



## KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK

### UNIVERSITAS BUDI LUHUR

#### NOMOR :

K/UBL/FTK/000/032/10/24

#### TENTANG :

### PENUGASAN KEGIATAN TRI DHARMA DAN PENUNJANG BAGI DOSEN

### FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BUDI LUHUR

### SEMESTER GASAL TAHUN AKADEMIK 2024/2025

#### DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BUDI LUHUR

- Menimbang : 1) Bahwa Dosen adalah pendidik profesional dan ilmu dengan tugas utama mentransformasikan, mengembangkan, menyebarkan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni melalui pendidikan/pengajaran penelitian dan karya ilmiah, serta Pengabdian pada masyarakat yang dikenal dengan istilah Tri Dharma Perguruan Tinggi;
- 2) Bahwa untuk meningkatkan profesionalitas dan kompetensi sebagai pendidik profesional maka dipandang perlu untuk memberikan tugas-tugas tambahan/penunjang dalam lingkup kegiatan penunjang Tri Dharma;

- Mengingat : 1) Undang-undang No. 20 tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
- 2) Undang-undang No. 12 tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
- 3) Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 57 Tahun 2021 tentang Standar Nasional Pendidikan Nasional;
- 4) Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 3 tahun 2020 tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi;
- 5) Statuta Universitas Budi Luhur.
- 6) Keputusan Pengurus Yayasan pendidikan Budi Luhur Cakti Nomor K/YBLC/KET/000/020/001/24 tentang pengangkatan Saudara Dr. Putri Suryandari, S.T.,M.Ars sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Budi Luhur.

#### MEMUTUSKAN

Menetapkan :

**PERTAMA** : Menugaskan dosen-dosen Fakultas Teknik Universitas Budi Luhur untuk melaksanakan kegiatan **Tri Dharma Perguruan Tinggi dan penunjangnya** pada Semester Gasal Tahun Akademik 2024/2025 yang meliputi:

- Kegiatan partisipasi aktif** dalam Pertemuan Ilmiah sebagai Ketua/ Anggota/ Peserta/ Pembicara/ Penulis/ Narasumber pada kegiatan Seminar, Workshop, Konferensi, Pelatihan, Simposium, Lokakarya, Forum Diskusi, Sarasehan dan sejenisnya;
- Publikasi Ilmiah** pada Prosiding, Jurnal/majalah/surat kabar dan sejenisnya;
- Partisipasi dalam organisasi** profesi, organisasi keilmuan dan/atau organisasi lain yang menunjang kegiatan Tri Dharma Pendidikan Tinggi;
- Pengabdian Kepada Masyarakat (PPM)**, dalam kegiatan terprogram, terjadwal atau insidental;

**KEDUA** : Dosen-dosen yang melaksanakan penugasan wajib membuat Laporan Kegiatan, dengan mengikuti pedoman dari Fakultas/Program Studi, sebagai pertanggungjawaban atas kegiatan yang diikuti;

**KETIGA** : Kegiatan Tri Dharma yang tidak termasuk dalam surat keputusan ini akan memiliki penugasan tersendiri;

**KEEMPAT** : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dan akan diubah sebagaimana mestinya apabila di kemudian hari terdapat kekeliruan.

Ditetapkan di : Jakarta

Pada Tanggal : 3 Oktober 2024

=====

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Putri Suryandari, S.T.,M.Ars





Lampiran Surat Keputusan Dekan

Nomor : K/UBL/FTK/000/032/10/24  
Tentang : Nama–Nama Dosen Fakultas Teknik Universitas Budi Luhur Yang Ditugaskan  
Melaksanakan Kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi Semester Gasal Tahun Akademik 2024/2025

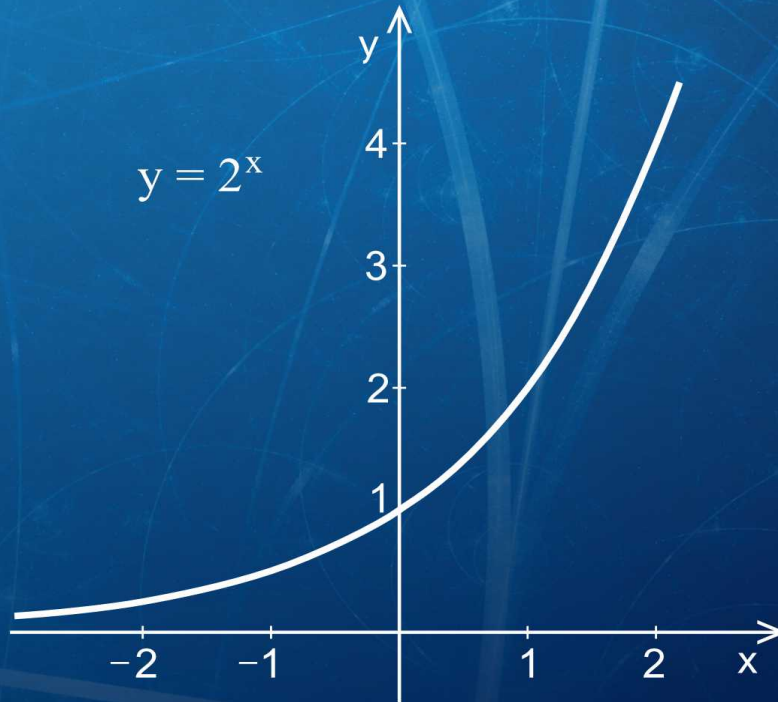
No.	NIP	NIDN	Nama Dosen	Program Studi
1	990010	0301066904	Dr. Putri Suryandari, S.T., M.Ars	Arsitektur
2	000031	0307097203	Ir. Tri Endangsih, S.T., M.Ars.,IPM	Arsitektur
3	010007	0328127702	Anggraeni Dyah S, S.T., M.T	Arsitektur
4	040066	0330018301	Sri Kurniasih, S.T., M.Ars	Arsitektur
5	020001	0327107203	Dr. Hakim, S.Pd., M.Pd	Arsitektur
6	130064	0308118301	Ir. Harfa Iskandaria, S.T., M.T	Arsitektur
7	150049	0313028201	Inggit Musdinar Sayekti Sihing, S.T., M.T	Arsitektur
8	990001	0316085701	Ir. Karya Subagya, M.T., IAI	Arsitektur
9	040056	0307028001	Akhmad Musafa, S.T., M.T	Teknik Elektro
10	030004	0313037802	Dr. Indra Riyanto, S.T., M.T	Teknik Elektro
11	870021	0301106004	Dr.,Ir. Nazori AZ, M.T	Teknik Elektro
12	990002	0331087201	Dr. Sujono, S.T., M.T	Teknik Elektro
13	090064	0310078701	Eka Purwa Laksana, S.T., M.T	Teknik Elektro
14	100033	0319028703	Peby Wahyu Purnawan, S.T., M.T	Teknik Elektro
15	880011	0302115701	Drs. Suwasti Broto, M.T	Teknik Elektro
16	170001	0329119401	Nifty Fath, S.T., M.Eng	Teknik Elektro
17	980002	0302046501	Dr. Ir. Jan Everhard Riwurohi, M.T	Teknik Elektro

Ditetapkan di : Jakarta  
pada Tanggal : 3 Oktober 2024

Dekan Fakultas Teknik  
Dr. Putri Suryandari, S.T.,M.Ars



UNIVERSITAS  
BUDI LUHUR



# SISTEM LINEAR

Nifty Fath | Nazori AZ

## **SISTEM LINEAR**

## **UU No. 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta**

### **Fungsi dan Sifat Hak Cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

# SISTEM LINEAR

Nifty Fath & Nazori AZ

## **SISTEM LINEAR**

### **Nama Penulis**

Nifty Fath

Nazori AZ

### **Desain Cover :**

Dian Novriadi

### **Sumber :**

sakkmesterke (www.shutterstock.com)

### **Tata Letak :**

Hifzillah Fahmi

### **Proofreader :**

Daffaul Faizah

### **Ukuran :**

x, 188 hlm, Uk: 15.5x23 cm

### **ISBN :**

978-634-200-044-1 (PDF)

### **Tahun Terbit Digital :**

2024

Hak Cipta 2024, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

**Copyright © 2024 by Deepublish Digital**

All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau

memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini

tanpa izin tertulis dari Penerbit.

