah Alih sistem tsb.

Definisi KESTABILAN dikaitkan dengan **TANGGAPAN DENYUT** supaya **KESTABILAN** suatu sistem dapat dilihat dari **Model NISBAH-ALIH** sistem tersebut.

CONTOH PENERAPAN DEFINISI KESTABILAN (1)

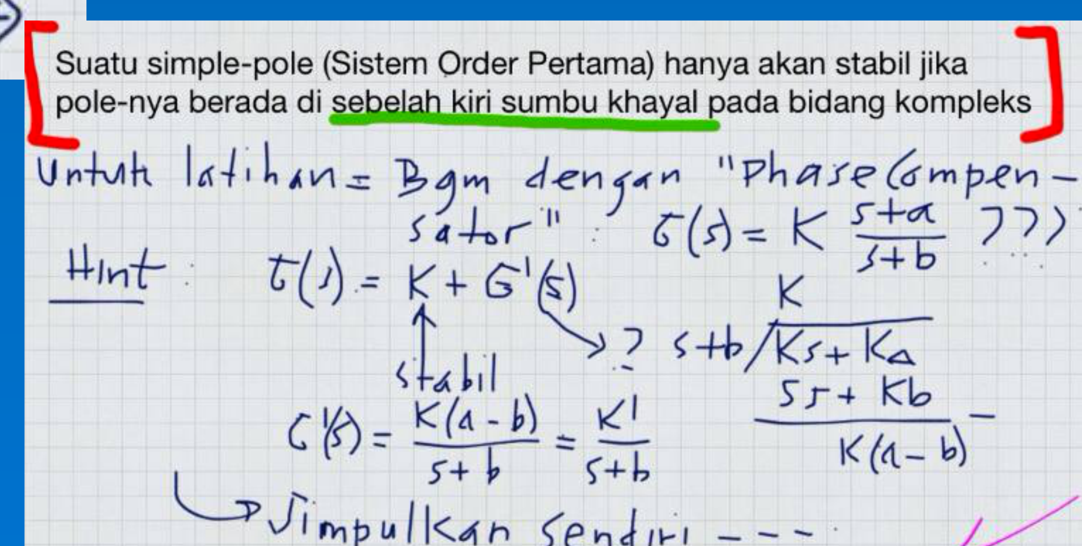
Sistem **ORDER PERTAMA**



Suatu **Sistem Kendali** dikatakan **STABIL** jika (dan hanya jika) **TANGGAPAN DENYUT**-nya **menuju NOL**.

Suatu ***Simple Pole*** (sistem order pertama) **TANGGAPAN DENYUT**-nya **menuju NOL**, atau **STABIL**, jika **a > 0**.

Jika **a > 0** maka ***pole***-nya berada di **sebelah kiri sumbu khayal** pada bidang kompleks => **tanggapan denyut**-nya menuju **NOL** => sistem order pertama **STABIL**



CONTOH PENERAPAN DEFINISI KESTABILAN (2)

Sistem **ORDER KEDUA**

* Sistem Order Kedua

$$G(s) = \frac{K}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$* \ \xi > 1 \rightarrow G(s) = \frac{K}{(s+a)(s+b)} \quad \text{double-pole} \quad p_1 = -a, \ p_2 = -b$$

$$(s+a)(s+b) = 0 \qquad a,b = \frac{2\xi\omega_n \pm \sqrt{4\xi^2\omega_n^2 - 4\omega_n^2}}{2}$$

$$s_1 = -a$$

$$s_2 = -b \qquad = \boxed{\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}} \ \in \text{Real}$$

$$s_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\boxed{G(s) = \frac{K_1}{s+a} + \frac{K_2}{s+b}} \quad \text{(theorema Heavyside)}$$

$$\frac{K}{(s+a)(s+b)} = \frac{(K_1+K_2)s + K_1 b + K_2 a}{(s+a)(s+b)}$$

$$K_1 + K_2 = 0 \rightarrow K_1 = -K_2 \qquad K_1 = \frac{K}{b-a}$$

$$K_1 b + K_2 a = K_1 b - K_1 a = K \qquad K_2 = \frac{K}{a-b}$$

$$(s+1)(s+2) = 0 \ — \ a = 1 \quad b = 2 \qquad \omega_n^2 = 2 \rightarrow \omega_n = \sqrt{2}$$

$$s^2 + 3s + 2 = 0 \longrightarrow (s+1)(s+2) \qquad 2\xi\omega_n = 3$$

$$a,b = \frac{3 \pm \sqrt{9-8}}{2} = \frac{3 \pm 1}{2} < \begin{matrix} a = 2 \\ b = 1 \end{matrix} \qquad \xi = \frac{3}{2\sqrt{2}} > 1$$

