

**CATATAN KULIAH
(*CLASSNOTES*)**

**SISTEM KENDALI
DIGITAL
(*Digital Control Systems*)**

Rhiza S. Sadjad

2016

RENCANA PEMBELAJARAN

NAMA MATAKULIAH : **SISTEM KENDALI DIGITAL**
KODE MATAKULIAH : **335D433 (Tahun III, Semester Akhir, 3 SKS, TK)**
DOSEN-DOSEN : 1. Dr. Ir. H. Rhiza S. Sadjad, MSEE
2. Dr. Hj. Andi Ejah Umraeni Salam, ST, MT

1. DAFTAR PUSTAKA:

1. **Astrom**, Karl J. and Bjorn **Wittenmark**, "*Computer-controlled Systems*", Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ
2. **Kuo**, Benjamin C., "*Digital Control Systems*", Holt, Rinehart and Winston, Inc., NY.
3. **Franklin**, Gene F., et.al., "*Digital Control of Dynamic Systems*", Addison Wesley Publishing Company, Reading, MA.
4. **Phillips**, Charles L. and H. Troy **Nagle**, "*Digital Control Systems: Analysis and Design*", Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ

2. TUJUAN:

Penyajian matakuliah ini bertujuan memberi kesempatan kepada mahasiswa Program Studi Teknik Elektro – khususnya yang berminat mengambil konsentrasi Teknik Komputer, Kendali dan Elektronika (TK) – untuk mempelajari analisis dan desain sistem kendali digital baik dengan pendekatan teori kendali "klasik" mau pun "modern".

3. SILABUS SINGKAT:

Konfigurasi umum sistem kendali digital, istilah-istilah lain, sekelumit sejarah perkembangan sistem kendali digital, konfigurasi piranti-keras (*hardware*), macam-macam pengendali digital, konversi analog/digital, pencuplikan, isyarat kontinyu dan waktu diskrit, penahan order-nol (ZOH), dasar-dasar Transformasi Z, pemodelan nisbah-alih, pengendali PID digital, pemodelan ruang-keadaan, diagram aliran isyarat, solusi persamaan *state*, analisis kestabilan, filter digital.

4. KOMPETENSI UTAMA:

1. Menguasai dasar-dasar teori kendali, baik yang klasik mau pun modern, serta aplikasinya dalam analisis dan perancangan sistem kendali
2. Mampu memakai paket-paket perangkat lunak komputer untuk pemodelan dan simulasi masalah-masalah Teknik Elektro khususnya dan masalah rekayasa pada umumnya

5. KOMPETENSI PENDUKUNG:

1. Mampu berwirausaha/bekerja sendiri/bekerja-sama dalam bidang Teknik Elektro.
2. Mampu menggunakan bahasa-bahasa pemrograman yang umum digunakan dalam dunia enjiniring

6. LAINNYA:

Memiliki jiwa kepemimpinan, peneliti dan entrepreneur serta mampu bersaing

7. PEKANAN:

I. Pembelajaran di Kelas (TATAP-MUKA: 2 SKS)

Pekan ke	Topik	Sub-topik
1	PENGANTAR KULIAH	Administrasi Perkuliahan
2	PENGENALAN Sistem Kendali Digital	- Konfigurasi umum Sistem Kendali Digital - Istilah-istilah lain untuk Sistem Kendali Digital
3		- Piranti Keras untuk Pengendali Digital - Sejarah Perkembangan Sistem Kendali Digital
4		- Isyarat Kontinyu dan Waktu Diskrit - Pencuplikan dan ZOH - Konversi Analog/Digital
5	PEMODELAN Sistem Kendali Digital (dengan pendekatan Teori Kendali Klasik)	- Model Fisik dan Matematis - Pengantar Transformasi Z
6		- Model Nisbah Alih - Dengan dan Tanpa ZOH
7		- Persamaan Difference, Transformasi Z-inverse - Contoh-contoh
8		(di kelas, <i>open-book</i> 100 menit)
9	PEMODELAN Sistem Kendali Digital (dengan pendekatan Teori Kendali Modern)	Representasi Ruang Keadaan Sistem Kendali Digital, model umum
10		Konversi Model Nisbah Alih $\leftrightarrow$ Model Ruang Keadaan
11		Solusi Persamaan Difference, Matriks Transisi
12	ANALISIS dan DESAIN Sistem Kendali Digital	Keterkendalian dan Keteramatan
13		Analisis Kestabilan
14		Desain Sistem Kendali Digital dengan Umpan Balik Keadaan
15		Contoh-contoh Analisis dan Desain
16		Filter Digital

I. Pembelajaran di Laboratorium (PRAKTIKUM: 1 SKS)

Pekan ke	Topik	Sub-topik
9	PEMBAGIAN KELOMPOK	Penjelasan kegiatan praktikum
10	Praktikum INDIVIDUAL	- Pemodelan Nisbah Alih:
11		- Aplikasi Transformasi Z
12		- Simulasi Pengendali PID Digital
13	Praktikum KELOMPOK	Pengendali Digital Universal berbasis Mikrokontroler Arduino Uno/Duo
14		
15		
16		

SISTEM KENDALI DIGITAL

(3 SKS).

- * 1 SKS RHZ pekan 1-5/d 8
- * 1 SKS AEU pekan 9-11/d 16
- * Praktikum:
 - Praktikum Kelompok
 - Praktikum Individu

Nilai : RHZ :

[* MID (pekan 8)
* PRAKTIKUM (Kel & Ind)
* FINAL (pekan 16)]

AEU :

* Referensi =

* "Computer-controlled Systems", 1984, Åström
and Wittenmark

⇒ "Digital Control Systems"

Dalam literatur:

- * Sistem (yang di-) Kendali (-kan oleh) Komputer
(Computer-controlled System.)
- * Sistem Kendali Waktu Diskrit (Discrete-time Control systems)
- * Sistem Kendali Data Terampik (Sampled-Data Control systems)

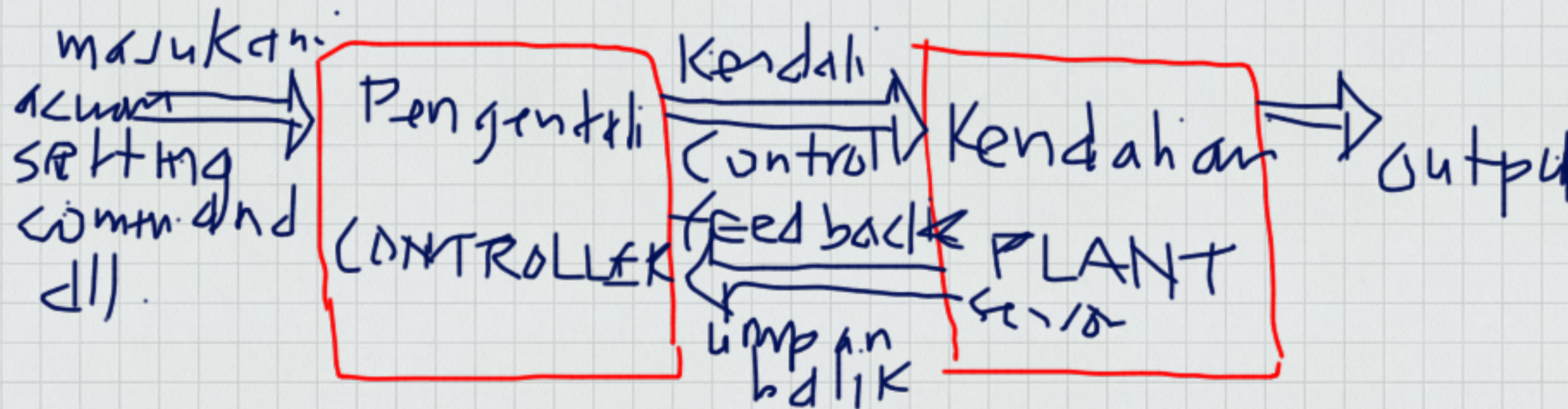
* <http://www.unhas.ac.id/rhiza/arsip/kuliah/>

Susunan Materi Kuliah dapat dilihat di:

<http://www.unhas.ac.id/rhiza/arsip/kuliah/silabus-2008-10/S1-2010/>

* Bab I Pengenalan Sistem Kendali Digital Introduction to (the) Digital Control Systems

* SISTEM KENDALI



Sistem Kendali Digital $\Rightarrow$ PENGENDALI
(Controller-nya) berupa SISTEM DIGITAL

yaitu misalnya:-

* Gerbang $\approx$ Logika $\Rightarrow$ Rangkaian Logika.
 $\searrow$ Kombinatorik
 $\searrow$ Sekuensial

* Programmable $\Rightarrow$ Komputer $\rightarrow$ Laptop, dll.
PLA, PLC, dsb

* Microcontroller

* Jaringan Komputer

Menurut Astrom & Wittenmark, hal. 7, ada 4 (empat) bidang ilmu yang harus dipelajari untuk memahami sistem Kendali Digital:

- (1) Pengetahuan tentang Process-Plant
- (2) Pengetahuan tentang pengukuran besaran
⇒ Sistem Instr. Elka A/D, D/A, sensor2
- ⇒ Pengukuran Listrik
- (3) Teknologi Komputer ⇒ ICT
- (4) TEORI KENDALI ⇒ m.k. ini

* SEJARAH PERKEMBANGAN Sistem Kendali DIGITAL

Perang Dunia II (1939-1945)

→ Sistem Kendali Digital ⇒ aplikasi "damai" dalam industri

Perusahaan
"senjata"

"sistem kendali
DIGITAL"

TRW → Perusahaan
minyak TEXACO
March 1956
S/A March 1959

RW-300
("komputer")

Park Arthur, TX

refinery"

↓ → limbah
↓
BBM
(macam)
↓
POLYMER

Parameter yang dikendalikan:

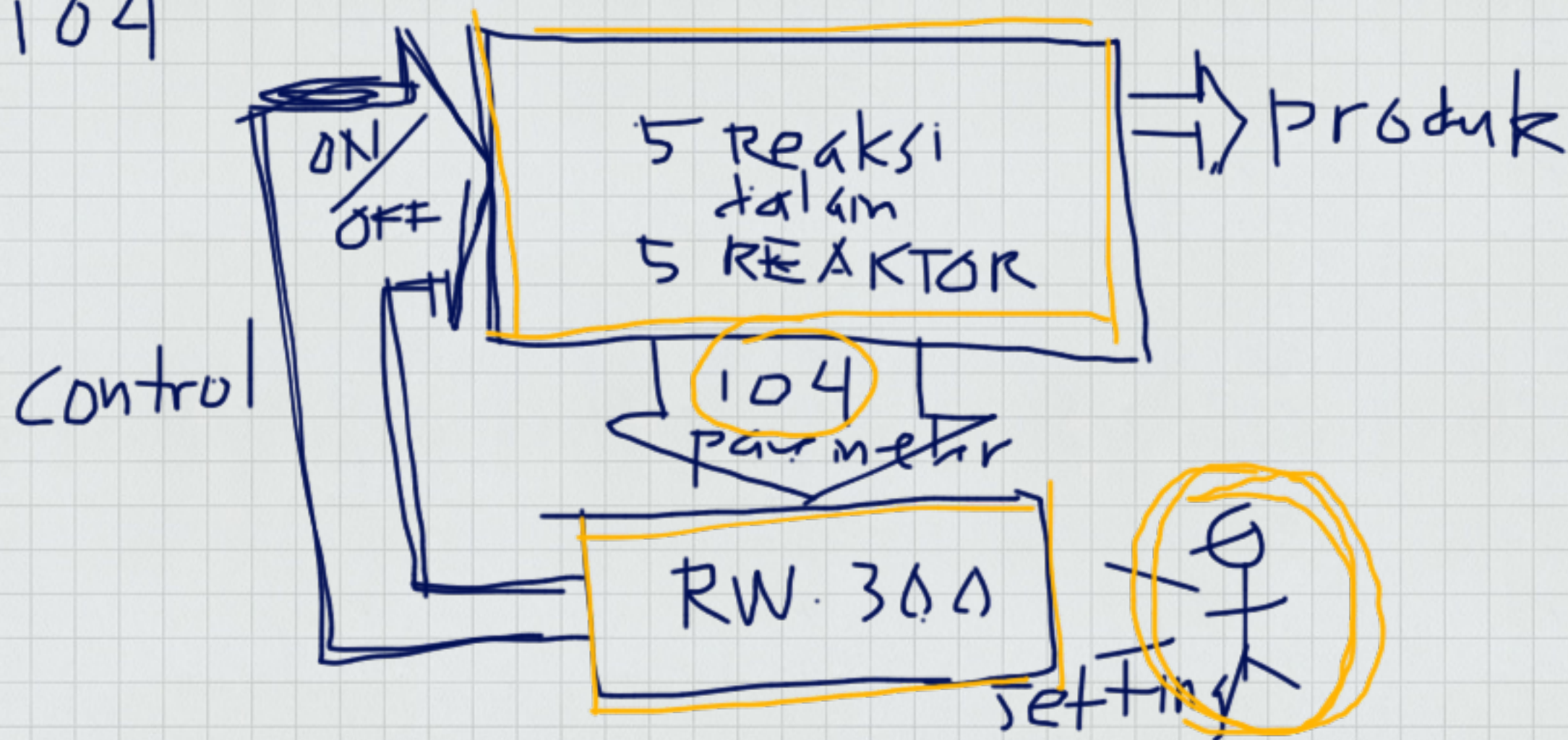
26 flow (kecepatan alir cairan/gas)

72 temperatur

3 pressure

3 pencampuran

104



4 Periode Perkembangan SKD, menurut Aström & Wittenmark [1984]:

* Periode Perintis ~ 1955

* Periode DDC ~ 1962

* Periode Mini computer ~ 1967

* Periode Microcomputer ~ 1972

Sesudah 4 periode itu =

* Microcontroller → Keluarga Intel 8050

* Jaringan Komputer

* PLC ⇒ DCS ⇒ APC

Motorola 6850
Nat. Inst TMS

↓
Arduino
ATMega di

4 Periode Perkembangan SKD, menurut Aström & Wittenmark [1984]

- * Periode Perintis ~ 1955 ✓
- * Periode DDC ~ 1962
- * Periode Minicomputer ~ 1967
- * Periode Microcomputer ~ 1972

Sesudah 4 periode itu =

* Microcontroller →

* Jaringan Komputer ⇒

* PLC ⇒ DCS ⇒ APC

Keluarga Intel 8050
Motorola 6850
Nat. Inst TMS

↓
next gen
Arduino
ATMega di

* Direct Digital Control (DDC)

Inggis

ICI

224 measured variables

Ferranti Argus

12g katup

MTBF = 1000h

1962

PLC

PROSES

Produk

12g Katup

ICI

224 var

H/W TETAP

ON/OFF

Komputer Ferranti Argus

Program S/W

storage

Alumni I/O
Process Control

Ladder Program

APC

AT

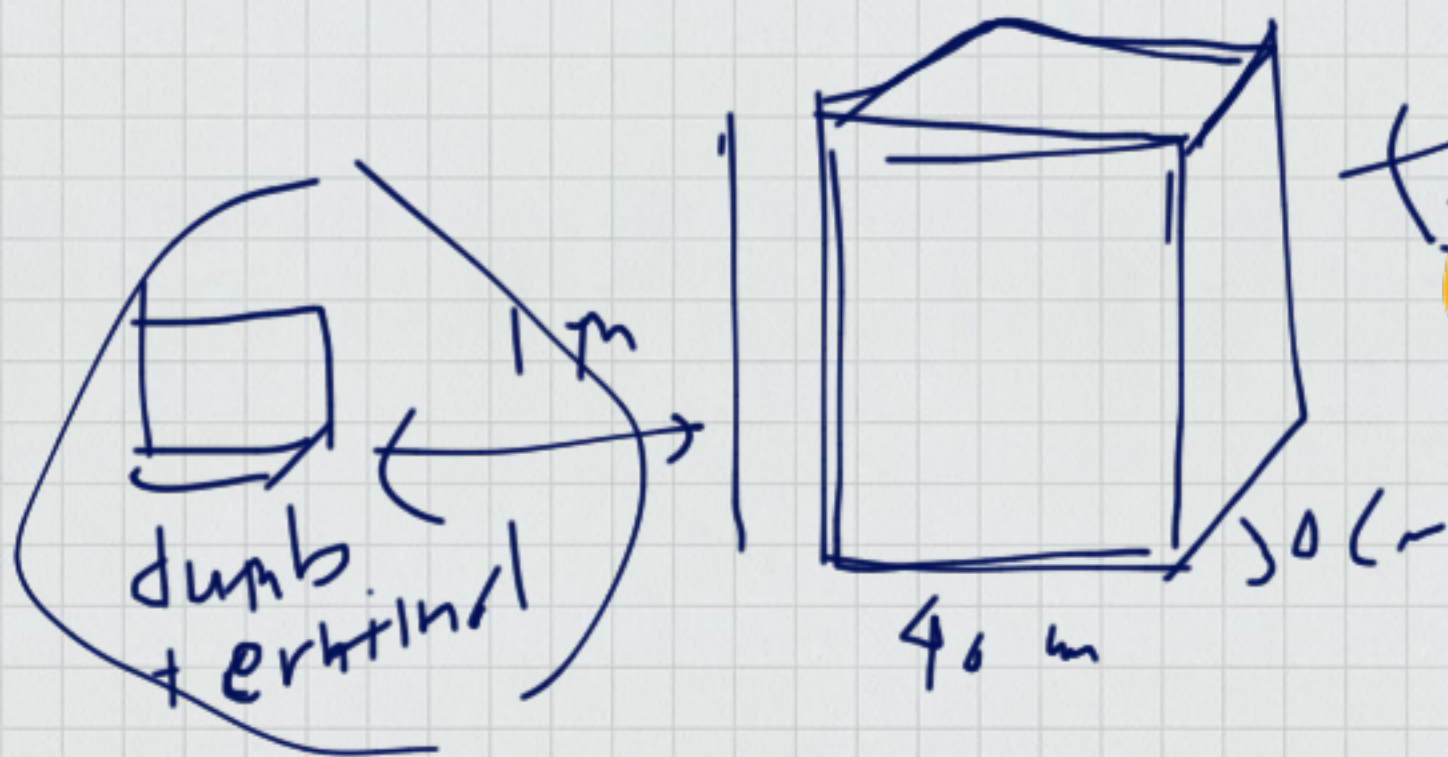
DOS

* Minicomputer Period

IBM DEC, Honeywell
HP

PENGOLAHAN
DATA

8 bit 25 in 10 in $\Rightarrow$ 1 basis program



DEC

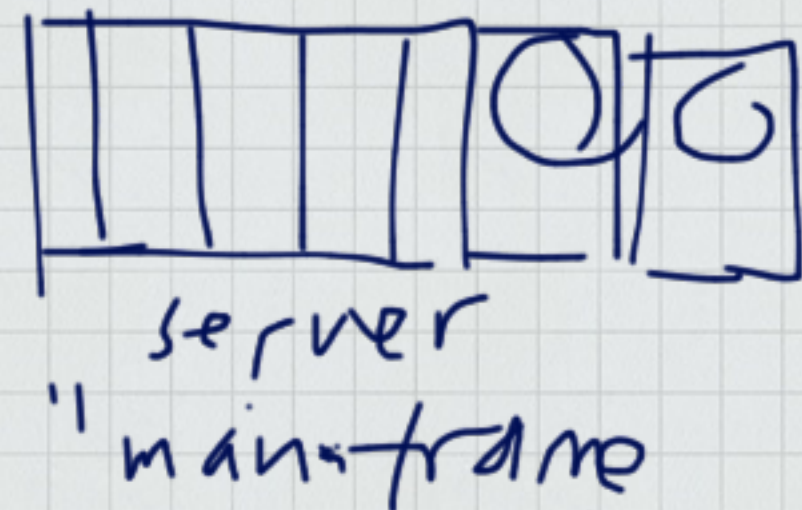
Minicomputer

$\Rightarrow$ HP IB

$\Rightarrow$ GPIB

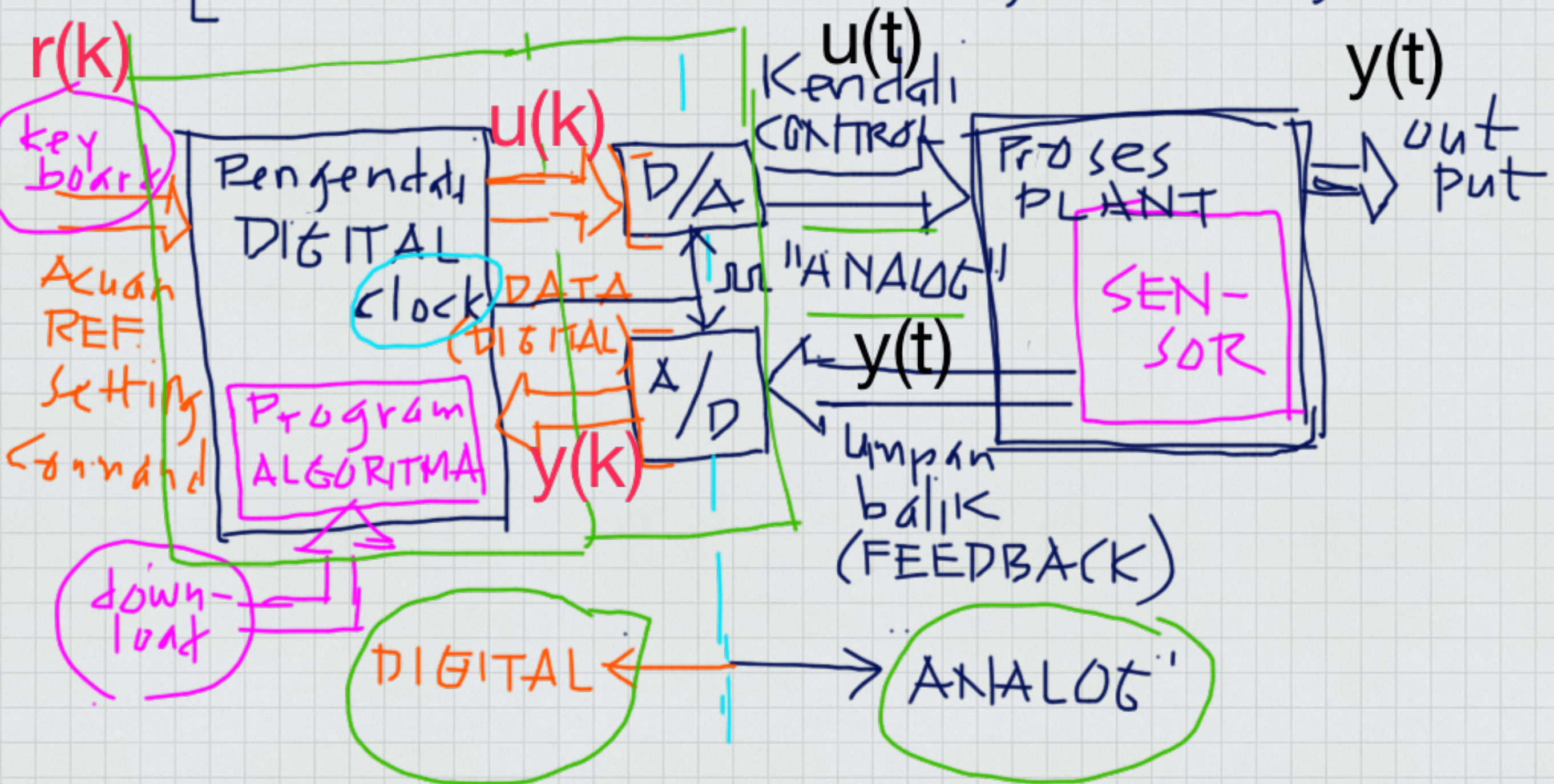
Interface
Bus

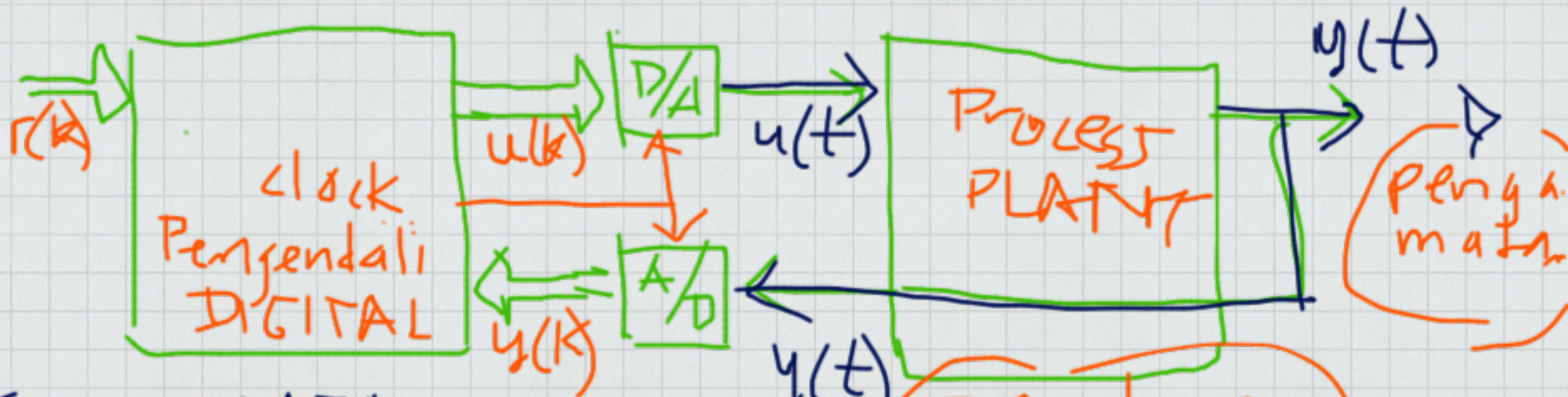
port



* Konfigurasi Dasar SKD

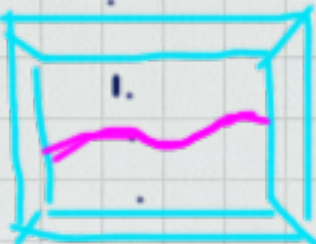
Dari [Astrom & Wittenmark, 1984, hal. 2, Figure 1.i.]



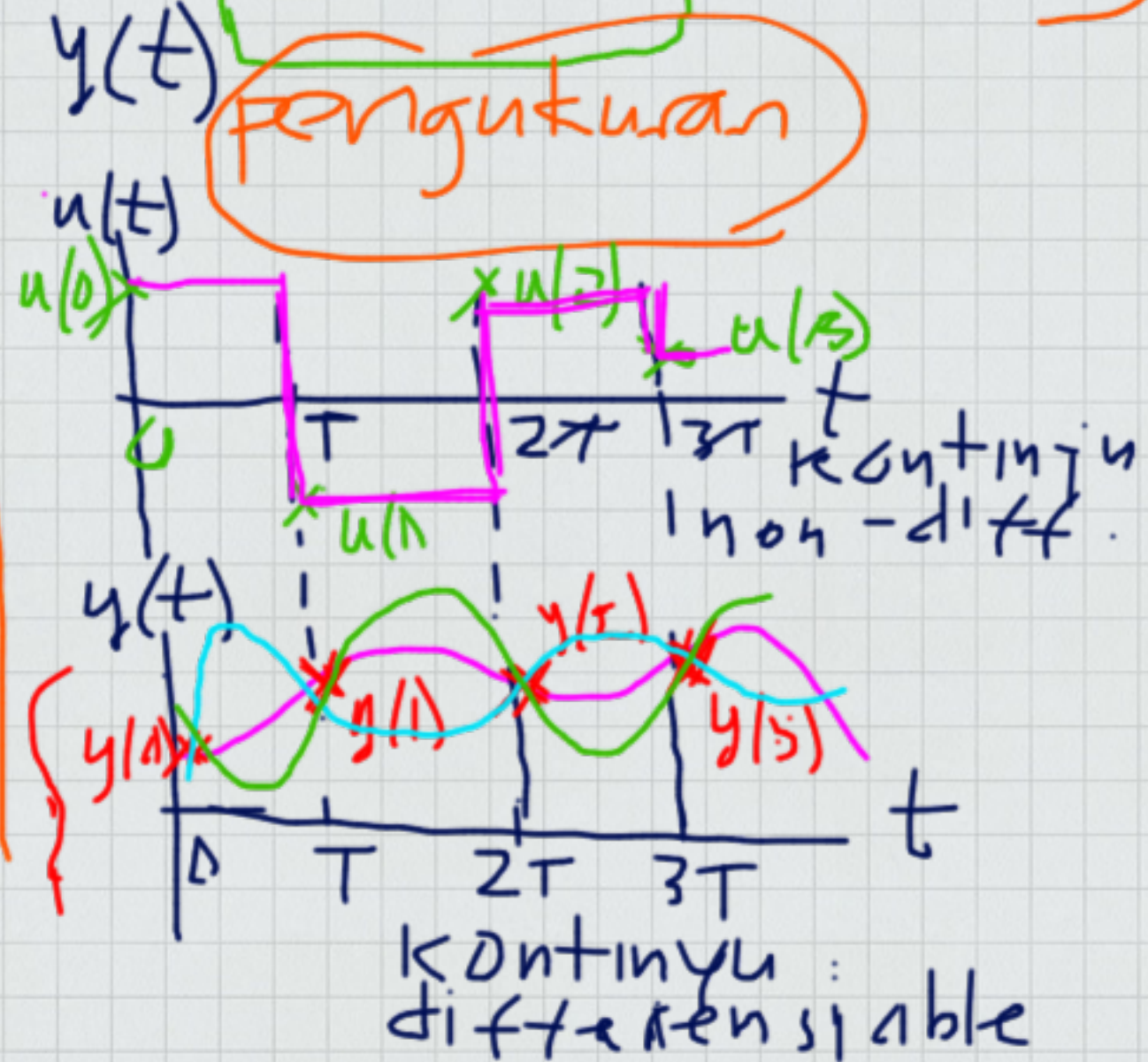


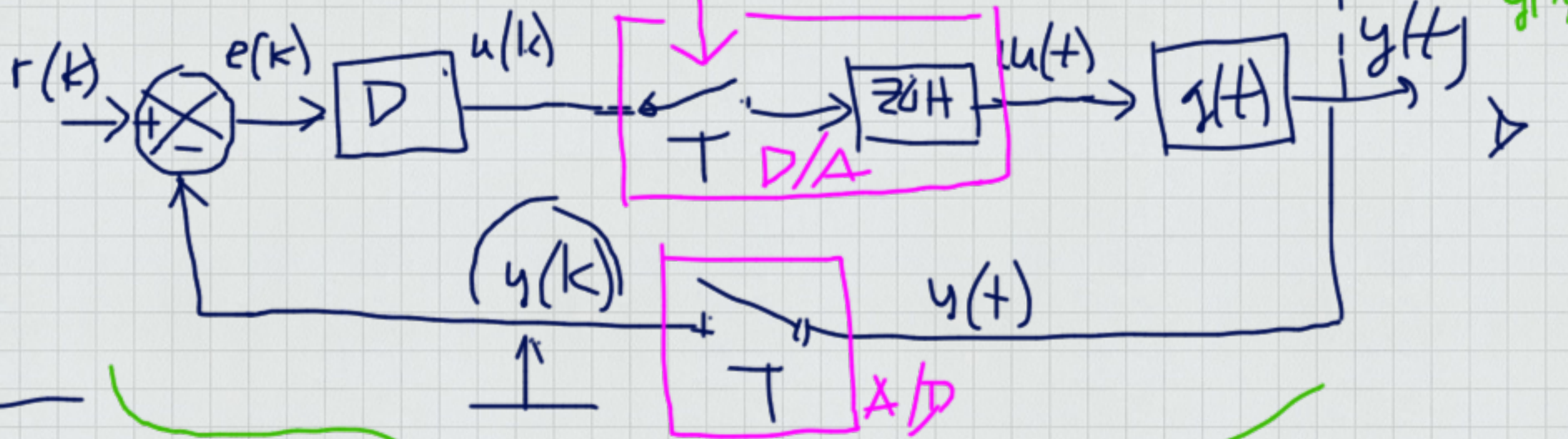
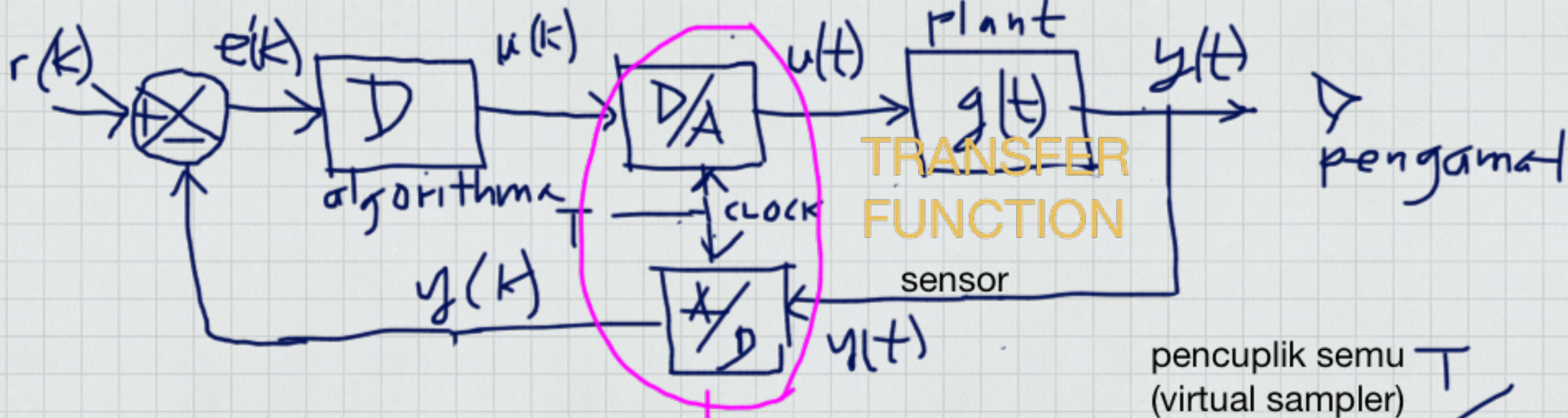
clock DATA

k	t	r(k)	y(k)	u(k)
0	0	r(0)	y(0)	u(0)
1	T	r(1)	y(1)	u(1)
2	2T	r(2)	y(2)	u(2)
3	3T	r(3)	y(3)	u(3)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	nT	r(n)	y(n)	u(n)