### **PENERBIT DEEPUBLISH DIGITAL**

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoarjo, Ngaglik, Sleman

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp: +6281362311132

Website: [www.deepublish.co.id](http://www.deepublish.co.id)

[www.deepublishdigitalstore.com](http://www.deepublishdigitalstore.com)

E-mail: [digital@deepublish.co.id](mailto:digital@deepublish.co.id)

Penerbitan buku ini sudah bekerjasama dengan Universitas Budi Luhur

# KATA PENGANTAR

Puji syukur dan hormat, kami haturkan ke hadirat Allah Swt. karena atas perkenan-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan buku mata kuliah ***Sistem Linear*** ini.

Penghargaan tertinggi dan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan dalam menyusun buku mata kuliah ini.

Tim penyusun telah menyusun buku mata kuliah ini semaksimal mungkin. Namun, kami menyadari bahwa penyusun tentunya tidak lepas dari salah dan khilaf semata. Tim penyusun sangat terbuka untuk berbagai masukan, ide dan saran dari berbagai pihak agar buku mata kuliah ini bisa lebih baik lagi.

Jakarta, April 2020

Tim Penyusun



# KATA PENGANTAR PENERBIT

Segala puji kami haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan segala anugerah dan karunia-Nya. Dalam rangka mencerdaskan dan memuliakan umat manusia dengan penyediaan serta pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menciptakan industri *processing* berbasis sumber daya alam (SDA) Indonesia, Penerbit Deepublish dengan bangga menerbitkan buku dengan judul ***Sistem Linear***.

Buku ajar ini mengulas mulai dari klasifikasi dan representasi sinyal hingga transformasi Laplace dengan MATLAB. Setiap bab dalam buku ini memiliki penjelasan yang ditulis secara rinci dan dilengkapi rangkuman serta latihan soal yang dapat digunakan sebagai panduan belajar untuk memahami sistem linear.

Terima kasih dan penghargaan terbesar kami sampaikan kepada penulis, Nifty Fath dan Nazori AZ, yang telah memberikan kepercayaan, perhatian, dan kontribusi penuh demi kesempurnaan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi semua pembaca, mampu berkontribusi dalam mencerdaskan dan memuliakan umat manusia, serta mengoptimalkan pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi di tanah air.

Hormat Kami,

**Penerbit Deepublish**

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
KATA PENGANTAR PENERBIT .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
BAB 1     PENGENALAN SINYAL .....	1
1.1.   PENGANTAR .....	2
1.2.   KLASIFIKASI SINYAL.....	5
1.2.1.   Sinyal Kontinu dan Sinyal Diskrit .....	5
1.2.2.   Sinyal Deterministik dan Sinyal Random .....	12
1.2.3.   Sinyal Elementer .....	15
BAB 2     REPRESENTASI SINYAL .....	20
2.1.   REPRESENTASI SINYAL KONTINU.....	21
2.2.   REPRESENTASI SINYAL DISKRIT.....	25
BAB 3     OPERASI SINYAL .....	31
3.1. <i>TIME REVERSAL</i> (PENCERMINAN WAKTU) .....	32
3.2. <i>TIME SHIFTING</i> (PERGESERAN WAKTU) .....	32
3.3. <i>AMPLITUDE SCALING</i> (PENSKALAAN AMPLITUDO).....	34
3.4. <i>ADDITION</i> (PENJUMLAHAN) .....	38
3.5. <i>MULTIPLICATION</i> (PERKALIAN).....	39
BAB 4     KLASIFIKASI SISTEM .....	42
4.1.   KAUSALITAS .....	43
4.2.   LINEARITAS DAN NONLINEARITAS .....	47
4.3.   INVARIAN DAN VARIAN WAKTU.....	51

	4.4. STUDI KASUS PADA RANGKAIAN LISTRIK .....	54
<b>BAB 5</b>	<b>KONVOLUSI KONTINU .....</b>	<b>57</b>
	5.1. PERSAMAAN KONVOLUSI KONTINU.....	58
	5.2. SIFAT KONVOLUSI KONTINU.....	58
<b>BAB 6</b>	<b>KONVOLUSI DISKRIT .....</b>	<b>68</b>
	6.1. PENGERTIAN KONVOLUSI DISKRIT .....	69
	6.2. PERSAMAAN KONVOLUSI DISKRIT .....	69
<b>BAB 7</b>	<b>TRANSFORMASI LAPLACE .....</b>	<b>80</b>
	7.1. PENDAHULUAN TRANSFORMASI LAPLACE .....	81
	7.2. SIFAT-SIFAT TRANSFORMASI LAPLACE.....	83
	7.3. TRANSFORMASI LAPLACE PADA BEBERAPA FUNGSI SEDERHANA.....	84
	7.3.1. Transformasi Laplace Fungsi Step/Unda .....	84
	7.3.2. Transformasi Laplace Fungsi Ramp $tu0t$ .....	85
	7.3.3. Transformasi Laplace Fungsi Delta $\delta(t)$ .....	86
	7.3.4. Transformasi Laplace Fungsi Delta $\delta(t - a)$ .....	86
	7.3.5. Transformasi Laplace $e - atu0(t)$ .....	87
	7.3.6. Transformasi Laplace $tne - atu0(t)$ .....	87
	7.4. KASUS FAKTOR Q(S) LINIER TIDAK BERULANG .....	89
<b>BAB 8</b>	<b>UJIAN TENGAH SEMESTER.....</b>	<b>94</b>
<b>BAB 9</b>	<b>PERSAMAAN DIFERENSIAL PADA TRANSFORMASI LAPLACE .....</b>	<b>96</b>
	9.1. ATURAN PERSAMAAN DIFERENSIAL PADA TRANSFORMASI LAPLACE .....	97
	9.2. SOLUSI PERSAMAAN DIFERENSIAL ORDE 1 .....	98
	9.3. SOLUSI PERSAMAAN DIFERENSIAL ORDE 2 .....	103

<b>BAB 10</b>	<b>FUNGSI ALIH .....</b>	<b>108</b>
	10.1. PENGERTIAN FUNGSI ALIH .....	109
	10.2. FUNGSI ALIH SISTEM ORDE 1 DAN ORDE 2 .....	110
<b>BAB 11</b>	<b>APLIKASI LAPLACE DALAM RANGKAIAN LISTRIK...121</b>	
	11.1. TAHAPAN APLIKASI TRANSFORMASI LAPLACE DALAM MENYELESAIKAN PERSAMAAN RANGKAIAN LISTRIK .....	122
	11.2. APLIKASI LAPLACE DALAM RANGKAIAN RL, RC, DAN RLC .....	126
<b>BAB 12</b>	<b>DERET FOURIER.....</b>	<b>136</b>
	12.1. PENGERTIAN DERET FOURIER .....	137
	12.2. DERET FOURIER PADA FUNGSI PERIODIK.....	137
	12.3. PERSAMAAN DERET FOURIER .....	139
	12.4. SYARAT DIRICHLET.....	140
	12.5. FUNGSI GANJIL DAN FUNGSI GENAP.....	144
	12.6. SPEKTRUM FOURIER.....	148
	12.7. AMPLITUDO HARMONIK .....	149
<b>BAB 13</b>	<b>TRANSFORMASI FOURER .....</b>	<b>153</b>
	13.1. PENGERTIAN TRANSFORMASI FOURIER.....	154
	13.2. SIFAT-SIFAT TRANSFORMASI FOURIER.....	155
	13.2.1. LINEARITAS .....	155
	13.2.2. DIFERENSIASI .....	157
	13.2.3. INTEGRASI.....	157
	13.2.4. PENCERMINAN .....	157
	13.2.5. PERGESERAN WAKTU .....	158
	13.2.6. PERGESERAN FREKUENSI.....	158
	13.2.7. PENSKALAAN .....	158