Jadi, supaya G(s) stabil, kedua pole-nya harus berada di sebelah kiri sumbu khayal pada bidang kompleks.

Suatu **Sistem Kendali** dikatakan **STABIL** jika (dan hanya jika) **TANGGAPAN DENYUT**-nya **menuju NOL**.

Jumlah 2 (dua) ***Simple Pole*** (sistem order pertama) **TANGGAPAN DENYUT**-nya **menuju NOL**, atau **STABIL**, jika **a > 0** dan **b > 0**

Jika **ξ > 1** maka sistem order kedua mempunyai 2 (dua) buah ***pole*** berupa bilangan ***Real***, sehingga dapat diuraikan menjadi perjumlahan 2 (dua)sistem order pertama.Jika kedua *pole* itu semua berada di **sebelah kiri sumbu khayal** pada bidang kompleks => **tanggapan denyut**-nya menuju **NOL** => sistem order kedua tersebut **STABIL**

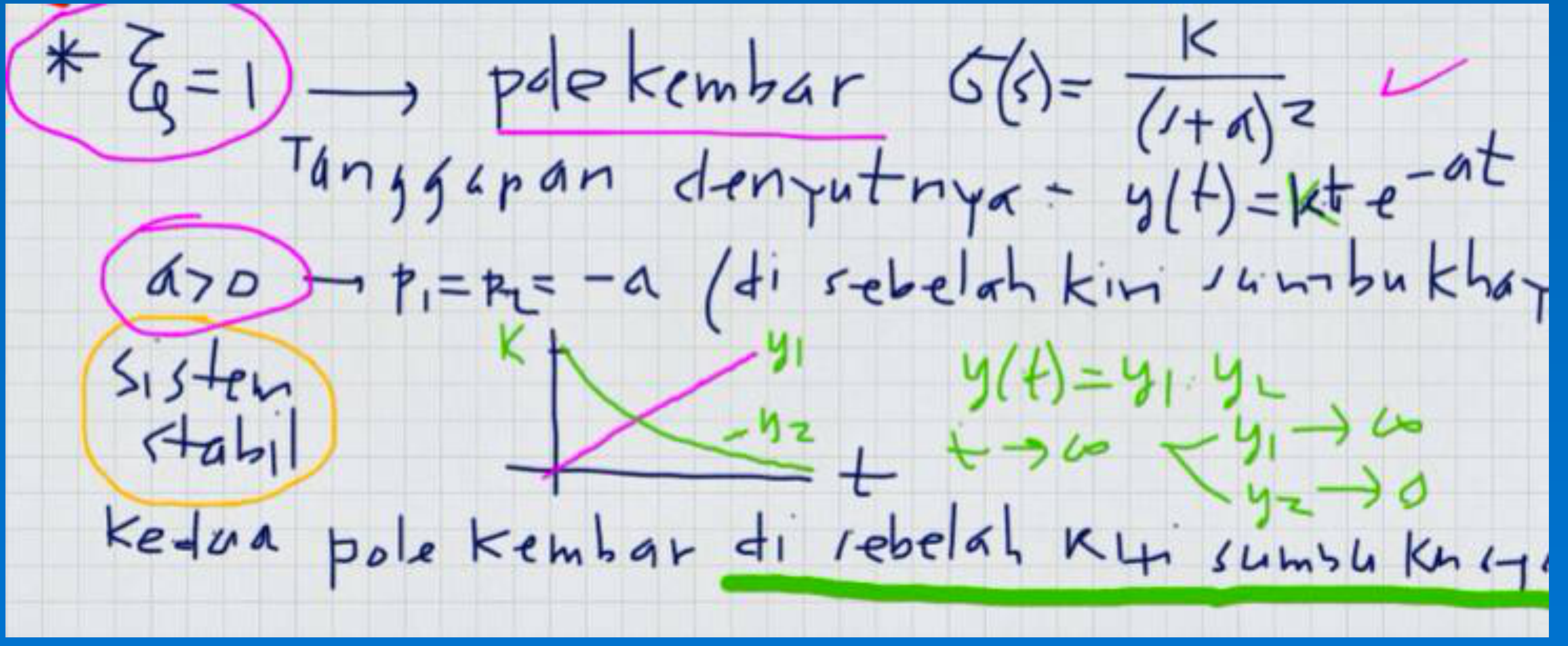
CONTOH PENERAPAN DEFINISI KESTABILAN (3)