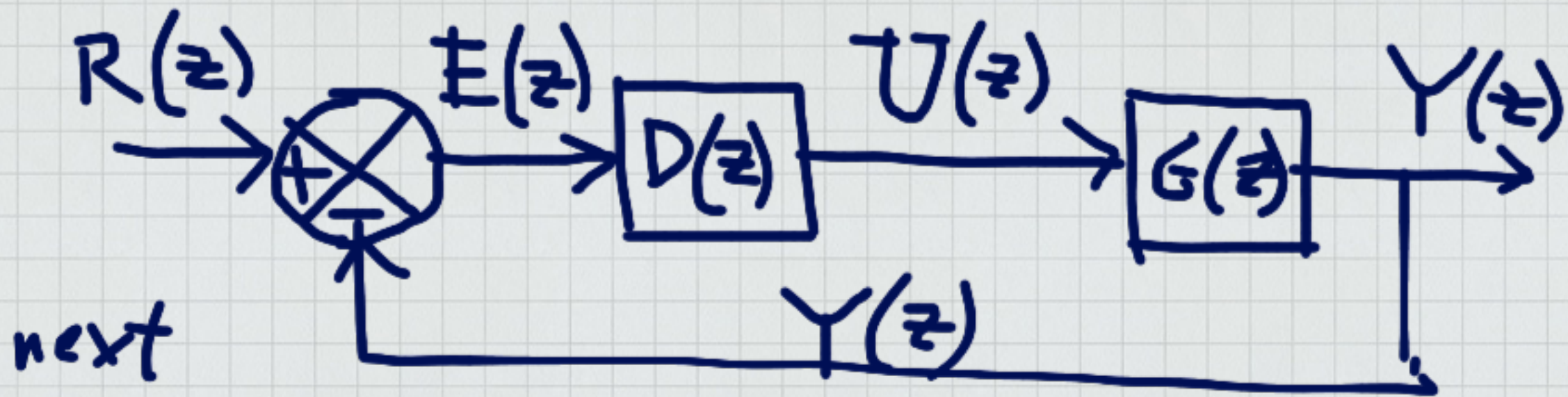


waktu diskrit
waktu diskrit

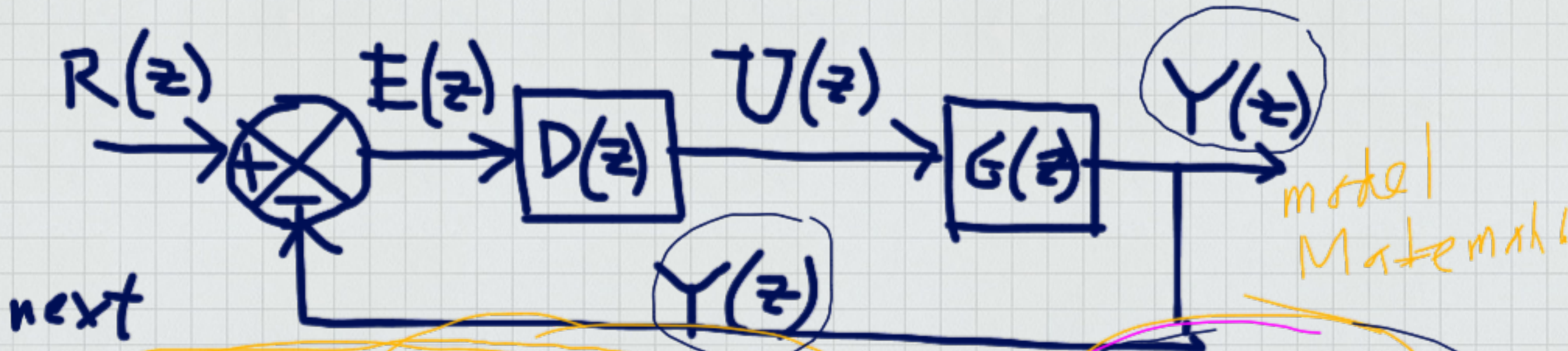




Transformasi Z



Dasar² Transformasi }



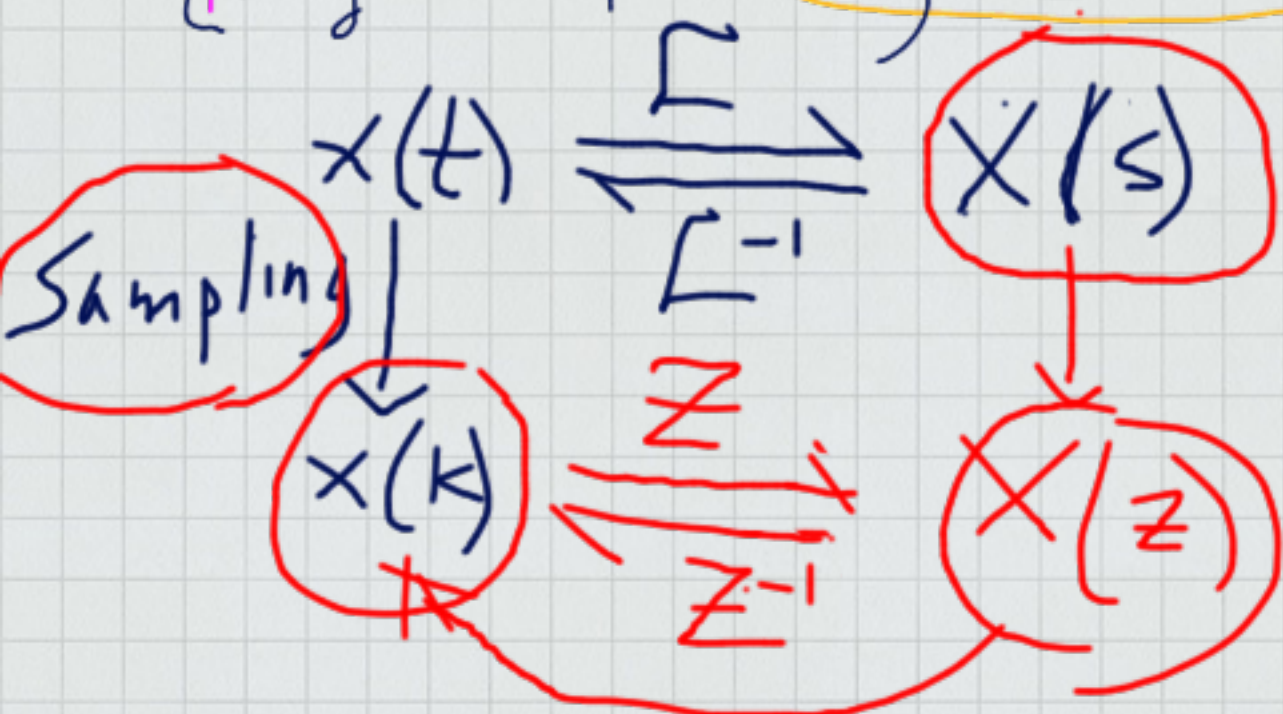
model Matematika

next

Dasar 2 Transformasi

(by Prof RagaZZini)

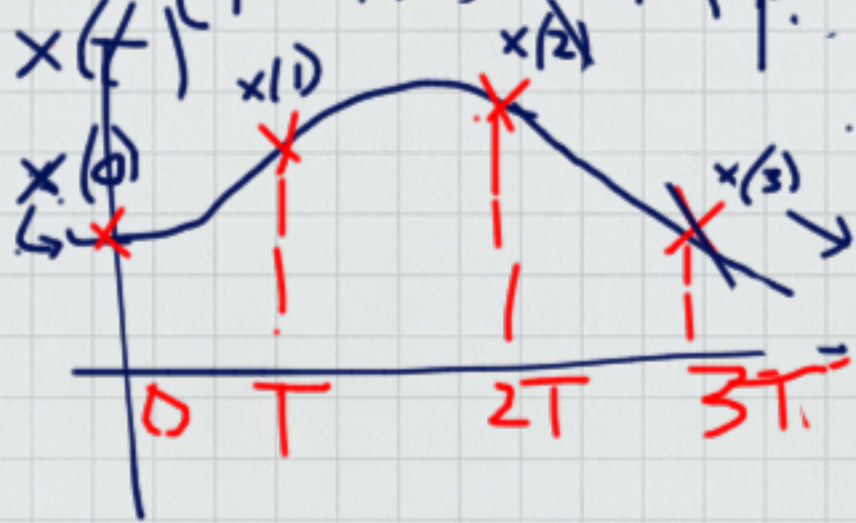
- $r(k) \rightarrow R(z)$
- $e(k) \rightarrow E(z)$
- $u(k) \rightarrow U(z)$
- $y(k) \rightarrow Y(z)$
- $D \rightarrow D(z)$
- $g(t) \rightarrow G(z)$



$z = \text{kebalikan dari "delay" (unda)}$
 $z^{-1} = \frac{1}{z} = \Delta \text{ (waktu tunda)}$

$$x(t) \xrightarrow{\text{sampling}} x(k) \xrightarrow{z} X(z)$$

(periodik, periode T)



$$x(k) = x(0)\delta(t) + x(1)\delta(t-T) + \dots + x(k)\delta(t-kT) + \dots$$

$$= \sum_{i=0}^{\infty} x(i)\delta(t-iT)$$

$$\delta(t-iT) = z^{-i} \Rightarrow$$

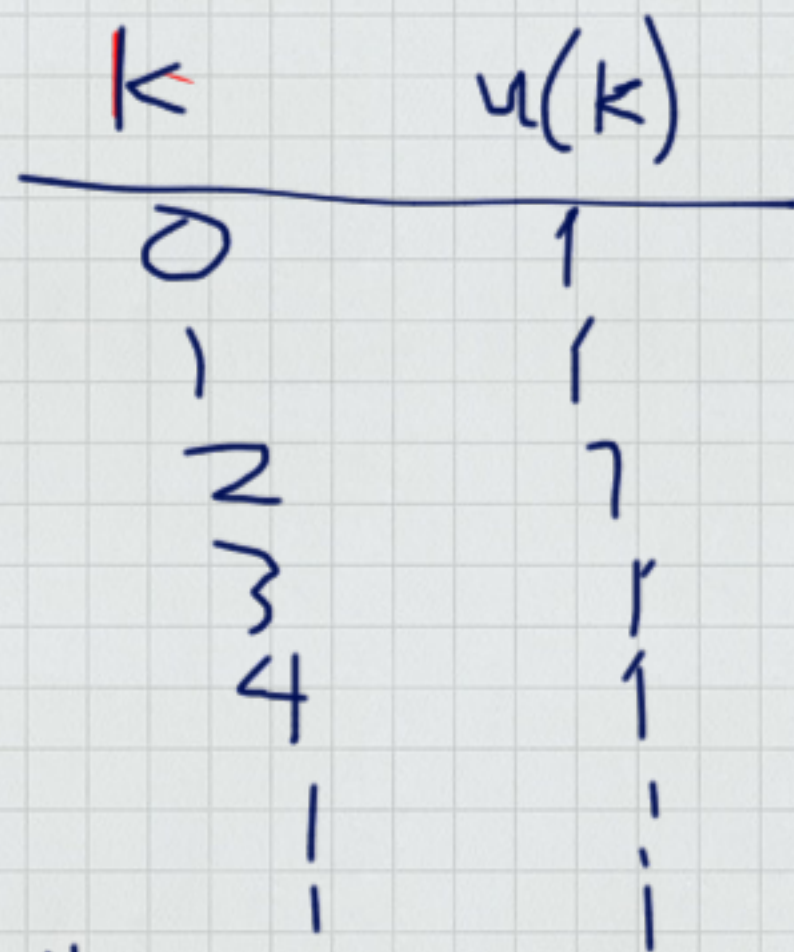
$\uparrow$
i kali DELAY

$$X(z) = z^0 x(0) + z^{-1} x(1) + \dots$$

$$= \sum_{i=0}^{\infty} z^{-i} x(i)$$

Contoh: $u(t) \begin{cases} = 0, & t < 0 \\ = 1, & t \geq 0 \end{cases}$

dicuplik dengan periode T



$$U(z) = \sum u(k)$$

$$= \sum_{i=0}^{\infty} z^{-i} u(i)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= z^0 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + z^{-4} + \dots$$

$$= 1 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + z^{-4} + \dots$$

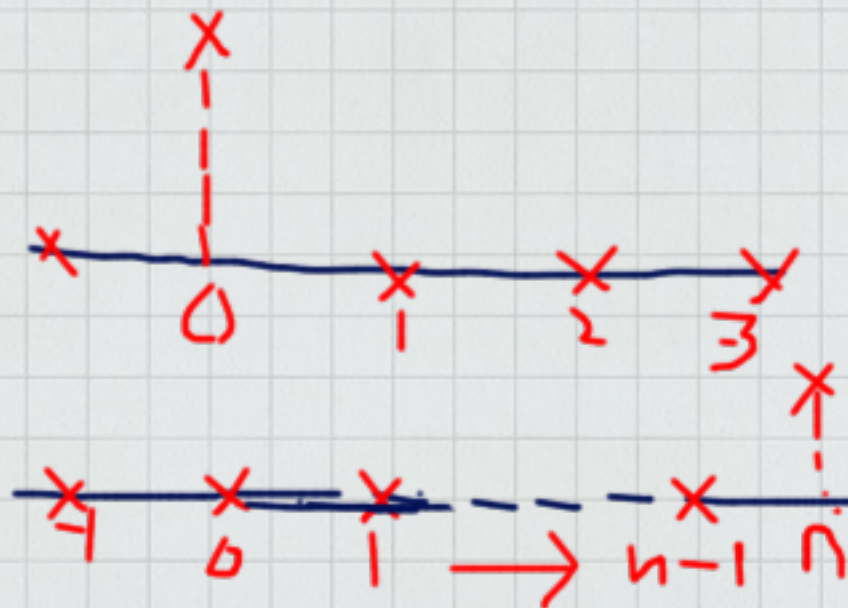
$$= 1 + z^{-1} (1 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots) = 1 + z^{-1} U(z)$$

$$U(z) - z^{-1} U(z) = 1 \rightarrow (1 - z^{-1}) U(z) = 1 \rightarrow U(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}}$$

Jadi $u(t)$, unit step, undak satuan di cuplik secara periodik menjadi $u(k)=1, k=0,1,2,3,$ jika di-transformasi menjadi $U(z)=\sum u(k)$ hasilnya:

$$U(z) = \frac{1}{1-z^{-1}} = \frac{z}{z-1}$$

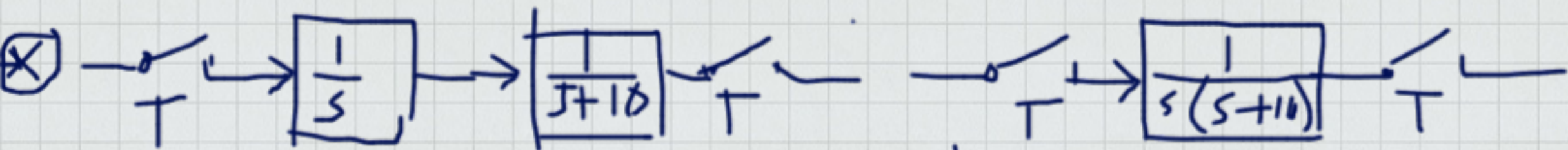
Untuk isyarat? tercuplik lainnya, dapat dilihat pada Tabel Transformasi z .



$$x(k) \begin{cases} = 0, & k \neq 0 \\ = 1, & k = 0 \end{cases} \quad \left. \vphantom{x(k)} \right\} z x(k) = 1$$

$$y(k) \begin{cases} = 0, & k \neq n \\ = 1, & k = n \end{cases} \quad \left. \vphantom{y(k)} \right\} z y(k) = z^{-n}$$

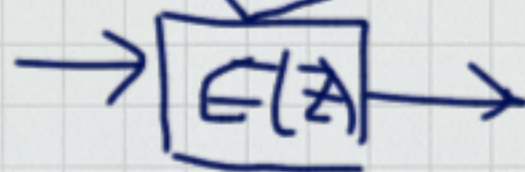
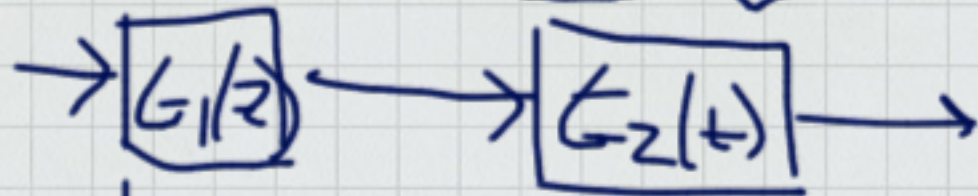
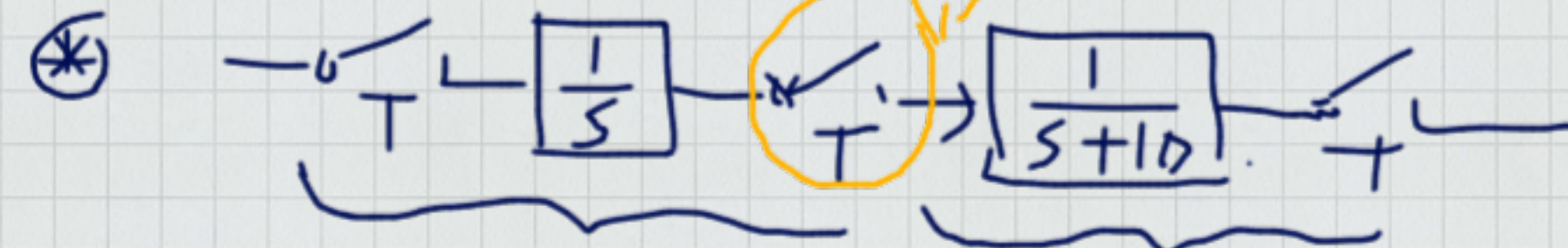
* Posisi pencuplik $T=1 \text{ sec}$



$$G(z) = \mathcal{Z} \left\{ \frac{1}{s(s+10)} \right\} \text{ (lihat Table)}$$

$$= \mathcal{Z} \left\{ \frac{1}{10} \left[\frac{10}{s(s+10)} \right] \right\}$$

$$= \frac{1}{10} \mathcal{Z} \left\{ \frac{10}{s(s+10)} \right\} = \frac{1}{10} \frac{z(1-e^{-10})}{(z-1)(z-e^{-10})} = \frac{0,099995z}{(z-1)(z-0,000005)}$$

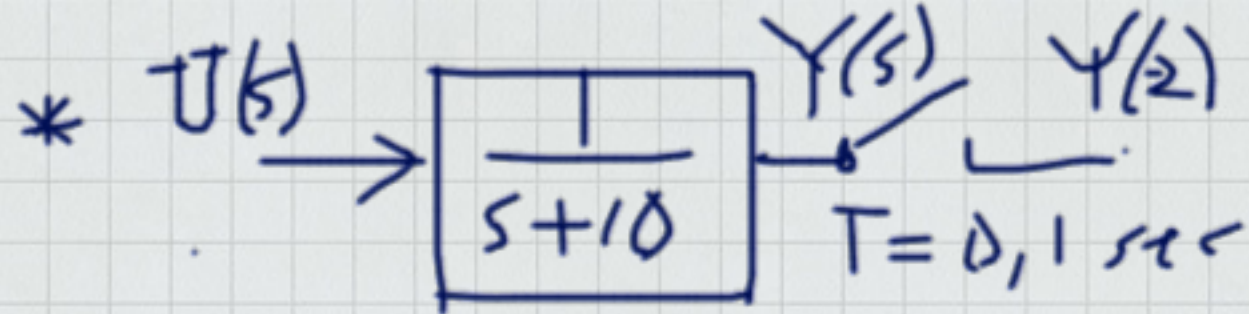


$$G_1(z) = \frac{z}{z-1}$$

$$G_2(z) = \frac{z}{z-e^{-10}}$$

$$G(z) = G_1(z) \cdot G_2(z)$$

$$= \frac{z^2}{(z-1)(z-e^{-10})}$$



$$Y(s) = \left(\frac{1}{s+10} \right) U(s) = \frac{1}{s(s+10)}$$

$$y(k) = z^{-1} Y(z)$$

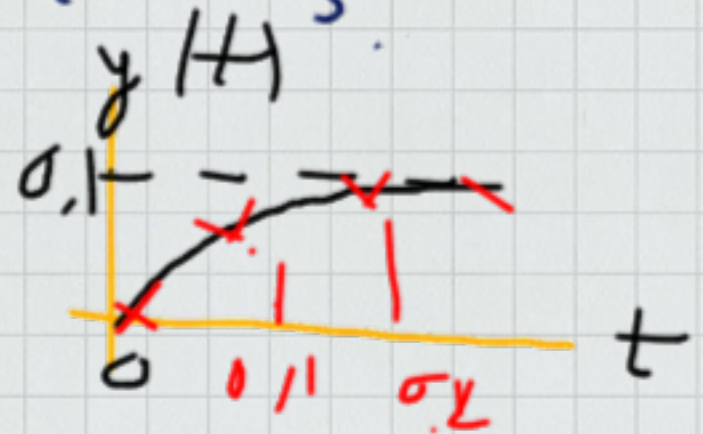
cuplikan isyarat $y(t)$

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} Y(s)$$

$$U(s) = \int u(t) = \frac{1}{s}$$

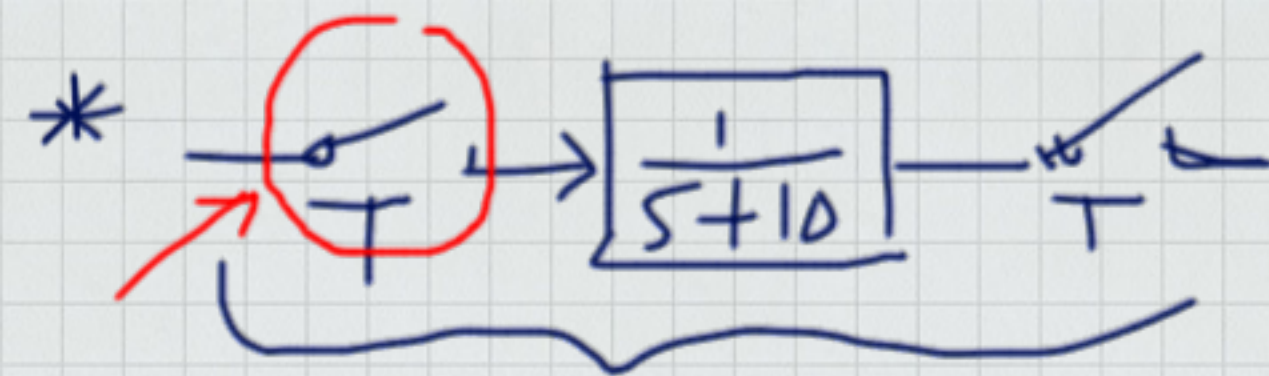
$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} Y(s) = \frac{1}{10} (1 - e^{-10t})$$

cuplikan $y(t)$, $T = 0,1$



t	k	y(t)
0	0	0
0,1	1	$0,1(1 - e^{-1}) = 0,06321$
0,2	2	$0,1(1 - e^{-2}) = 0,08647$
0,3	3	$0,1(1 - e^{-3}) = 0,09502$
0,4	4	$0,1(1 - e^{-4}) = 0,09817$
0,5	5	$0,1(1 - e^{-5}) = 0,09933$

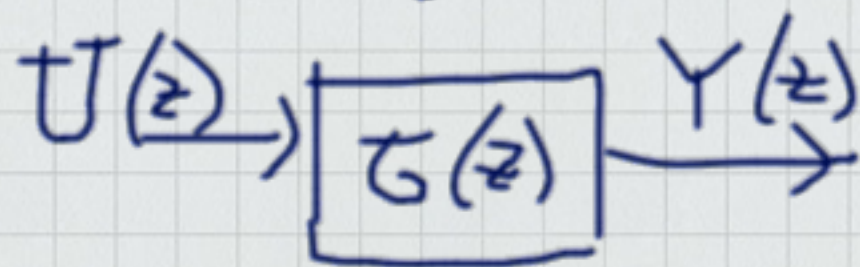
$\Rightarrow 0,1$



$$G(z) = Z \frac{1}{5+z}$$

$$= \frac{z}{z - e^{-1}} = \frac{z}{z - 0,3679}$$

$$T = 0,161$$



$$U(z) = Z U(k) = Z \frac{1}{5} = \frac{z}{z-1}$$

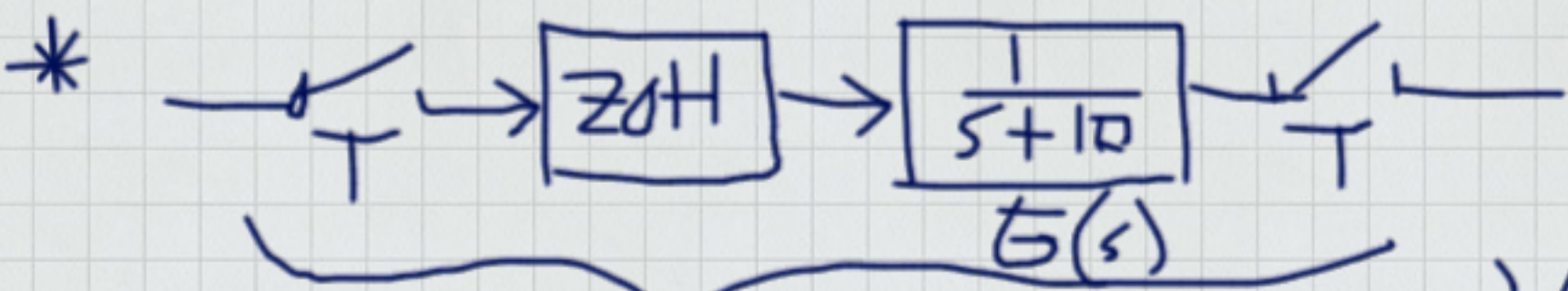
$$Y(z) = G(z)U(z) = \left(\frac{z}{z-0,3679} \right) \left(\frac{z}{z-1} \right)$$

Dengan pembagian:

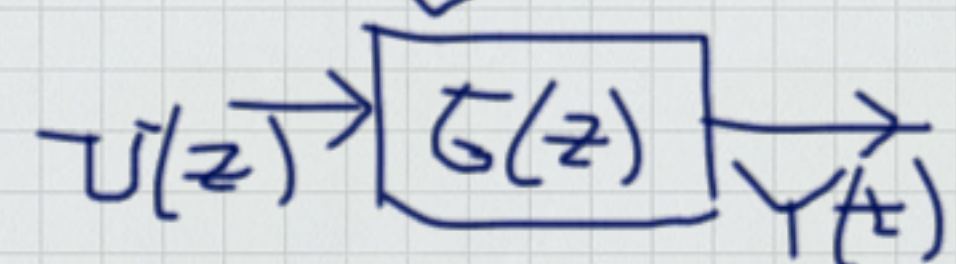
$$= \frac{z^2}{z^2 - 1,3679z + 0,3679}$$

$$\begin{array}{r} 1 + 1,3679z^{-1} + \dots \\ z^2 - 1,3679z + 0,3679 \overline{) z^2} \\ \underline{z^2 - 1,3679z + 0,3679} \\ 1,3679z - 0,3679 \\ \underline{1,3679z -} \dots \end{array}$$

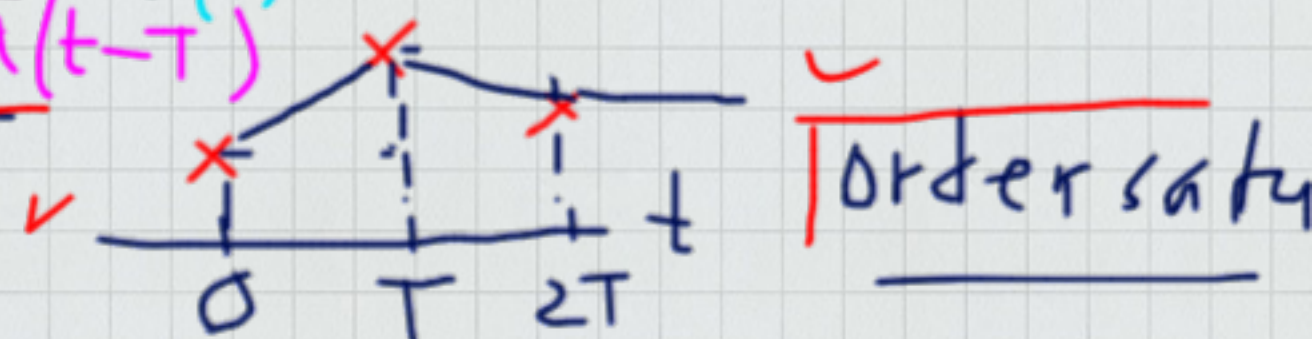
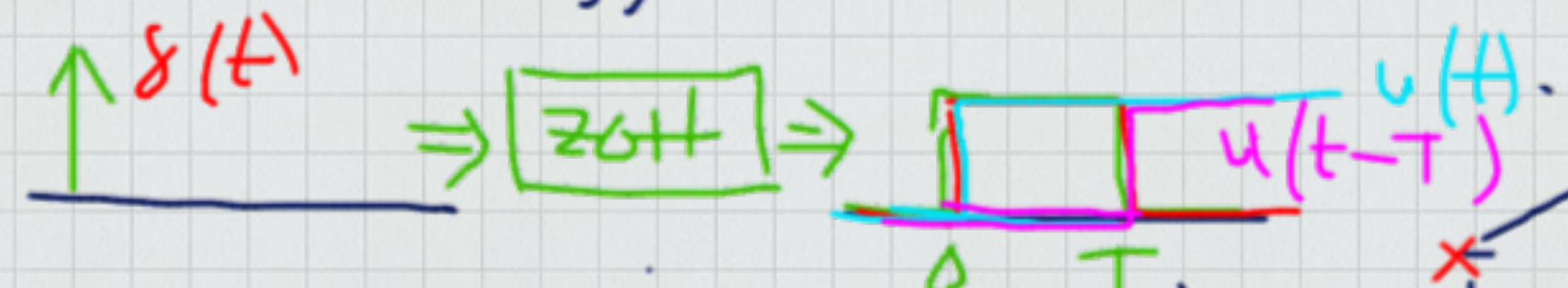
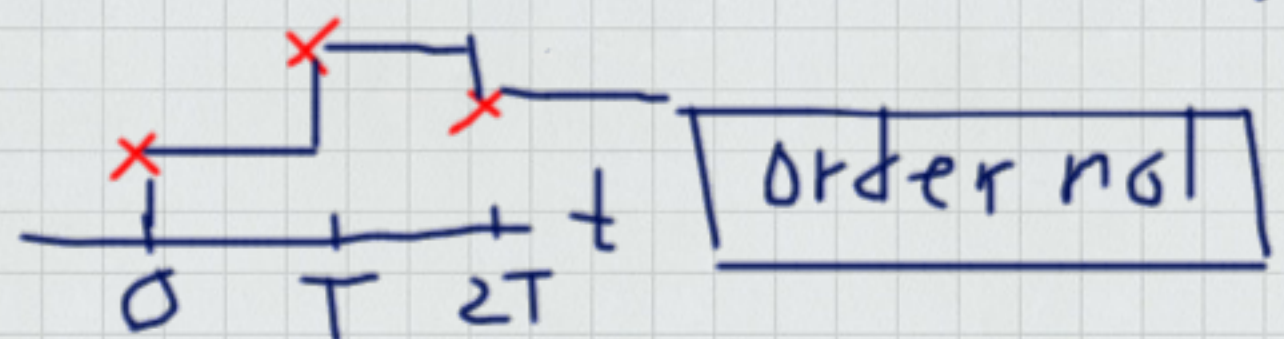
k	y(k)
0	1
1	1,3679
⋮	⋮



ZOH = Zero Order Hold
(Penahan Order Nol)



Model Nisbah Alih dari
ZOH $\rightarrow$ tanggapan denyut



$$\mathcal{L}[u(t) - u(t-T)] = \frac{1}{s}(1 - e^{-Ts})$$

$$G(z) = \mathcal{Z} \left[\frac{1}{s}(1 - e^{-Ts}) \right] G(s) = \mathcal{Z}(1 - e^{-Ts}) \left[\frac{G(s)}{s} \right]$$

$$= (1 - z^{-1}) \mathcal{Z} \left[\frac{G(s)}{s} \right]$$

$$U(z) = \frac{z}{z-1} \rightarrow Y(z) = G(z)U(z)$$

$$y(k) = z^{-1} Y(z)$$

$$= z^{-1} \left[\begin{array}{c} \text{ } \\ \text{ } \end{array} \right]$$

$$= \frac{0,06321}{(z-0,3679)} \frac{z}{z-1}$$

$$= \frac{0,06321}{(z-1)(z-0,3679)}$$

$$= \frac{0,06321z}{z^2 - 1,3679z + 0,3679}$$

$$z^2 - 1,3679z + 0,3679 \over 0,06321z^{-1} + 0,08647z^{-2} + 0,0950z^{-3}$$

$$0,06321z - 0,08647 + 0,0233z^{-1}$$

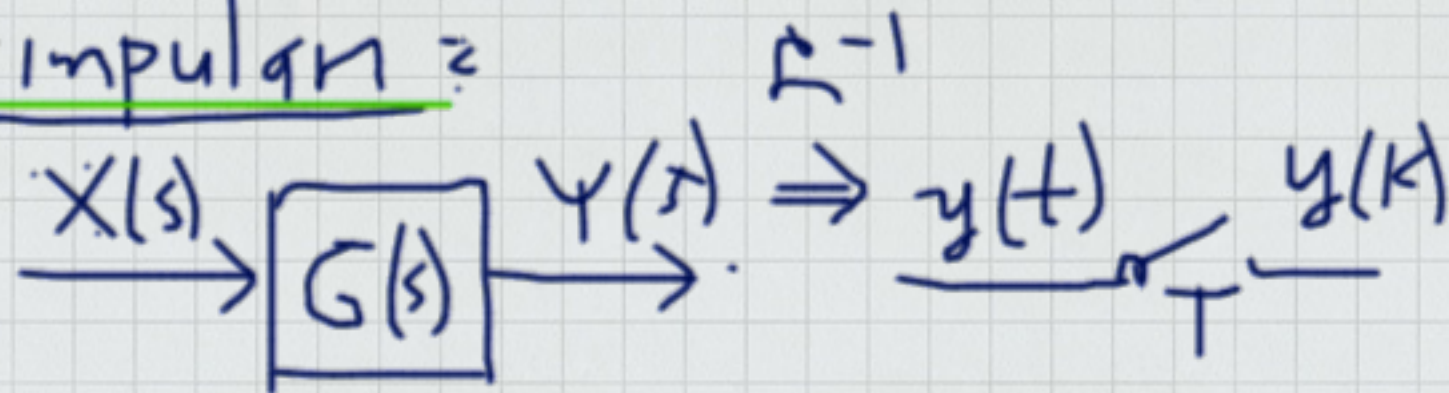
$$k \quad y(k)$$

$$\begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \quad \begin{array}{c} 0 \\ 0,06321 \\ 0,08647 \\ 0,0950 \end{array}$$

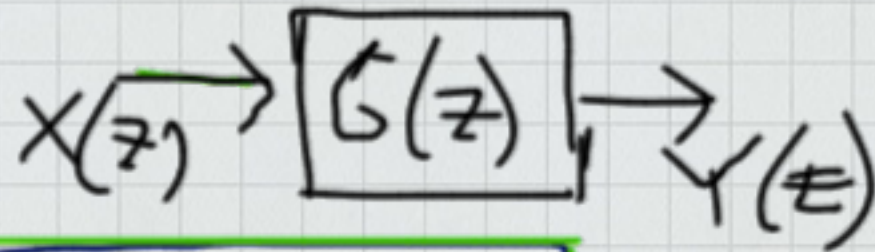
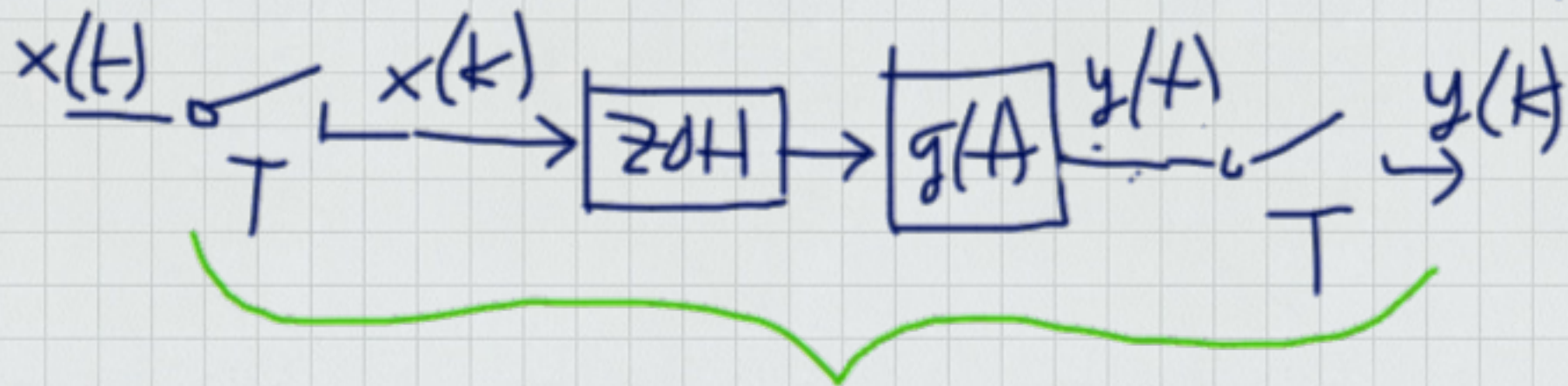
$$\downarrow \left. \begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right\} = y(k)$$

$$\begin{array}{r} 0,08647 - 0,1233z^{-1} \\ 0,08647 - 0,1183z^{-2} + 0,0510z^{-3} \\ \hline 0,0950z^{-1} \end{array}$$

Kesimpulan:



dapat dimodelkan secara akurat menjadi.

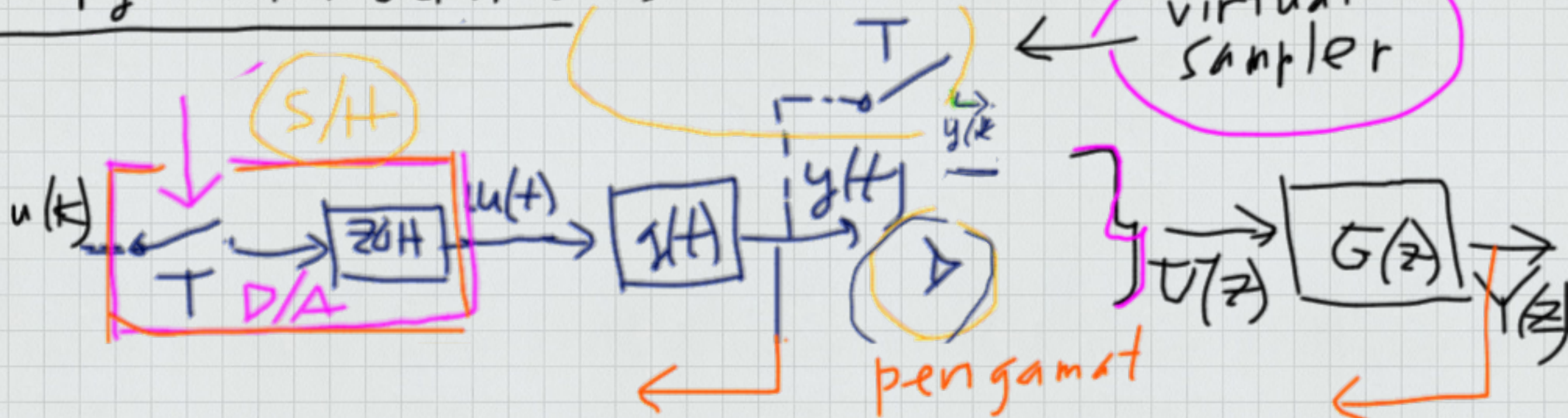


$$G(z) = \frac{z-1}{z} \left[\frac{G(s)}{s} \right]$$

$$G(s) = \mathcal{L} \{ g(t) \}$$

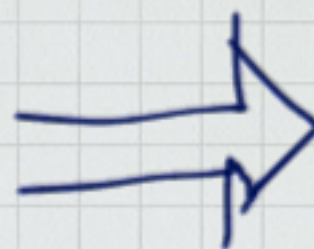
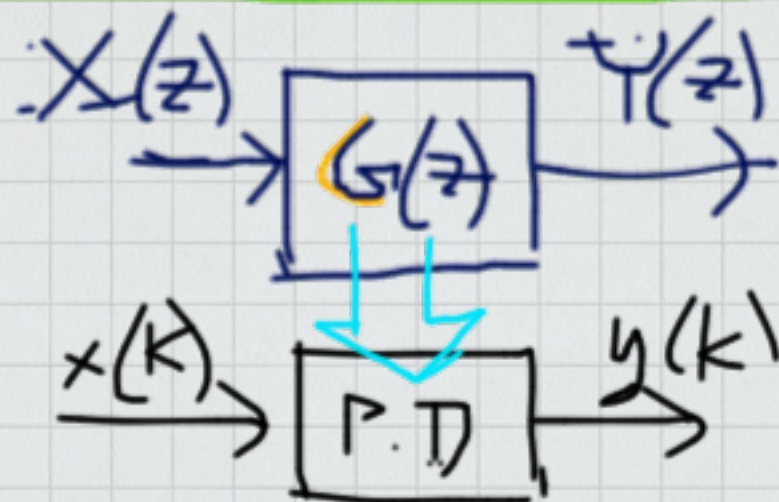
sehingga $\rightarrow$

Copy dari model SKD :



Pekan Depan : [28/03/2016 MID di Tnlrea
30/03/2016 MID di Gowa]

* Persamaan "Difference"



Persamaan
Difference =
 $y(k) = f(x(k), y(k-1))$
↓ ↓
Program

Contoh

$$G(z) = \frac{0,06321}{z - 0,3679}$$

$$\rightarrow y(k) = \dots ?$$

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0,06321 z^{-1}}{1 - 0,3679 z^{-1}}$$

pembilang dan penyebut dibagi dengan z pangkat TERTINGGI!