13.3.	HUBUNGAN TRANSFORMASI LAPLACE DENGAN TRANSFORMASI FOURIER.....	160
BAB 14	APLIKASI FOURIER DLAM RANGKAIAN LISTRIK ....	166
14.1.	APLIKASI FOURIER DALAM RANGKAIAN LISTRIK .....	167
14.2.	CONTOH ANALISIS RANGKAIAN LISTRIK DENGAN TRANSFORMASI FOURIER.....	169
BAB 15	TRANSFORMASI LAPLACE MENGGUNAKAN MATLAB .....	175
15.1.	TRANSFORMASI LAPLACE DENGAN MATLAB.....	176
15.2.	CONTOH TRANSFORMASI LAPLACE PEMROGRAMAN MATLAB .....	177
15.3.	MENCARI POLE DAN ZERO PADA BIDANG-S .....	181
BAB 16	UJIAN AKHIR SEMESTER.....	186

## BAB 1

# PENGENALAN SINYAL

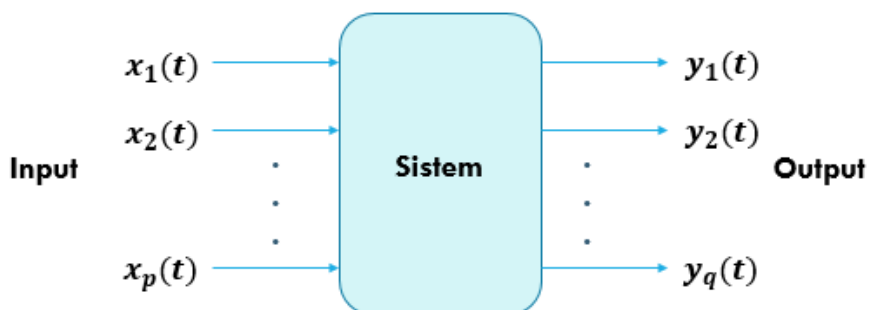
Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu menjelaskan bentuk sinyal dan klasifikasinya.
Sub Pokok Bahasan	:	1.1 Pengantar 1.2 Klasifikasi Sinyal
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline



## 1.1. PENGANTAR

Sebuah sistem merupakan suatu kesatuan objek yang saling berhubungan sehingga dengan masukan tertentu dapat menghasilkan keluaran yang diinginkan setelah melalui suatu proses. Di dalam kehidupan sehari-hari, terdapat berbagai jenis sistem, misal, pada sistem biologi seperti mata manusia, yakni dengan input sinyal gambar yang masuk ke retina mata dan *output*-nya adalah rangsangan saraf yang selanjutnya diolah di otak untuk pengambilan keputusan informasi apa yang masuk, atau pada sebuah sistem kanal komunikasi dengan input sebanding dengan sinyal yang ditransmisi pada kanal tersebut sedangkan *output*-nya adalah sinyal yang sampai pada ujung kanal.

Lebih spesifik lagi dalam bidang teknik, sistem sering diartikan sebagai model matematik yang menghubungkan antara masukan dengan keluaran yang bertujuan untuk mengolah sebuah atau beberapa isyarat/sinyal. Ilustrasi sederhana mengenai dasar sistem terlihat pada Gambar 1.1.

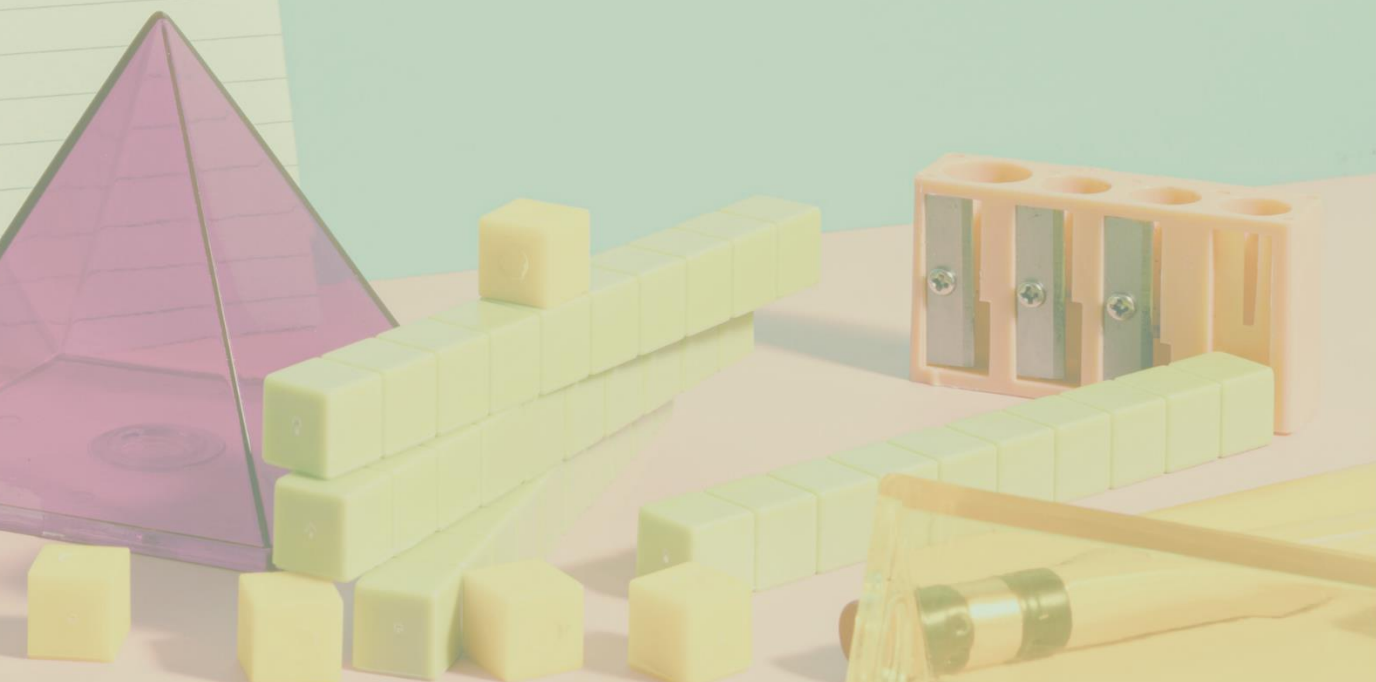


Gambar 1.1 Dasar Sistem

## BAB 2

# REPRESENTASI SINYAL

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu merepresentasikan sinyal kontinu dan diskrit.
Sub Pokok Bahasan	:	2.1 Representasi Sinyal Kontinu 2.2 Representasi Sinyal Diskrit
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline



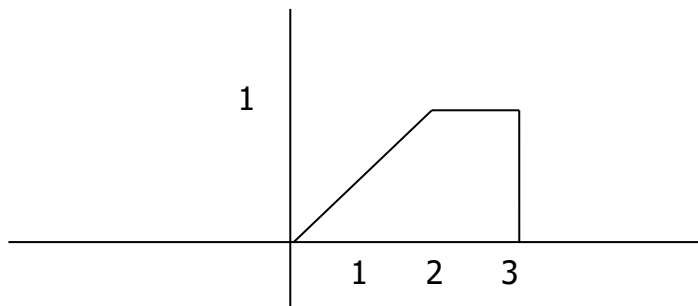


Sinyal dapat direpresentasikan dalam berbagai cara. Berdasarkan klasifikasi sinyal yang telah dibahas pada Bab 1, maka representasi sinyal kontinu dan sinyal diskrit dapat dijelaskan dengan lebih mudah.

## 2.1. REPRESENTASI SINYAL KONTINU

### Contoh 2.1 Representasi Sinyal Kontinu

Diberikan suatu sinyal kontinu seperti Gambar 2.1. Representasikan dalam suatu persamaan matematik!



**Gambar 2.1 Representasi Sinyal Kontinu**

*Jawab:*

Sinyal  $x(t)$  diatas mempunyai tiga kondisi, yaitu: pada saat  $0 < t < 2$ , pada saat  $2 < t < 3$  dan saat  $t$  yang lain. Dengan demikian dapat dirumuskan suatu fungsi sebagai berikut:

$$x(t) = \{x_1(t); 0 < t < 2 \quad x_2(t); 2 < t < 3 \quad x_3(t); t \text{ lainnya}$$

Lihat gambar di bawah ini!