Sistem **ORDER KEDUA**

Suatu **Sistem Kendali** dikatakan **STABIL** jika (dan hanya jika) **TANGGAPAN DENYUT**-nya **menuju NOL**.

Jika **ξ = 1** maka sistem order kedua mempunyai 2 (dua) buah ***pole* KEMBAR** berupa bilangan ***Real.*** Jika kedua *pole* kembar itu berada di **sebelah kiri sumbu khayal** pada bidang kompleks => **tanggapan denyut**-nya menuju **NOL** => sistem order kedua tersebut **STABIL**

Sistem ***Order Kedua*** dengan 2 (dua) buah ***pole* KEMBAR** **TANGGAPAN DENYUT**-nya **menuju NOL**, atau **STABIL**, jika **a > 0**



CONTOH PENERAPAN DEFINISI KESTABILAN (4)

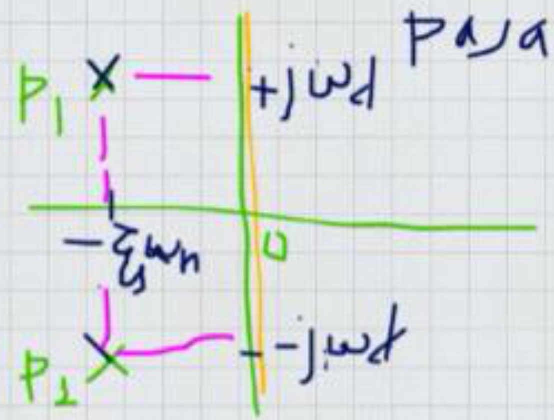
Sistem **ORDER KEDUA**

Suatu **Sistem Kendali** dikatakan **STABIL** jika (dan hanya jika) **TANGGAPAN DENYUT**-nya **menuju NOL**.

Jika **$0 < \xi < 1$** maka sistem order kedua mempunyai **sepasang *pole*** berupa bilangan **Kompleks Konyugasi**. Jika kedua *pole* kompleks itu berada di **sebelah kiri sumbu khayal** pada bidang kompleks => **tanggapan denyut**-nya menuju **NOL** => sistem order kedua tersebut **STABIL**

* $0<\xi<1 \rightarrow p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\,\omega_n\sqrt{1-\xi^2} - \omega_d$

pasangan kompleks konyugasi



Tanggapan denyut

$y(t) = \frac{K}{\omega_d} e^{-\xi\omega_n t} \sin \omega_d t$

$\boxed{\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\xi^2}}$

$\xi\omega_n = 0$, $p_{1,2} = \pm j\omega_d \longrightarrow y(t) = \frac{K}{\omega_d} \sin \omega_d t$,

└ $\xi = 0$ $\quad = \pm j\omega_n \longrightarrow y(t) = \frac{K}{\omega_n} \sin \omega_n t$

↳ Tidak stabil

$\xi\omega_n < 0$ $\quad e^{-\xi\omega_n t} \rightarrow \infty \longrightarrow$ Tidak stabil

$\xi\omega_n > 0 \longrightarrow t \rightarrow \infty$ $y(t) \rightarrow 0$ STABIL

$p_{1,2}$ di sebelah kiri sumbu khayal =

KESIMPULAN

Suatu **Sistem Kendali** dikatakan **STABIL** jika (dan hanya jika) **TANGGAPAN DENYUT**-nya **menuju NOL**.

Sistem **ORDER KEDUA**

Suatu Sistem Order Kedua hanya akan stabil jika kedua pole-nya berada di sebelah kiri sumbu khayal pada bidang kompleks.