Dikali silang:

$$(1 - 0,3679 z^{-1}) Y(z) = 0,06321 z^{-1} U(z)$$

$$Y(z) - 0,3679 z^{-1} Y(z) = 0,06321 z^{-1} U(z)$$

Inverse Trans. z :

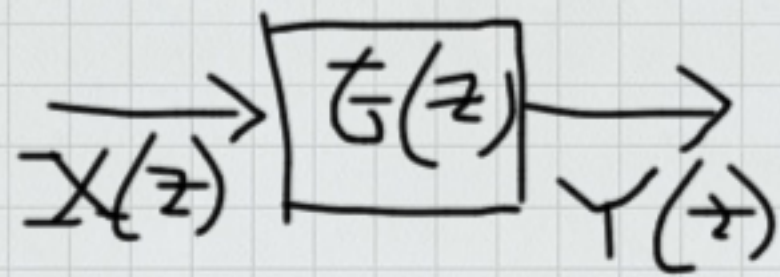
$$y(k) - 0,3679 y(k-1) = 0,06321 u(k-1)$$

Pers. Difference

$$y(k) = 0,06321 u(k-1) + 0,3679 y(k-1)$$

k	u(k)	y(k)
0	1	0 ✓
1	1	0,06321
2	1	0,08641
3	1	0,09562
4	1	

* Contoh:



Diketahui: $G(z) = \frac{z}{z^2 - 1}$
 $X(z) = \sum x(k)$, dengan

Ditanyakan $y(k)$, $k = 0, \dots, 5$

* Dengan Pembagian

* Dengan Pers. Diff.

<u>k</u>	<u>x(k)</u>
0	1
1	0
2	1
> 2	0

* Dengan Pembagian.

$$X(z) = \sum x(k) = 1 + z^{-2} = \frac{z^2 + 1}{z^2}$$

$$G(z) = \frac{z}{z^2 - 1}$$

$$Y(z) = G(z)X(z) = \frac{\cancel{z}}{z^2 - 1} \cdot \frac{z^2 + 1}{\cancel{z^2}} = \frac{z^2 + 1}{z(z^2 - 1)} = \frac{z^2 + 1}{z^3 - z}$$

Dengan Pembagian $\Rightarrow$

$$\begin{array}{r}
 z^3 - 2 \\
 \underline{z^2 + 1} \\
 z^2 - 1 \\
 \underline{2} \\
 2 - 2z^{-2} \\
 \underline{2z^{-2}} \\
 2z^{-2} - 2z^{-4} \\
 \underline{2z^{-4}}
 \end{array}
 \Rightarrow$$

k	x(k)	y(k)
0	1	0
1	0	1
2	1	0
3	0	2
4	0	0
5	0	2

~~BISA dgn~~

* Dengan Pers. Difference

$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{z}{z^2 - 1} = \frac{z^{-1}}{1 - z^{-2}}$$

$$\text{Kali silang} = (1 - z^{-2})Y(z) = z^{-1}X(z)$$

$$Y(z) = z^{-1}X(z) + z^{-2}Y(z)$$

Pers. Dif = $y(k) = x(k-1) + y(k-2)$

k	x(k)	y(k)
0	1	0
1	0	1
2	1	0
3	0	2
4	0	0
5	0	2

* SISTEM KENDALI DIGITAL

3 SKS : 1 SKS RHZ → 8 pekan ← MID
1 SKS EJA → 8 pekan ← FINI
1 SKS Praktikum ← IND
KEL }

Referensi : 1. Astrom & Wittenmark, "Computer-Controlled Systems"
2. <http://www.unhas.ac.id/rhiza/arsip/kuliah/> ----> Sistem Kendali Digital

Bab I Pendahuluan

Bab II Pemodelan Nisbah Alih, Transf. Z

Bab III Pemodelan Ruang Keadaan

Bab I Pendahuluan

* Nama "Sistem Kendali Digital"
(Digital Control Systems)

→ Sistem (ter)-Kendali (oleh) Komputer
(Computer-controlled Systems)

→ Sistem Kendali Data Tercuplik
(Sampled-data Control Systems)

→ Sistem Kendali Waktu Diskrit
(Discrete-Time Control Systems)

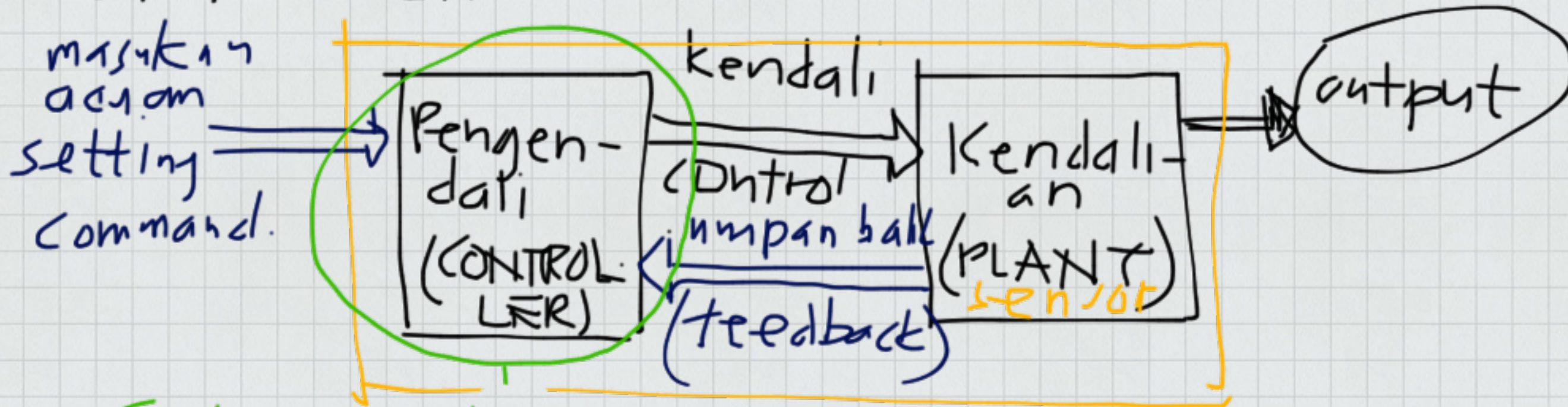
⇒ bukan → Discrete-(Event) Control Systems

Jamming
Petri

→ fabrikasi
→ manufaktur
→ proses

* Konfigurasi:

Sistem Kendali:



Sistem Kendali Digital =

SISTEM KENDALI dengan

PENGENDALI-nya

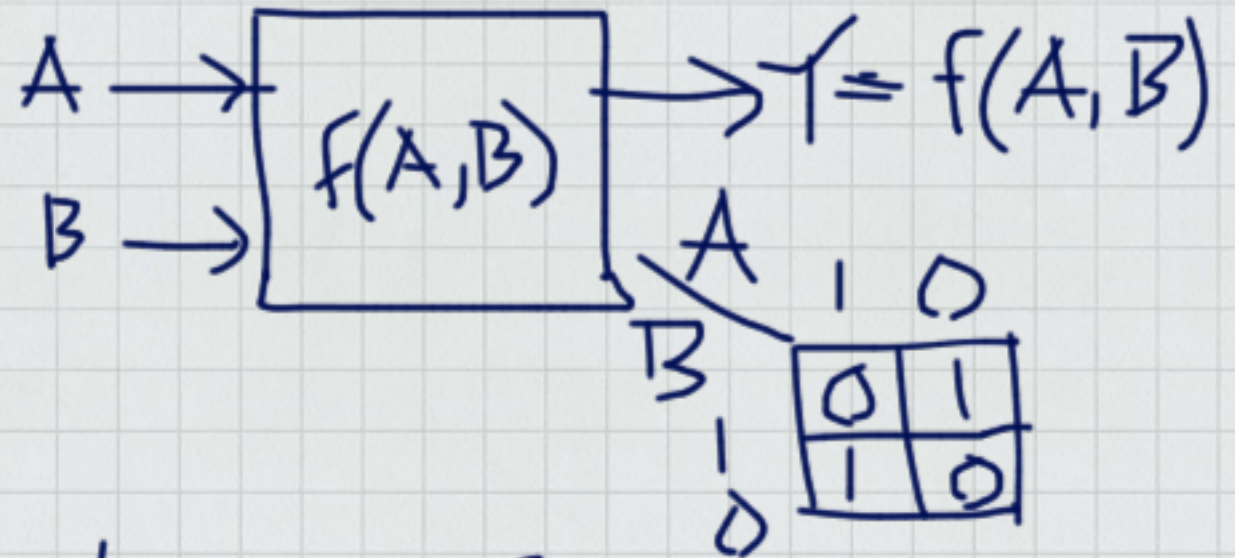
Perupa SISTEM DIGITAL

→ DIGITAL CONTROLLER

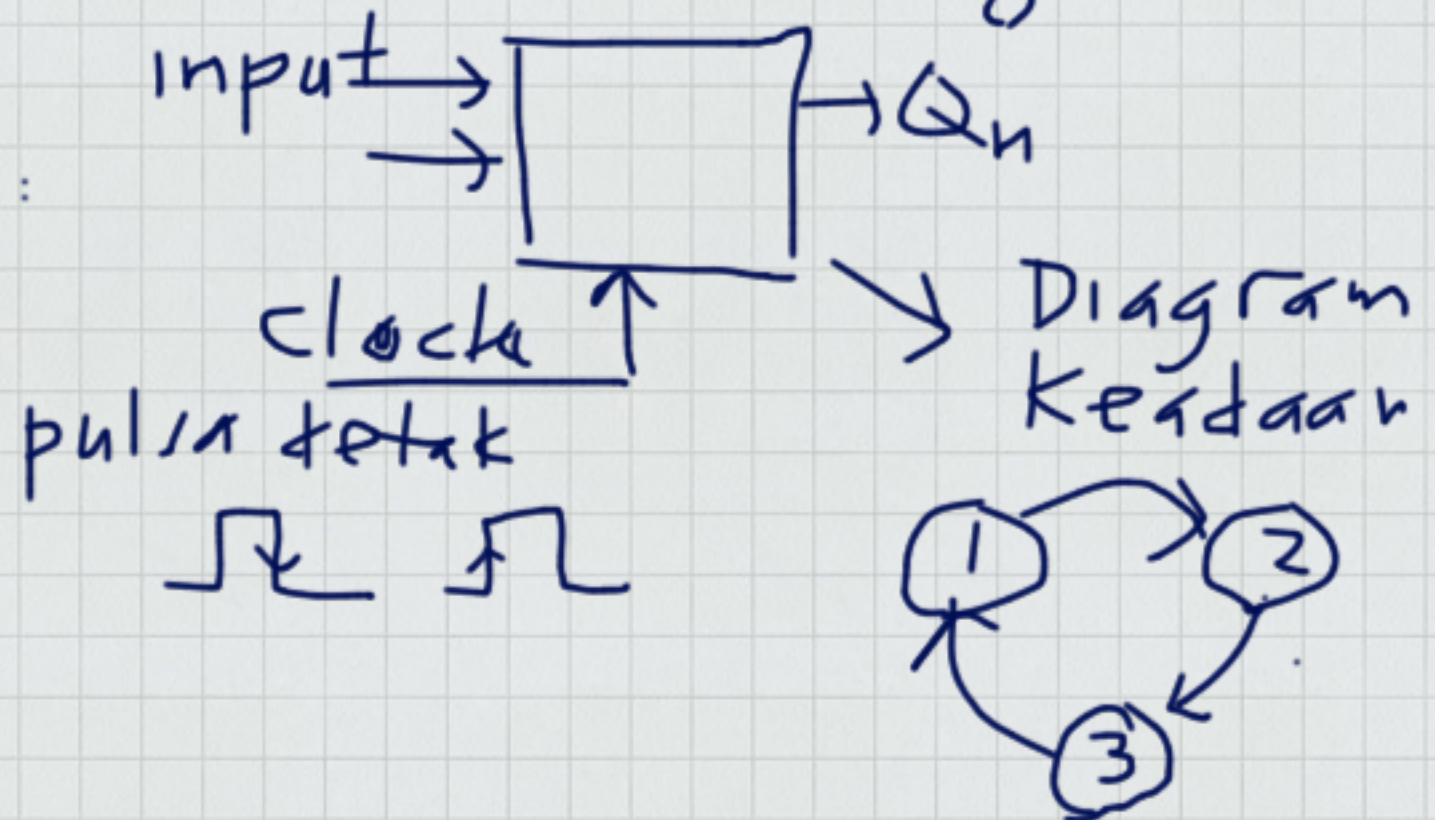
Contoh-contoh Sistem Digital yang dapat digunakan sebagai Pengendali Digital =

* Rangkaian Logika =

* Kombinatorik
gerbang



* Sekuenisial
Flip-flop :



* HDL

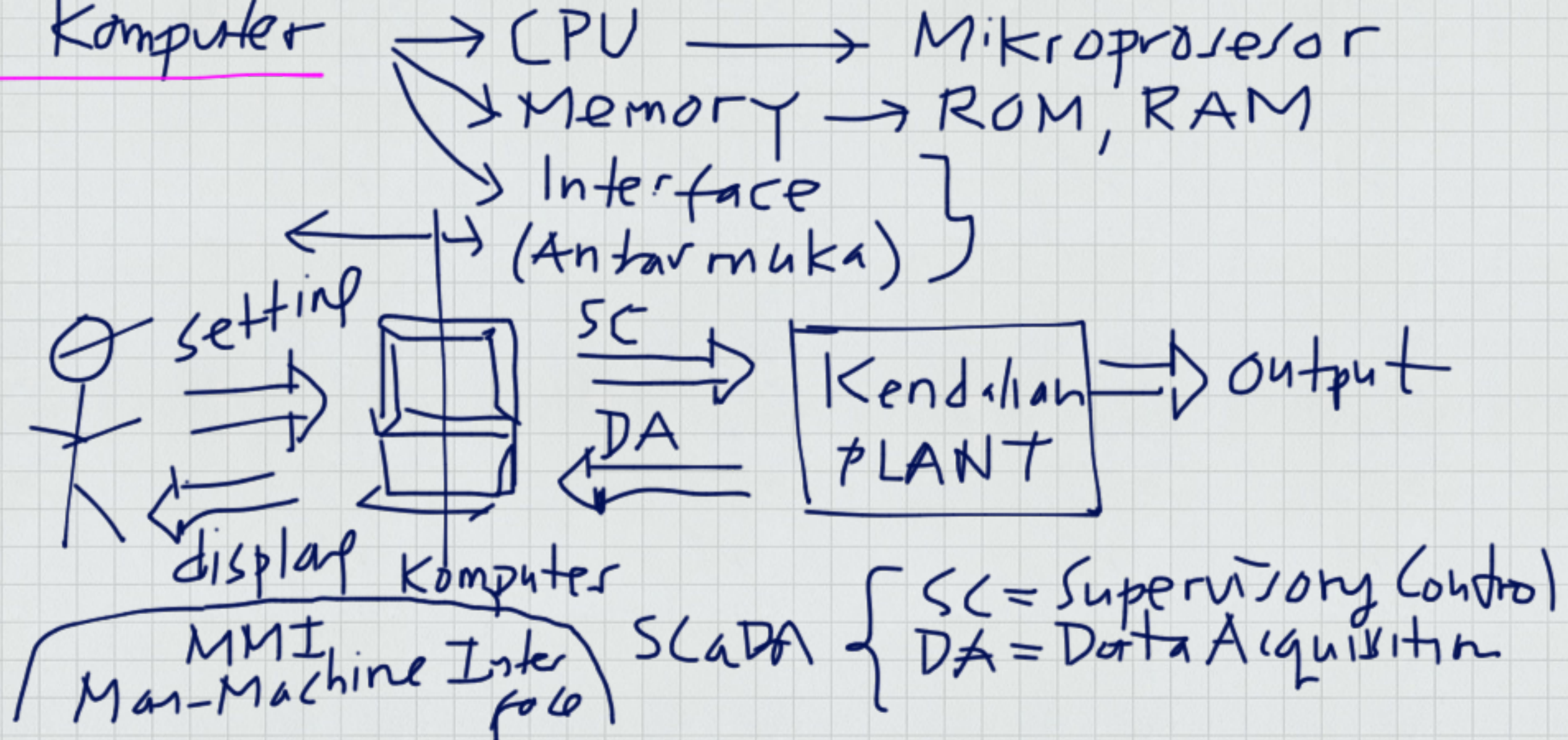
* PLC → DCS → APC

→ Programmable Logic Controller
→ Distributed Control System
→ Advanced Process Control

+ AI

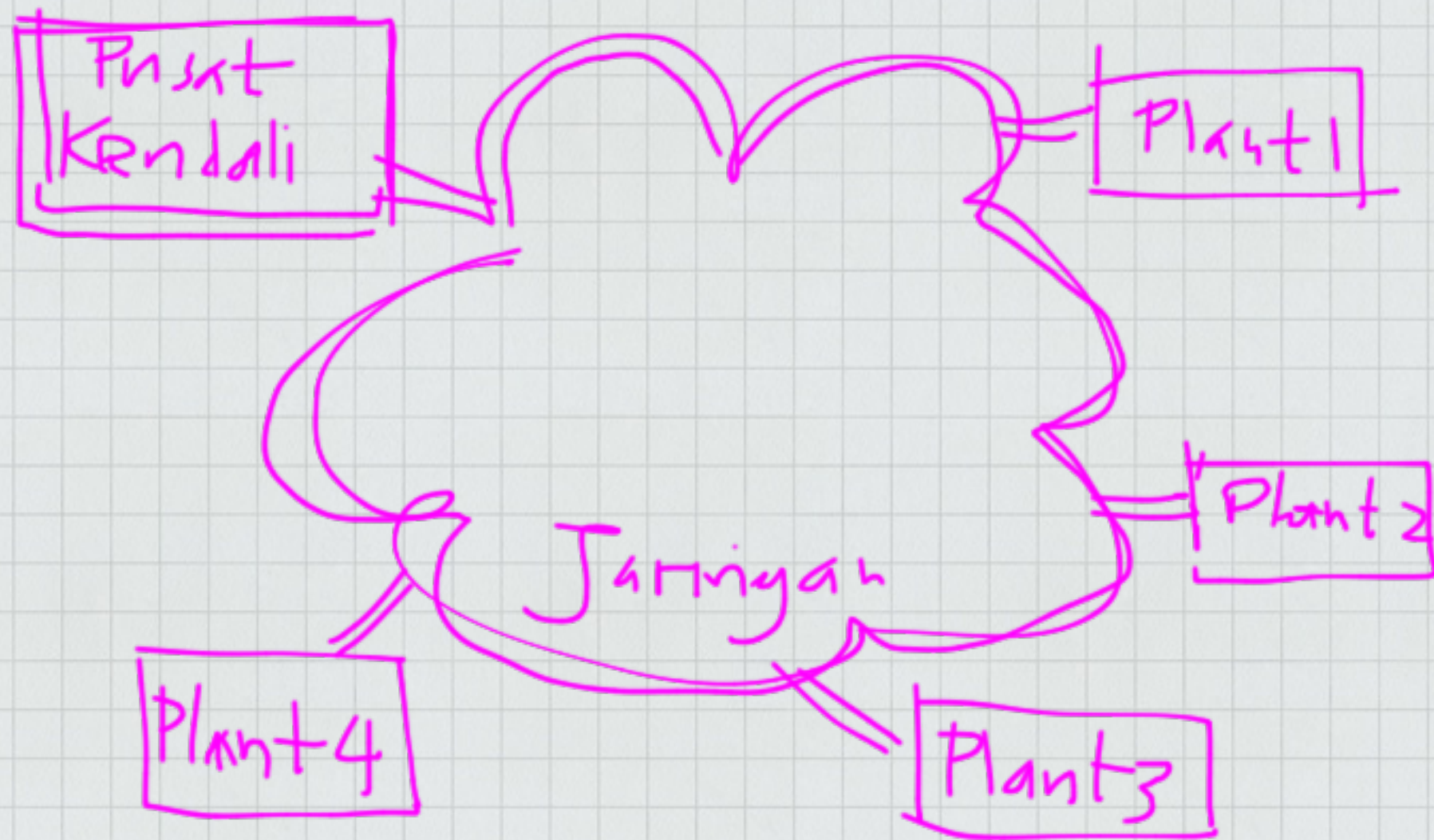
Fuzzy Neural Algorithm

* Komputer



* Microcontroller = 'Komputer Mini'

* Jaringan Komputer =



* SEJARAH

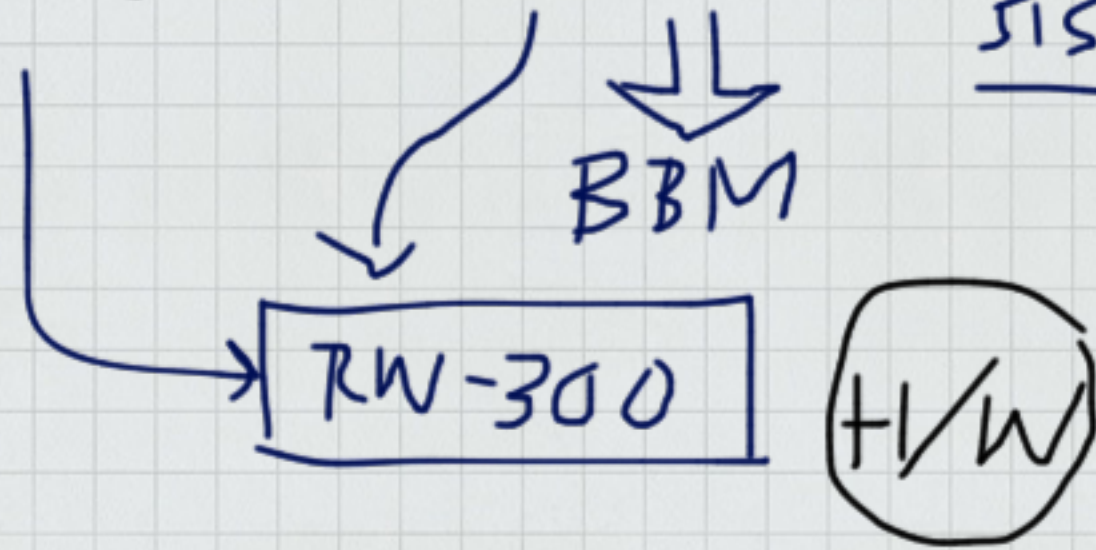
"MICRO"

- * Periode Perintis ~ 1955 RW-300
- * Periode DDC ~ 1962 ⇒ PLC ⇒ DCS ⇒ APC
- * Periode Minikomputer ~ 1967
- * Periode Mikrocomputer - 1972
 - ↳ PC-based Control Systems
- ↳ * Periode Microcontroller:
 - Intel 8031, 8051 -
 - Motorola 6800, 6811,
 - Texas Inst, → Signal Processing
- ↳ * Periode Jaringan:
- ↳ Nanotechnology

1948 ENIAC

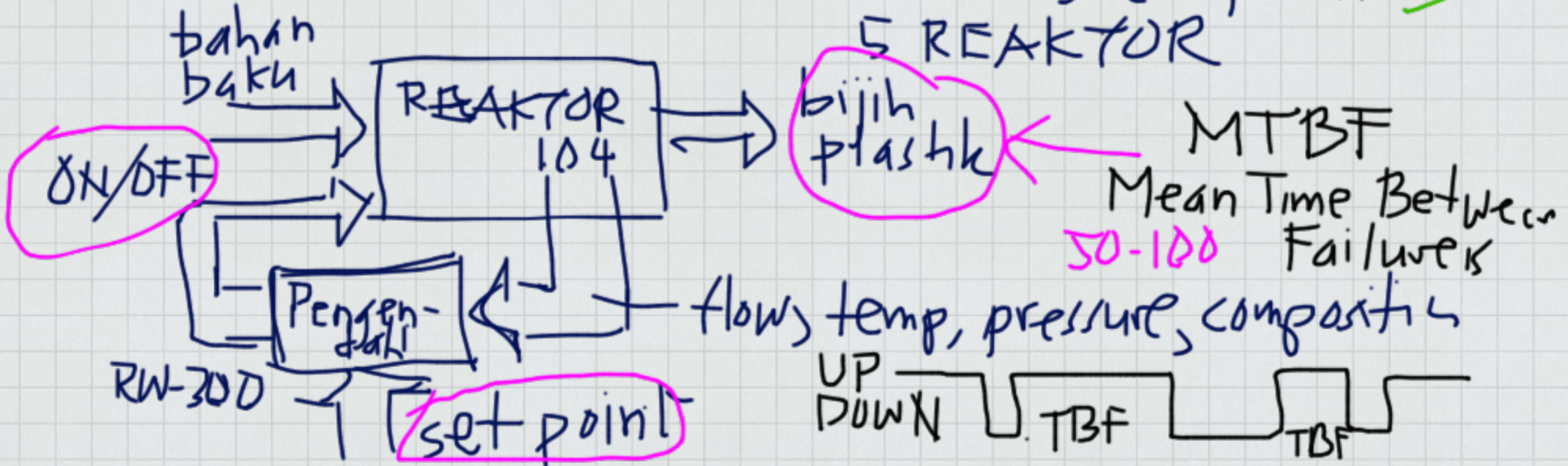
Teknologi komputer → proses industri
Maret 1956 - 1959 (3 tahun)

TRW → Texaco → polimerisasi ⇒ bijih plastik
SISA



26 flow
72 temp
3 pressure
3 composition
104

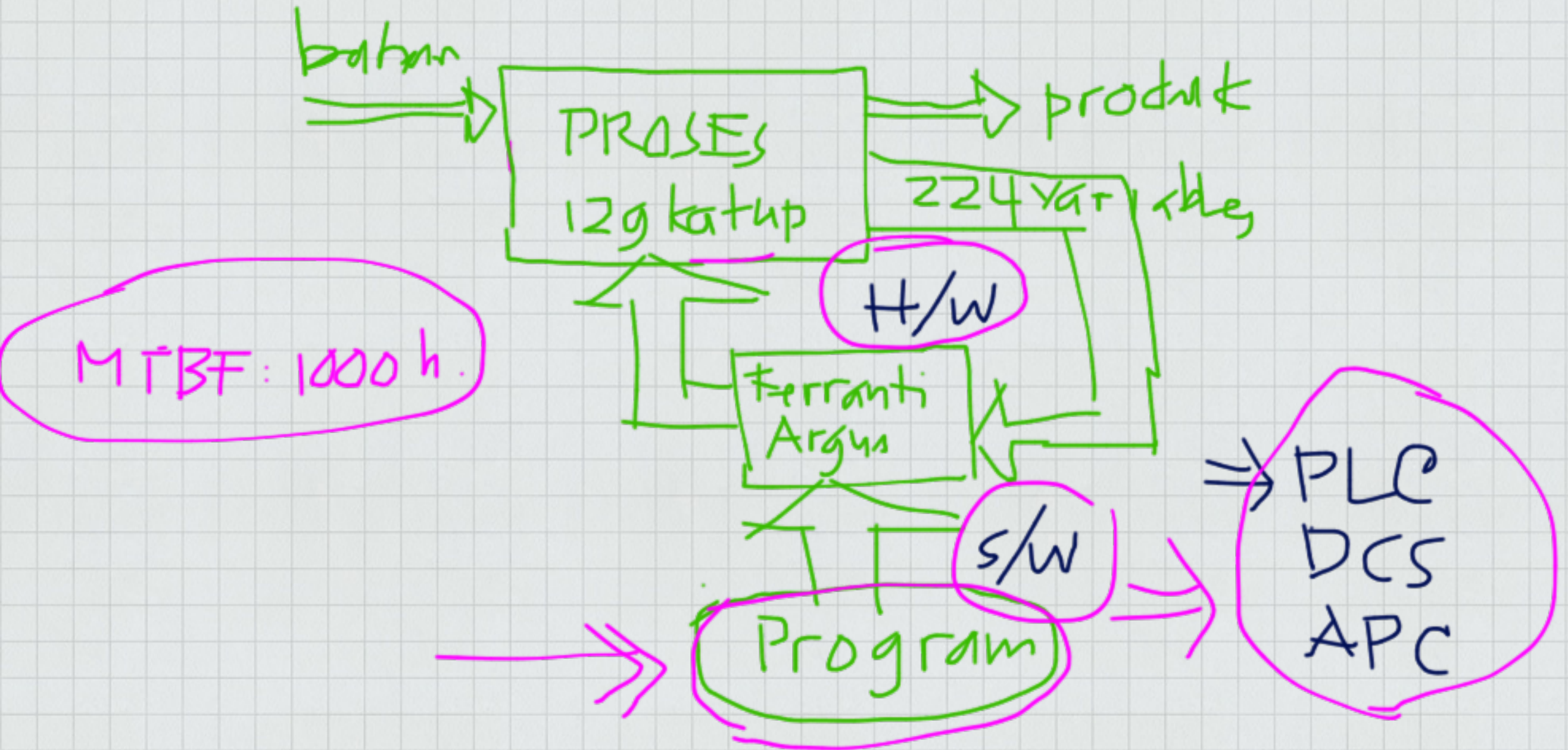
5 REAKTOR



* DDC - 1962

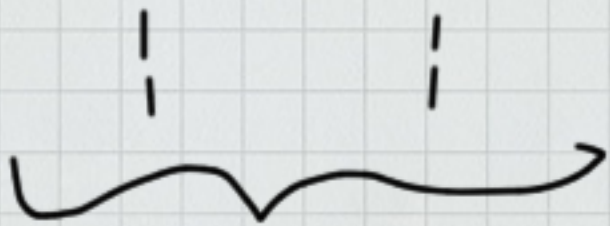
Inggris ICI

Komputer : Ferranti-Argus



* Minicomputer 1967

DEC PDP 11
IBM 360



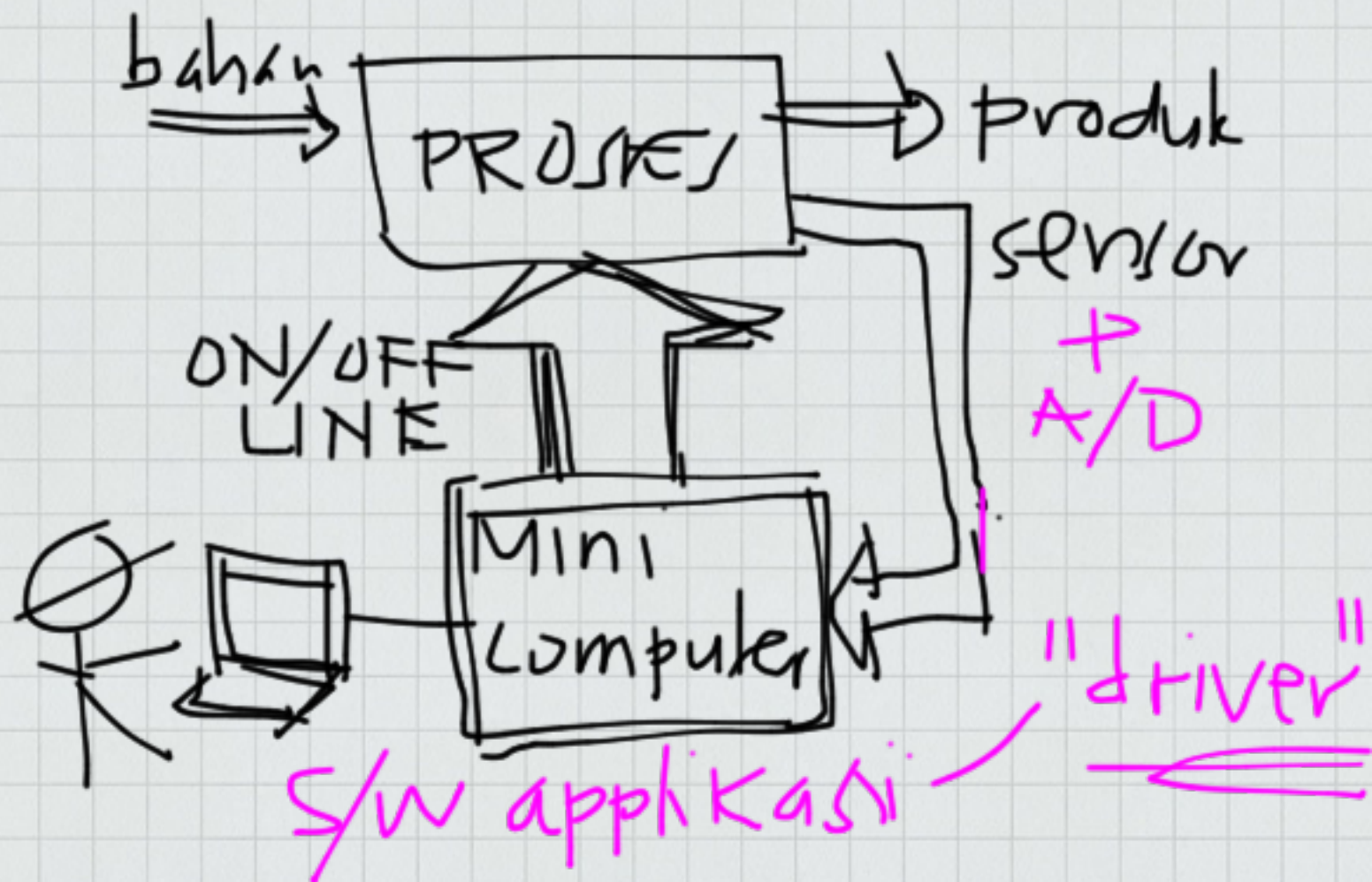
Pengolahan Data
(Data Processing)

Microprocessor

PC

Laptop

} $\Rightarrow$ + H/W + S/W
Pengendali Digital



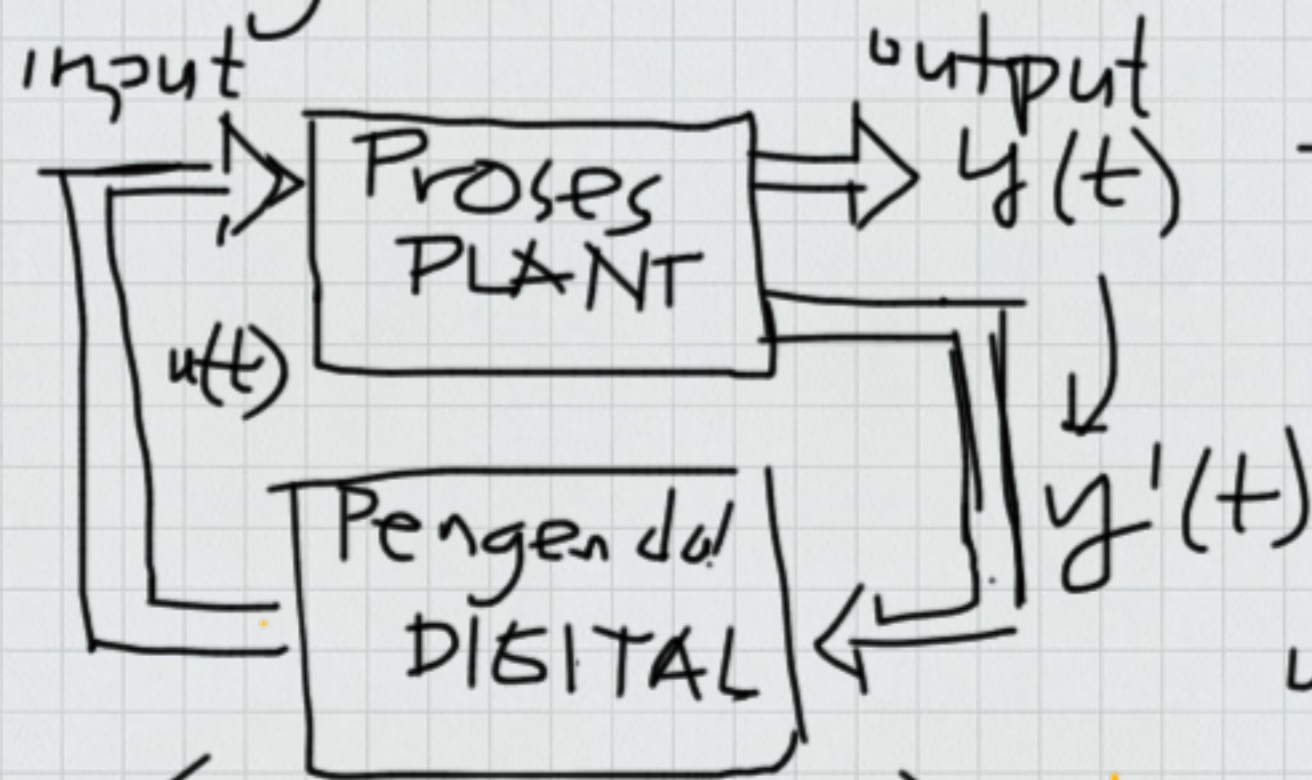
* 4 (empat) bidang yang mendukung pengembangan sistem Kendali Digital:

- (1) Pengetahuan tentang PROSES, kenda-
lian (PLANT) yang dikendalikan
- (2) PENGUKURAN → Instrumentasi,
sensor
- (3) TEKNOLOGI KOMPUTER =
Rangkaian Logika Pemrograman ⇒ Arsitektur Komp.
Mikroprosesor
- ⇒ (4) TEORI KENDALI
↳ dipelajari dalam m.k. ini

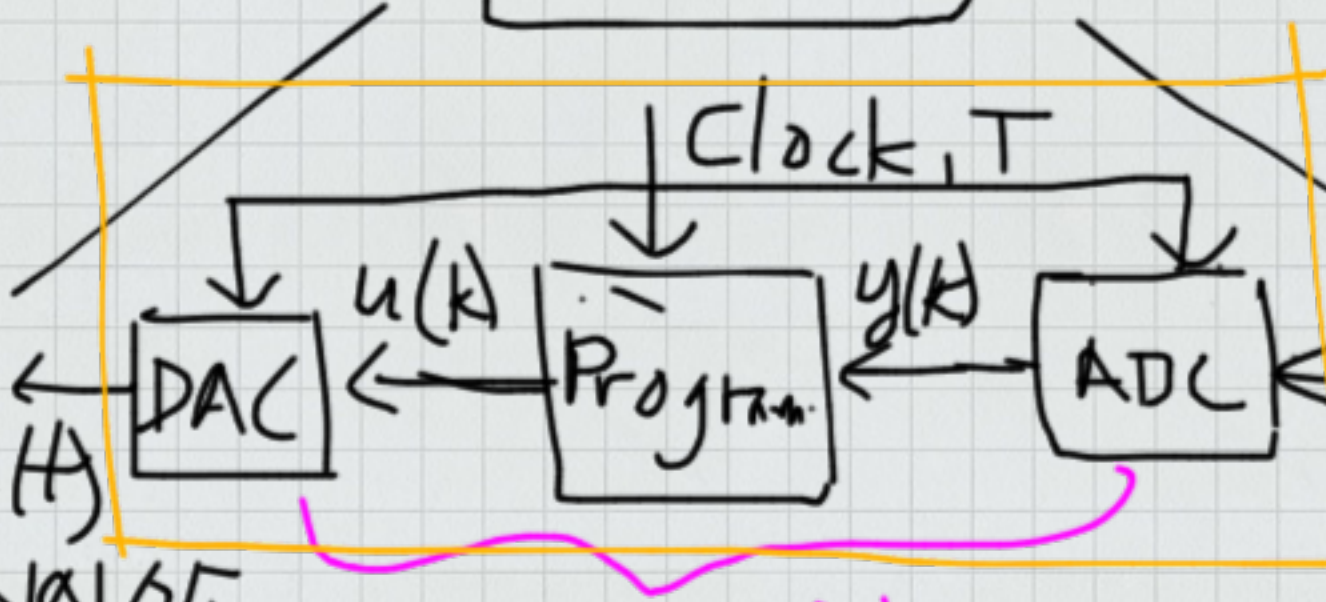
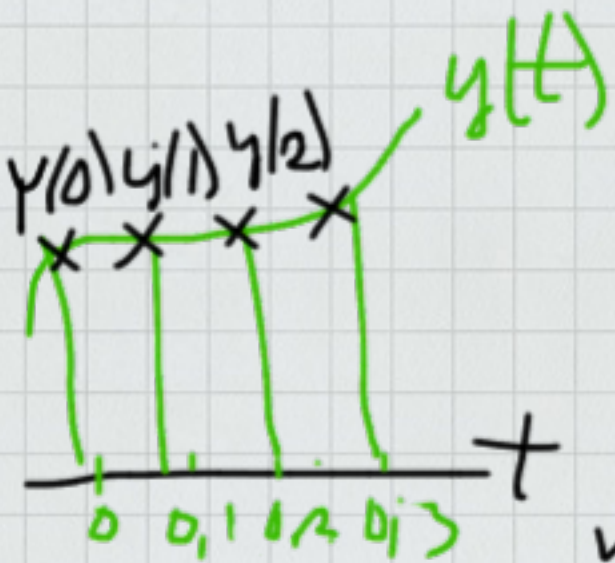
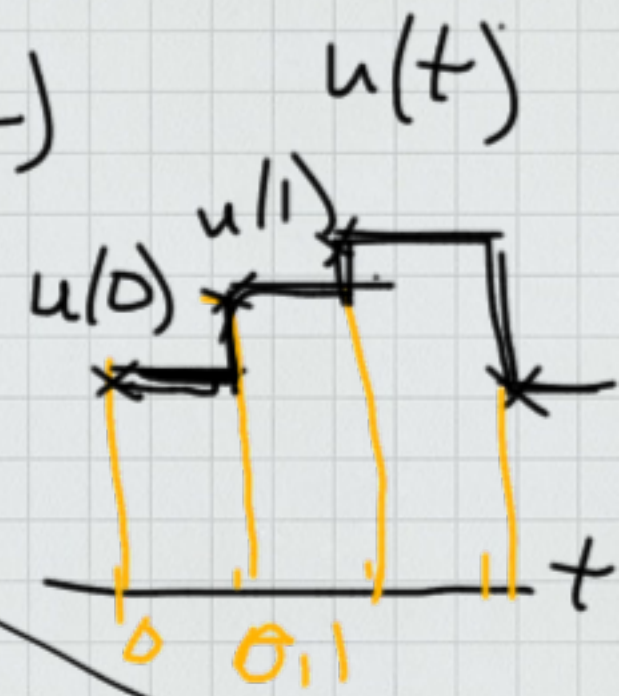
Bab II Pemodelan Nisbah Alih (Transfer Function)

Fotocopy hal. 2 Figure 1.1.

t	k	$y(k)$	$u(k)$
0	0	$y(0)$	$u(0)$
0,1	1	$y(1)$	$u(1)$
0,2	2	$y(2)$	$u(2)$
⋮	⋮	⋮	⋮



S/H
sample
and
hold



$T = 0,1 \text{ sec}$

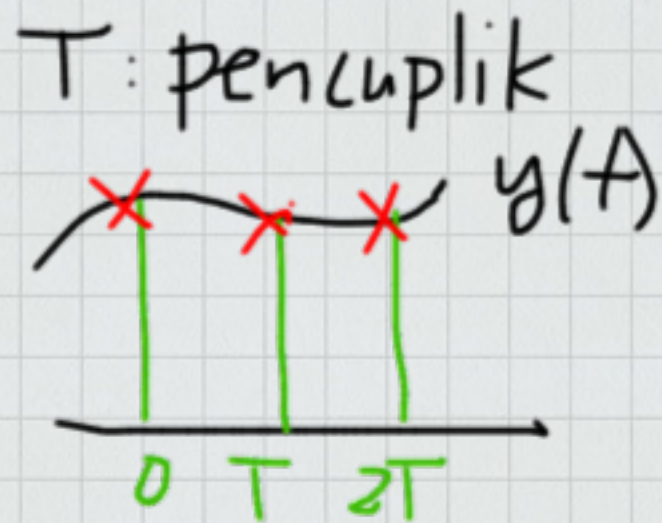
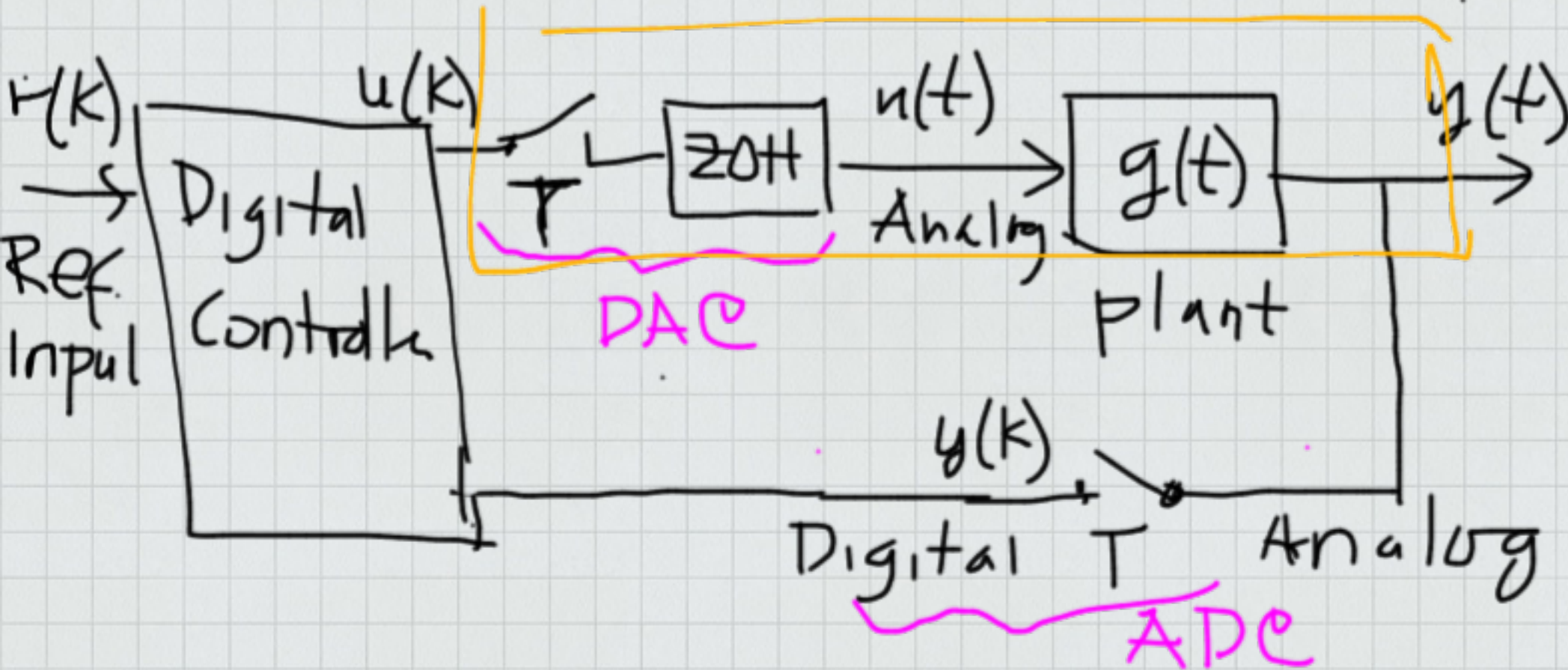
ANALOG

DIGITAL

$y(t)$
ANALOG

Model MATEMATIK

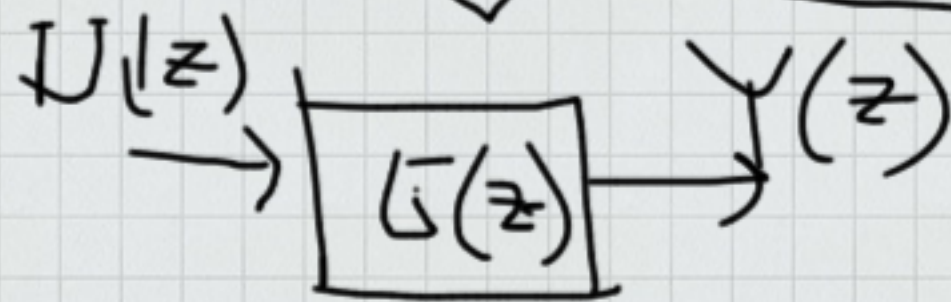
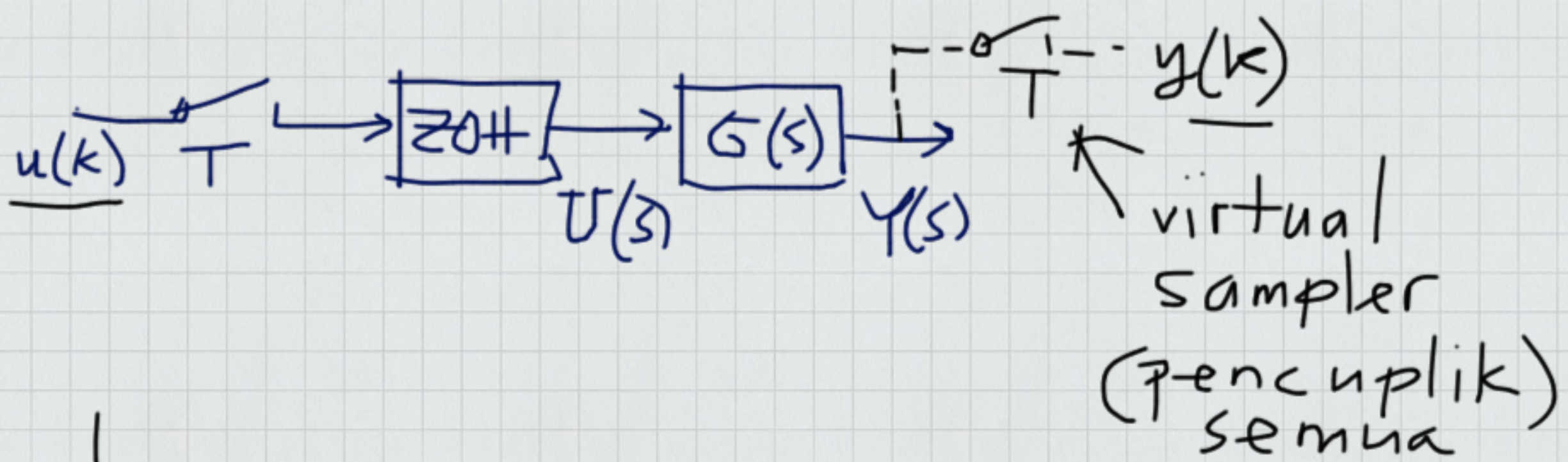
$$g(t) = \mathcal{L}^{-1} G(s)$$



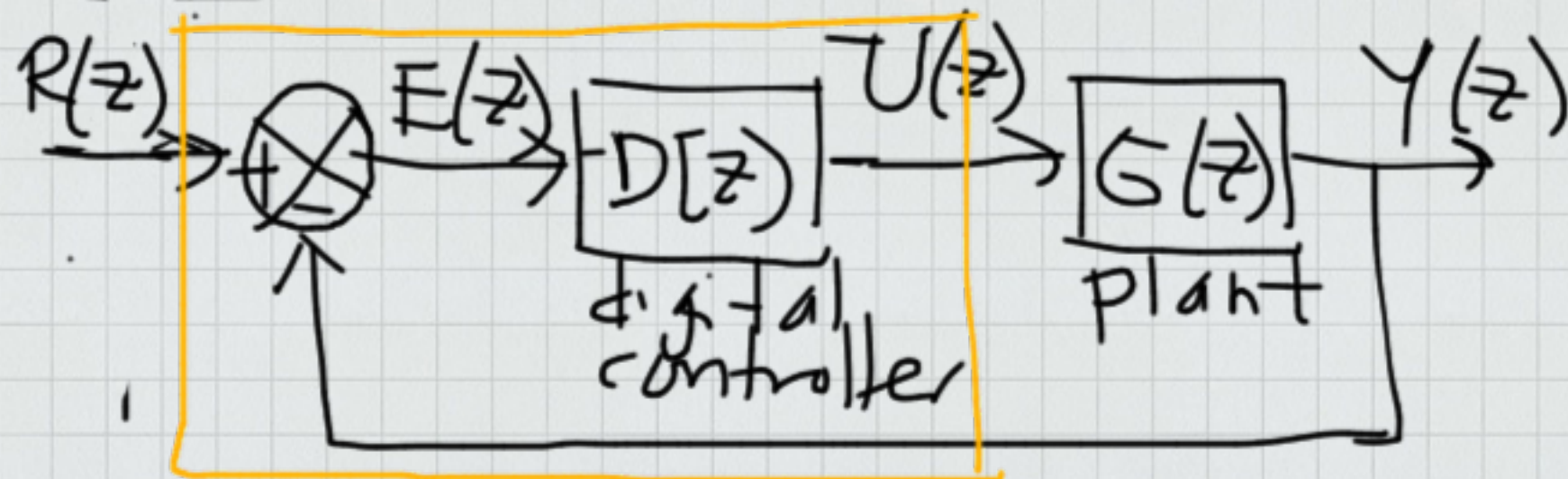
$$y(t) = y(0)\delta(t) + y(1)\delta(t-T) + y(2)\delta(t-2T) + \dots$$

$$= \sum y(k)\delta(t-kT)$$

$x: \delta(t-kT)$ deretan isyarat
 $k=0, 1, 2, 3, \dots$ denyut setinggi $y(k)$



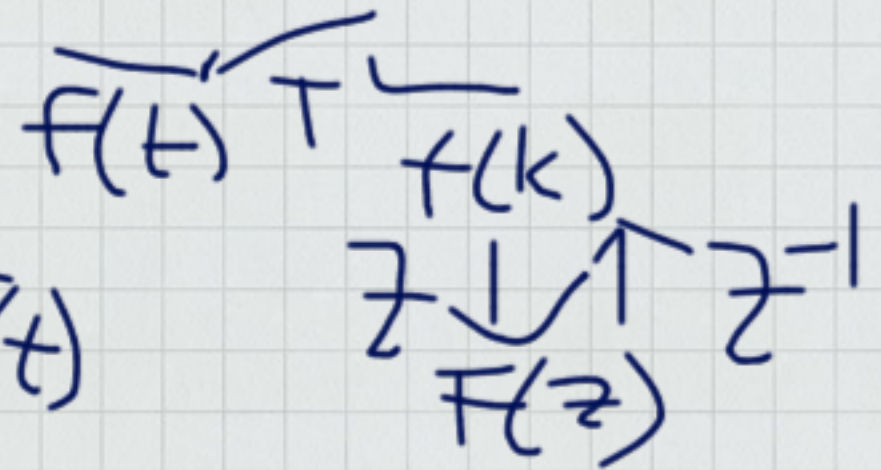
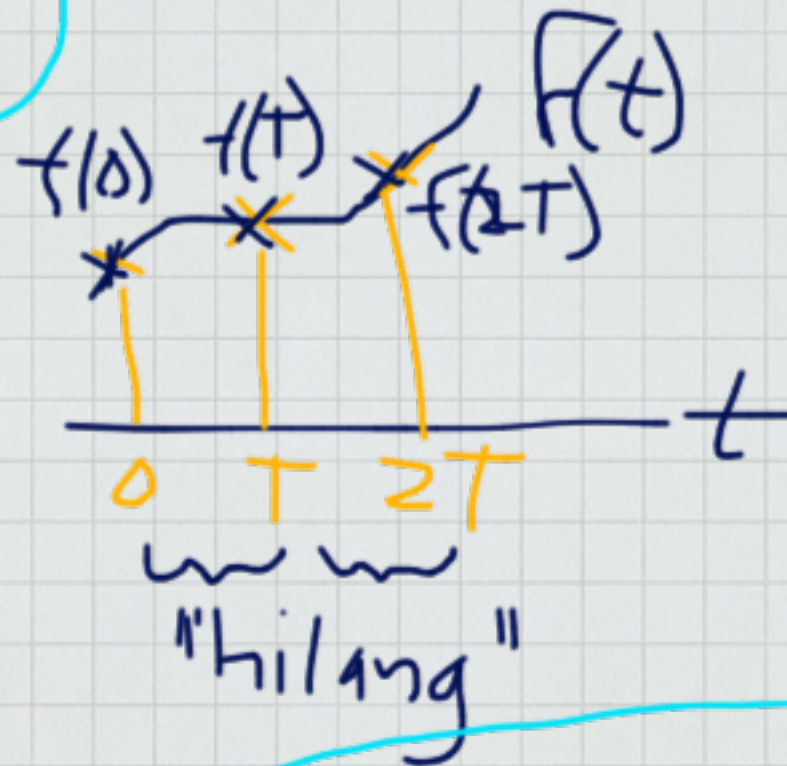
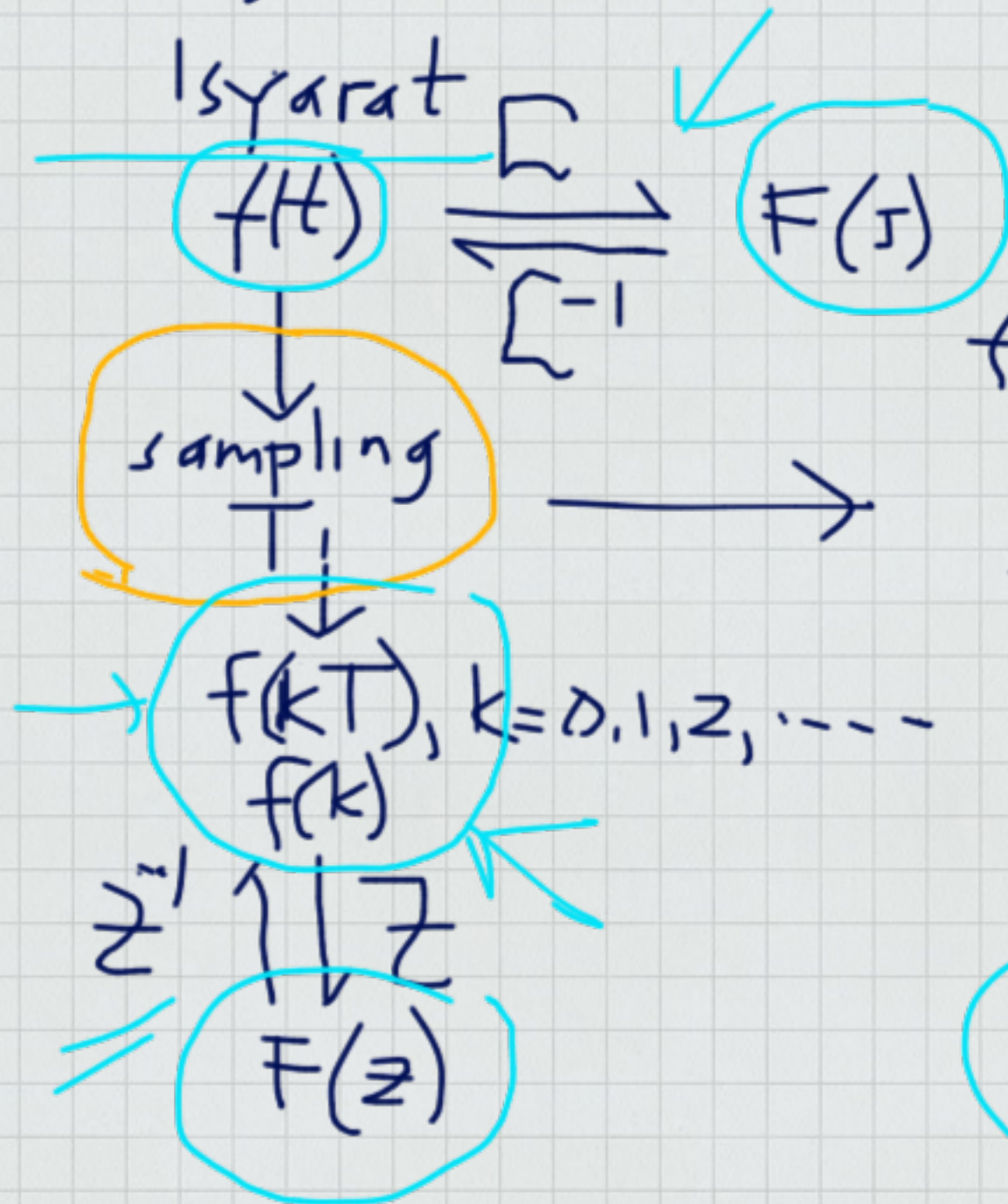
Model Transfer Function :



⇒ Transformasi z

* Transformasi Z

(Ragazzini & Zadeh, 1952)



Tabel Transf. Z :

n	$\rightarrow$	k
k	$\rightarrow$	n

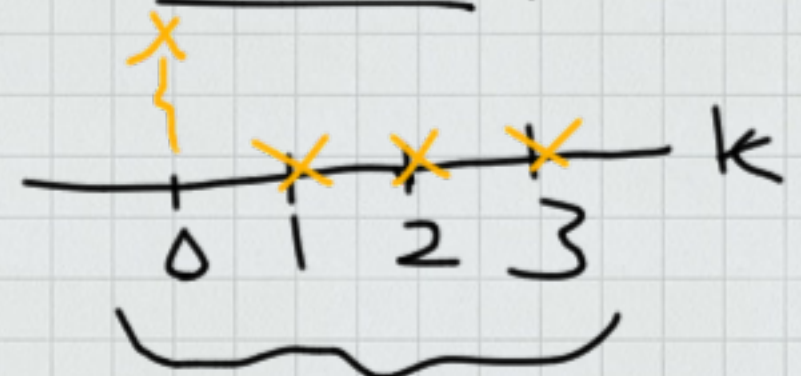
Definisi: $F(t) \xrightarrow{\text{dikuplik}} f(kT)$, $k=0,1,2,3,\dots$
 $f(k)$

$$F(z) = \mathcal{Z} f(kT) = \sum_{k=0}^{\infty} z^{-k} f(kT) = \sum_{k=0}^{\infty} z^{-k} f(k)$$

Contoh: (dari tabel, $n \rightarrow k$, $k \rightarrow n$)

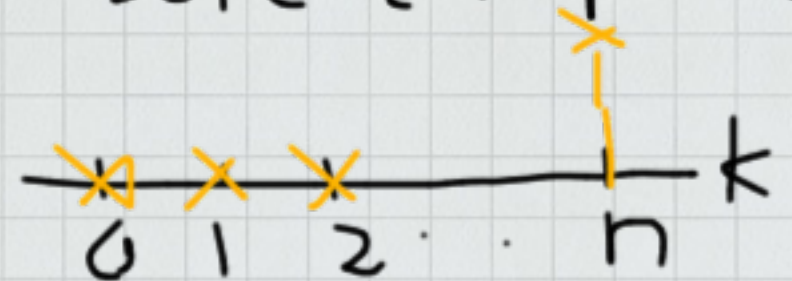
* Isyarat: $f(k) \begin{cases} = 1, & k=0 \\ = 0, & k \neq 0 \end{cases}$
(baris 1)

$$\boxed{\mathcal{Z} f(k) = 1}$$



* Isyarat: $f(k) \begin{cases} = 1, & k=n \\ = 0, & k \neq n \end{cases}$

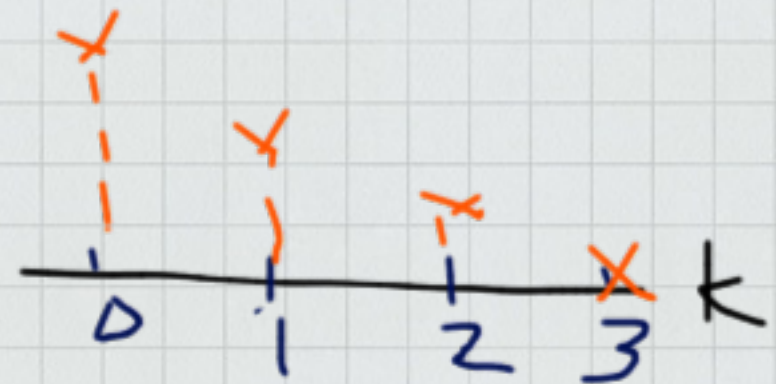
$$\mathcal{Z} f(k) = z^{-n}$$



Contoh soal:

* Diketahui isyarat diskrit, tercuplik $f(k)$:

k	$f(k)$
0	3
1	2
2	1
>2	0



Tentukan $F(z) = \sum f(k)$

Jawab:

Definisi:

$$F(z) = \sum_{k=0}^{\infty} z^{-k} f(k)$$

$$\begin{aligned} &= z^{-0} f(0) + z^{-1} f(1) + z^{-2} f(2) + \dots \\ &= 3 + 2z^{-1} + z^{-2} = \frac{3z^2 + 2z + 1}{z^2} \end{aligned}$$

* Diketahui isyarat undak satuan $u(t)$
 dicuplik dengan periode cuplik T menjadi
 isyarat diskrit. (frek. cuplik = $\frac{1}{T}$)
 sampling rate $f_u(t) = \frac{1}{5}$

$$u(k) = 1, k \geq 0$$



Tentukan $U(z) = \mathcal{Z}\{u(k)\}$

Jawab : $U(z) = \sum_{k=0}^{\infty} z^{-k} \underbrace{u(k)}_{=1, k \geq 0} = 1 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots$

$$U(z) - z^{-1}U(z) = 1$$

$$(1 - z^{-1})U(z) = 1$$

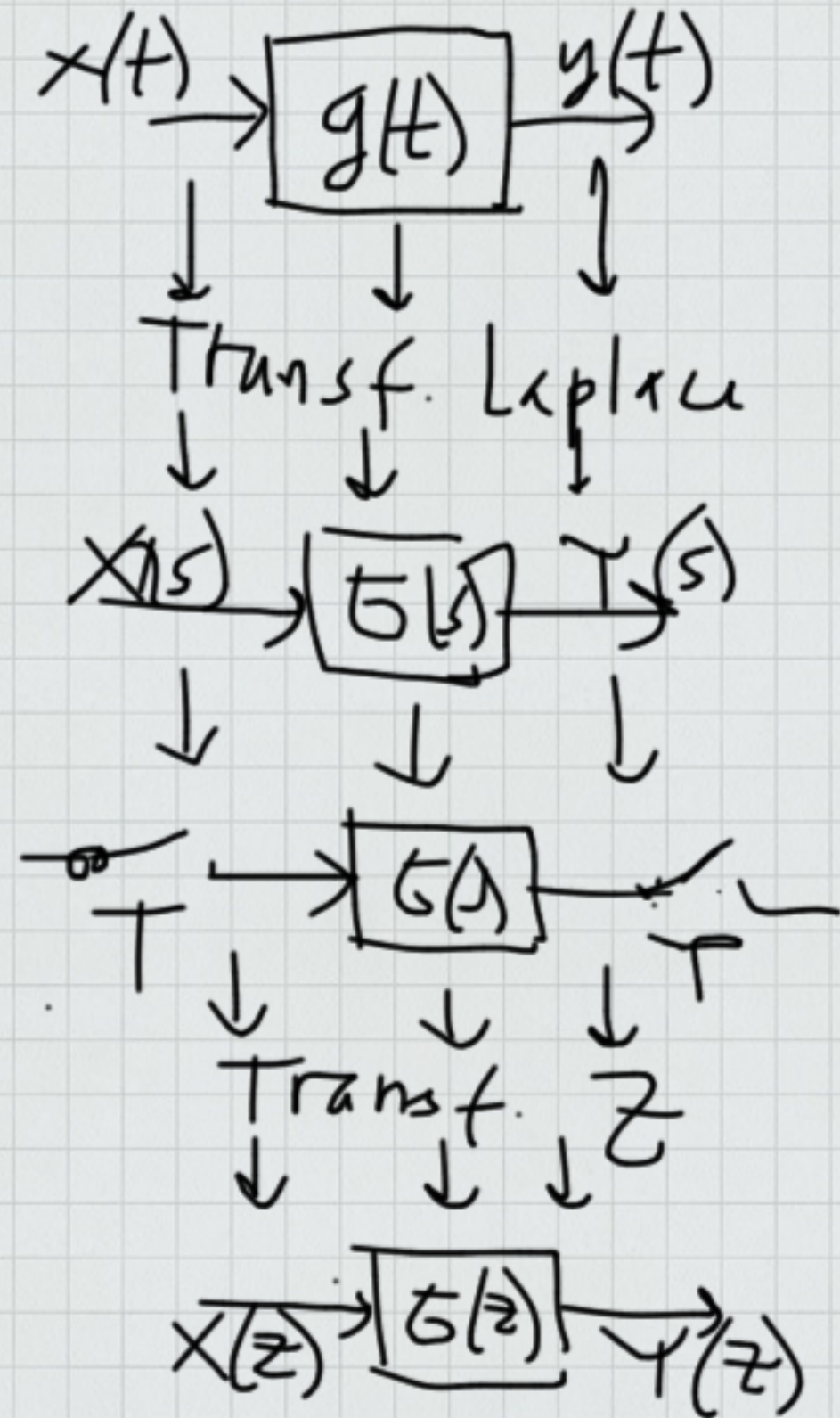
$$U(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}}$$

$$= \frac{z}{z - 1} \rightarrow \text{baris 3}$$

$$= 1 + z^{-1} (1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots)$$

$$= 1 + z^{-1} U(z) \quad U(z)$$

* Nisbah Alih / Transfer Function



$g(t)$ = tanggapan deniyut
artinya jika $x(t) = \delta(t)$
maka $y(t) = g(t)$

$$Y(s) = G(s) \cdot X(s)$$

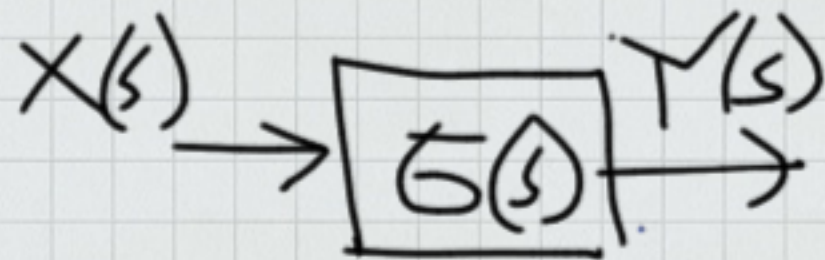
↓ ↓ ↓
Pencuplikan, T
↓ ↓ ↓

$$Y(z) = G(z) \cdot X(z)$$

jika $x(k)$ discrete impulse
maka $Y(z) = G(z)$

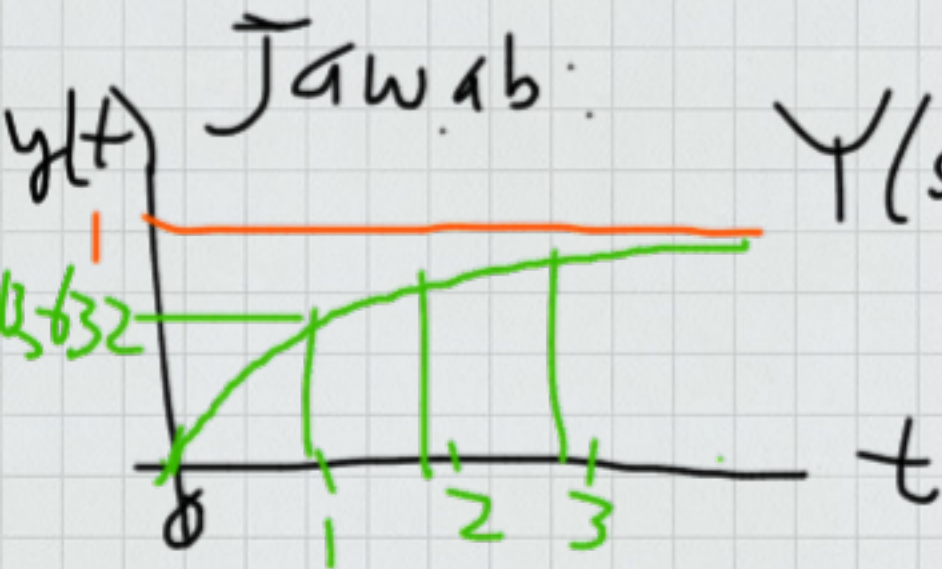
$G(z)$ dapat didefinisikan sebagai
tanggapan denyut diskrit,
(discrete impulse response)

Contoh kasus:

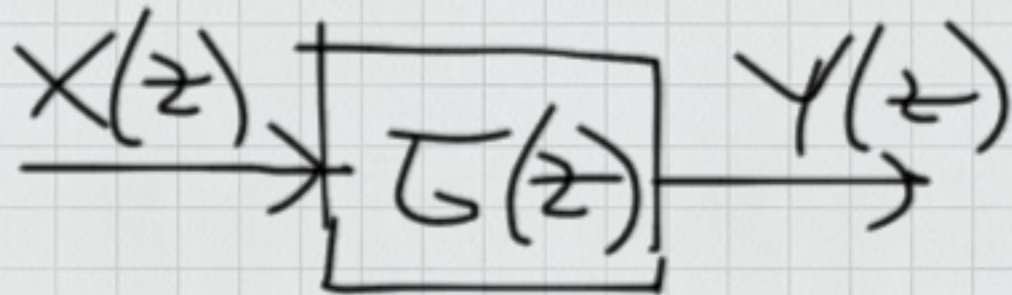
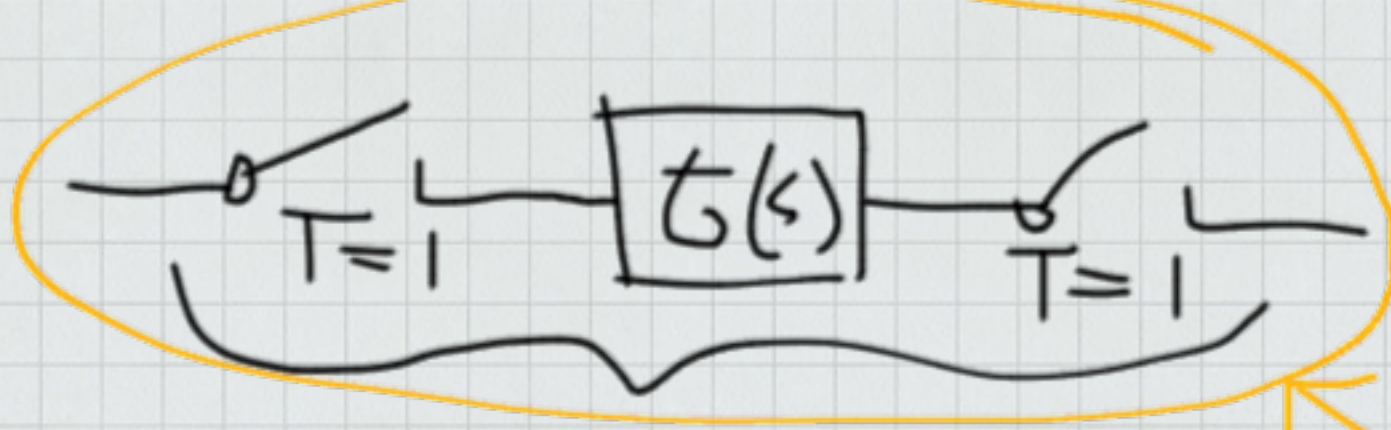