## BAB 3

# OPERASI SINYAL

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu melakukan perhitungan operasi sinyal.
Sub Pokok Bahasan	:	3.1 <i>Time Reversal</i> (Pencerminan Waktu) 3.2 <i>Time Shifting</i> (Pergeseran Waktu) 3.3 <i>Amplitude Scaling</i> (Penskalaan Amplitudo) 3.4 <i>Addition</i> (Penjumlahan) 3.5 <i>Multiplication</i> (Perkalian)
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline



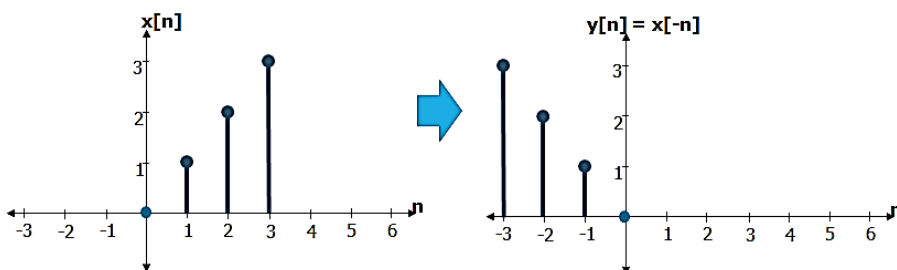
Operasi dasar sinyal berlaku untuk sinyal kontinu maupun sinyal diskrit. Beberapa operasi dasar sinyal adalah sebagai berikut.

### 3.1. *TIME REVERSAL (PENCERMINAN WAKTU)*

Pencerminan waktu pada sinyal diskrit direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$y[n] = x[-n]$$

Perhatikan contoh di bawah (Gambar 3.1). Sinyal  $x[n]$  adalah sinyal awal yang kemudian dicerminkan terhadap sumbu  $y$  menjadi sinyal  $y[n]$ .



Gambar 3.1 Pencerminan Waktu

### 3.2. *TIME SHIFTING (PERGESERAN WAKTU)*

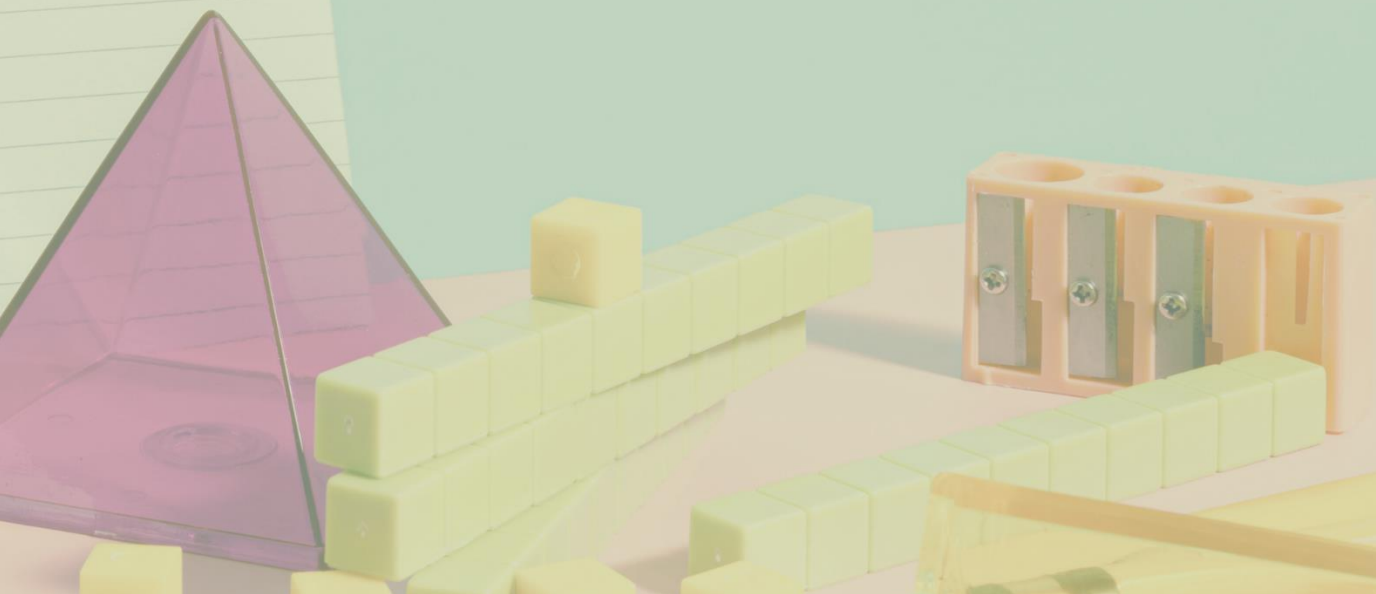
Pencerminan waktu pada sinyal diskrit direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$y[n] = x[n - k]$$

## BAB 4

# KLASIFIKASI SISTEM

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu menjelaskan dan konsep sistem dan klasifikasi sistem.
Sub Pokok Bahasan	:	4.1 Kausalitas 4.2 Linearitas dan Nonlinearitas 4.3 Invarian dan Varian Waktu 4.4 Studi Kasus pada Rangkaian Listrik
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline



Untuk dapat mempelajari lebih jauh tentang suatu sistem, dapat dipelajari terlebih dahulu sifat-sifat dasar sistem yang terdiri atas kausalitas, linearitas, dan *time invariant*. Pembahasan pada buku ini hanya difokuskan pada sebuah sistem SISO, yakni *single-input single output*. Hal ini menunjukkan respons *output* pada sistem dihasilkan dari input tanpa ada energi awal.

#### 4.1. KAUSALITAS

##### **Definisi 4.1**

**Sistem kausal** adalah sistem yang jika respons *output* untuk suatu nilai dihasilkan dari *input* tidak tergantung pada nilai *input* untuk , hanya bergantung pada *input* untuk .

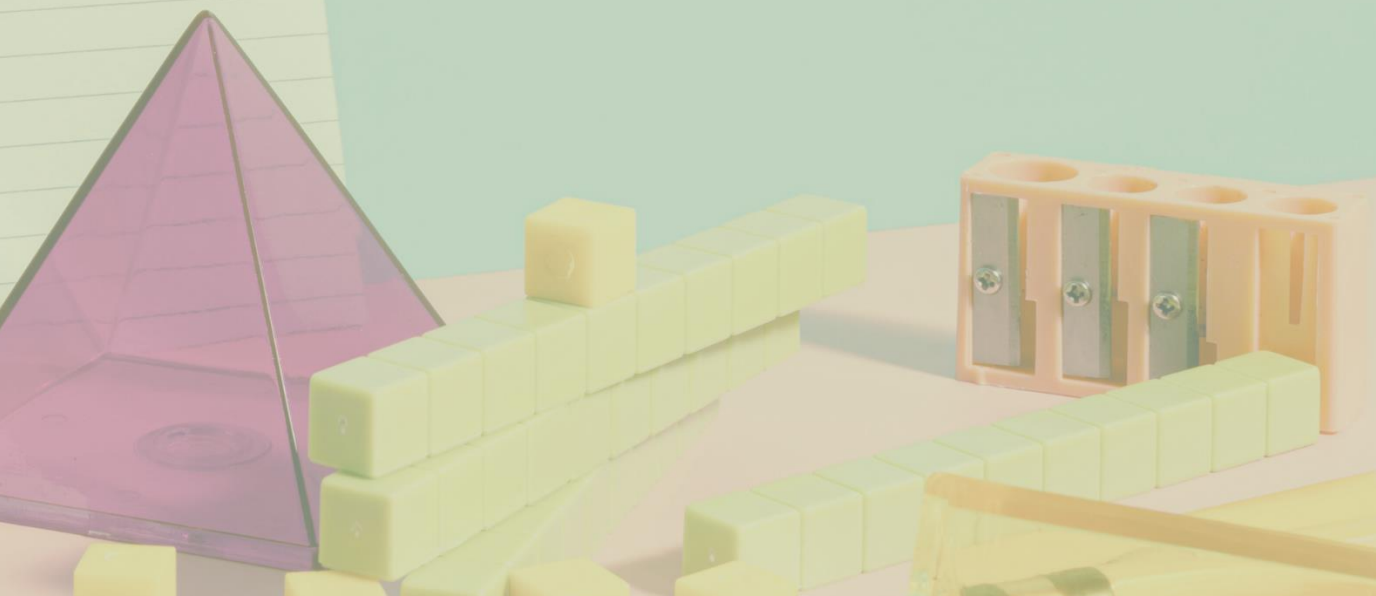
Suatu sistem disebut kausal, jika untuk suatu waktu, *output* sistem hanya tergantung pada input saat itu dan sebelumnya, atau dapat juga *output* sistem sebelumnya. Sistem kausal tidak tergantung pada input yang akan datang atau *output* yang akan datang. Pengetahuan tentang kausalitas ini penting karena untuk implementasi sistem yang real time, sistem tersebut harus kausal.