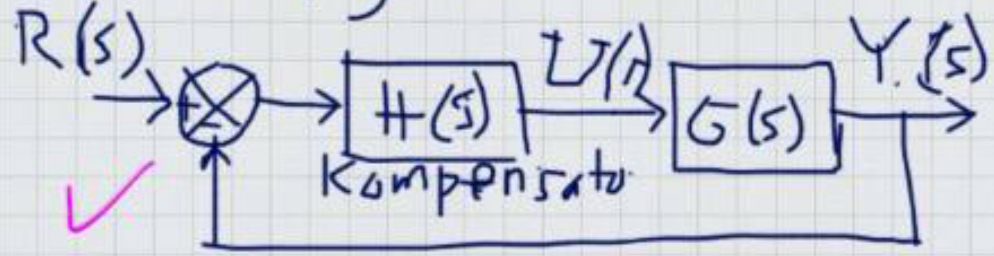
KESIMPULAN UMUM

Kesimpulan umum:

Suatu sistem dengan order yang lebih tinggi, selalu dapat diuraikan menjadi perjumlahan dari sistem order pertama dan/atau sistem order kedua, maka sistem order yang lebih tinggi hanya akan stabil jika SEMUA pole-nya berada di sebelah kiri sumbu khayal pada bidang kompleks.

KESTABILAN KONFIGURASI DASAR

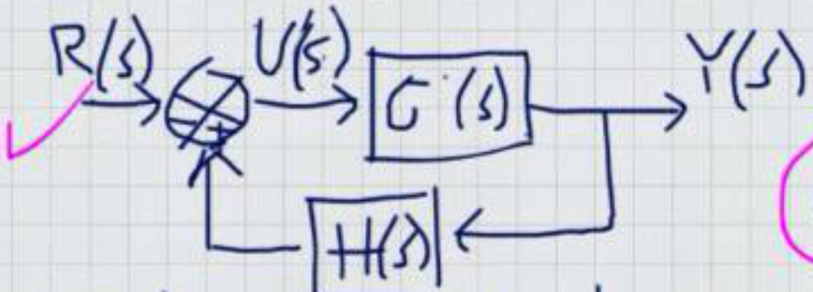
Dua konfigurasi sistem kendali



Sistem kendali dengan KOMPENSATOR

CLTF

$$G_T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)H(s)}{\boxed{1+G(s)H(s)}}$$



Sistem kendali dengan UMPAN BALIK

CLTF: $G_T(s) = \dfrac{Y(s)}{R(s)} = \dfrac{G(s)}{\boxed{1+G(s)H(s)}}$

Persamaan karakteristik: $\boxed{1+G(s)H(s)=0}$

Pole2 dari **Nisbah Alih Daur Tertutup (CLTF)** **$G_T(s)$** adalah **AKAR-AKAR PERSAMAAN KARAKTERISTIK** **-**nya

Pole² dari kedua konfigurasi adalah AKAR²-

$\boxed{G_T(s), \text{CLTF}}$

persamaan karakteristiknya = $\boxed{1+G(s)H(s)=0}$

Jadi:

Suatu sistem kendali akan stabil jika SEMUA akar persamaan karakteristiknya berada di sebelah kiri sumbu khayal pada bidang kompleks atau mempunyai bagian Real yang negatif (Re < 0).

Re+jIm

Pada umumnya sistem kendali yang tergolong sistem LTI (Linear Time Invariant), persamaan karakteristiknya dapat dinyatakan dengan:

KESTABILAN dan PERSAMAAN KARAKTERISTIK (1)

Pole2 dari **Nisbah Alih Daur Tertutup (CLTF) $G_T(s)$** adalah **AKAR-AKAR PERSAMAAN KARAKTERISTIK**-nya

Kesimpulan umum:
Suatu sistem dengan order yang lebih tinggi, selalu dapat diuraikan menjadi perjumlahan dari sistem order pertama dan/atau sistem order kedua, maka sistem order yang lebih tinggi hanya akan stabil jika SEMUA pole-nya berada di sebelah kiri sumbu khayal pada bidang kompleks.