Diketahui $X(s) = \frac{1}{s}$
 $G(s) = \frac{1}{s+1}$

Tentukan $y(t) = \mathcal{L}^{-1} Y(s)$



$$Y(s) = G(s) \cdot X(s) \\ = \frac{1}{s(s+1)} \rightarrow y(t) = \mathcal{L}^{-1} Y(s) \\ = \underline{\underline{1 - e^{-t}}}$$



$$X(z) = \frac{z}{z-1}$$

$$G(z) = \mathcal{Z} \left\{ \frac{1}{s+1} \right\} = \frac{z}{z-0,3679}$$

$$Y(z) = G(z)X(z) = \frac{z^2}{(z-1)(z-0,3679)}$$

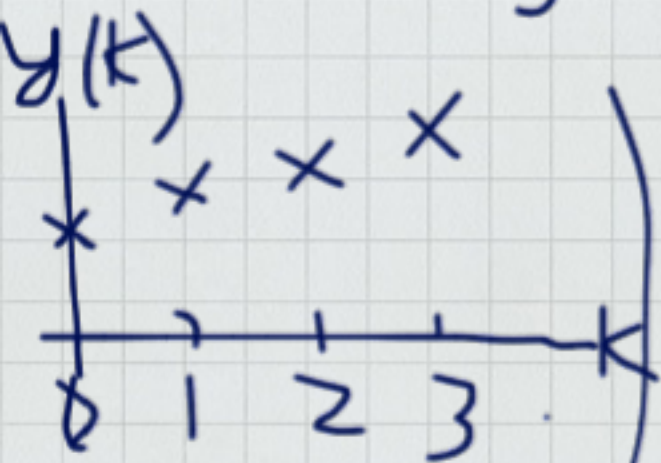
$$= \frac{z^2}{z^2 - 1,3679z + 0,3679} \rightarrow \text{pembagian}$$

$$y(t) = 1 - e^{-t}$$

k	t	y(t)
0	0	0
1	1	0,6321
2	2	0,8647
3	3	0,9502
4	4	0,9817

$$Y(z) = \frac{y(0) + y(1)z^{-1} + y(2)z^{-2} + y(3)z^{-3}}{z^2 - 1,3679z + 0,3679}$$

$$z^2 - 1,3679z + 0,3679 \mid z^2$$



$$z^2 - 1,3679z + 0,3679 \mid z^2 - 1,3679z + 0,3679$$

$$1,3679z - 0,3679$$

$$1,3679z - 1,8711 + 0,5032z^{-1}$$

$$y(k) = z^{-1} Y(z)$$

$$1,5032 - 0,5032z^{-1}$$

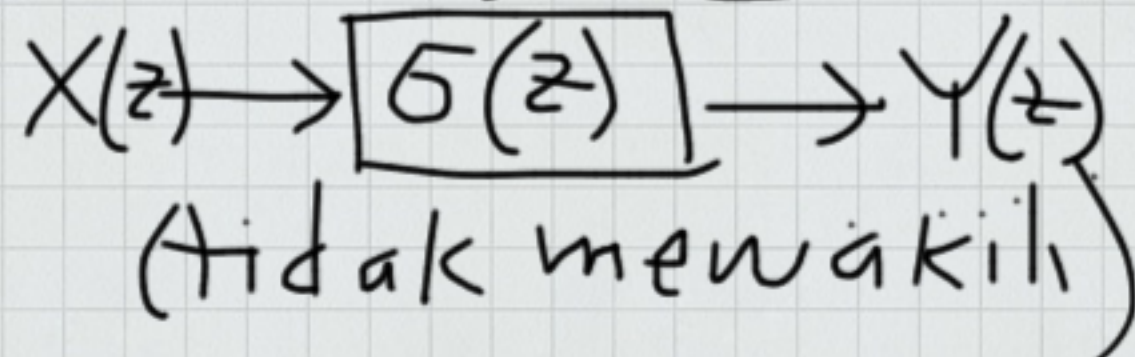
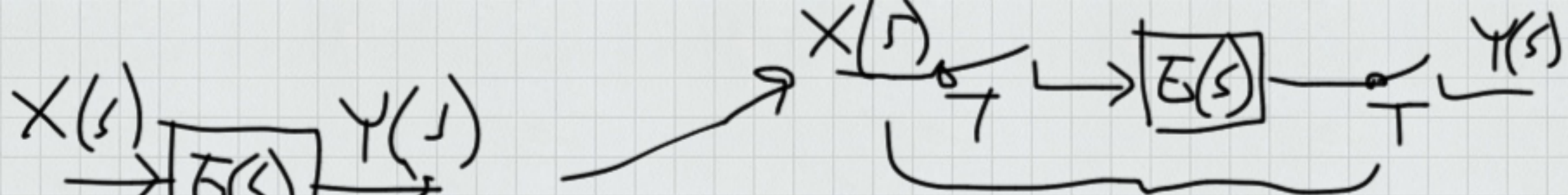
$$1,5032 - 2,0562z^{-1} + 0,5530z^{-2}$$

$$1,5530z^{-1} - 0,5530z^{-2}$$

dst

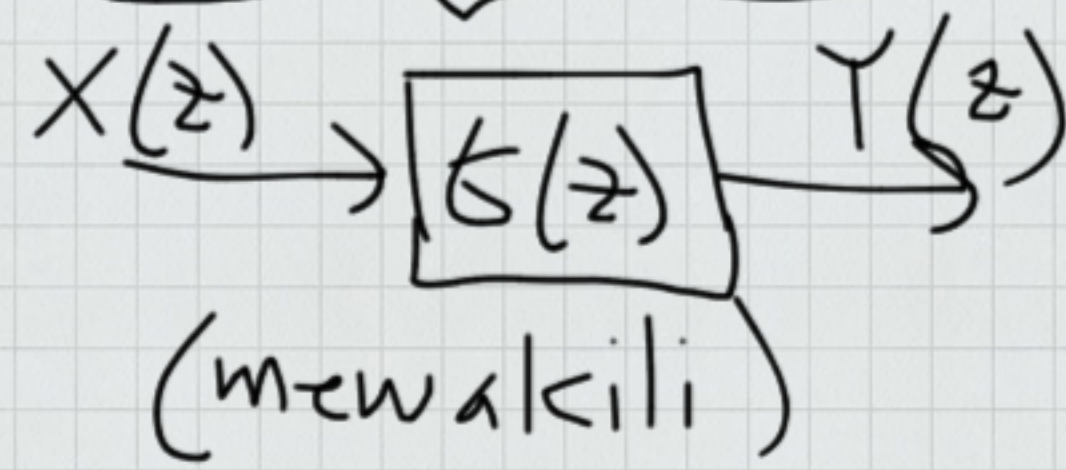
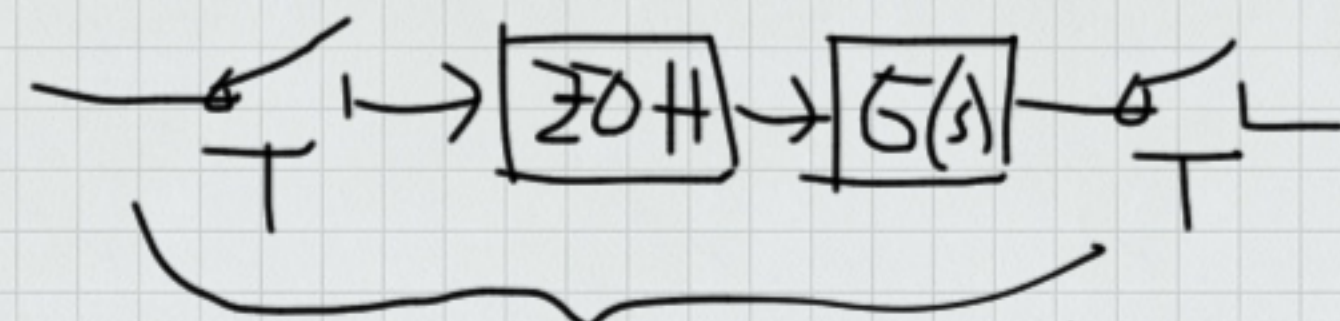
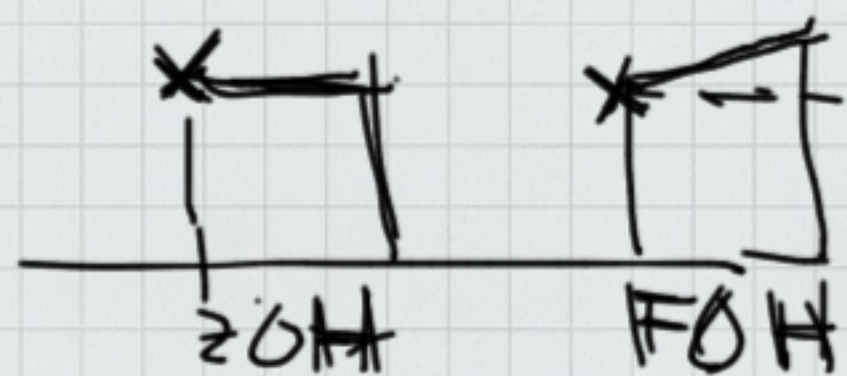
k	y(k)
0	1
1	1,3679
2	1,5032
3	1,5530

BERBEDA dgn y(k) sebelum
nya

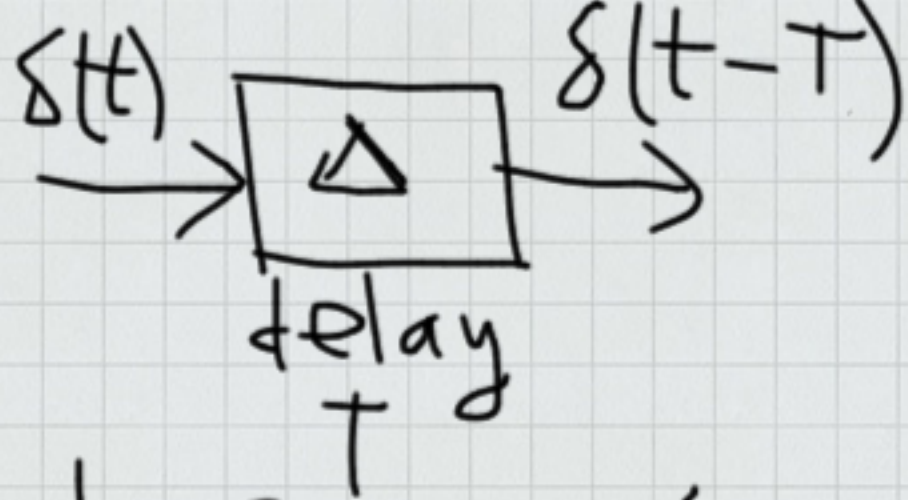


(tidak mewakili)

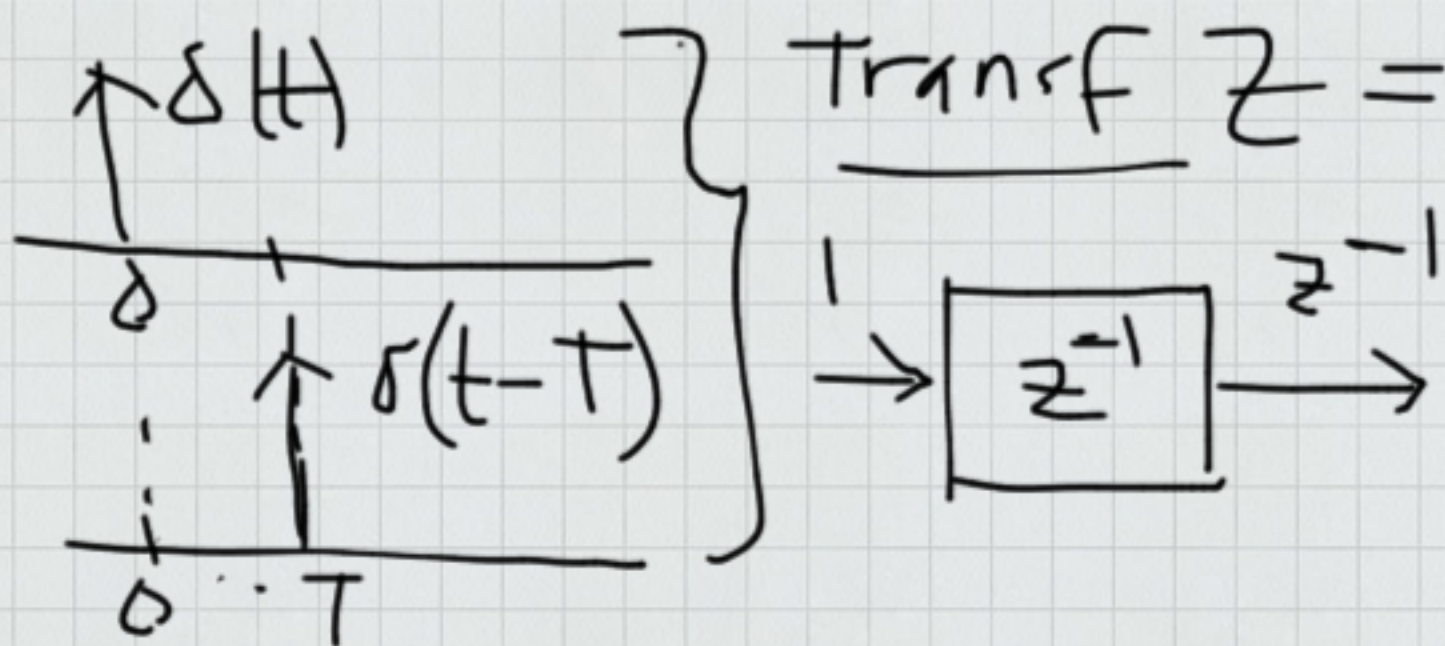
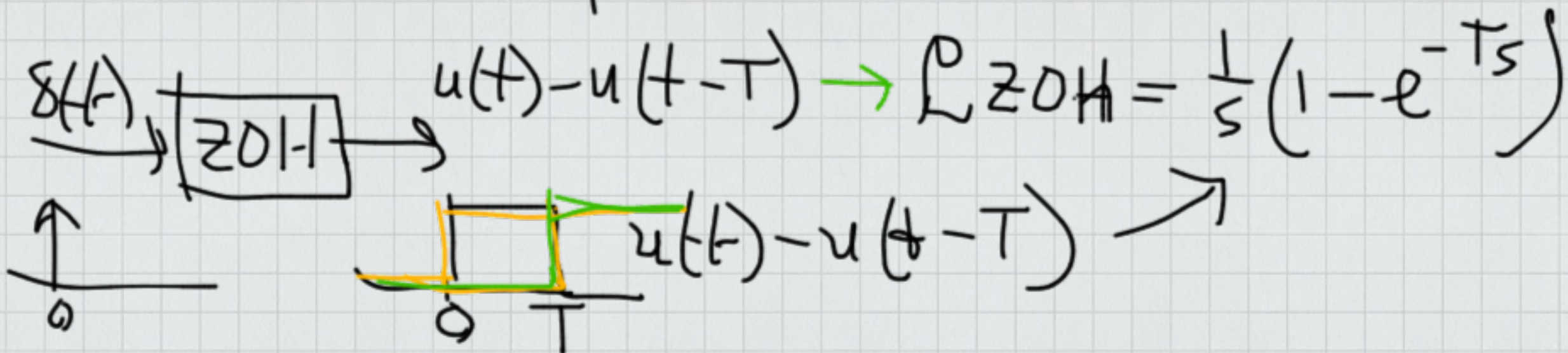
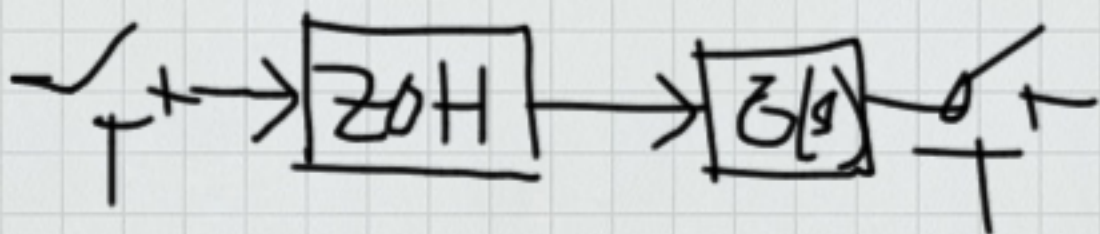
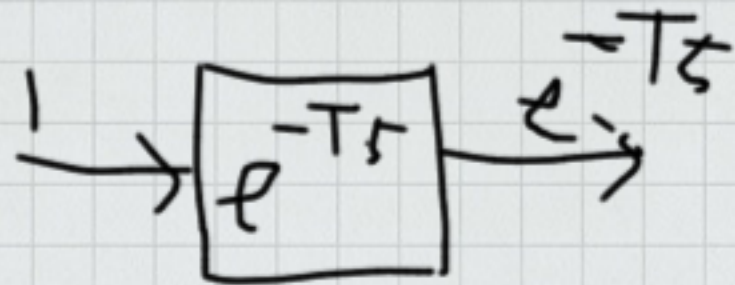
ZOH: Zero Order Hold
(Penahan Order Nol)



(mewakili)



Transf Laplace



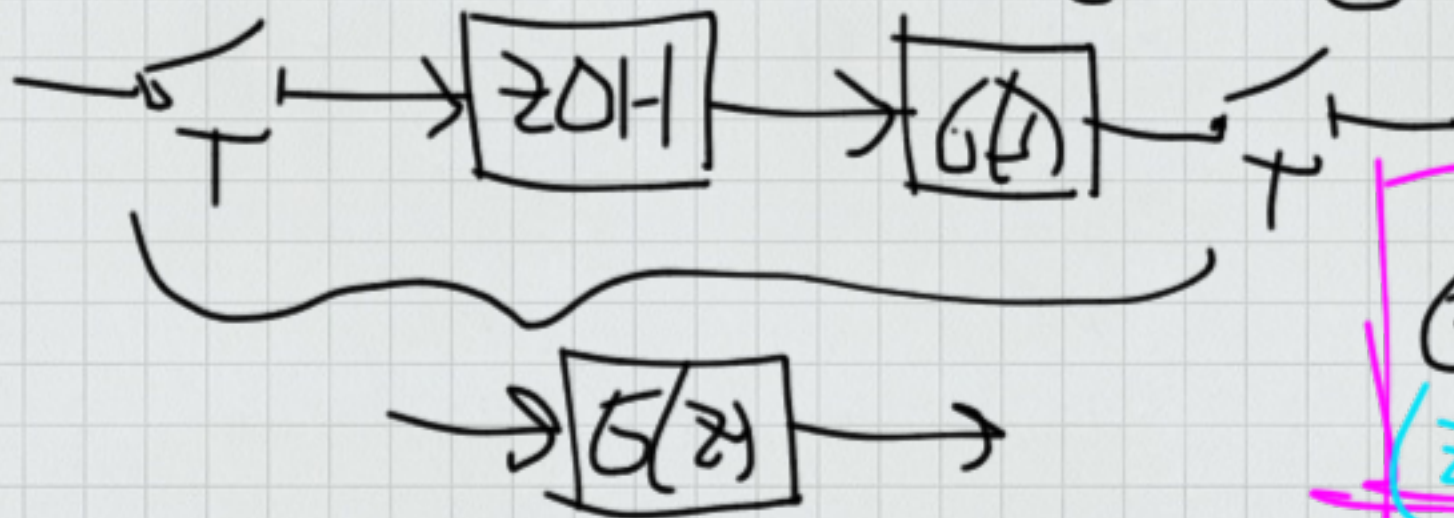
$z \equiv$ kebalikan dan delay T

$$z e^{-Ts} = z^{-1}$$

$$z e^{Ts} = z$$

Transf z dari gabungan zOH dan $G(s)$:

$$\begin{aligned} \mathcal{Z}(zOH) G(s) &= \mathcal{Z} \frac{1}{s} (1 - e^{-Ts}) G(s) \\ &= \mathcal{Z} (1 - e^{-Ts}) \frac{G(s)}{s} \\ &= (1 - z^{-1}) \mathcal{Z} \frac{G(s)}{s} \\ &= \frac{z - 1}{z} \mathcal{Z} \frac{G(s)}{s} \end{aligned}$$



$$\boxed{G(z) = \frac{z - 1}{z} \mathcal{Z} \frac{G(s)}{s} \quad (zOH)}$$

Untuk kasus $G(s) = \frac{1}{s+1} \rightarrow \frac{G(s)}{s} = \frac{1}{s(s+1)}$

$$\mathcal{Z} \frac{G(s)}{s} = \mathcal{Z} \frac{1}{s(s+1)} = \frac{0,6321z}{(z-1)(z-0,3679)}$$

$$G(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \frac{G(s)}{s} = \frac{0,6321}{z-0,3679}$$

$$\begin{aligned} Y(z) &= G(z)X(z) = \frac{0,6321z}{(z-1)(z-0,3679)} \\ &= \frac{0,6321z}{z^2 - 1,3679z + 0,3679} \end{aligned}$$

$y(k)$ dapat diperoleh dengan pembagian $\rightarrow$

$$Y(z) = \frac{0,6321z^{-1} + 0,8647z^{-2} + 0,9502z^{-3} - 1,3679z^{-4} + 0,3679z^{-5}}{z^2 - 1,3679z + 0,3679}$$

$$0,6321z$$

$$0,6321z - 0,8647 + 0,2325z^{-1}$$

$$0,8647 - 0,2325z^{-1}$$

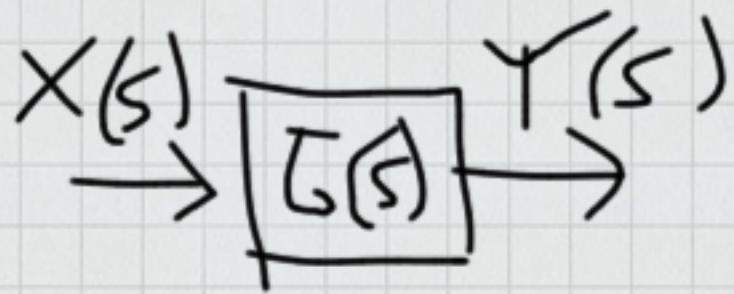
$$0,8647 - 1,1828z^{-1} + 0,3181z^{-2}$$

$$0,9502z^{-1} - 0,3181z^{-2}$$

k	y(k)
0	0
1	0,6321
2	0,8647
3	0,9502

Sesuai dengan $y(t)$,
untuk $t = 0, 1, 2, 3, \dots$

Kesimpulan:

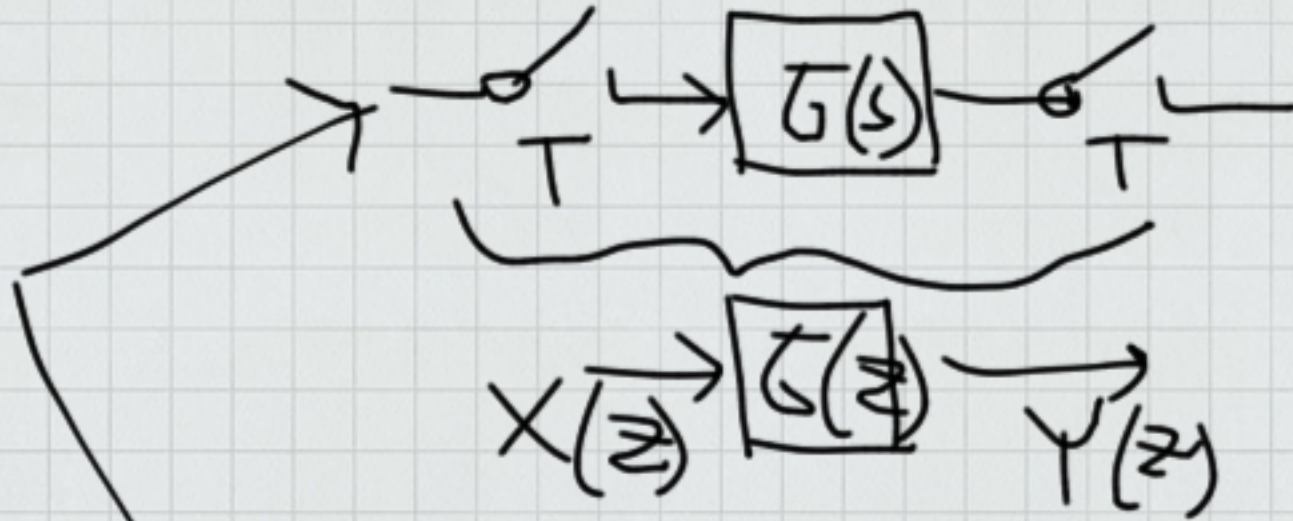


$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} Y(s)$$

$y(k) = \text{cuplikan } y(t) \text{ dengan } T$

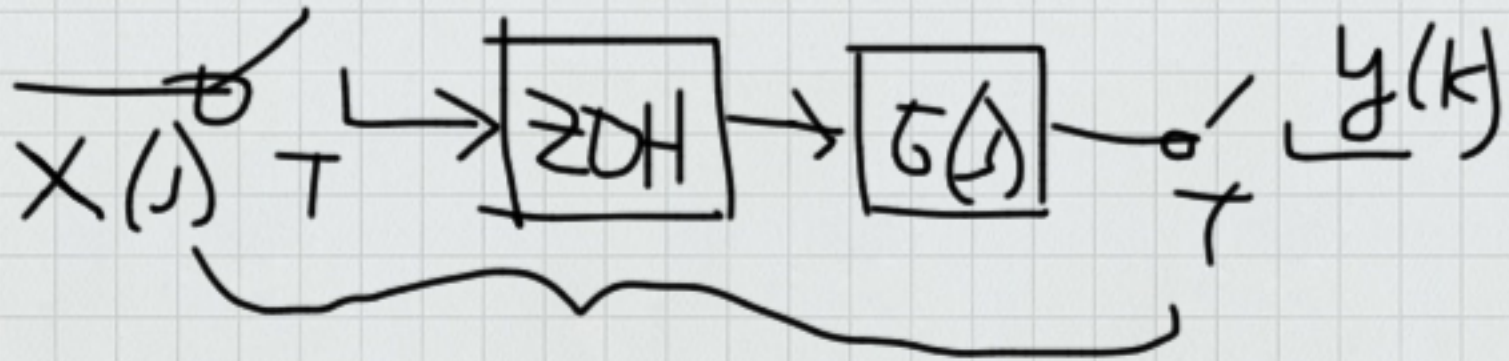
Model yang lebih "realistic"

$$G(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{L} \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\}$$



$$G(z) = \mathcal{L} \{ G(s) \}$$

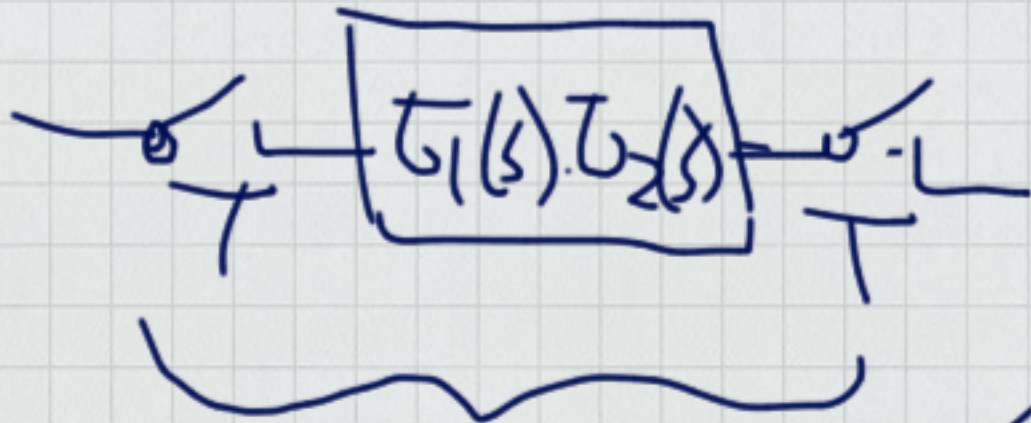
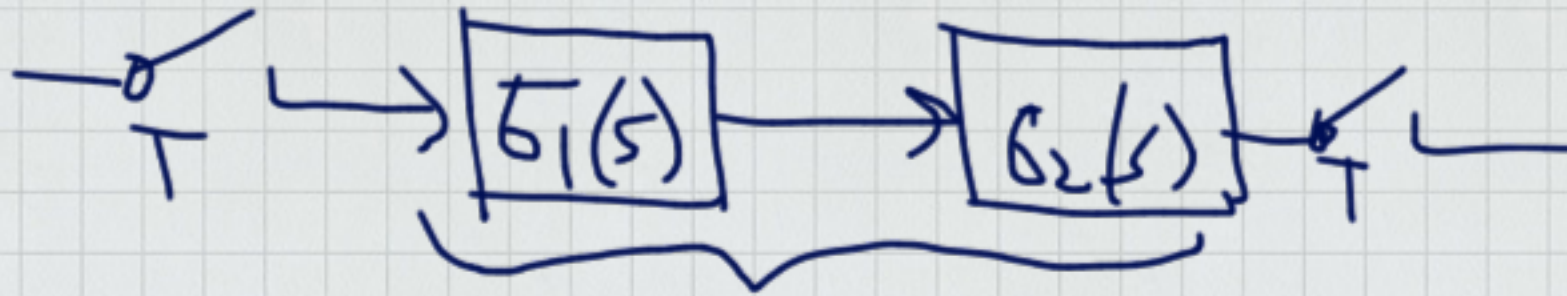
$y(k)$ tidak sama dengan cuplikan $y(t)$



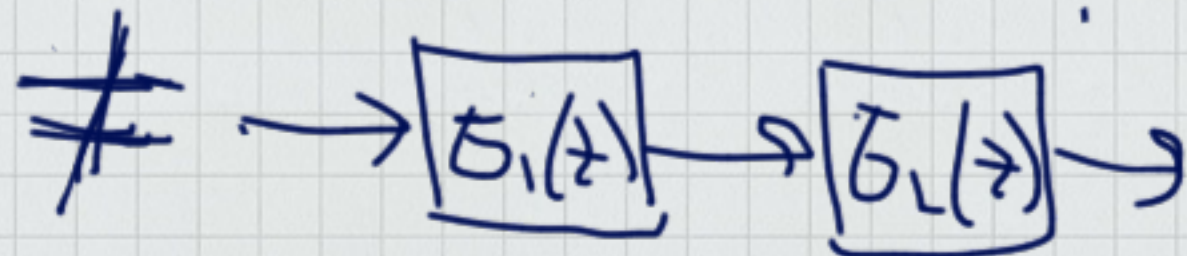
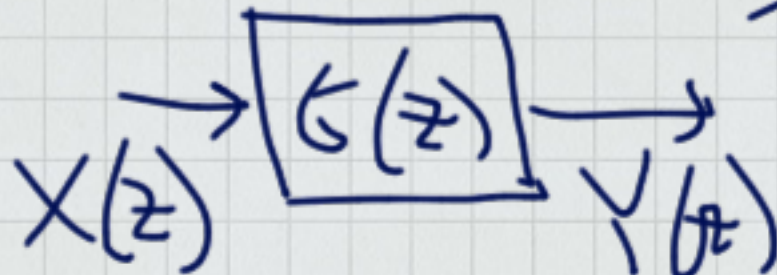
$y(k) = \text{cuplikan } y(t)$

* $G(z)$ dan Pers. Difference.

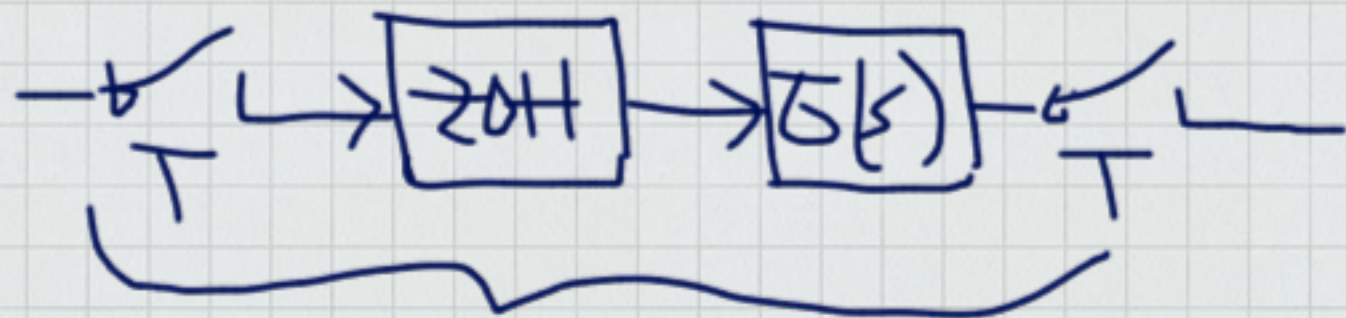
Contoh:



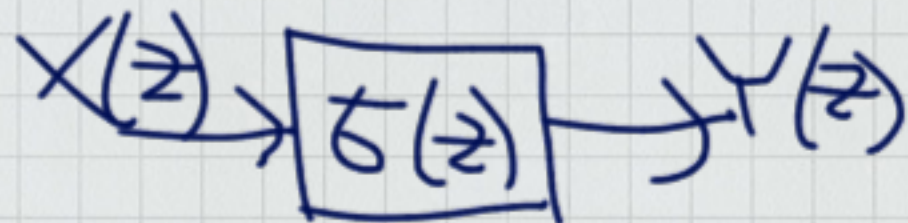
$$G(z) \neq G_1(z) \cdot G_2(z)$$



Contoh:



$$G(z) = \frac{z-1}{z} \left\{ \frac{G(s)}{s} \right\}$$



Diketahui :

$$X(z) = \frac{z}{z-1}, \quad x(k) \begin{cases} = 0, & k < 0 \\ = 1, & k \geq 0 \end{cases}$$
$$G(z) = \frac{z}{z^2 - 3z + 3}$$

Ditanyakan : $y(k), k \geq 0$. $y(k) = z^{-1} Y(z)$

Ada 2 (dua) cara:

* Pembagian

* Pers. Difference

Cara I Pembagian:

$$\begin{array}{r} z^2 - 3z + 3 \\ z - 1 \\ \hline -z^2 + 3z - 3 \\ \hline z^3 - 3z^2 + 3z - 3 \\ \hline z^3 - 4z^2 + 6z - 3 \end{array}$$

$$Y(z) = U(z) \cdot X(z) = \left(\frac{z}{z^2 - 3z + 3} \right) \left(\frac{z}{z - 1} \right)$$

$$Y(z) = \sum_{k=0}^{\infty} y(k) z^{-k}$$

$$Y(z) \rightarrow z^{-1} + 4z^{-2} + 10z^{-3} + 19z^{-4} + \dots$$

$$z^3 - 4z^2 + 6z - 3$$

$$\begin{array}{r} z^2 \\ z^2 - 4z + 6 - 3z^{-1} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10 - 21z^{-1} + 12z^{-2} \\ 10 - 40z^{-1} + 60z^{-2} - 30z^{-3} \\ \hline 10z^{-1} - 48z^{-2} + 12z^{-3} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4z - 6 + 3z^{-1} \\ 4z - 16 + 24z^{-1} - 12z^{-2} \\ \hline \end{array}$$

k	y(k)
0	0
1	1
2	4
3	10
4	19
5	31
6	46
7	64
8	85
9	109
10	136

Rencana MID : 18/04/2017, jam 09.00, 112

-
- * Open book, no laptop
 - * Bawa Tabel Transf. Z
 - * Materi s/d 11/04/2017

Cara II Pers. Diff

$$G(z) = \frac{z}{z^2 - 3z + 3} = \frac{z^{-1}}{1 - 3z^{-1} + 3z^{-2}} = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

① dibagi: pangkat tertinggi
② dikali-silang:

$$(1 - 3z^{-1} + 3z^{-2})Y(z) = z^{-1}X(z)$$

$$Y(z) - 3z^{-1}Y(z) + 3z^{-2}Y(z) = z^{-1}X(z)$$

$$Y(z) = z^{-1}X(z) + 3z^{-1}Y(z) - 3z^{-2}Y(z)$$

Inverse Transf. $z \Rightarrow$

Persamaan Difference (Beda, Selisih):

$$y(k) = x(k-1) + 3y(k-1) - 3y(k-2)$$

↑

diambil dari "memory"

← sistem dengan INERTAN

Untuk memperoleh nilai $y(k)$, dapat digunakan tabel "lembar kerja" (spread sheet)

$$x(k) \begin{cases} = 0, & k < 0 \\ = 1, & k \geq 0 \end{cases}$$

k	$x(k)$	$y(k)$
0	1	0
1	1	1
2	1	$1 + (3)(1) = 4$
3	1	$1 + (3)(4) - (3)(1) = 10$
4	1	$1 + (3)(10) - (3)(4) = 19$

- * Pembahasan MID
 - * Praktikum INDIVIDU
 - * Praktikum KELOMPOK $\rightarrow$ Lab.
-

* pembahasan MID:

* Pengetahuan Umum $\rightarrow$ OK

* Dasar = Transf. Z

2.1. $G(s) = \frac{1}{s+1}$ $X(s) = \frac{10}{s}$

$Y(s) = \frac{10}{s(s+1)} \rightarrow y(t) = 10(1 - e^{-t})$

t	$y(t)$
0	0
1	$10(1 - e^{-1})$
2	$10(1 - e^{-2})$
3	$10(1 - e^{-3})$
4	$10(1 - e^{-4})$

$$2.2. \quad G(z) = \mathcal{Z}\{g(k)\} = \mathcal{Z}\left\{\frac{1}{s+1}\right\} = \frac{z}{z-e^{-1}}$$

$$X(z) = \mathcal{Z}\{x(s)\} = \frac{10z}{z-1}$$

$$Y(z) = \frac{10z^2}{(z-e^{-1})(z-1)} = \frac{10z^2}{z^2 - (1+e^{-1})z + e^{-1}}$$

$$\frac{z^2 - (1-e^{-1})z + e^{-1}}{10z^2}$$

2.3.

$$G(z) = \frac{z^{-1}}{z} \left[\frac{G(s)}{s} \right]$$

$$= \frac{z^{-1}}{z} \left[\frac{1}{s(s+1)} \right] = \frac{\cancel{z^{-1}}}{\cancel{z}} \frac{\cancel{z}(1-e^{-1})}{(\cancel{z}-1)(1-e^{-1})}$$

$$= \frac{1-e^{-1}}{z-e^{-1}}$$

$$Y(z) = G(z) \cdot X(z) = \frac{10(1-e^{-1})z}{(z-1)(z-e^{-1})}$$

$$\begin{array}{r} z^2 - 1,052z + 0,968 \overline{) 6,52z} \\ \underline{z^2 - 1,052z + 0,968} \\ 0,52z^{-1} + \dots - z^{-5} \end{array}$$

2.4.

$$E(z) = \frac{0.632}{z - 0.368} = \frac{0.632 z^{-1}}{1 - 0.368 z^{-1}} = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

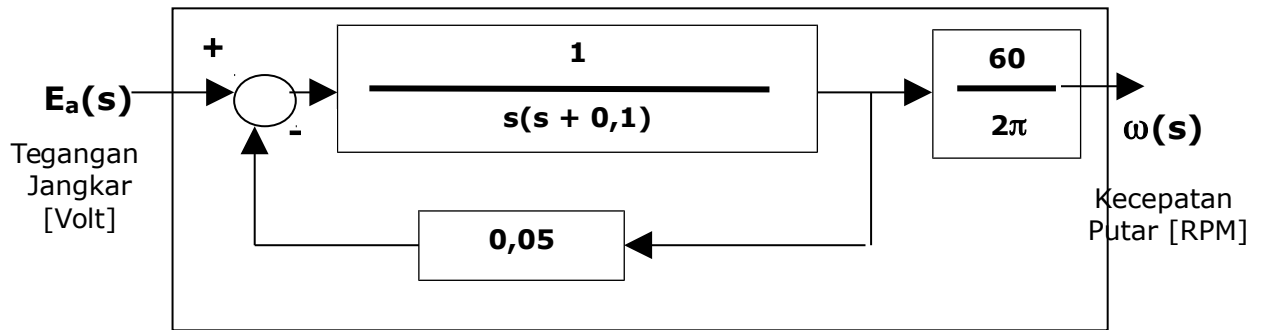
$$(1 - 0.368 z^{-1}) Y(z) = 0.632 z^{-1} X(z)$$

$$Y(z) = 0.632 z^{-1} X(z) + 0.368 z^{-1} Y(z)$$

$$Y(k) = 0.632 X(k-1) + 0.368 Y(k-1)$$

k	x(k)	y(k)
0	10	0
1	10	—
2	10	—
3	10	—
4	10	—
5	10	—

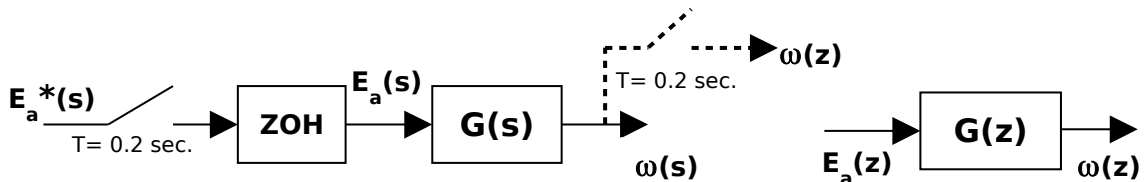
Sebuah Motor DC dimodelkan dengan Nisbah Alih (*Transfer Function*) $G(s)$ yang diturunkan dari bagan kotak di bawah ini.