Jadi, dalam sistem kausal, tidak mungkin memperoleh suatu *output* sebelum suatu input dikenakan pada sistem.

## BAB 5

# KONVOLUSI KONTINU

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu melakukan perhitungan konvolusi kontinu.
Sub Pokok Bahasan	:	5.1 Persamaan Konvolusi Kontinu 5.2 Sifat Konvolusi Kontinu
Daftar Pustaka	:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997</li><li>2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline</li></ol>



## 5.1. PERSAMAAN KONVOLUSI KONTINU

Keluaran sistem dengan tanggapan impuls  $h(t)$  dan masukan  $x(t)$  dapat direpresentasikan sebagai:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

atau dapat juga dinyatakan:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) x(t - \tau) d\tau$$

Kedua persamaan di atas adalah persamaan integral konvolusi. Untuk dua fungsi sembarang  $x(t)$  dan  $h(t)$  maka integral konvolusi  $r(t)$  dapat dinyatakan sebagai:

$$y(t) = x(t) * h(t)$$

Notasi  $*$  bukan merupakan notasi perkalian melainkan 'konvolusi'.

## 5.2. SIFAT KONVOLUSI KONTINU

Konvolusi kontinu memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Sifat Komutatif

$$x(t) * y(t) = y(t) * x(t)$$

- b. Sifat Distributif

Jika terdapat tiga sembarang sinyal  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$

$$x(t) * [y(t) \pm z(t)] = [x(t) * y(t)] \pm [x(t) * z(t)]$$

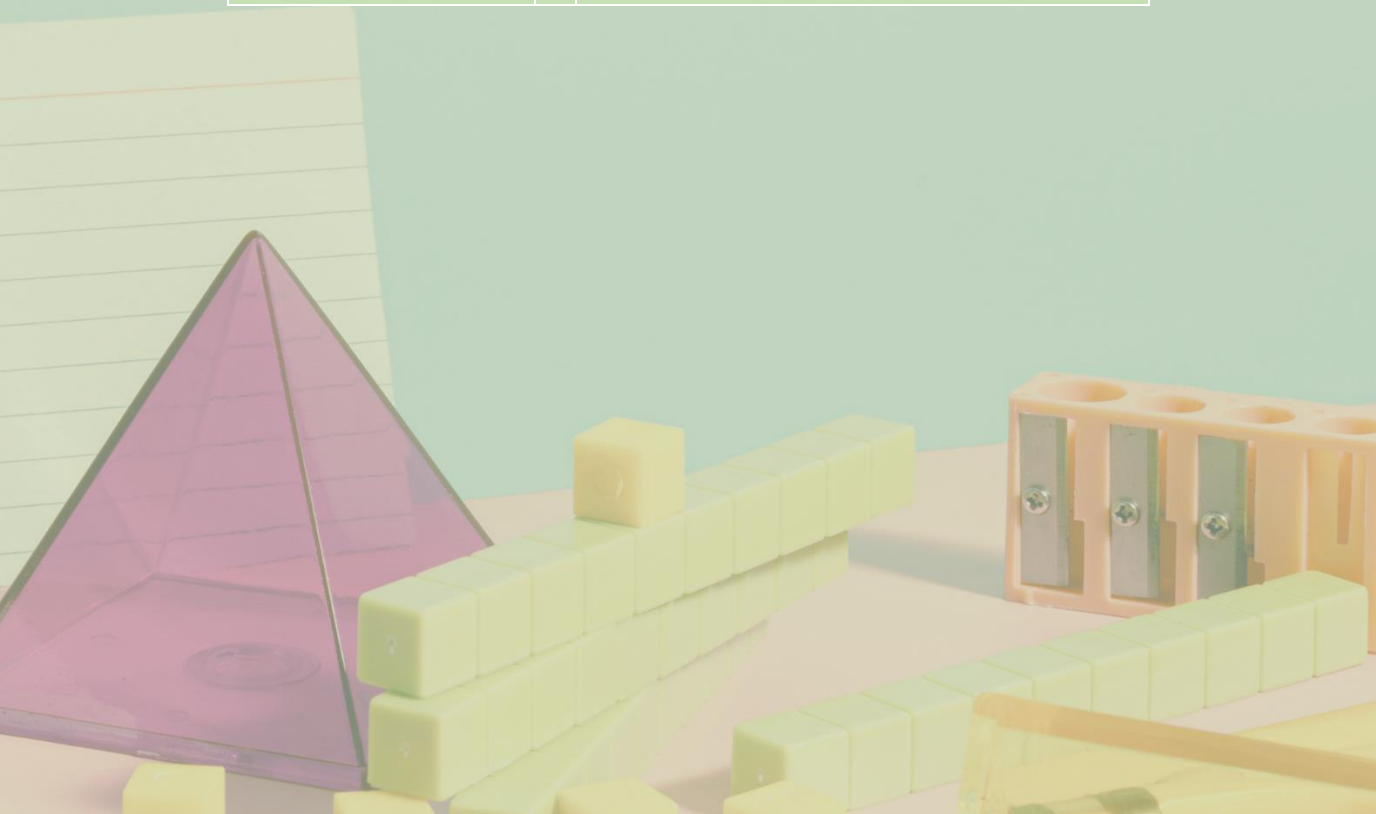
- c. Sifat Asosiatif

$$x(t) * [y(t) * z(t)] = [x(t) * y(t)] * [z(t)]$$

## BAB 6

# KONVOLUSI DISKRIT

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu melakukan perhitungan konvolusi diskrit.
Sub Pokok Bahasan	:	6.1 Pengertian Konvolusi Diskrit 6.2 Persamaan Konvolusi Diskrit
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline





## 6.1. PENGERTIAN KONVOLUSI DISKRIT

Representasi sinyal dalam impuls adalah sinyal yang dinyatakan sebagai fungsi dari impuls atau sebagai kumpulan dari impuls-impuls. Sembarang sinyal diskret dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari impuls-impuls diskrit dan sembarang sinyal kontinu dapat dinyatakan sebagai integral impuls.

Konvolusi adalah metode penghitungan untuk menentukan respons sistem. Pada sistem diskrit metode penghitungan dengan cara penjumlahan (akumulator) sedangkan pada sistem kontinu dengan cara integrasi.

## 6.2. PERSAMAAN KONVOLUSI DISKRIT

Jika  $h[n]$  adalah respons impuls sistem linier diskret, dan  $x[n]$  adalah sinyal masukan maka sinyal keluaran merupakan hasil konvolusi diskrit antara dua sinyal  $x(n)$  dan  $h(n)$  yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[n-k]$$

Komputasi tersebut diselesaikan dengan mengubah indeks waktu diskrit  $n$  ke dalam sinyal  $x[n]$  dan  $h[n]$ . Sinyal yang dihasilkan  $x[k]$  dan  $h[k]$  selanjutnya menjadi sebuah fungsi waktu diskrit  $k$ . Langkah berikutnya adalah menentukan  $h[n-k]$ , dengan  $h[k]$  merupakan pencerminan dari  $h[k]$  yang diorientasikan pada sumbu vertikal dan  $h[n-k]$  merupakan  $h[k]$

## BAB 7

# TRANSFORMASI LAPLACE

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu menjelaskan konsep transformasi Laplace.
Sub Pokok Bahasan	:	7.1 Pendahuluan Transformasi Laplace 7.2 Sifat-Sifat Transformasi Laplace 7.3 Transformasi Laplace pada Beberapa Fungsi Sederhana 7.4 Kasus Faktor $Q(S)$ Linier Tidak Berulang
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline



## 7.1. PENDAHULUAN TRANSFORMASI LAPLACE

Suatu teknik analisis dengan transformasi digunakan untuk menyederhanakan penyelesaian suatu masalah dengan cara mengubah representasi persamaan matematika dari satu bentuk ke bentuk representasi yang lain. Transformasi juga diperlukan apabila ingin mengetahui suatu informasi tertentu yang belum tersedia sebelumnya. Adanya transformasi mengharuskan juga adanya *inverse* transformasi atau transformasi balik untuk melakukan hal yang sebaliknya. Lihat Gambar 7.1.