Jadi:

Suatu sistem kendali akan stabil jika SEMUA akar persamaan karakteristiknya berada di sebelah kiri sumbu khayal pada bidang kompleks atau mempunyai bagian Real yang negatif (Re < 0).

Re + jIm

Pada umumnya sistem kendali yang tergolong sistem LTI (Linear Time Invariant), persamaan karakteristiknya dapat dinyatakan dengan:

$$\boxed{P(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + a_{n-2} s^{n-2} + \dots + a_1 s + a_0 = 0}$$

dengan koefisien $a_0, a_1 \dots a_n$ semua bilangan Real. n bilangan bulat > 0 $n = 1, 2, 3, 4$

KESTABILAN dan PERSAMAAN KARAKTERISTIK (2)

Pole2 dari **Nisbah Alih Daur Tertutup (CLTF) $G_T(s)$** adalah **AKAR-AKAR PERSAMAAN KARAKTERISTIK-**nya

Jadi =

Suatu sistem kendali akan stabil jika SEMUA akar persamaan karakteristiknya berada di sebelah kiri sumbu khayal pada bidang kompleks atau mempunyai bagian Real yang negatif (Re < 0).

$Re + j\,Im$

Pada umumnya sistem kendali yang tergolong sistem LTI (Linear Time Invariant), persamaan karakteristiknya dapat dinyatakan dengan:

$$\boxed{P(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + a_{n-2} s^{n-2} + \dots + a_1 s + a_0 = 0}$$

dengan koefisien $a_0, a_1, \dots a_n$ semua bilangan Real. n: bilangan bulat > 0 $n = 1, 2, 3, 4$

* Akar²nya $= s_1, s_2, s_3, \dots s_n$, sehingga
  $\rightarrow (s - s_1)(s - s_2)(s - s_3) \dots (s - s_n) = 0$
  bisa dicari dengan berbagai metode, analitik maupun numerik (Misalnya, MATLAB, >>root, Mathematica, Mapple dsb.)
* Salah satu cara untuk mengetahui apakah SEMUA akar ada di sebelah kiri sumbu khayal atau tidak (sistem stabil atau tidak), dapat digunakan Kriteria ROUTH

KRITERIA ROUTH

Pole2 dari **Nisbah Alih Daur Tertutup (CLTF) $G_T(s)$** adalah **AKAR-AKAR PERSAMAAN KARAKTERISTIK**-nya

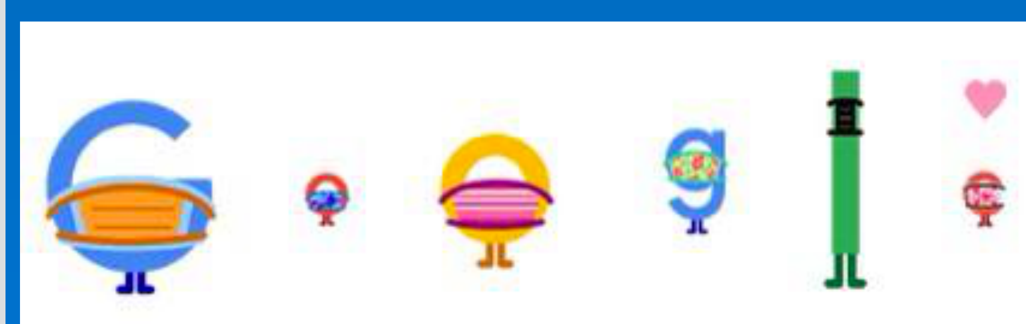
Suatu persamaan karakteristik dari sistem kendali yang dikategorikan sebagai LTI, semua akarnya akan berada di sebelah kiri sumbu khayal pada bidang kompleks (mempunyai bagian Re < 0), yang berarti sistem kendali itu stabil, jika polynomial P(s)-nya memenuhi 2 (dua) kriteria Routh:

(1) Semua koefisien P(s) $a_0, ---, a_n > 0$
(2) Tidak ada pergantian tanda pada kolom pertama Tabel Routh.

Jika kriteria pertama tidak terpenuhi, TIDAK PERLU lagi memeriksa kriteria kedua.