1. Tentukan $G(s) = \omega(s)/E_a(s)$!
2. Jika $e_a(t) = 15 \text{ Volt}$, $t \geq 0$, atau $E_a(s) = 15/s$, maka tentukanlah $\omega(s)$ dan $\omega(t)$.
3. Lalu lengkapilah tabel di bawah ini dan buat grafik ω fungsi t :

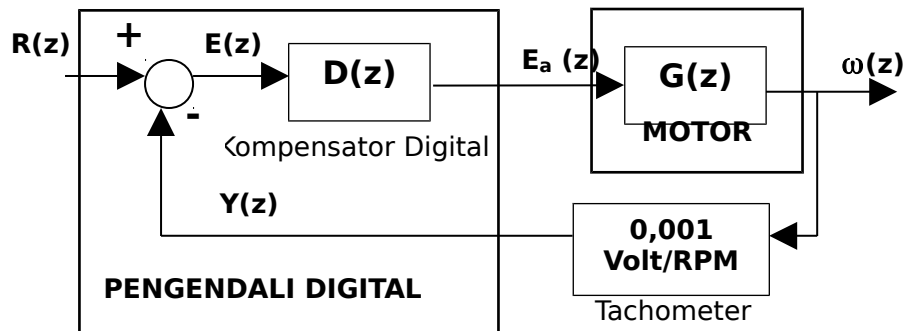
Waktu t [sec]	$e_a(t)$ [Volt]	$\omega(t)$ [RPM]
< 0	0	0
0	15	0
0.2	15	
0.4	15	
0.6	15	
.	15	
.	15	
.	15	
.	15	
.	15	
4.0	15	
4.2	15	
4.4	15	
4.6	15	
.	15	
.	15	
20.0	15	

4. Selanjutnya, $G(s)$ dimodelkan menjadi kendalian (*plant*) dari suatu Sistem Kendali Digital, sebagai berikut:



Terangkan se jelas-jelasnya apa **pengertian fisik** dari model di atas. Tentukan $G(z)$! Jika diketahui $E_a(s) = 15/s$ (isyarat undak 15 Volt) maka tentukan $\omega(z) = G(z) E_a(z)$, lalu tentukan pula $\omega(k)$, cuplikan dari kecepatan putaran $\omega(t)$, untuk $k = 0, 1, 2, 3, \dots, 100$ atau $t = 0, 0.2, 0.4, 0.6, \dots, 20.0$ detik (buat grafiknya, lampirkan tabelnya). Terangkan se jelas-jelasnya bahwa model $G(z)$ memang me-representasi-kan secara akurat Motor DC $G(s)$ pada soal no. 2. Catatan: Cari terlebih dahulu dari $G(z)$ persamaan *difference* yang menghubungkan $\omega(k)$ dan $e_a(k)$.

5. Suatu kompensator digital (*Digital Compensator*) $D(z)$ berupa pengendali **PID** dirancang untuk memperbaiki tanggapan kendalian $G(s)$ dalam konfigurasi sebagaimana terlihat pada model berikut ini:



Jelaskan secara terperinci **implementasi fisik** dari Sistem Kendali Digital di atas, dengan menguraikan se-detail mungkin **realisasi fisik** dari masing-masing bagian Pengendali Digital (Ambil pelajaran dari **PRAKTIKUM KELOMPOK**).

6. Kompensator Digital $D(z) = E_a(z)/E(z)$ merupakan pengendali **PID** dengan model Nisbah Alih sebagai berikut ($T = 0.2$ sec.):

$$D(z) = E_a(z)/E(z) = K_p + \frac{Tz}{K_I(z-1)} + \frac{K_D(z-1)}{Tz}$$

Dengan masih menggunakan K_p , K_I dan K_D , dari $D(z)$ di atas, tentukan persamaan *difference* yang menghubungkan antara $e_a(k) = Z^{-1} E_a(z)$ dengan $e(k) = Z^{-1} E(z)$.

7. Memanfaatkan hubungan antara $e_a(k)$ dan $e(k)$ dari persamaan *difference* yang diperoleh pada soal no. 6, dan hubungan antara $\omega(k)$ dan $e_a(k)$ dari persamaan *difference* yang diperoleh pada soal no. 4, susunlah Tabel sebagai berikut:

$K_p = \dots$, $K_I = \dots$, dan $K_D = \dots$

menggunakan pers. *difference* soal no. 6

menggunakan pers. *difference* soal no. 4

k	t	r(k)	$e(k) = r(k) - 0,001 \cdot \omega(k)$	$e_a(k)$ [V]	$\omega(k)$ [RPM]
< 0	< 0.0	0	0	0	0
0	0.0	15	15		
1	0.2	15			
2	0.4	15			
3	0.6	15			
dst.	dst.	15			
100	20.0	15			konstan

"Bermain-main"-lah dengan berbagai kombinasi nilai K_p , K_I dan K_D , sehingga diperoleh grafik $\omega(k)$ vs. k yang "lebih baik" dari yang diperoleh pada soal no. 3 dan no. 4

8. Diskusikanlah hasil-hasil yang telah diperoleh dalam simpulan anda, lalu susunlah kembali jawaban-jawaban dari soal-soal 1 s/d 7 di atas dalam suatu makalah singkat (maksimum **10** halaman, spasi-tunggal, font:12 pt, **sudah** termasuk lampiran dan sampul) dengan format seperti **LAPORAN PRAKTIKUM**.

* Praktikum INDIVIDU

$$G(s) = \frac{60}{2\pi} \left[\frac{\frac{1}{s(s+0,1)}}{1 + \frac{0,05}{s(s+0,1)}} \right]$$

$$= \frac{60}{2\pi} \left[\frac{1}{s^2 + \underbrace{0,1}_{2\zeta\omega_n} s + \underbrace{0,05}_{\omega_n^2}} \right]$$

ζ $\begin{cases} > 1 \\ \approx 1 \\ 0-1 \end{cases}$

$$w(s) = G(s) E_a(s)$$

$$= \frac{60}{2\pi} \left[\frac{1}{s^2 + 0,1s + 0,05} \right] \left[\frac{15}{s} \right] = \frac{900}{2\pi} \left[\frac{1}{s[s^2 + 0,1s + 0,05]} \right]$$

$$w(t) = \mathcal{L}^{-1} w(s)$$

*Praktikum Kelompok

→ 4 kelompok.

Ketua = Group :

I. Tawakkal

1. Nursilatus
2. Harman

II. Cholīs

1. Ammar
2. Maulana
3. Subekhi

III. Aliyah

1. Arfah
2. Arya

IV. Hanan

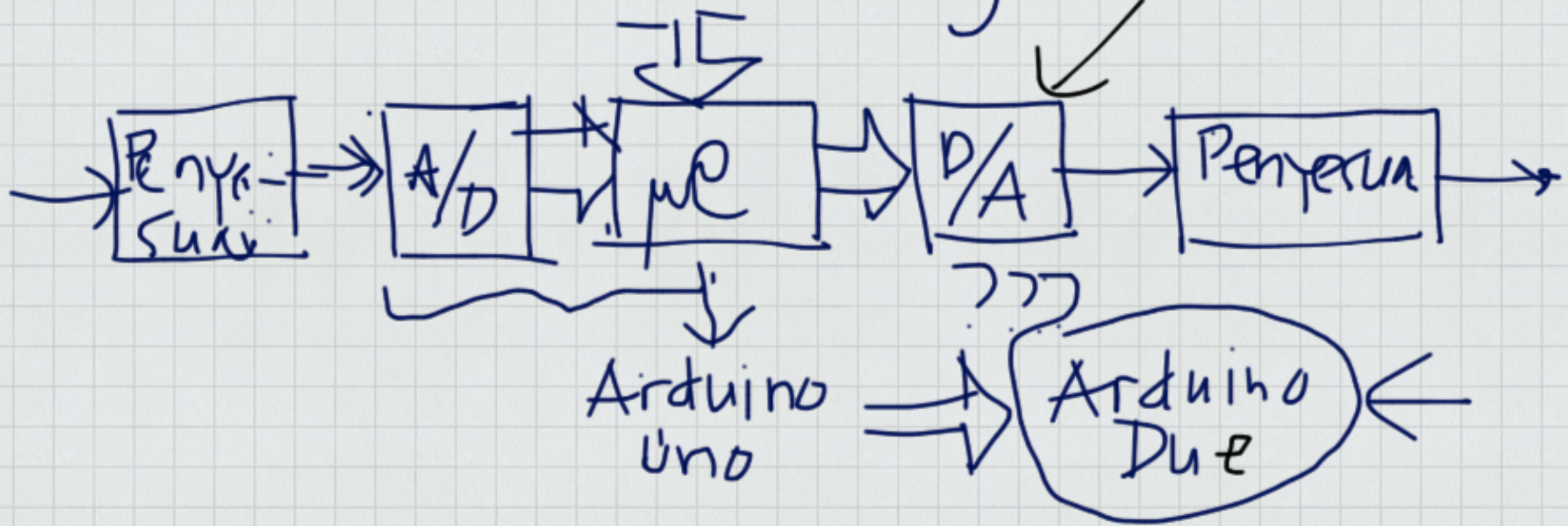
1. Zulfikar
2. Bramastya



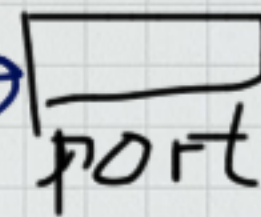
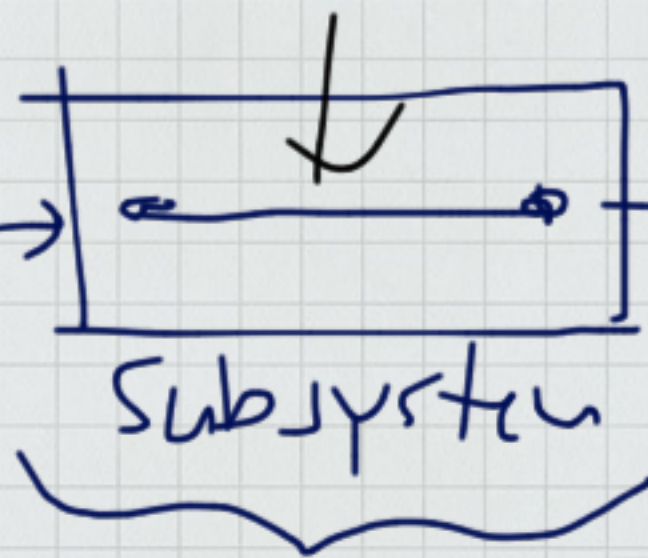
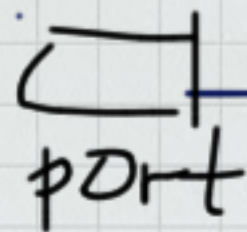
} 4 unit

Kotak

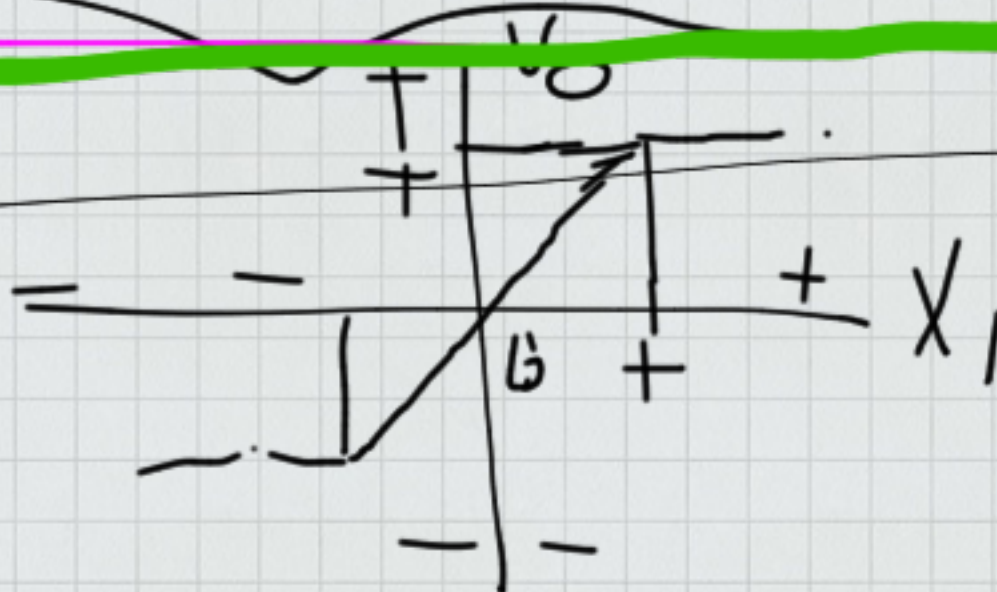
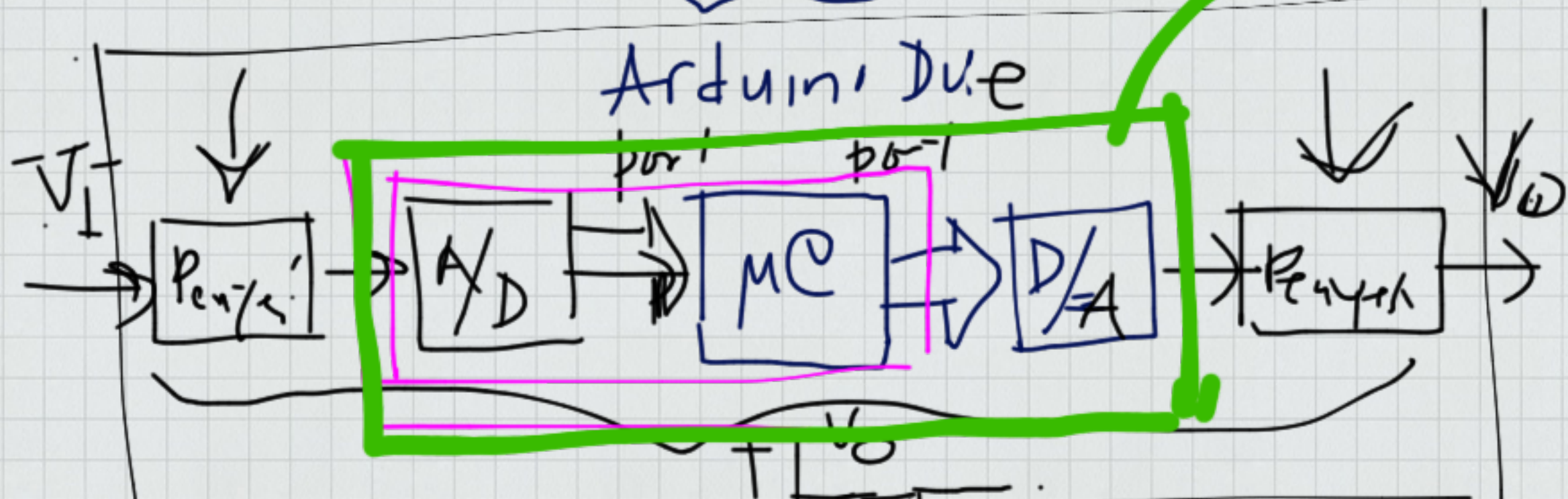
Universal Digital Controller
- M. Basri (UMPAR)
- ATM Mega



Simulink
MATLAB



KIT



SKD 2019

335D433 SISTEM KENDALI DIGITAL **PRAKTIKUM (KELOMPOK) 2019** **PEMBAGIAN KELOMPOK** **PRAKTIKUM**

KELOMPOK 1			KELOMPOK 2		
1	D41116004	Nassri Maulana (<i>Ketua</i>)	1	D41116014	Hasriyani Mustari (<i>Ketua</i>)
2	D41116312	Muhammad Aswan	2	D41116313	Muhammad Reyhan Thirza I.R.
3	D41116524	Ryan Prayudha	3	D41116511	Ahmad Shaadiq B.
4	D41116319	Andi Bau Restu Wardana Ardam	4	D41114516	Sulfikar Naba

KELOMPOK 3			KELOMPOK 4		
1	D41116022	Muh. Abri Yansyah (<i>Ketua</i>)	1	D41116318	Christian Dave (<i>Ketua</i>)
2	D41116315	Andi Fauzan	2	D41116510	Muh. Nasaruddin R.
3	D41116519	Muh. Rafiud Priatna	3	D41116304	Muhammad Fajri Sachbuddin
4	D41114304	Muh. Ibnu	4	D41116301	Ismail Hasan

Judul Praktikum:

“Perakitan dan Penyetelan Modul Pengendali Digital Universal berbasis Mikrokontroller Arduino Due”

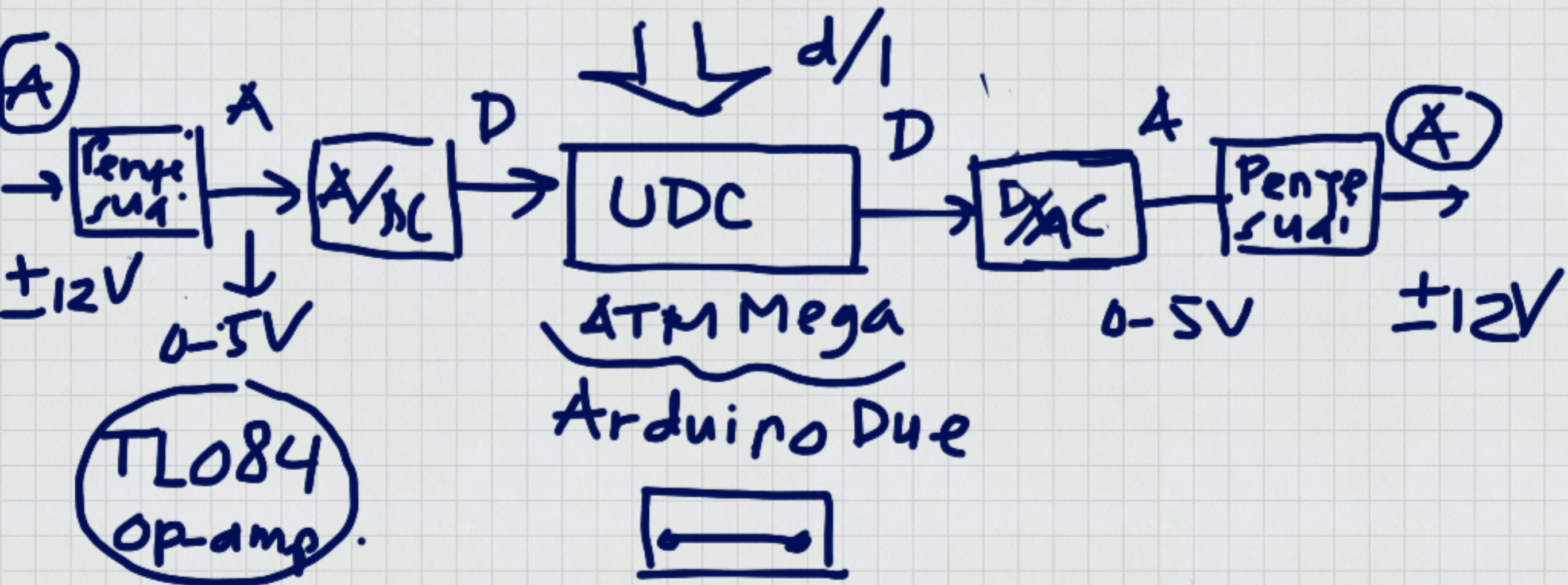
Untuk **KOORDINASI** diharapkan dapat hadir di Ruang Seminar **LSKI** setiap hari **KAMIS** pagi, jam **09:30 s/d 11:10**.

Pemandu: Mas **Nanang R. Wibowo, ST, MT** (No. HP/WA: **+62 822 9230 6658**)

Nama Modul:

Universal Digital Controller

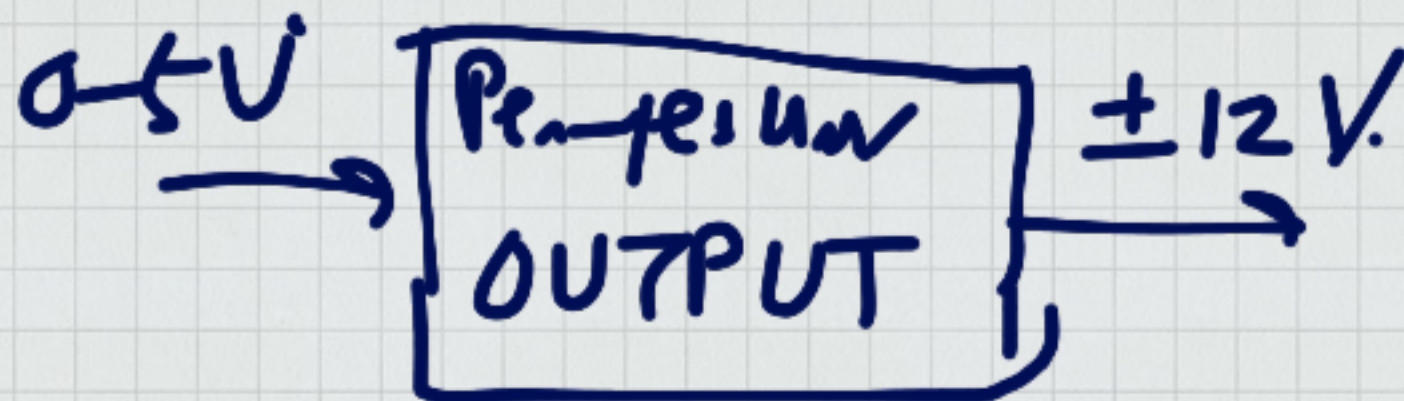
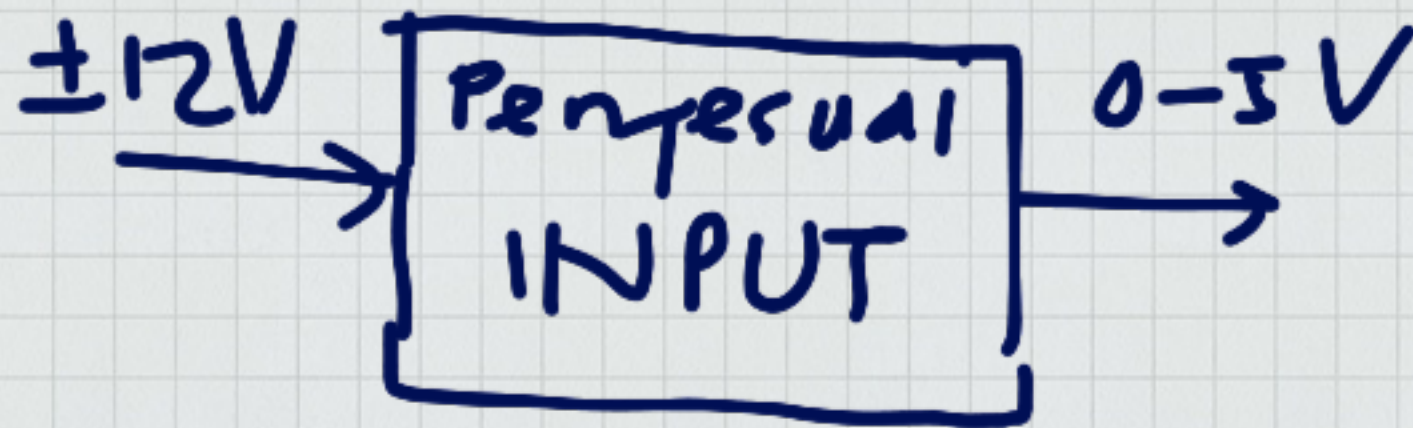
$$e(k) \leftarrow E(z) \xrightarrow{\quad} \boxed{D(z)} \xrightarrow{U(z)} u(k)$$



Praktikum:

* Mempersiapkan POWER SUPPLY.

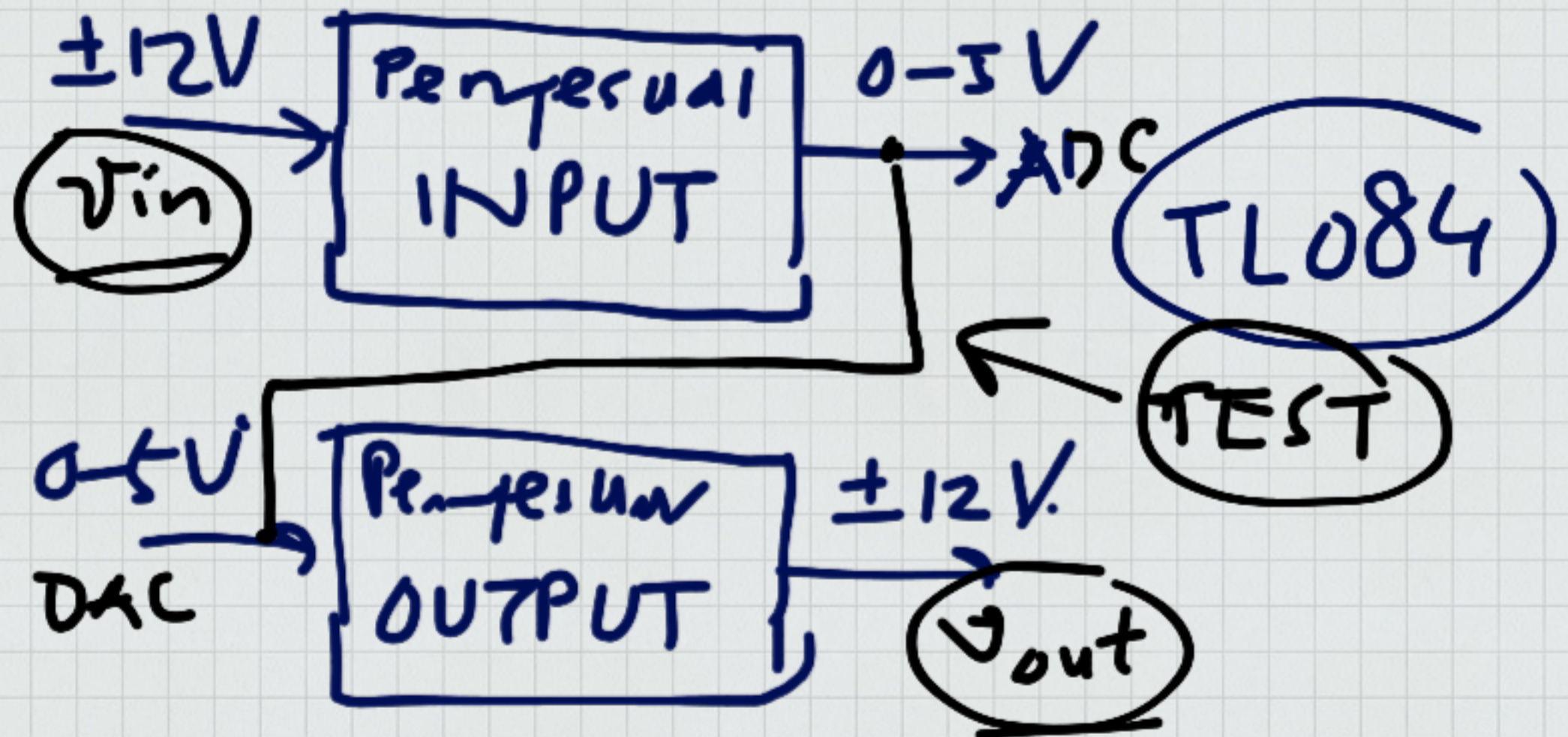
$+5V \rightarrow 3.3V$
 $\pm 12V$ } $\rightarrow$



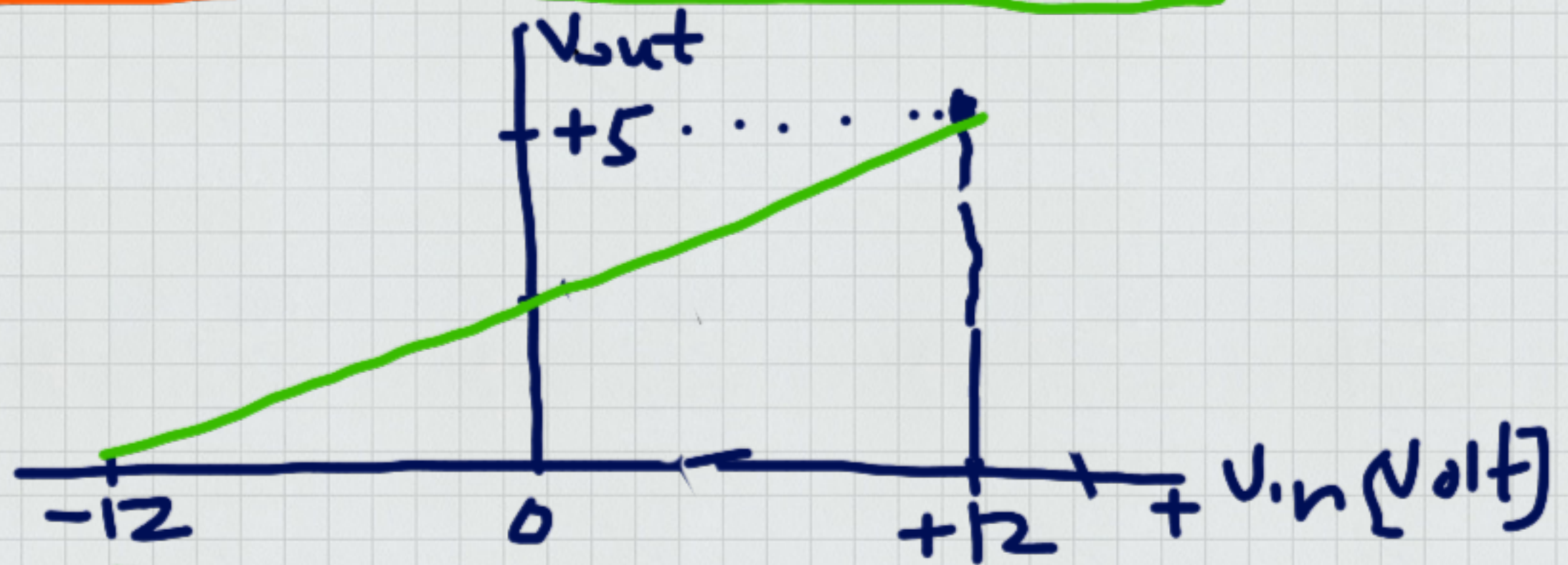
Praktikum:

* Mempersiapkan POWER SUPPLY.