**Gambar 7.1 Tahapan Transformasi**

Pada bidang matematika, terdapat beberapa jenis transformasi, yakni transformasi Laplace, transformasi Fourier, transformasi Z, dan lain sebagainya. Pada bab ini, materi yang akan dibahas adalah transformasi Laplace.

Transformasi Laplace umum digunakan untuk menganalisis sinyal dari sebuah sistem linier tak ubah waktu karena karakteristiknya yang dapat mempermudah analisis tersebut. Contohnya adalah menyelesaikan persamaan sistem diferensial. Dengan transformasi Laplace memungkinkan dilakukannya beberapa hal berikut:

## BAB 8

# UJIAN TENGAH SEMESTER

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu menjawab dan menyelesaikan permasalahan yang diberikan dalam soal.
----------------------	---	--



## UJIAN TENGAH SEMESTER GANJIL TAHUN AJARAN    /    .

Mata Ujian	: Sistem Linear	Kelompok	: EP
Hari/Tanggal	:	Waktu	: 75 menit
Dosen	: Nifty Fath, S.T., M.Eng.	Metode	: Buku dan Kalkulator Terbuka, Gadget Tertutup

-----

### Instruksi:

- Bacalah setiap soal dengan saksama sebelum mengerjakan.
- Jawaban ditulis pada lembar jawab yang disediakan dan dilarang bekerja sama.
- Seluruh lembar soal dan lembar jawab ujian wajib dikumpulkan kembali ke Pengawas Ujian pada saat waktu ujian dinyatakan selesai.
- Perhatikan catatan cara pengerjaan soal.

1. Tentukan apakah sistem  $y(n) = Ax(n) + B$  adalah sistem linier atau tidak linier dengan  $A$  dan  $B$  adalah konstanta!
2. Dua buah isyarat mempunyai rumusan berikut:

$$x(t) = \{ 1; 0 < t < 3; \text{lainnya} \}$$

dan

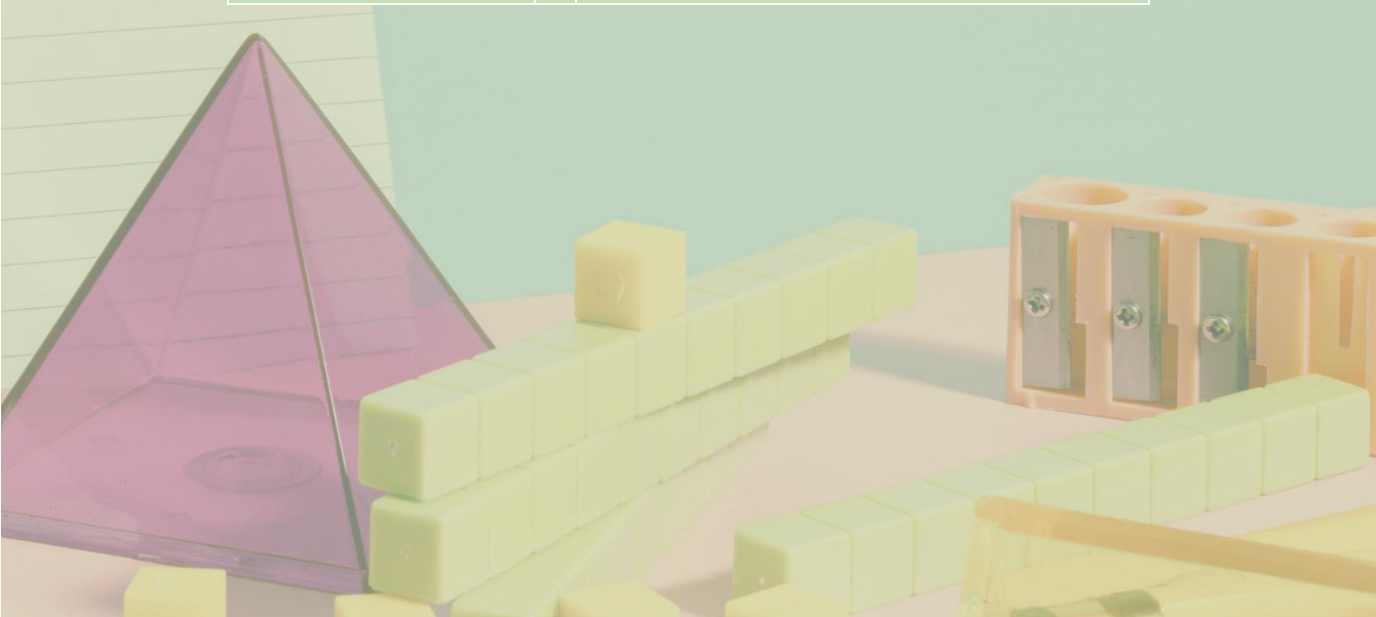
$$h(t) = \{ 1; 0 < t < 1; \text{lainnya} \}$$

Carilah sinyal  $y(t)$  yang merupakan hasil konvolusi dua isyarat di atas!

## BAB 9

# PERSAMAAN DIFERENSIAL PADA TRANSFORMASI LAPLACE

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu melakukan perhitungan persamaan diferensial pada transformasi Laplace.
Sub Pokok Bahasan	:	9.1 Aturan Persamaan Diferensial Pada Transformasi Laplace 9.2 Solusi Persamaan Diferensial Orde 1 9.3 Solusi Persamaan Diferensial Orde 2
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline



### 9.1. ATURAN PERSAMAAN DIFERENSIAL PADA TRANSFORMASI LAPLACE

Salah satu cara mudah untuk menyelesaikan persamaan diferensial tanpa harus menggunakan perumpamaan tanggapan adalah dengan transformasi Laplace. Aturan persamaan diferensial dalam transformasi Laplace adalah berikut.

1. Jika  $f'(t)$  menyatakan turunan pertama dari  $f(t)$ ,  $f''(t)$  menyatakan turunan kedua dari  $f(t)$ , sehingga:

$$\begin{aligned}L\{f'(t)\} &= \int_0^{\infty} e^{-st} f'(t) dt \\&= [e^{-st} f(t)]_0^{\infty} - \int_0^{\infty} f(t) \{-se^{-st}\} dt \\L\{f'(t)\} &= sL\{f(t)\} - f(0) = sF(s) - f(0)\end{aligned}$$

2. Dengan mengganti  $f(t)$  menjadi  $f'(t)$ , maka diperoleh:

$$L\{f'(t)\} = s^2 F(s) - sf(0) - f'(0)$$

Persamaan di atas diperoleh dari tahapan berikut:

$$\begin{aligned}L\{f'(t)\} &= -f(0) + sL\{f(t)\} \\L\{f''(t)\} &= -f'(0) + sL\{f'(t)\} \\&= -f'(0) + s(-f(0) + sL\{f(t)\}) \\&= s^2 F(s) - sf(0) - f'(0)\end{aligned}$$

Aturan persamaan diferensial dalam transformasi Laplace

$$\begin{aligned}L\{f'(t)\} &= sL\{f(t)\} - f(0) = sF(s) - f(0) \\L\{f''(t)\} &= s^2 F(s) - sf(0) - f'(0)\end{aligned}$$

## BAB 10

# FUNGSI ALIH

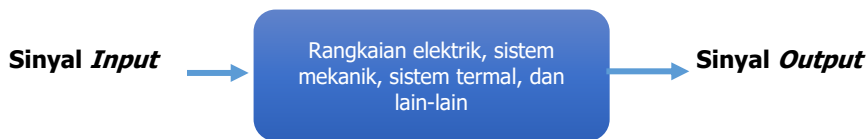
Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu melakukan perhitungan fungsi alih sebuah sistem menggunakan transformasi Laplace.
Sub Pokok Bahasan	:	10.1 Tahapan Aplikasi Transformasi Laplace dalam Menyelesaikan Persamaan Rangkaian Listrik 10.2 Aplikasi Laplace dalam Rangkaian RL, RC, dan RLC
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline





## 10.1. PENGERTIAN FUNGSI ALIH

Fungsi alih dalam sebuah sistem digunakan untuk menghitung respons  $y(t)$  apabila diberikan suatu sinyal input  $x(t)$ . Notasi  $t$  bermakna *time* atau waktu. Ilustrasi dari pengertian fungsi alih dapat dilihat pada gambar berikut.