TUGAS MANDIRI (tidak dikumpul). Lacaklah dengan ***Google Search***, kata kunci berikut, lalu pelajari dengan seksama:

- ***Routh Criteria for Control System Stability***



CONTOH PENERAPAN KRITERIA ROUTH

Suatu persamaan karakteristik dari sistem kendali yang dikategorikan sebagai LTI, semua akarnya akan berada di sebelah kiri sumbu khayal pada bidang kompleks (mempunyai bagian Re < 0), yang berarti sistem kendali itu stabil, jika polynomial P(s)-nya memenuhi 2 (dua) kriteria Routh:

(1) Semua koefisien $P(s)$ $a_0, \dots, a_n > 0$

(2) Tidak ada pergantian tanda pada kolom pertama Tabel Routh

Jika kriteria pertama tidak terpenuhi, TIDAK PERLU lagi memeriksa kriteria kedua

$P(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + a_{n-2} s^{n-2} + \dots + a_1 s + a_0$

Tabel Routh =

s^1	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}	- -
s^2	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}	- -
s^3	b_n	b_{n-2}	b_{n-4}	- -
s^4	b_{n-1}	b_{n-3}	b_{n-5}	
⋮				
s^{n+1}				

Kolom Pertama

$$b_n = \frac{(a_{n-1}\, a_{n-2}) - (a_n \cdot a_{n-3})}{a_{n-1}}$$

$$b_{n-2} = \frac{(a_{n-1}\, a_{n-4}) - (a_n \cdot a_{n-5})}{a_{n-1}}$$

Routh-Hurwitz Stability Criterion

s^5	1	2	3
s^4	1	2	5
s^3	$0(\epsilon)$	-2	
s^2	$\frac{2\epsilon+2}{\epsilon}$	5	
s^1	$\frac{-4\epsilon-4-5\epsilon^2}{2\epsilon+2}$		
s^0	5		

If n is odd:
Row1: a_n a_{n-2} … a_1
Row2: a_{n-1} a_{n-3} … a_0

If n is even:
Row1: a_n a_{n-2} … a_0
Row2: a_{n-1} a_{n-3} … 0

--------The Routh-Hurwitz array is:--------

m =

1.0000	2.0000	13.7000	0	2.0000	10.0000
1.0000	2.5000	4.0000	1.0000	0	0
-0.5000	9.7000	-1.0000	2.0000	10.0000	0
21.9000	2.0000	5.0000	20.0000	0	0
9.7457	-0.8858	2.4566	10.0000	0	0
3.9906	-0.5204	-2.4715	0	0	0
0.3851	8.4925	10.0000	0	0	0
-88.5344	-106.1095	0	0	0	0
8.0310	10.0000	0	0	0	0
4.1319	0	0	0	0	0
10.0000	0	0	0	0	0

----> System is Unstable <----

Example 2: Find the stability of the continuous system having the characteristic polynomial of a third order system is given below

$s^3 + s^2 + 2s + 24$

The Routh array is

s^3	1	2
s^2	1	24
s^1	-22	0
s^0	24	0

Because TWO changes in sign appear in the first column, we find that two roots of the characteristic equation lie in the right-hand side of the s-plane. Hence the system is unstable.

Question 1 [20 marks]

a) Explain Routh's stability criterion in determining control system stability and discuss the advantages and disadvantages of the method. [5 marks]

b) A unity feedback control system has a following characteristics equation:

Table. I Routh table

S^n	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}	a_{n-6}	⋯
S^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}	a_{n-7}	⋯
S^{n-2}	b_1	b_2	b_3	b_4	⋯
S^{n-3}	c_1	c_2	c_3	c_4	⋯
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
S^0	a_0				

s^n	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}	⋯
s^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}	⋯
s^{n-2}	b_{n-1}	b_{n-3}	b_{n-5}	⋯
s^{n-3}	c_{n-1}	c_{n-3}	c_{n-5}	⋯

$$c_{n-1} = \frac{b_{n-1}a_{n-3} - a_{n-1}b_{n-2}}{b_{n-1}},\quad c_{n-2} = \frac{b_{n-1}a_{n-5} - a_{n-1}b_{n-3}}{b_{n-1}}, \dots$$

Routh Hurwitz Stability Criterion

Stability analysis in time domain by Routh – Hurwitz criteria

Contoh:

* $P(s) = s^5 + 3s^3 + 2s^2 + s + 1 \longrightarrow$ tidak stabil
* $P(s) = -s^2 - 2s - 3 \Longrightarrow P(s) = s^2 + 2s + 3 = 0 \rightarrow$ stabil

$s_{1,2} = \frac{-2 \pm \sqrt{-\dots}}{2} = -1 \pm \dots$ Re<0 → stabil

* $P(s) = s^5 + 4s^4 + 3s^3 + 2s^2 + s + 1$

Kriteria (1) terpenuhi

Kriteria (2)

Tabel Routh:

s^1	1	3	1
s^2	4	2	1
s^3	2,5	0,75	0
s^4	0,8	1	0
s^5	$-2{,}375$	0	0
s^6	1	0	0

terjadi pergantian tanda, sistem tidak stabil

* $P(s) = s^5 + 4s^4 + 3s^3 + 12s^2 + s + 1$

Kriteria (1) Terpenuhi

Kriteria (2) → Tabel Routh

s^1	1	3	1
s^2	4	12	1
s^3	ε	0,75	0
s^3	$\frac{12\varepsilon - 3}{\varepsilon}$	1	0

ε = epsilon > 0 (sangat kecil)

$\frac{12\varepsilon - 3}{\varepsilon} = 12 - \frac{3}{\varepsilon} < 0$

← negatif

hal 178 bukunya P. Faiza'

pergantian tanda → tidak stabil

* Suatu sistem kendali dengan Kompensator memiliki spesifikasi $G(s) = \frac{10}{s^2}$ (kendalian double integrator) dan $H(s) = \frac{K(s+1)}{(s+2)}$ Phase lag Kompensator. Tentukan batas K supaya stabil

Pers. Karakteristik $1 + G(s)H(s) = 0$

$$1 + \left(\frac{10}{s^2}\right)\left(\frac{K(s+1)}{(s+2)}\right) = 0$$

$$s^2(s+2) + 10Ks + 10K = 0$$

$$s^3 + 2s^2 + 10Ks + 10K = 0$$

* Kriteria (1) ⟶ $K > 0$
* Kriteria (2) Tabel Routh

s^1	1	10K
s^2	2	10K
s^3	5K	0
s^4	10K	0

$\rightarrow 5K > 0 \rightarrow K > 0$

Coba untuk $H(s) = K\frac{s+2}{s+1}$ Phase Lead Compensator

Jadi sistem kendali akan stabil asal $K > 0$

Routh-Hurwitz Stability Criterion

* The characteristic equation of the nth order continuous system can be write as:

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0$$

* The stability criterion is applied using a Routh table which is defined as;

s^n	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}	⋯
s^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}	⋯
⋮	b_1	b_2	b_3	⋯
⋮	c_1	c_2	c_3	⋯

* Where $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0$ are coefficients of the characteristic equation.

$$b_1 = \frac{a_{n-1}a_{n-2} - a_n a_{n-3}}{a_{n-1}} \qquad b_2 = \frac{a_{n-1}a_{n-4} - a_n a_{n-5}}{a_{n-1}}$$

$$c_1 = \frac{b_1 a_{n-3} - a_{n-1} b_2}{b_1} \qquad c_2 = \frac{b_1 a_{n-5} - a_{n-1} b_3}{b_1}$$

[taken from:3]

MODUL PEMBELAJARAN (SELESAI)

- **MODUL 0: PENGANTAR KULIAH**
- **MODUL 1**: **Pengenalan SISTEM KENDALI**
- **MODUL 2**: **Alat-alat Matematik**
  - **Sub-MODUL 2A: Bagan Kotak** dan **Aljabar**-nya
  - **Sub-MODUL 2B: Nisbah-Alih** dan **Transformasi Laplace**
- **MODUL 3**: **Istilah-istilah Khusus**
  - **Sub-Modul 3A: KONFIGURASI DASAR**
  - **Sub-Modul 3B: Isyarat-isyarat TEST**
  - **Sub-Modul 3C: *ORDER*, *Pole* dan *Zero***
- **MODUL 4**: (PENGANTAR) **Kestabilan Sistem Kendali**

MIDTEST

UJIAN FINAL

SELAMAT BELAJAR

Semoga SUKSES meraih PRESTASI!