$+5V \rightarrow 3.3V$
 $\pm 12V \rightarrow$



* Rangkaian Penyesuai Input

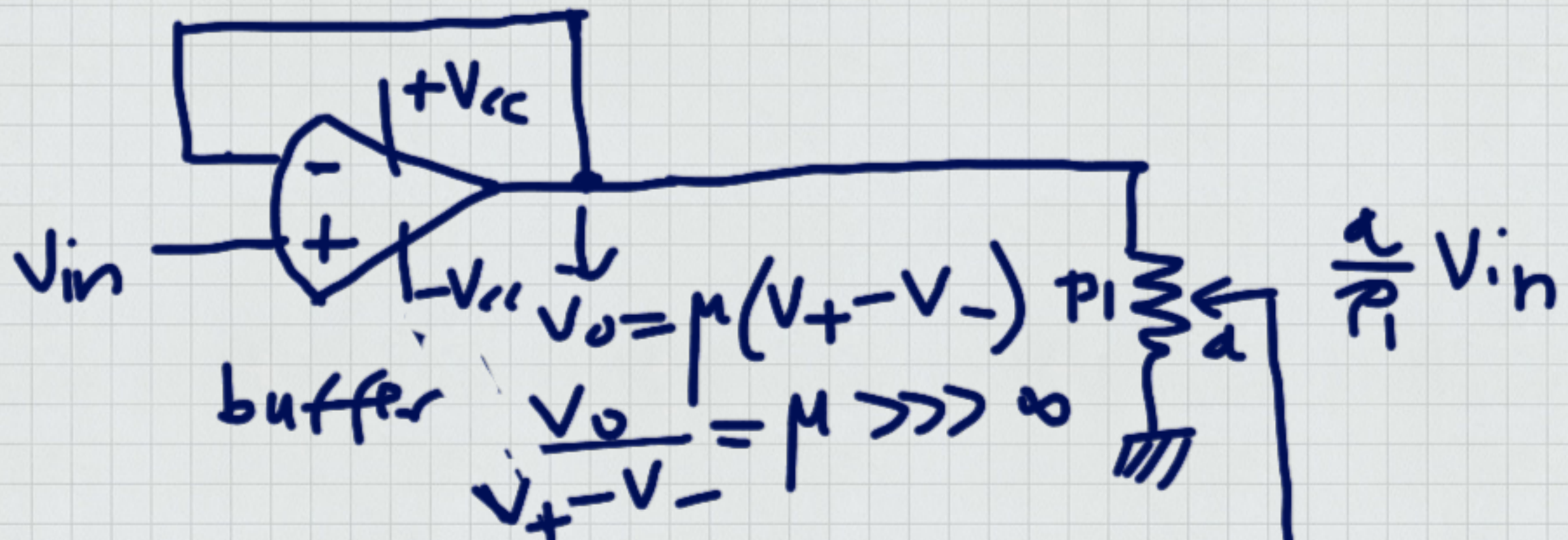


$$V_{out} = \frac{5}{24} V_{in} + 2,5$$

offset

Penguat Tak Membalik
(Non-Inv. Amp)

OPAMP 1



$V_+ - V_- \rightarrow 0$

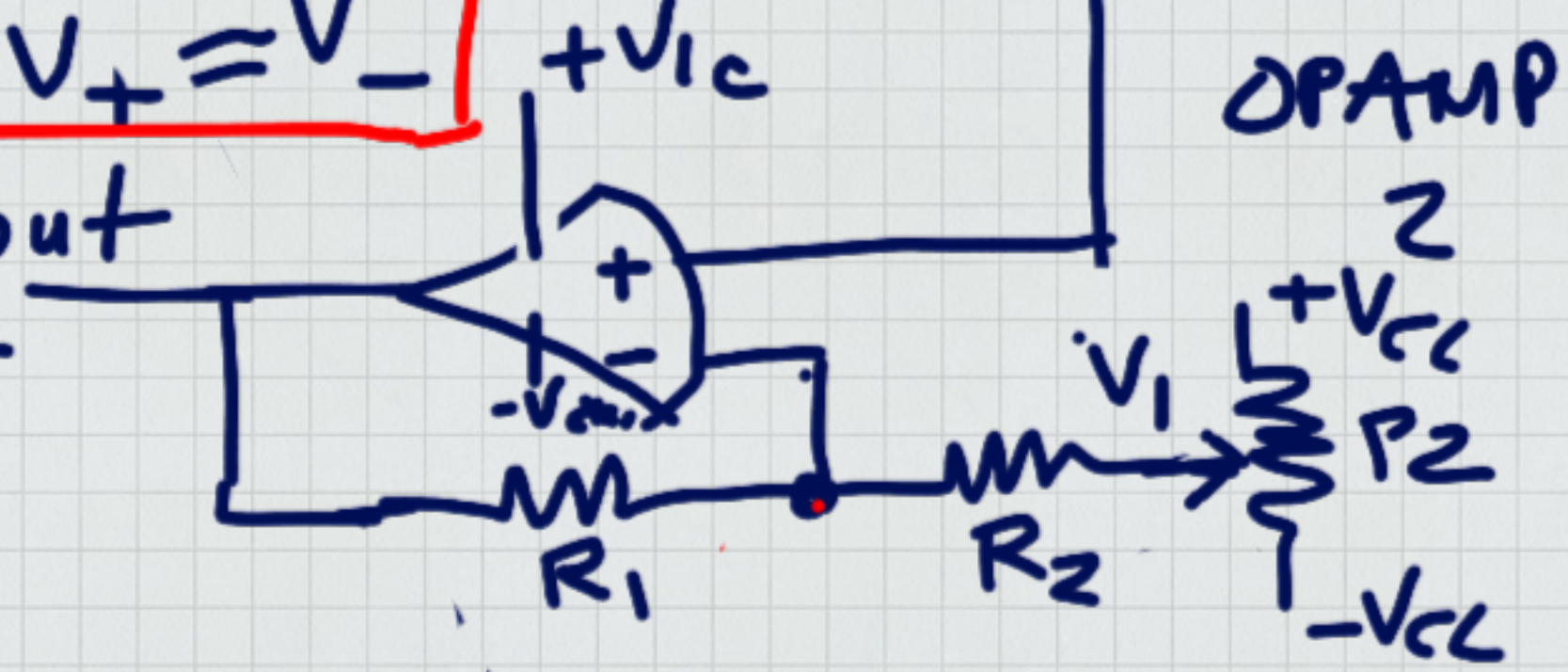
$V_+ \approx V_-$

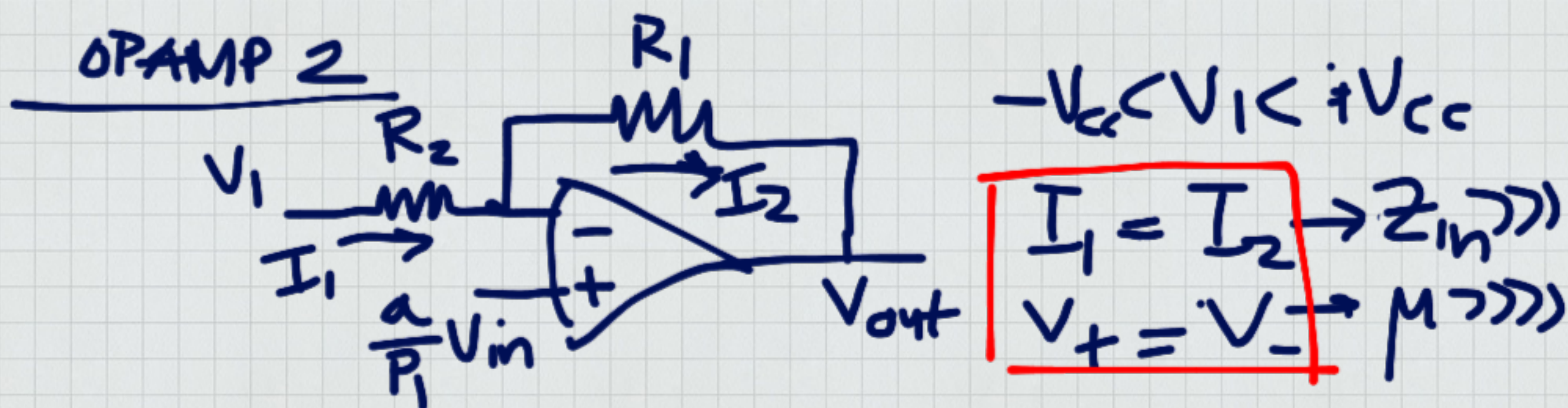
V_{out}

$+V_{ic}$

$-V_{ic}$

ADC





$$\frac{V_1 - \frac{a}{P_1} V_{in}}{R_2} = \frac{\frac{a}{P_1} V_{in} - V_{out}}{R_1}$$

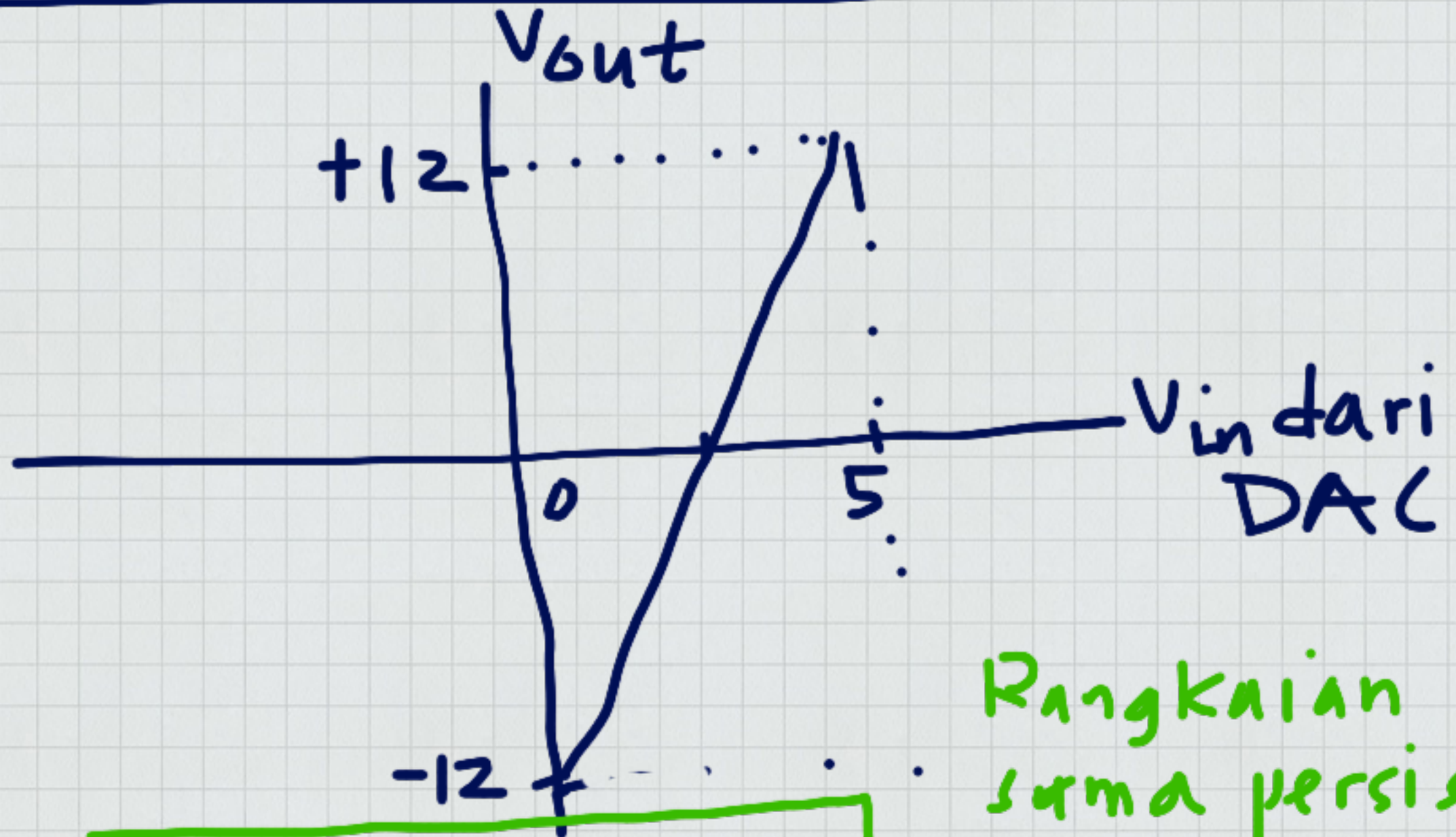
$$R_1 V_1 - \frac{R_1 a}{P_1} V_{in} = \frac{R_2 a}{P_1} V_{in} - R_2 V_{out}$$

$$R_2 V_{out} = (R_1 + R_2) \frac{a}{P_1} V_{in} - R_1 V_1$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \frac{a}{P_1} V_{in} - \frac{R_1}{R_2} V_1$$

$\frac{5}{24}$ + 2,5

* Rangkaian Penyesuaian Output



$$V_{out} = \frac{24}{5} V_{in} - 12$$

Rangkaian
sama persis,
settingnya
berbeda

NAMA Ahmad Shadiq BaharNo. STAMBUK 041116511TTD: Shi

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembar ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya.
Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

I. PENGETAHUAN UMUM (total 50 point, masing-masing soal 5 point)

2019

1.1. Apa perbedaan pokok konfigurasi Sistem Kendali Digital (SKD) dengan Sistem Kendali pada umumnya? Terangkan!
Jawab: Pada Sistem Kendali Digital, bagian pengendali (controller)-nya berupa

1.2. Dalam Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia, sebutkan 3 (tiga) nama lain SKD yang biasa ditemui dalam literatur!

(1) B.Ind.: sistem kendali digital English: digital control systems

(2) B.Ind.: sistem kendali data tercampur English: simpled-data control systems

(3) B.Ind.: sistem kendali waktu diskrit English: Discrete time control systems

1.3. Sebutkan empat bidang ilmu yang diperlukan untuk mempelajari suatu SKD secara komprehensif. Dari keempat bidang ilmu tersebut, mana yang dipelajari dalam matakuliah ini?

(1) pengetahuan tentang proses plant (2) pengetahuan tentang pengukuran besaran

(3) tentang komputer (4) Teori kendali

Yang dipelajari dalam matakuliah ini:

1.4. Sebutkan periodisasi sejarah perkembangan SKD sampai tahun 1980-an menurut Astrom dan Wittenmark [1984]. Bagaimana kelanjutannya sampai sekarang? Jawab: (1) Periode perintis 1995

(2) Periode periode BDC 1962 (3) Periode Mini computer 1967

(4) Periode Micro computer 1992 Selanjutnya: periode Microcomputer 1992

selanjutnya 4 periode itu muncul Microcontroller, keluarga Intel 8050, Mat Inst TMS next generation Arduino, ATmega, dll.

1.5 Sebutkan 4 (empat) macam saja contoh piranti keras (hardware) yang dapat digunakan sebagai bagian pengendali (controller) pada suatu SKD! Jawab: (1) Microcontroller

(2) komputer (3) PLC / DCS

(4) Rangkaian Logika (sequential / kombinatorik)

1.6. Terangkan perbedaan pokok antara komputer yang digunakan sebagai pengendali SKD pada masa "Direct Digital Control" dan pada masa "Minicomputer"! Jawab: perbedaan komputer yang digunakan sebagai pengendali

SKD pada masa Direct Digital Control dan pada masa Minicomputer, pada masa DDC komputer yang digunakan yaitu feranti Argus. Dimana diprogram menggunakan software di magnet tape. Benar ladder program sedangkan pada masa minicomputer, komputer yang digunakan IBM, DEC, Honeywell, HP, yang diprogram dengan bahasa pemrograman.

1.7. Uraikan dengan singkat tentang SKD yang pertama kali dibuat pada periode perintis

Jawab: yang pertama kali dibuat, pada periode perintis setelah perang dunia skd digunakan dalam aplikasi damai dalam industri sebuah perusahaan senjata (TRW)

Memantau sebuah pemrosesan Minyak TEXACO dimana terdapat proses "refinery"

Menghasilkan BEM serta limbah, Pengolahan limbah tersebut dimana poly merisati menggunakan sistem kendali digital dengan komputer RW-300 sebagai pengendalinya

1.8 Terangkan perbedaan antara pengendali digital yang digunakan pada SKD berbasis microcontroller dengan SKD berbasis PC (Personal Computer).

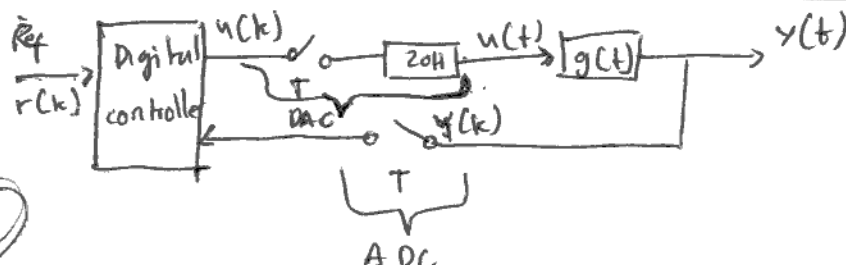
Jawab: • skd Microcontroller lebih sederhana dibandingkan skd PC, • skd Microcontroller memiliki kecepatan dan memory lebih kecil dibanding skd PC, • skd microcontroller lebih Mengedepankan fungsi, • skd PC Mendukung Interface antara manusia dan mesin

1.9. Apa yang menghubungkan antara pengendali digital dengan kendalian analog - dan sebaliknya - pada suatu SKD, dan bagaimana memodelkannya secara matematis! Terangkan dengan singkat

Jawab: Digital ke Analog dengan Digital Analog converter

Analog ke digital dengan Analog Digital converter

model Matematis



$$g(t) = \mathcal{L}^{-1} G(s)$$

halaman ke 1 dari 2 halaman

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembar ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya. Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

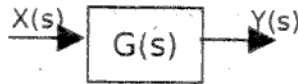
1.10. Dari periode sejarah perkembangan Sistem Kendali Digital yang mana asal-usul dari Sistem Kendali Digital berbasis PLC, DCS dan APC yang banyak digunakan di dunia industri saat ini? Terangkan!

Jawab: pada periode DDC 1962, komputer yang digunakan yaitu feranti Argw Menggunakan software dalam Magnetic tipe berupa ladder program. pengembangannya menjadi bahasa pemrograman yang digunakan pada PLC, pengembangan dari PLC menghasilkan Des kemudiannya dengan Menggunakan AI (Artificial) Intelligent terwujud Menghasilkan APC

2019

II. DASAR-DASAR TRANSFORMASI Z (50 point)

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini pada tempat yang disediakan, jika tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya



(a)



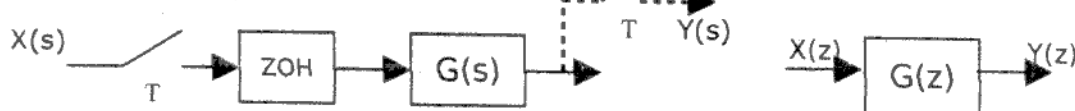
(b)

2.1. Jika $X(s) = 1/s$ dan $G(s) = 1/(s+1)$, pada gambar (a) di atas, tentukan $y(t) = \mathcal{L}^{-1}\{Y(s)\}$ untuk $t=0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik! (10 point)

Note: Isikan jawaban anda pada tabel di bawah!

2.2. Jika $G(s)$ yang sama seperti pada soal 1.1. ditempatkan di antara dua pencuplik ($T = 1$ detik) seperti pada gambar (b), tentukan lagi $y(t)$ untuk $t=0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik (10 point) Note: Isikan jawaban anda pada tabel di bawah! Mengapa pencuplik pada sisi keluaran $y(t)$ digambarkan dengan garis putus-putus? Terangkan! (5 point)

2.3. Jika $G(s)$ yang sama seperti pada soal 2.1. dan 2.2. didahului oleh ZOH seperti pada gambar (c), tentukan lagi $y(t)$ untuk $t=0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik! (10 point)



(c)

Jawaban soal 2.1, soal 2.2. dan soal 2.3.:

$$\begin{aligned} 2.1. x(s) &= \frac{1}{s}, G(s) = \frac{1}{(s+1)} \\ y(s) &= x(s) \cdot G(s) \\ &= \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{(s+1)} \\ &= \frac{1}{s(s+1)} \end{aligned}$$

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}\{y(s)\} = 1 - e^{-t}$$

$$\begin{aligned} 2.2. x(z) &= \frac{z}{z-1} \\ G(s) &= \frac{1}{s+1} = \frac{z}{z-0.3679} \\ e^{-1} &= 0.3679 \\ Y(z) &= G(z) \cdot X(z) \end{aligned}$$

(Gunakan halaman kosong di sebaliknya, jika tidak cukup)

Isilah berdasarkan jawaban soal 2.1., soal 2.2. dan soal 2.3.:

t (detik)	y(t) soal 1.1
0	0
1	0,6321
2	0,8649
3	0,9502
4	0,9817
5	0,9933

t (detik)	y(t) soal 1.2
0	1
1	1,3679
2	1,5032
3	1,5530
4	1,569
5	1,575

t (detik)	y(t) soal 1.3
0	0,6321
1	0,8649
2	0,9502
3	0,9817
4	0,9933
5	

Apa kesimpulan dari 2.1., 2.2. dan 2.3.? (5 point)

Jawab:

2.4. Jika $G(z)$ yang sama seperti pada gambar (c) diubah menjadi persamaan difference yang menghubungkan $y(k)$ dengan $x(k)$, tentukan lagi $y(t)$ untuk $t=0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik! (10 point)

Jawab:

(Gunakan halaman kosong di sebaliknya, jika tidak cukup)

halaman ke 2 dari 2 halaman

$$\begin{aligned} 2.3. z(20H) G(s) &= z \frac{1}{s} (1 - e^{-Ts}) G(s) \\ &= z \frac{(1 - e^{-Ts})}{s} G(s) \\ &= (1 - z^{-1}) z \frac{G(s)}{s} \\ &= z - 1 \quad z \cdot \frac{G(s)}{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow z \frac{G(s)}{s} &= z \frac{1}{s(s+1)} = z \frac{(1 - e^{-1})}{s(s+1)} \\ &= \frac{z(1 - e^{-1})}{(z-1)(z - e^{-1})} \end{aligned}$$

$$= z \cdot 0,6321$$

2.2. lanjutkan pembagian.

$$y(z) = \frac{z^2}{z^2 - 1,367z + 0,3679} \begin{array}{r} 1 + 1,3679z^{-1} + 1,5032z^{-2} + 1,5530z^{-3} + 1,569z^{-4} + 1,575z^{-5} \\ \underline{z^2 - 1,3679z + 0,3679} \phantom{+ 1,5032z^{-2} + 1,5530z^{-3} + 1,569z^{-4} + 1,575z^{-5}} \\ 1,3679z - 0,3679 \\ \underline{1,3679z - 1,8711 + 0,5032z^{-1}} \\ 1,5032 - 0,5032z^{-1} \\ \underline{1,5032 - 2,0562z^{-1} + 0,5530z^{-2}} \\ 1,5530z^{-1} - 0,5530z^{-2} \\ \underline{1,5530z^{-1} - 2,1332z^{-2} + 0,569z^{-3}} \\ 1,569z^{-2} + 0,569z^{-3} \\ \underline{1,575z^{-3} + 2,144z^{-3} + 0,575z^{-4}} \\ 1,575z^{-3} + 0,575z^{-4} \end{array}$$

2.3. $Y(z) = G(z) \times (z) = \frac{0,6321z}{(z-1)(z-0,3679)} = \frac{0,6321z}{z^2 - 1,3679z + 0,3679}$

$$\begin{array}{r} 0,6321z \\ \underline{z^2 - 1,3679z + 0,3679} \phantom{+ 0,9816z^{-1} + 0,9502z^{-2} + 0,9816z^{-3} + 0,9816z^{-4}} \\ 0,6321z - 0,8647 + 0,2325z^{-1} \\ \underline{0,8647 - 0,2325z^{-1}} \\ 0,8647 - 1,1028z^{-1} + 0,3181z^{-2} \\ \underline{0,9502z^{-1} - 0,3181z^{-2}} \\ 0,9502z^{-1} - 1,2997z^{-2} + 0,3995z^{-3} \\ \underline{0,9816z^{-2} + 0,3495z^{-3}} \\ 0,9816z^{-2} + 1,3427z^{-3} + 0,3611z^{-4} \\ \underline{0,9932z^{-3} - 0,3611z^{-4}} \end{array}$$

NAMA MUHAMMAD FAJRI SAHRUDIN

No. STAMBUK

041116304

TTD:

2019

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembar ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya.

Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

I. PENGETAHUAN UMUM (total 50 point, masing-masing soal 5 point)

2019

1.1. Apa perbedaan pokok konfigurasi Sistem Kendali Digital (SKD) dengan Sistem Kendali pada umumnya? Terangkan!

Jawab: Pada Sistem Kendali Digital, bagian pengendali (controller) -nya berupa sistem digital

1.2. Dalam Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia, sebutkan 3 (tiga) nama lain SKD yang biasa ditemui dalam literatur!

(1) B.Ind.: Sistem Kendali oleh komputer

English: Controlled System by computer

(2) B.Ind.: Sistem Kendali data sampel

English: Sample-data Control System

(3) B.Ind.: Sistem Kendali waktu diskrit

English: Discrete Time Control System

1.3. Sebutkan empat bidang ilmu yang diperlukan untuk mempelajari suatu SKD secara komprehensif. Dari keempat bidang ilmu tersebut, mana yang dipelajari dalam matakuliah ini?

(1) Pengetahuan tentang proses, kendali yang dikendalikan (2) Pengukuran

(3) Teknik komputer

(4) Teori Kendali

Yang dipelajari dalam matakuliah ini: Teori Kendali

1.4. Sebutkan periodisasi sejarah perkembangan SKD sampai tahun 1980-an menurut Astrom dan Wittenmark [1984]. Bagaimana kelanjutannya sampai sekarang? Jawab: (1) Periode Perintis 1955

(2) Periode DDC (1962)

(3) Periode Minicomputer (1967)

(4) Periode Microcomputer (1972)

Selanjutnya: Nano teknologi

1.5 Sebutkan 4 (empat) macam saja contoh piranti keras (hardware) yang dapat digunakan sebagai bagian pengendali (controller) pada suatu SKD! Jawab: (1) PLC

(2) DCS

(3) Minicomputer

(4) APC

1.6. Terangkan perbedaan pokok antara komputer yang digunakan sebagai pengendali SKD pada masa "Direct Digital Control" dan pada masa "Minicomputer"! Jawab: Komputer pada masa DDC ialah Fortran Agis pada masa

ini berupa PLC, DCS, dan APC dengan hardware tetap dan program dengan ladder. Pada masa mini computer komputer sebagai pengolah data dan software aplikasi lebih ke "drivers"

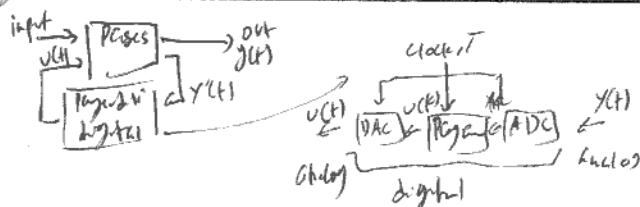
1.7. Uraikan dengan singkat tentang SKD yang pertama kali dibuat pada periode perintis

Jawab: Pada periode perintis awal digunakan pada industri yakni BPH plastik. Pada masa ini perusahaan yakni T&W dengan RW-300, RW-300 mengendalikan reaktor berdasarkan 26 PIDW, 72 komputer, 5 pressure, dan 3 composition sehingga memiliki 104 variable yang telah diatur set-point pada pengendali. Pada masa ini memiliki mesin yang bekerja failure 50-60

1.8 Terangkan perbedaan antara pengendali digital yang digunakan pada SKD berbasis microcontroller dengan SKD berbasis PC (Personal Computer).

Jawab: Pengendali digital berbasis microcontroller memiliki kemampuan yang lebih terhadap PC. Akan tetapi bergantung hal yang perlu dipertimbangkan. PC memiliki kemampuan yang lebih besar dan user friendly. Pada microcontroller program bersifat tetap hingga diprogram kembali

1.9. Apa yang menghubungkan antara pengendali digital dengan kendalian analog - dan sebaliknya - pada suatu SKD, dan bagaimana memodelkannya secara matematis! Terangkan dengan singkat

Jawab: Pada suatu SKD pengendali digital dengan kendalian analog dihubungkan dengan DAC serta ADC dalam proses pemodelan matematis proses (plant) melalui pengendali digital dimana data analog $y(t)$ masuk ke dalam ADC dengan sama kejut dengan clock yang outputnya $u(t)$ kembali ke analog. data data secara digital dapat sebagai berikut:

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembaran ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya. Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

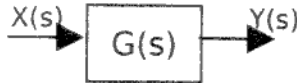
1.10. Dari periode sejarah perkembangan Sistem Kendali Digital yang mana asal-usul dari Sistem Kendali Digital berbasis PLC, DCS dan APC yang banyak digunakan di dunia industri saat ini? Terangkan!

Jawab: Pada periode sejarah yang berbasis PLC, DCS, dan APC muncul pada 1982 Inggris 101. dengan komputer = Pengerak Agus pada masa ini memiliki MTBF yang lebih besar dibanding peralatan yang lain. memiliki hardware yang lebih dan lebih sederhana yang diprogram dengan ladder programming

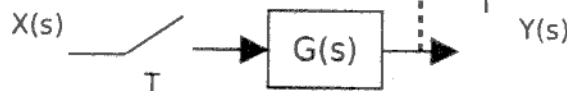
II. DASAR-DASAR TRANSFORMASI Z (50 point)

2019

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini pada tempat yang disediakan, jika tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya



(a)

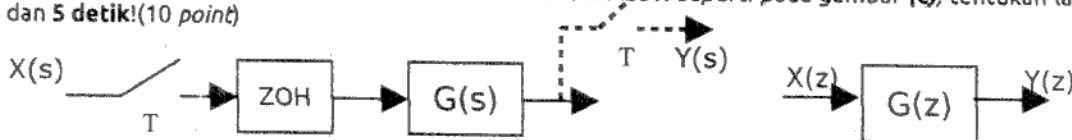


(b)

2.1. Jika $X(s) = 1/s$ dan $G(s) = 1/(s+1)$, pada gambar (a) di atas, tentukan $y(t) = \mathcal{L}^{-1}\{Y(s)\}$ untuk $t = 0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik! (10 point)
 Note: Isikan jawaban anda pada tabel di bawah!

2.2. Jika $G(s)$ yang sama seperti pada soal 1.1. ditempatkan di antara dua pencuplik ($T = 1$ detik) seperti pada gambar (b), tentukan lagi $y(t)$ untuk $t = 0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik (10 point) Note: Isikan jawaban anda pada tabel di bawah! Mengapa pencuplik pada sisi keluaran $y(t)$ digambarkan dengan garis putus-putus? Terangkan! (5 point)

2.3. Jika $G(s)$ yang sama seperti pada soal 2.1. dan 2.2. didahului oleh ZOH seperti pada gambar (c), tentukan lagi $y(t)$ untuk $t = 0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik! (10 point)



(c)

Jawaban soal 2.1, soal 2.2. dan soal 2.3.:

2.1. $X(s) = \frac{1}{s}$ $G(s) = \frac{1}{s+1}$

$Y(s) = X(s) \cdot G(s)$
 $= \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s+1}$

$y(t) = 1 - e^{-t}$

$y(0) = 1 - e^{-0} = 0$

$y(1) = 1 - e^{-1}$

$y(2) = 1 - e^{-2}$

$y(3) = 1 - e^{-3}$

$y(4) = 1 - e^{-4}$

$y(5) = 1 - e^{-5}$

2.2. $G(s) = \frac{1}{s+1}$

$G(z) = \mathcal{Z}\{G(s)\} = \frac{z}{z-e^{-1}}$

$X(z) = \frac{z}{z-1}$

$Y(z) = \frac{z^2}{(z-e^{-1})(z-1)} = \frac{z^2}{z^2 - (1+e^{-1})z + e^{-1}}$

pelembagaan di belah kiri = $\frac{z^2}{z^2 - 1,367z + 0,367}$

2.3. $G(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z}\{G(s)\} = \frac{1-e^{-1}}{z-e^{-1}}$

$Y(z) = G(z)X(z) = \frac{1-e^{-1}}{z-e^{-1}} \cdot \frac{z}{z-1} = \frac{1-e^{-1}}{z-e^{-1}} \cdot \frac{z}{z-1}$

$= \frac{1-e^{-1}}{z-e^{-1}} \cdot \frac{z}{z-1} = \frac{1-e^{-1}}{z-e^{-1}} \cdot \frac{z}{z-1}$

Isilah berdasarkan jawaban soal 2.1., soal 2.2. dan soal 2.3.:

t (detik)	y(t) soal 1.1
0	0
1	0,63212
2	0,86466
3	0,95021
4	0,98168
5	0,99326

t (detik)	y(t) soal 1.2
0	0
1	1
2	1,367
3	1,521
4	1,578
5	1,598

t (detik)	y(t) soal 1.3
0	0
1	0,632
2	0,863
3	0,948
4	0,979
5	0,993

Apa kesimpulan dari 2.1., 2.2. dan 2.3.? (5 point)

Jawab: Keseluruhan hasil yang didapat kita bisa melihat karakteristik nilai-nilai yang berbeda dan didapat secara-priori dan tidak.

Dan pada ZOH terdapat nilai-nilai di belah kiri ZOH

2.4. Jika $G(z)$ yang sama seperti pada gambar (c) diubah menjadi persamaan difference yang menghubungkan $y(k)$ dengan $x(k)$, tentukan lagi $y(t)$ untuk $t = 0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik! (10 point)

Jawab: $G(z) = \frac{0,632}{z-0,368} = \frac{0,632z^{-1}}{1-0,368z^{-1}} = Y(z)$

$(1-0,368z^{-1})Y(z) = 0,632z^{-1}X(z)$

$Y(k) = 0,632z^{-1}X(k) + 0,368z^{-1}Y(k)$

$Y(k) = 0,632x(k-1) + 0,368Y(k-1)$

k	X(k)	Y(k)
0	1	0
1	1	0
2	1	0,632
3	1	0,863
4	1	0,948
5	1	0,979

(Gunakan halaman kosong di sebaliknya, jika tidak cukup)

halaman ke 2 dari 2 halaman

2019

-3

2.2

$$z^2 - 1.367z + 0.367 \mid 1 + 1.367z^{-1} + 1.521z^{-2} - 1.578z^{-3} - 2.715z^{-4}$$

$$z^2 - 1.367z + 0.367 \quad -$$

$$1.367z - 0.367$$

$$1.367z - 1.880 + 0.501z^{-1} \quad -$$

$$1.521 + 0.501z^{-1}$$

$$1.521 + 2.1079z^{-1} + 0.558z^{-2} \quad -$$

$$-1.578z^{-1} - 0.558z^{-2}$$

$$-1.578z^{-1} + 2.157z^{-2} - 0.579z^{-3}$$

$$-2.715z^{-2} + 0.579z^{-3}$$

$$-2.715z^{-2}$$

2.3

$$z^2 - 1.367z + 0.367 \mid 0.632z^{-1} + 0.863z^{-2} + 0.948z^{-3} + 0.979z^{-4} + 1.685z^{-5}$$

$$0.632z - 0.863 + 0.231z^{-1} \quad -$$

$$0.863 - 0.231z^{-1}$$

$$0.863 - 1.179z^{-1} + 0.316z^{-2} \quad -$$

$$0.948z^{-1} - 0.316z^{-2}$$

$$0.948z^{-1} - 1.295z^{-2} + 0.347z^{-3}$$

$$0.979z^{-2} + 0.347z^{-3}$$

$$0.979z^{-2} - 1.338z^{-3} + 0.359z^{-4}$$

$$1.685z^{-3} + -0.359z^{-4}$$

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembar ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya.

Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

1. PENGETAHUAN UMUM (total 50 point, masing-masing soal 5 point)

2019

1.1. Apa perbedaan pokok konfigurasi Sistem Kendali Digital (SKD) dengan Sistem Kendali pada umumnya? Terangkan!

Jawab: Pada Sistem Kendali Digital, bagian pengendali (controller)-nya berupa pengendali digital yang berupa sistem digital (digital controller)

1.2. Dalam Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia, sebutkan 3 (tiga) nama lain SKD yang biasa ditemui dalam literatur!

(1) B.Ind.: Sistem kendali data tercampur English: Sampled-data control systems

(2) B.Ind.: Sistem kendali waktu diskrit English: Discrete time control system

(3) B.Ind.: Sistem (ter)kendali (oleh) komputer English: Computer-controlled systems

1.3. Sebutkan empat bidang ilmu yang diperlukan untuk mempelajari suatu SKD secara komprehensif. Dari keempat bidang ilmu tersebut, mana yang dipelajari dalam matakuliah ini?

(1) ilmu proses, kendali yg dikembangkan (2) Pengukuran

(3) Teknologi komputer (4) Teori Kendali

Yang dipelajari dalam matakuliah ini: Teori Kendali

1.4. Sebutkan periodisasi sejarah perkembangan SKD sampai tahun 1980-an menurut Astrom dan Wittenmark [1984].

Bagaimana kelanjutannya sampai sekarang? Jawab: (1) Periode Perintis

(2) Periode DDC

(3) Periode Minicomputer

(4) Periode Microcomputer

Selanjutnya: Microcomputer periode micro controller, Periode jaringan, Nano technology

1.5. Sebutkan 4 (empat) macam saja contoh piranti keras (hardware) yang dapat digunakan sebagai bagian pengendali (controller) pada suatu SKD! Jawab: (1) CPU

(2) Memory

(3) Interface

(4) Remote Control / Control desk

1.6. Terangkan perbedaan pokok antara komputer yang digunakan sebagai pengendali SKD pada masa "Direct Digital Control" dan pada masa "Minicomputer"! Jawab:

pada masa DDC komputer yang digunakan masih sangat terbatas kapasitasnya dan fungsinya yg hanya buka tutup katup. Pada masa mini komputer sudah dapat mengolah data dan software yg digunakan berupa aplikasi

1.7. Uraikan dengan singkat tentang SKD yang pertama kali dibuat pada periode perintis

Jawab:

Pada periode perintis SKD pertama kali dibuat oleh perusahaan RW untuk mengendalikan proses industri minyak nadawanya bernama RW-300. RW-300 mampu mengendalikan 5 reaktor dengan total 104 parameter.

1.8 Terangkan perbedaan antara pengendali digital yang digunakan pada SKD berbasis microcontroller dengan SKD berbasis PC (Personal Computer).

Jawab: SKD berbasis microcontroller hanya terdapat komunikasi atau interface antar mesin sedangkan PC terdapat interface yang menghubungkan antara mesin dan manusia sehingga dapat dilihat tampilannya. Contohnya seperti monitor

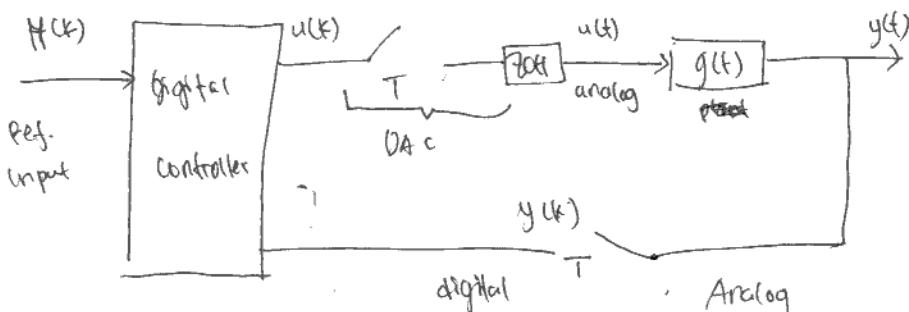
1.9. Apa yang menghubungkan antara pengendali digital dengan kendalian analog - dan sebaliknya - pada suatu SKD, dan bagaimana memodelkannya secara matematis! Terangkan dengan singkat

Jawab: yang pengendali digital dgn kendalian analog adalah ADC / DAC.