Karakteristik sebuah sistem pada umumnya bersifat dinamis terhadap waktu, oleh karena itu sistem dapat dideskripsikan dalam persamaan diferensial atau integral.

- a. Jika diberikan sinyal input  $x(t)$ , maka persamaan sebuah sistem harus dihitung agar dapat mencari nilai  $y(t)$ .
- b. Terdapat sebuah metode alternatif selain mencari solusi persamaan dalam domain waktu, yakni dengan cara mentransformasikan sistem dari domain waktu menjadi domain yang lain. Salah satu metode transformasi tersebut adalah transformasi Laplace, yang telah dibahas pada Bab 7.

## BAB 11

# APLIKASI LAPLACE DALAM RANGKAIAN LISTRIK

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu menyelesaikan persamaan rangkaian listrik dengan transformasi Laplace.
Sub Pokok Bahasan	:	11.1 Tahapan Aplikasi Transformasi Laplace dalam Menyelesaikan Persamaan Rangkaian Listrik 11.2 Aplikasi Laplace dalam Rangkaian RL, RC, dan RLC
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline



### 11.1. TAHAPAN APLIKASI TRANSFORMASI LAPLACE DALAM MENYELESAIKAN PERSAMAAN RANGKAIAN LISTRIK

Dalam menyelesaikan permasalahan di rangkaian listrik, dapat menggunakan transformasi Laplace. Beberapa tahapan yang perlu dilakukan dapat dilihat pada Gambar 11.1.



**Gambar 11.1 Langkah untuk Menyelesaikan Persamaan Rangkaian Listrik dengan Transformasi Laplace**

Persamaan-persamaan dalam rangkaian listrik yang diperlukan dalam:

## BAB 12

# DERET FOURIER

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu menjelaskan konsep dasar deret Fourier.
Sub Pokok Bahasan	:	12.1 Pengertian Deret Fourier 12.2 Deret Fourier pada Fungsi Periodik 12.3 Persamaan Deret Fourier 12.4 Syarat Dirichlet 12.5 Fungsi Ganjil dan Fungsi Genap 12.6 Spektrum Fourier 12.7 Amplitudo Harmonik
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline

### 12.1. PENGERTIAN DERET FOURIER

Deret Fourier merupakan pernyataan deret dari suatu fungsi periodik. Fungsi periodik penting untuk diketahui karena umum terjadi pada persoalan fisika seperti getaran mekanik, arus bolak-balik listrik (AC), gelombang bunyi, gelombang elektromagnetik, hantaran panas, dan lain sebagainya.

Sama halnya seperti pada uraian deret Taylor, fungsi-fungsi periodik yang rumit dapat dianalisis secara sederhana dengan cara menguraikannya ke dalam suatu deret fungsi periodik sederhana yang dibangun oleh fungsi  $\sin x$  dan  $\cos x$  atau fungsi eksponensial  $e^{jx}$ . Uraian deret fungsi periodik ini disebut uraian deret Fourier.

### 12.2. DERET FOURIER PADA FUNGSI PERIODIK

Definisi Fungsi Periodik:

Sebuah fungsi  $f(x)$  dinyatakan periodic dengan periode  $T > 0$  jika

$$f(x \pm T) = f(x)$$

untuk semua nilai  $x$ , dengan syarat sebagai berikut:

1. Jika  $T$  adalah periode terkecil, maka  $T$  disebut periode dasar, dan interval  $a < x < a + T$ , dimana  $a$  sebuah konstanta, disebut interval dasar fungsi periodik  $f(x)$ . Untuk selanjutnya sebutan periode dimaksudkan bagi periode dasar ini.

## BAB 13

# TRANSFORMASI FOURER

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu menjelaskan konsep dasar transformasi Fourier.
Sub Pokok Bahasan	:	13.1 Pengertian Transformasi Fourier 13.2 Sifat-Sifat Transformasi Fourier 13.3 Hubungan Transformasi Laplace dengan Transformasi Fourier
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline



### **13.1. PENGERTIAN TRANSFORMASI FOURIER**

Transformasi Fourier merupakan transformasi paling penting di dalam bidang pengolahan sinyal (*signal processing*), khususnya pada bidang pengolahan citra. Umumnya sinyal dinyatakan sebagai bentuk plot amplitudo versus waktu atau plot amplitudo versus posisi spasial. Pada beberapa aplikasi pengolahan sinyal, terdapat kesukaran melakukan operasi karena fungsi dalam ranah waktu/spasial, misalnya pada operasi konvolusi. Operasi konvolusi dapat diterapkan sebagai bentuk perkalian langsung bila fungsi berada dalam ranah frekuensi.

Transformasi Fourier adalah metode untuk mengubah fungsi dari ranah waktu/spasial ke ranah frekuensi. Untuk perubahan sebaliknya digunakan Transformasi Fourier Balikan. Intisari dari Transformasi Fourier adalah menguraikan sinyal atau gelombang menjadi sejumlah sinusoida dari berbagai frekuensi, yang jumlahnya ekuivalen dengan gelombang asal.

Deret Fourier, yang koefisiennya telah dibahas pada Bab 13 hanya berlaku untuk sinyal periodik. Sinyal-sinyal aperiodik seperti sinyal eksponensial dan sinyal anak tangga tidak dapat direpresentasikan dengan deret Fourier. Untuk menangani sinyal-sinyal demikian ini kita memerlukan transformasi Fourier dan konsep spektrum kontinu. Sinyal aperiodik dipandang sebagai sinyal periodik dengan periode tak-hingga. Persamaan transformasi Fourier adalah berikut:

## BAB 14

# APLIKASI FOURIER DLAM RANGKAIAN LISTRIK

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu menyelesaikan persamaan rangkaian listrik dengan transformasi Fourier.
Sub Pokok Bahasan	:	14.1 Aplikasi Fourier dalam Rangkaian Listrik 14.2 Contoh Analisis Rangkaian Listrik dengan Transformasi Fourier
Daftar Pustaka	:	1. Alan Victor Oppenheim, Signals and Systems. New York: Prentice Hall, Inc., 1997. 2. Signal and Systems 2nd Schaum Outline





### 14.1. APLIKASI FOURIER DALAM RANGKAIAN LISTRIK

Kelinieran dari transformasi Fourier menjamin berlakunya relasi hukum Kirchhoff di kawasan frekuensi. Persamaan Hukum Tegangan Kirchhoff misalnya, jika ditransformasikan akan langsung memberikan hubungan di kawasan frekuensi yang sama bentuknya dengan relasinya di kawasan waktu.

Misalkan persamaan hukum tegangan Kirchhoff berikut:

$$v_1(t) + v_2(t) - v_3(t) = 0$$

Jika ditransformasikan:

$$V_1(\omega) + V_2(\omega) - V_3(\omega) = 0$$

Hal ini pun berlaku untuk hukum arus Kirchhoff. Dengan demikian, transformasi Fourier dari suatu sinyal akan mengubah pernyataan sinyal di kawasan waktu menjadi spektrum sinyal di kawasan frekuensi tanpa mengubah bentuk relasi hukum Kirchhoff, yang merupakan salah satu persyaratan rangkaian yang harus dipenuhi dalam analisis rangkaian listrik.

Persyaratan rangkaian yang lain adalah persyaratan elemen dapat diperoleh melalui transformasi hubungan tegangan-arus (karakteristik  $i - v$  elemen). Dengan memanfaatkan sifat diferensiasi dari transformasi Fourier, akan diperoleh persamaan di kawasan frekuensi untuk resistor, induktor, dan kapasitor sebagai berikut:

## BAB 15

# TRANSFORMASI LAPLACE MENGUNAKAN MATLAB

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu melakukan transformasi Laplace menggunakan aplikasi MATLAB.
Sub Pokok Bahasan	:	15.1 Transformasi Laplace dengan Matlab 15.2 Contoh Transformasi Laplace Pemrograman Matlab 15.3 Mencari Pole dan Zero pada Bidang-s
Daftar Pustaka	:	<a href="http://www.marthworks.com">www.marthworks.com</a>



## 15.1. TRANSFORMASI LAPLACE DENGAN MATLAB

Dalam dunia akademisi, MATLAB merupakan perangkat standar untuk memperkenalkan dan mengembangkan materi matematika, rekayasa, dan lain sebagainya, terlebih dalam bidang teknik elektro.

Jika pada Bab 7 Anda sudah mempelajari materi transformasi Laplace, maka pada bab ini Anda akan mempelajari langkah menggunakan MATLAB untuk menyelesaikan persamaan-persamaan transformasi Laplace.

Fungsi MATLAB untuk menghitung transformasi Laplace adalah berikut:

```
L = laplace(F)
L = laplace(F,t)
L = laplace(F,w,z)
```

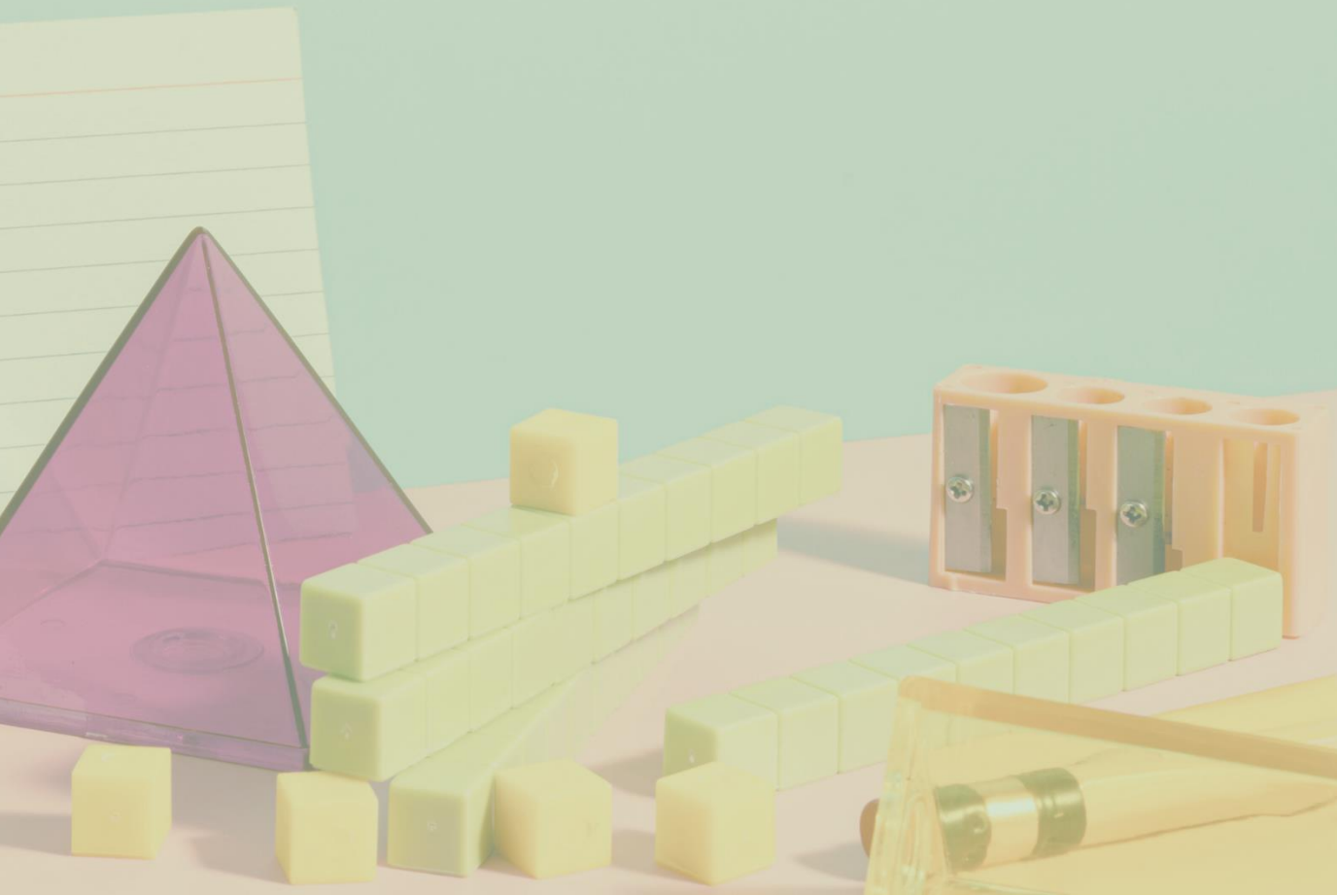
Sedangkan fungsi MATLAB untuk menghitung transformasi Laplace balik (*inverse*) adalah:

```
F = ilaplace(L)
F = ilaplace(L , y)
F = ilaplace(L , y , x)
```

## BAB 16

# UJIAN AKHIR SEMESTER

Capaian Pembelajaran	:	Mahasiswa mampu menjawab dan menyelesaikan permasalahan yang diberikan dalam soal.
----------------------	---	--



## UJIAN AKHIR SEMESTER GASAL TAHUN AJARAN

    .

Mata Ujian : Sistem Linier

Hari/Tanggal :

Dosen : Nifty Fath, S.T., M.Eng

Kelompok :

Waktu : 120 menit

Metode : Buka 2  
lembar  
catatan A4

---

### Instruksi:

- Bacalah setiap soal dengan saksama sebelum mengerjakan.
  - Jawaban ditulis pada lembar jawab yang disediakan.
  - Lembar Soal, jawaban, dan lembar catatan ujian wajib dikumpulkan kembali ke Pengawas Ujian pada saat waktu ujian dinyatakan selesai.
  - Dilarang bekerja sama dan membuka *handphone*.
- 

1. Diketahui isyarat keluaran  $y(t)$  dari sebuah sistem LTI-kontinu adalah  $2e^{-3t}u(t)$  ketika masukannya adalah  $x(t) = u(t)$ .

Hitunglah:

- $h(t)$  dari sistem
- $y(t)$  jika masukannya adalah  $x(t) = e^{-t}u(t)$

2. Diketahui fungsi  $f(x)$  sebagai berikut:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < 1 \\ 0 & 1 < x < 2 \end{cases}$$

periodik dengan periode 2 sehingga  $f(x \pm 2) = f(x)$ . Nyatakan fungsi  $f(x)$  dalam uraian deret Fourier!

# SISTEM LINEAR

Sistem linear dalam ilmu teknik mematuhi prinsip linearitas, di mana hubungan antara input dan *output* dapat dijelaskan dengan persamaan linear. Ini berarti bahwa sistem tersebut memenuhi dua sifat dasar, yaitu aditivitas (hasil dari penjumlahan input sama dengan penjumlahan hasil dari masing-masing *input*) dan homogenitas (perkalian input dengan bilangan skalar menghasilkan *output* yang juga dikalikan dengan bilangan tersebut). Konsep ini sangat penting dalam analisis dan desain sistem teknik, seperti kontrol otomatis, sirkuit elektronik, dan sistem mekanik karena memudahkan permodelan, analisis, dan prediksi perilaku sistem.

Mempelajari sistem linear sangatlah penting karena dapat memberikan dasar dalam memahami berbagai materi, seperti sinyal, transformasi Laplace, dan deret Fourier. Buku ajar ini mengulas mulai dari klasifikasi dan representasi sinyal hingga transformasi Laplace dengan MATLAB. Setiap bab dalam buku ini memiliki penjelasan yang ditulis secara rinci dan dilengkapi rangkuman serta latihan soal yang dapat digunakan sebagai panduan belajar untuk memahami sistem linear dan mengatasi berbagai masalah praktis, seperti analisis rangkaian listrik dan pemecahan persamaan diferensial, serta memahami cara kerja sinyal dalam konteks waktu dan frekuensi.

**Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)**

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)

📘 Penerbit Deepublish

📱 @penerbitbuku\_deepublish

🌐 [www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com)



Kategori : Matematika dan Teknik

ISBN 978-634-200-044-1 (PDF)



9

786342

000441