Data analog di cuplik setiap T besaran waktu

$$y(k) = y(0) \delta(k) + y(1) \delta(k-T) + y(2) \delta(k-2T) + \dots$$

$$= \sum y(k) \delta(k-kT)$$



2.3

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

$$\begin{aligned} G(z) &= \frac{z-1}{z} \cdot \frac{G(s)}{s} \\ &= \frac{0,6321}{z - 0,3679} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y(z) &= G(z) \cdot X(z) \\ &= \frac{0,6321z}{(z-1)(z-0,3679)} \\ &= \frac{0,6321z}{z^2 - 1,3679z + 0,3679} \end{aligned}$$

$$Y(z) = 0,6321z^{-1} + 0,8647z^{-2} + 0,9502z^{-3} + 0,9816z^{-4} + 0,9932z^{-5}$$

2.4

$$G(z) = \frac{0,6321z}{z - 0,3679} \quad ; \quad z$$

$$G(z) = \frac{0,6321z^{-1}}{1 - 0,3679z^{-1}} = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

$$Y(z) - 0,3679z^{-1}Y(z) = 0,6321z^{-1}X(z)$$

$$Y(z) = 0,6321z^{-1}X(z) + 0,3679z^{-1}Y(z)$$

$$z^{-1}$$

$$\Rightarrow y(k) = 0,6321x(k-1) + 0,3679y(k-1)$$

$$x(k) = \begin{cases} 0, & k < 0 \\ 1, & k \geq 0 \end{cases}$$

k	x(k)	y(k)
0	1	0
1	1	0,6321
2	1	$0,6321 + 0,3679(0,6321) = 0,8646$
3	1	$0,6321 + 0,3679(0,8646) = 0,9502$
4	1	$0,6321 + 0,3679(0,9502) = 0,9816$
5	1	$0,6321 + 0,3679(0,9816) = 0,9932$

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembaran ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya. Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

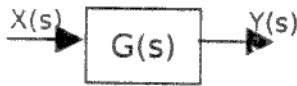
1.10. Dari periode sejarah perkembangan Sistem Kendali Digital yang mana asal-usul dari Sistem Kendali Digital berbasis PLC, DCS dan APC yang banyak digunakan di dunia industri saat ini? Terangkan!

Jawab: ~~Asal~~ asal usul dari SKD berbasis PLC, DCS, & APC adalah pada periode DDC dimana ~~pengguna~~ komputer digunakan untuk tujuan yg lebih spesifik untuk mengendalikan suatu kendalian

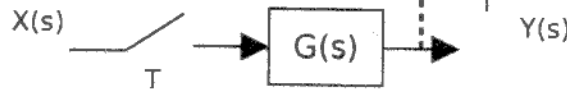
2019

II. DASAR-DASAR TRANSFORMASI Z (50 point)

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini pada tempat yang disediakan, jika tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya



(a)



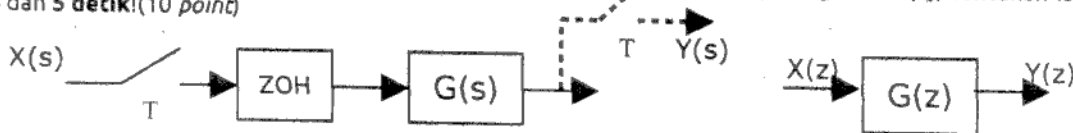
(b)

2.1. Jika $X(s) = 1/s$ dan $G(s) = 1/(s+1)$, pada gambar (a) di atas, tentukan $y(t) = \int_0^t Y(s) ds$ untuk $t = 0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik! (10 point)

Note: Isikan jawaban anda pada tabel di bawah!

2.2. Jika $G(s)$ yang sama seperti pada soal 1.1. ditempatkan di antara dua pencuplik ($T = 1$ detik) seperti pada gambar (b), tentukan lagi $y(t)$ untuk $t = 0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik (10 point) Note: Isikan jawaban anda pada tabel di bawah! Mengapa pencuplik pada sisi keluaran $y(t)$ digambarkan dengan garis putus-putus? Terangkan! (5 point)

2.3. Jika $G(s)$ yang sama seperti pada soal 2.1. dan 2.2. didahului oleh ZOH seperti pada gambar (c), tentukan lagi $y(t)$ untuk $t = 0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik! (10 point)



(c)

Jawaban soal 2.1, soal 2.2. dan soal 2.3.:

$$2.1. Y(s) = G(s) \cdot X(s)$$

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

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

$$y(t) = \int_0^t Y(s) ds = 1 - e^{-t}$$

$$2.2. X(z) = \frac{z}{z-1}$$

$$G(z) = \frac{z}{z - 0.3679}$$

$$Y(z) = G(z) \cdot X(z)$$

$$= \frac{z}{z-1} \cdot \frac{z}{z - 0.3679}$$

$$= \frac{z^2}{z^2 - 1.3679z + 0.3679}$$

$$= \frac{z^2 - 1.3679z + 0.3679}{z^2 - 1.3679z + 0.3679}$$

(Gunakan halaman kosong di sebaliknya, jika tidak cukup)

Isilah berdasarkan jawaban soal 2.1., soal 2.2. dan soal 2.3.:

t (detik)	y(t) soal 1.1
0	0
1	0,6321
2	0,8647
3	0,9502
4	0,9817
5	0,9932

t (detik)	y(t) soal 1.2
0	1
1	1,3679
2	1,5032
3	1,5530
4	1,5729
5	1,5871

t (detik)	y(t) soal 1.3
0	0
1	0,6321
2	0,8647
3	0,9502
4	0,9817
5	0,9932

Apa kesimpulan dari 2.1., 2.2. dan 2.3? (5 point)

Jawab: Cuplikan $y(t)$ dengan T apabila menggunakan cuplikan biasa hasil yg didapatkan tidak sama dgn fungsi $y(t)$ yg sebenarnya. Sedangkan apabila menggunakan ZOH hasilnya sama. Hal ini menandakan bahwa model dengan ZOH merupakan model yang lebih realistik

2.4. Jika $G(z)$ yang sama seperti pada gambar (c) diubah menjadi persamaan difference yang menghubungkan $y(k)$ dengan $x(k)$, tentukan lagi $y(t)$ untuk $t = 0, 1, 2, 3, 4$ dan 5 detik! (10 point)

Jawab:

2019

(Gunakan halaman kosong di sebaliknya, jika tidak cukup)

halaman ke 2 dari 2 halaman

2.1. Dik: $x(s) = \frac{1}{s}$ $G(s) = \frac{1}{s+1}$

$$Y(s) = X(s) \cdot G(s)$$

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

$$y(t) = \int^{-1} Y(s) = 1 - e^{-t}$$

2.2. Dik: $x(z) = \frac{1}{s}$ $G(z) = \frac{1}{s+1}$

$$X(z) = Z \frac{1}{s} = \frac{z}{z-1}$$

$$G(z) = Z \frac{1}{s+1} = \frac{z}{z-0,3679}$$

$$Y(z) = X(z) \cdot G(z)$$

$$= \frac{z}{(z-1)} \cdot \frac{z}{(z-0,3679)} = \frac{z^2}{z^2 - 1,3679z + 0,3679}$$

$$\begin{array}{r} Y(z) = 1,13679z^{-1} + 1,5032z^{-2} + 1,5530z^{-3} + 1,2124z^{-4} + 1,0871z^{-5} \\ z^2 - 1,3679z + 0,3679 \overline{) z^2} \\ \underline{z^2 - 1,3679z + 0,3679} \\ 1,3679z - 0,3679 \\ \underline{1,3679z - 1,1711 + 0,5032z^{-1}} \\ 1,5032 - 0,5032z^{-1} \\ \underline{1,5032 - 2,0562z^{-1} + 0,5530z^{-2}} \\ 1,5530z^{-1} - 0,5530z^{-2} \\ \underline{1,5530z^{-1} - 1,7654z^{-2} + 0,5713z^{-3}} \\ 1,2124z^{-2} - 0,5713z^{-3} \\ \underline{1,2124z^{-2} - 1,6584z^{-3} + 0,4460z^{-4}} \\ 1,0871z^{-3} - 0,4460z^{-4} \end{array}$$

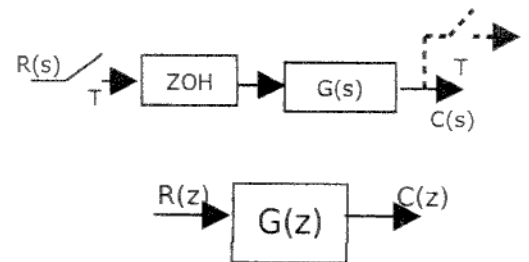
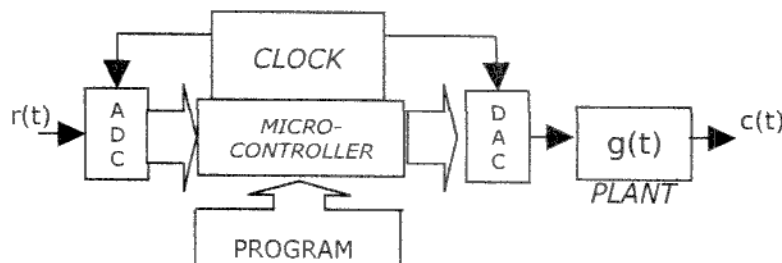
garis putus-putus menandakan bahwa terjadi pencuplikan semu

artinya ???

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembaran ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya. Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

I. PENGETAHUAN UMUM (25 points)

I.1. Jelaskan bagaimana konfigurasi perangkat keras pada gambar di sebelah kiri dapat dimodelkan dengan bagan kotak di sebelah kanan (10 point)!



Jawab:

pada model gambar sebelah kiri terlihat masih terdapat ADC/DAC beserta mikrokontrolernya, namun pada model gambar sebelah kanan menggunakan ZOH, ZOH berguna agar hasil pengalihan dari digital ke analog menghasilkan (sinyal) kontinu yang mendekati bentuk awal sinyal kontinu dari persamaan $G(s)$.

I.2. Pada bagan kotak di sebelah kanan atas, terlihat ada saklar yang digambarkan dengan garis putus-putus, mengapa digambarkan demikian? Jelaskan! (5 points)

Jawab:

pada bagan kotak di sebelah kanan atas terlihat saklar yang digambarkan dengan garis putus-putus karena saklar tersebut sebagai pemuplik semat

I.3. Supaya model matematika yang digambarkan dengan bagan kotak di sebelah kanan sah (valid), bagaimana program yang harus dibuat untuk micro-controller? (10 points)

Jawab:

int input;

int input0;

int input = AnalogRead(A0);

int input0 = map(input, 0, 1023, 0, 255);

AnalogWrite(2, input);

II. PEMODELAN NISBAH ALIH (75 point)

Jika $G(s)$ dari model di bawah ini diketahui =

$$\frac{s}{5s + 1}$$

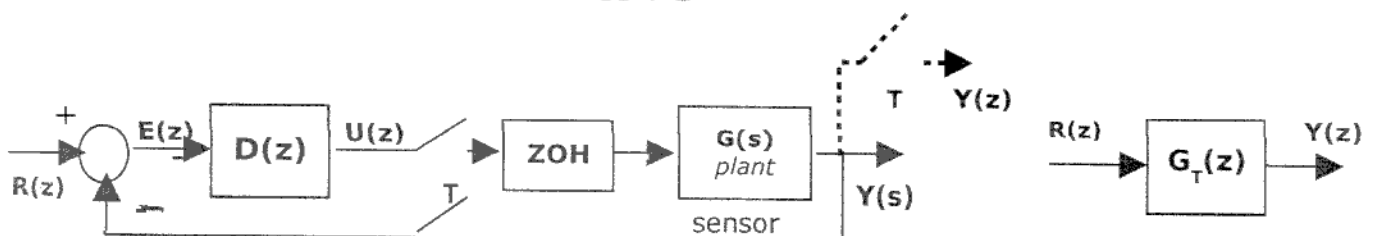
dan $T=1$ sec, maka:

A0 = pin input ADC

2 = pin output DAC

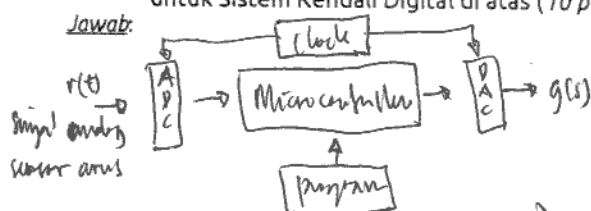
Range ADC: (0-3,3) - (0-1023)

Range DAC: (0-3,3) - (0-255)



a. (Berdasarkan gambar pada soal 1.1.) Tentukan rancangan kasar implementasi perangkat keras dan program untuk Sistem Kendali Digital di atas (10 point)

Jawab:



sinyal keluaran dari sensor analog akan diubah menjadi sinyal digital (ADC), yang selanjutnya adalah mikrokontroler, keluaran sinyal digital dari mikrokontroler kemudian akan diubah kembali menjadi sinyal analog (DAC).

$\Phi(z)$
sensor

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembar ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya. Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

(lanjutan soal Bagian II. PEMODELAN NISBAH ALIH)

b. Tentukanlah $G(z) = Y(z)/U(z)$! (10 point)

Jawab:

$$\begin{aligned} G(z) &= z^{-1} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s+0,2} \\ &= z^{-1} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s+0,2} \\ &= \frac{z^{-1}}{z} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s+0,2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{z^{-1}}{z} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{s+0,2} \\ &= \frac{z^{-1}}{s(z-e^{-0,2T})} \end{aligned}$$

c. Tentukanlah $G_T(z) = Y(z)/R(z)$ untuk $D(z) = K_p + (T/K_i)[z/(z-1)]$, $K_p = 1$ dan $K_i = 0,5$ (20 point)

Jawab:

$$\begin{aligned} P(z) &= 1 + \frac{1}{0,5} \cdot \frac{z}{z-1} \\ &= 1 + \frac{2z}{z-1} \\ &= \frac{z-1+2z}{z-1} \\ &= \frac{3z-1}{z-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_T(z) &= G(z) \cdot D(z) \\ &= \frac{z^{-1}}{s(z-e^{-0,2T})} \cdot \frac{3z-1}{z-1} \\ &= \frac{3z-1}{s(z-e^{-0,2T})(z-1)} \end{aligned}$$

-12

d. Dari $G_T(z)$, tentukanlah persamaan difference yang menghubungkan cuplikan data $r(k) = Z^{-1} R(z)$ dengan cuplikan data $y(k) = Z^{-1} Y(z)$! (10 point)

Jawab:

$$\begin{aligned} \frac{Y(z)}{R(z)} &= \frac{3z-1}{s-5e^{-0,2T}} \\ \frac{Y(z)}{R(z)} &= \frac{3z-1}{s-5e^{-0,2T}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y(z) &= 5e^{-0,2T} z^{-1} Y(z) = 3R(z) - z^{-1}R(z) \\ Y(z) &= 3R(z) - z^{-1}R(z) + 5e^{-0,2T} z^{-1} Y(z) \\ Y(z) &= 0,6 R(z) - 0,2 z^{-1} R(z) + e^{-0,2T} z^{-1} Y(z) \\ Y(k) &= 0,6 R(k) - 0,2 R(k-1) + e^{-0,2T} Y(k-1) \end{aligned}$$

-4

e. Jika $r(k)=1$ untuk $k=0,2,4,6,\dots$ (k : genap) dan $r(k)=0$ untuk $k=1,3,5,\dots$ (k : ganjil), maka dari persamaan difference di atas, tentukan $y(t)$ pada $t = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ detik dan seterusnya sampai 10 detik (20 points).

Jawab:

t (detik)	k	r(k)	y(k) = y(t)
0	0	1	0,6
1	1	0	0,29
2	2	1	0,83848
3	3	0	0,48644
4	4	1	0,99818
5	5	0	0,61728
6	6	1	
7	7	0	
8	8	1	
9	9	0	
10	10	1	

-14

f. Gambarkan isyarat $y(t)$ dalam suatu diagram waktu t (5 points)

Gambar:

$$y(k) = 0,6 R(k) - 0,2 R(k-1) + e^{-0,2T} Y(k-1)$$

$$y(0) = 0,6 R(0) - 0,2 R(-1) + e^{-0,2T} Y(-1)$$

$$= 0,6 (1) - 0 + 0 = 0,6$$

$$y(1) = 0,6 R(1) - 0,2 R(0) + e^{-0,2T} Y(0)$$

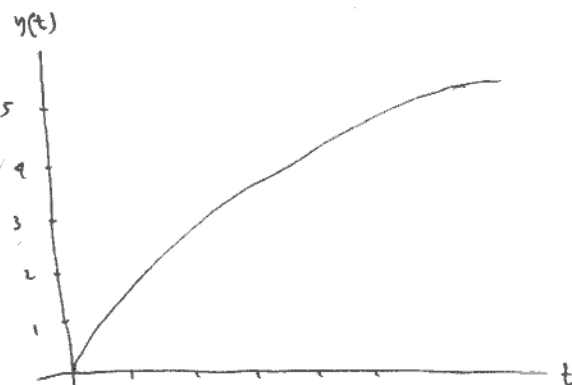
$$= 0,6 e^{-0,2T} - 0,2$$

$$y(2) = 0,6 R(2) - 0,2 R(1) + e^{-0,2T} Y(1)$$

$$= 0,6 + 0,6 e^{-0,4} - 0,2 e^{-0,2}$$

$$y(3) = 0,6 R(3) - 0,2 R(2) + e^{-0,2T} Y(2)$$

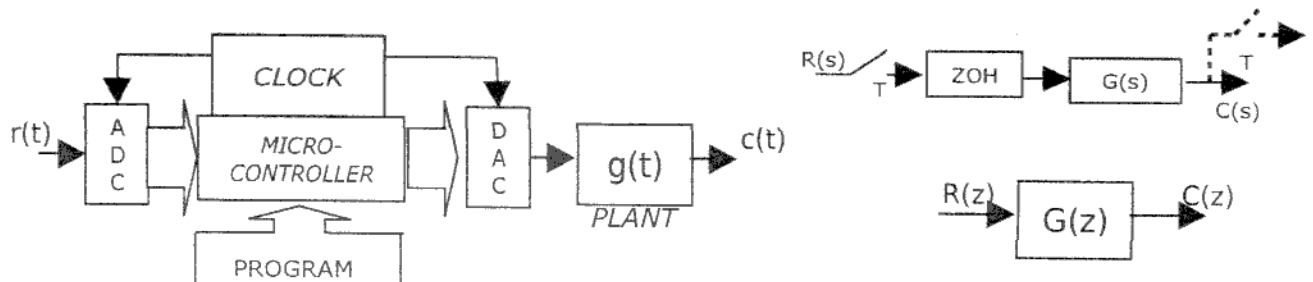
$$= 0,2 - 0,2 e^{-0,2} + e^{-0,4} (0,6 + 0,6 e^{-0,4} - 0,2 e^{-0,2})$$



-3

I. PENGETAHUAN UMUM (25 points)

I.1. Jelaskan bagaimana konfigurasi perangkat keras pada gambar di sebelah kiri dapat dimodelkan dengan bagan kotak di sebelah kanan (10 point)!



Jawab:

3 Konfigurasi perangkat keras diatas pada gambar kanan merupakan program yang telah di ~~com~~ jangkan MCU. dimana masukan nya berupa sinyal analog yang kemudian akan diubah menjadi sinyal digital (ADC) yang akan diproses pada MCU. selanjutnya output dari mikrokontroler yang merupakan sinyal digital akan kembali diubah menjadi analog (DAC) untuk memodelkan hal ini (analog to digital) maka dilakukan pencuplikan zoh (clock hanya mengatur waktu pencuplikan).

I.2. Pada bagan kotak di sebelah kanan atas, terlihat ada saklar yang digambarkan dengan garis putus-putus, mengapa digambarkan demikian? Jelaskan! (5 points)

Jawab:

2 garis putus-putus pada bagan kotak menandakan keluatannya (output), dimana ini adalah pencuplikan sinyal, digunakan dalam simulasi Digital Analog converter yang mengeluarkan sinyal tegangan sesuai clock.

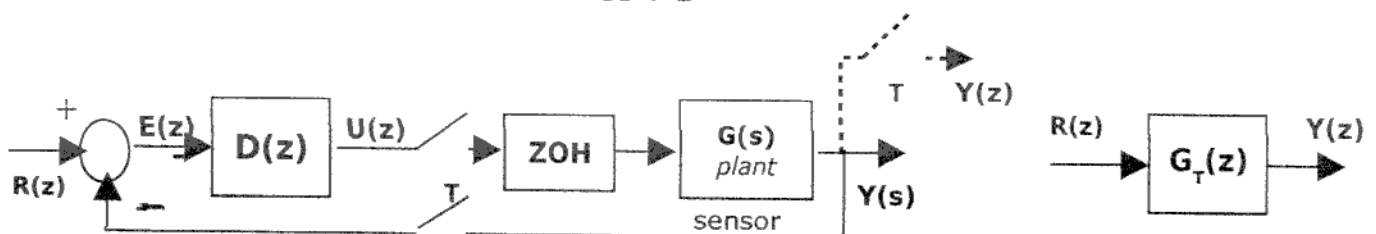
I.3. Supaya model matematika yang digambarkan dengan bagan kotak di sebelah kanan sah (valid), bagaimana program yang harus dibuat untuk micro-controller? (10 points)

Jawab:

Program:
 Int Input;
 Int Inputfirst
 Int Input = Analog Read (A1)
 Int Inputfirst = Map (Input, 0, 1023, 0, 255)
 Analog write (3, Input)
 Penjelasan:
 A1 = pin Input ADC
 3 = pin output DAC
 range ADC (0-3.3) → (0-1023)
 range DAC = (0-3.3) → (0-255)

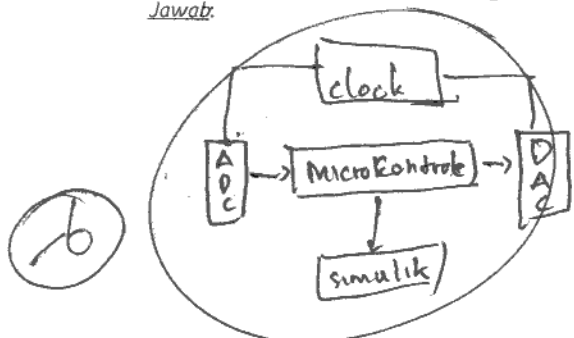
II. PEMODELAN NISBAH ALIH (75 point)

Jika $G(s)$ dari model di bawah ini diketahui = $\frac{s}{5s + 1}$ dan $T=1$ sec, maka:



a. (Berdasarkan gambar pada soal 1.1.) Tentukan rancangan kasar implementasi perangkat keras dan program untuk Sistem Kendali Digital di atas (10 point)

Jawab:



6 Saat data sinyal masukan analog masuk maka akan diubah menjadi digital agar dapat masuk ke sistem output dari MCU yang merupakan digital akan diubah kembali ke analog.

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembar ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya. Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

(lanjutan soal Bagian II. PEMODELAN NISBAH ALIH)

b. Tentukanlah $G(z) = Y(z)/U(z)$! (10 point)

Jawab: $G(s) = \frac{s}{(5s+1)} \cdot \frac{1}{s} \rightarrow T = 1 \text{ second}$

$$G(z) = ZOH \cdot Z \cdot \frac{G(s)}{s}$$

$$G(z) = ZOH \cdot Z \cdot \frac{s}{5s+1} \cdot \frac{1}{s} = \frac{z-1}{z} \cdot Z \cdot \frac{1}{5s+1}$$

$$= \frac{z-1}{z} \cdot Z \cdot \frac{1}{\frac{1}{5}(s+0,2)}$$

$$\frac{1}{5} \cdot \frac{z-1}{z} \cdot \frac{z}{z-e^{-0,2}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{z-1}{z-e^{-0,2}}$$

$$G(z) = \frac{z-1}{5z-5e^{-0,2}}$$

$$G(z) = \frac{z-1}{5z-4,093}$$

c. Tentukanlah $G_T(z) = Y(z)/R(z)$ untuk $D(z) = K_P + (T/K_I)[z/(z-1)]$, $K_P = 1$ dan $K_I = 0.5$ (20 point)

Jawab: $D(z) = 1 + (1/0,5) \frac{z}{z-1} = 1 + \frac{2z}{z-1} \rightarrow \frac{z-1+2z}{z-1} = \frac{3z-1}{z-1}$

$$G_T(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{D(z) \cdot G(z)}{1 + D(z) \cdot G(z)} = \frac{\frac{3z-1}{z-1} \cdot \frac{z-1}{5z-4,093}}{1 + \left(\frac{3z-1}{z-1} \cdot \frac{z-1}{5z-4,093} \right)} = \frac{\frac{3z-1}{5z-4,093}}{\frac{5z-4,093+3z-1}{5z-4,093}} = \frac{3z-1}{5z-4,093+3z-1}$$

Jawaban lanjutan dibelakang

d. Dari $G_T(z)$, tentukanlah persamaan difference yang menghubungkan cuplikan data $r(k) = Z^{-1} R(z)$ dengan cuplikan data $y(k) = Z^{-1} Y(z)$! (10 point)

Jawab: $G_T(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{3z-1}{5z-4,093} \rightarrow \frac{3-z^{-1}}{5-5,093z^{-1}}$

$$\Rightarrow 8Y(z) - 5,093 z^{-1} Y(z) = 3R(z) - z^{-1} R(z)$$

$$Y(z) = \frac{3R(z) - z^{-1} R(z) + 5,093 z^{-1} Y(z)}{8} = 0,375 R(z) - 0,125 z^{-1} R(z) + 0,636 z^{-1} Y(z)$$

$$Y(k) = 0,375 Y(k) - 0,125 Y(k-1) + 0,636 Y(k-1)$$

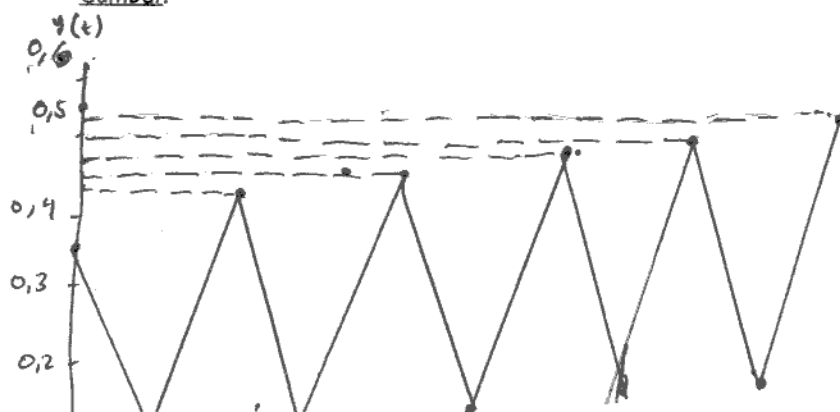
e. Jika $r(k)=1$ untuk $k=0,2,4,6,\dots$ (k : genap) dan $r(k)=0$ untuk $k=1,3,5,\dots$ (k : ganjil), maka dari persamaan difference di atas, tentukan $y(t)$ pada $t = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ detik dan seterusnya sampai 10 detik (20 points).

Jawab:

t (detik)	k	r(k)	y(k) = y(t)
0	0	1	0,375
1	1	0	0,1135
2	2	1	0,4471
3	3	0	0,1593
4	4	1	0,4763
5	5	0	0,1779
6	6	1	0,4881
7	7	0	0,1859
8	8	1	0,4929
9	9	0	0,1884
10	10	1	0,4948

f. Gambarkan isyarat $y(t)$ dalam suatu diagram waktu t (5 points)

Gambar:



$$11. c = \frac{3z - 1}{Rz - 5,098} \Rightarrow GT(z)$$

$$11. e. \Rightarrow y(0) = 0,375 r(0) - 0,125 r(-1) + 0,636 y(-1)$$

$$y(0) = 0,375$$

$$\Rightarrow y(1) = 0,375 r(1) - 0,125 r(0) + 0,636 y(0)$$

$$= 0,375(0) - 0,125(1) + 0,636(0,375)$$

$$\Rightarrow y(2) = 0,375 r(2) - 0,125 r(1) + 0,636 y(1)$$

$$= 0,375(1) - 0,125(0) + 0,636(0,1135)$$

$$= 0,4471$$

$$\Rightarrow y(3) = 0,375 r(3) - 0,125 r(2) + 0,636 y(2)$$

$$= 0,375(0) - 0,125(1) + 0,636(0,4471)$$

$$= 0,1593$$

$$\Rightarrow y(4) = 0,375 r(4) - 0,125 r(3) + 0,636 y(3)$$

$$= 0,375(1) - 0,125(0) + 0,636(0,1593)$$

$$= 0,4763$$

$$\Rightarrow y(5) = 0,375 r(5) - 0,125 r(4) + 0,636 y(4)$$

$$= 0,375(0) - 0,125(1) + 0,636(0,4763)$$

$$= 0,1779$$

$$\Rightarrow y(6) = 0,375 r(6) - 0,125 r(5) + 0,636 y(5)$$

$$= 0,375(1) - 0,125(0) + 0,636(0,1779)$$

$$= 0,4881$$

$$\Rightarrow y(7) = 0,375 r(7) - 0,125 r(6) + 0,636 y(6)$$

$$= 0,375(0) - 0,125(1) + 0,636(0,4881)$$

$$= 0,1859$$

$$y(8) = 0,375 r(8) - 0,125 r(7) + 0,636 y(7)$$

$$= 0,375(1) - 0,125(0) + 0,636(0,1859)$$

$$= 0,4929$$

$$\Rightarrow y(9) = 0,375 r(9) - 0,125 r(8) + 0,636 y(8)$$

$$= 0,375(0) - 0,125(1) + 0,636(0,4929)$$

$$= 0,1884$$

$$y(10) = 0,375 r(10) - 0,125 r(9) + 0,636 y(9)$$

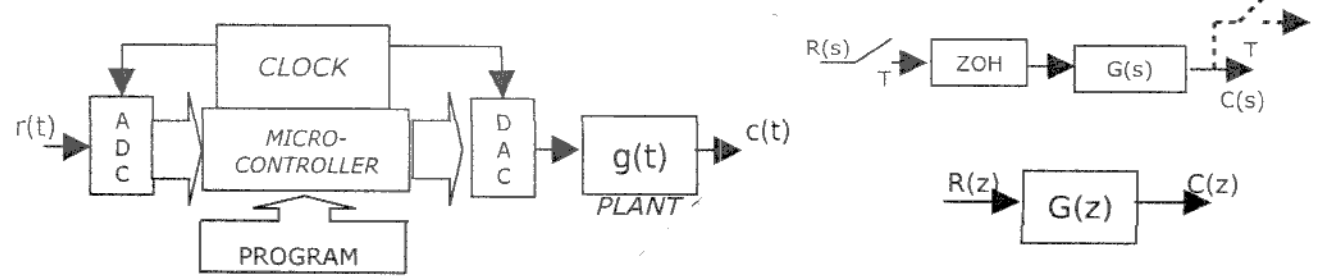
$$= 0,375(1) - 0,125(0) + 0,636(0,1884)$$

$$= 0,4948$$

Kerjakan semua soal pada tempat yang disediakan di lembar ini juga, bila tidak cukup, gunakan halaman kosong di sebaliknya. Hemat-hematlah tempat dengan mengatur tulisan anda sekecil mungkin

I. PENGETAHUAN UMUM (25 points)

I.1. Jelaskan bagaimana konfigurasi perangkat keras pada gambar di sebelah kiri dapat dimodelkan dengan bagan kotak di sebelah kanan (10 point)!



Jawab: Pada gambar di sebelah kiri, ADC menggambarkan pencuplikan T, lalu menghasilkan sinyal diskrit yang akan diolah dalam mikrokontroler yang diatur dengan clock dan program lalu menghasilkan keluaran dan diolah oleh DAC yang menjadi keluaran pada pencuplik T ZOH. Keluaran tersebut digambarkan sebagai sinyal kontinu yang akan mengatur G(s) (plant). Jadi disini proses pencuplikan T terjadi pada ADC. Lalu keluaran DAC digunakan sebagai pengendali G(s) plant → sehingga prosesnya $R(z) \rightarrow G(z) \rightarrow C(z)$.

I.2. Pada bagan kotak di sebelah kanan atas, terlihat ada saklar yang digambarkan dengan garis putus-putus, mengapa digambarkan demikian? Jelaskan! (5 points)

Jawab: Pada saklar yang digambar garis putus-putus, digambarkan sebagai virtual sampler (pencuplik semu). Pencuplik semu dranggap sesudah-dah ada dikawatirkan dranggap terjadi pencuplikan yang dranggap keluarannya sebagai sinyal diskrit.

I.3. Supaya model matematika yang digambarkan dengan bagan kotak di sebelah kanan sah (valid), bagaimana program yang harus dibuat untuk micro-controller? (10 points)

Jawab: Model/program yang harus dibuat pada microcontroller

4

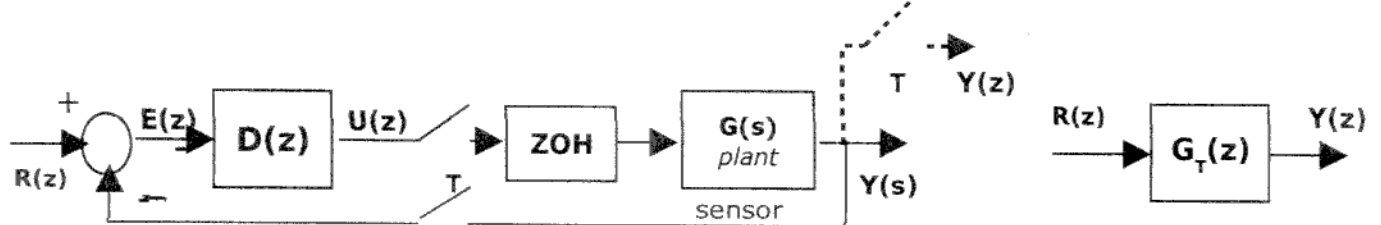
```

int Input;
int Input1;
int Input = analogRead(A1);
int Input1 = map(Input, 0, 1023, 0, 255);
    
```

artinya: AnalogWrite (3, Input1);
 A1 = Pin input ADC.
 3 = Pin Output DAC.
 Range ADC = (0-33) - (0-1023)
 Range DAC = (0-33) - (0-255).

II. PEMODELAN NISBAH ALIH (75 point)

Jika $G(s)$ dari model di bawah ini diketahui = $\frac{s}{5s + 1}$ dan $T=1$ sec, maka:



a. (Berdasarkan gambar pada soal 1.1.) Tentukan rancangan kasar implementasi perangkat keras dan program untuk Sistem Kendali Digital di atas (10 point)

2

Jawab:

$j = \text{Input}$
 $x = \text{sensor}$
 $D(z)$ ✓ ZOH ✓ $G(s)$ ✓

(lanjutan soal Bagian II. PEMODELAN NISBAH ALIH)

b. Tentukanlah $G(z) = Y(z)/U(z)$! (10 point) $T = 1s$

Jawab: $G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = 20 \frac{1}{s} z^{-1} \frac{1}{s}$
 $G(z) = \frac{z-1}{z} z^{-1} \frac{1}{s+1} \frac{1}{s}$
 $G(z) = \frac{z-1}{z} z^{-1} \frac{1}{s} \left(\frac{1}{s+0.2} \right)$

$G(z) = \frac{z-1}{z} \cdot \frac{1}{s} \frac{1}{z-e^{-0.2}}$
 $G(z) = \frac{z-1}{s(z-e^{-0.2})} = \frac{z-1}{5z-5e^{-0.2}}$ ✓

c. Tentukanlah $G_T(z) = Y(z)/R(z)$ untuk $D(z) = K_p + (T/K_i)[z/(z-1)]$, $K_p = 1$ dan $K_i = 0.5$ (20 point)

Jawab: $D(z) = 1 + 2 \left(\frac{z}{(z-1)} \right) = \frac{(z-1) + 2z}{z-1} = \frac{3z-1}{z-1}$

$G_T(z) = \frac{D(z) \cdot G(z)}{1 + D(z) \cdot G(z)}$
 $G_T(z) = \frac{\left(\frac{3z-1}{z-1} \right) \cdot \frac{z-1}{5z-5e^{-0.2}}}{1 + \frac{3z-1}{z-1} \cdot \frac{z-1}{5z-5e^{-0.2}}}$
 $G_T(z) = \frac{3z-1}{5z-5e^{-0.2} + 3z-1}$

$G_T(z) = \frac{3z-1}{5z-5e^{-0.2} + 3z-1}$
 $G_T(z) = \frac{3z-1}{8z-5.093}$ ✓

d. Dari $G_T(z)$, tentukanlah persamaan difference yang menghubungkan cuplikan data $r(k) = Z^{-1} R(z)$ dengan cuplikan data $y(k) = Z^{-1} Y(z)$! (10 point)

Jawab: $G_T(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{3z-1}{8z-5.093}$

$\frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{3-z^{-1}}{8-5.093z^{-1}}$

$8Y(z) - 5.093z^{-1}Y(z) = 3R(z) - z^{-1}R(z)$

$Y(z) = \frac{3R(z) - z^{-1}R(z) + 5.093z^{-1}Y(z)}{8}$

$y(k) = 3r(k) - r(k-1) + 5.093y(k-1)$

$y(k) = 0.375r(k) - 0.125r(k-1) + 0.636y(k-1)$ ✓

e. Jika $r(k)=1$ untuk $k=0,2,4,6,\dots$ (k :genap) dan $r(k)=0$ untuk $k=1,3,5,\dots$ (k :ganjil), maka dari persamaan difference di atas, tentukan $y(t)$ pada $t=0,1,2,3,4,5$ detik dan seterusnya sampai 10 detik (20 points).

Jawab:

t (detik)	k	r(k)	y(k) = y(t)
0	0	1	0.375
1	1	0	0.1135
2	2	1	0.447186
3	3	0	0.1594
4	4	1	0.4763
5	5	0	0.1779
6	6	1	0.4881
7	7	0	0.1854
8	8	1	0.4929
9	9	0	0.1884
10	10	1	0.4948

f. Gambarkan isyarat $y(t)$ dalam suatu diagram waktu t (5 points)

Gambar:

