

EL-2007 Sinyal dan Sistem

Armein Z R Langi

2025-09-03

Table of contents

Petunjuk Belajar Mata Kuliah Sinyal dan Sistem

EL 2007 Sinyal dan Sistem

Selamat datang di mata kuliah Sinyal dan Sistem! Mata kuliah ini akan membekali Anda dengan fondasi penting dalam semua disiplin ilmu teknik, khususnya teknik elektro. Pendekatan pembelajaran kita akan didasarkan pada kerangka **VALORAIZE Learning**, yang berfokus pada **pembentukan sosok, karakter, dan pola pikir layaknya insinyur profesional**, bukan hanya penguasaan materi. Tujuannya adalah agar Anda tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu **berpikir dan bertindak sebagai seorang insinyur profesional** saat menghadapi tantangan di dunia nyata.

Dosen akan berperan sebagai **fasilitator, pembimbing, dan teladan** dari profesi insinyur, sedangkan Anda akan bertransformasi menjadi **pembelajar aktif, pencipta pengetahuan, dan reflektor diri**.

Berikut adalah panduan belajar yang akan membantu Anda sukses dalam mata kuliah ini:

I. Fondasi VALORAIZE Learning: Membangun Keahlian Profesional

1. **Mengintegrasikan Pembuatan Peta Pengetahuan (Knowledge Maps)** Peta pengetahuan adalah inti dari metode belajar ini, membantu Anda memvisualisasikan, mengatur, dan mengintegrasikan informasi untuk pemahaman yang lebih dalam. Ada dua jenis peta pengetahuan yang wajib Anda kuasai:

- **Peta Pengetahuan Primitif (Primitive Knowledge Maps):**
 - **Tujuan:** Membangun kerangka konseptual inti mata kuliah. Peta ini akan membantu Anda melihat **“gambaran besar”** dan **keterkaitan antar konsep** (pengetahuan deklaratif seperti fakta dan definisi) di seluruh domain Sinyal dan Sistem.
 - **Komponen:** Node (konsep seperti “Transformasi Fourier,” “Linearitas,” “Konvolusi,” “Stabilitas Sistem”), Garis (menghubungkan node), Label (frasa deskriptif seperti “adalah jenis dari,” “mengarah ke,” “bergantung pada,” “digunakan untuk”), dan Panah (menunjukkan arah hubungan).
 - **Fokus Kognitif:** Mengingat dan Memahami (Level 1-2 Taksonomi Bloom).

- **Praktik:** Buat peta hierarkis dimulai dengan “Sinyal & Sistem” sebagai node pusat, bercabang ke domain utama (Domain Waktu, Domain Frekuensi, Domain Kompleks), dan merinci properti sinyal/sistem di bawahnya. Perlakukan peta ini sebagai “**Dokumen Hidup**” yang terus disempurnakan seiring berkembangnya pemahaman Anda.
- **Peta Pemecahan Masalah (Problem-Solving Knowledge Maps):**
 - **Tujuan:** Memandu Anda melalui proses pemecahan masalah Sinyal dan Sistem tertentu, mengintegrasikan pengetahuan konseptual dengan langkah-langkah prosedural. Ini membantu Anda mengembangkan **strategi pemecahan masalah layak**nya ahli.
 - **Konseptualisasi Masalah:** Setiap masalah adalah “celah” antara “Titik Mulai” (informasi yang diketahui) dan “Titik Akhir” (solusi yang diinginkan). Pemecahan masalah adalah proses “menemukan rute” dan “kendaraan” yang tepat untuk melintasi celah ini.
 - **Komponen:** Titik Mulai, Titik Akhir, Rute/Jalan (urutan langkah-langkah seperti *flowchart*), dan **Kendaraan** (alat, teknik, metode spesifik).
 - **Kategori Kendaraan:**
 - * **Matematika (Fundamental):** Aljabar, Kalkulus, Bilangan Kompleks.
 - * **Diagram & Visualisasi:** Diagram Blok, Plot Sinyal, Plot Pole-Zero, Bode Plot.
 - * **Komputasi (Super Kendaraan):** Matplotlib, SciPy, SymPy.
 - * **Operasi Dasar Sinyal/Sistem:** Penskalaan amplitudo, pergeseran waktu, penjumlahan, perkalian, diferensiasi, integrasi.
 - * **Transformasi (Algoritma):** Transformasi Fourier, Laplace, dan Z.
 - * **Heuristik (“Meta-Kendaraan”):** “Menggambar Diagram,” “Mentransformasi Masalah,” “Mencari Pola,” “Bekerja Mundur,” “Menyederhanakan Masalah”.
 - **Fokus Kognitif:** Menerapkan, Menganalisis, Mengevaluasi, Menciptakan (Level 3-6 Taksonomi Bloom).
 - **Praktik:** Saat memecahkan masalah, dokumentasikan secara eksplisit “rute” dan “kendaraan” yang Anda gunakan, serta alasannya.
- 2. **Membuat Jurnal Pembelajaran Reflektif (Learning Journal)** Jurnal ini wajib untuk mendokumentasikan pengalaman belajar Anda, termasuk **perjuangan, alat yang dipakai, kegagalan, terobosan, dan pelajaran yang dipetik**. Gunakan kerangka DAR (Deskripsi, Analisis, Refleksi, Rencana Tindak Lanjut) setiap minggunya. Ini penting untuk membangun kesadaran metakognitif dan pola pikir berkembang.
- 3. **Berpartisipasi dalam Knowledge Marketplace** Sistem penilaian ini menyerupai pasar profesional dan dirancang untuk memotivasi pembelajaran mendalam.
 - **Permintaan Dosen:** Setiap minggu, dosen akan “mengiklankan” kebutuhan akan “karya pengetahuan dan pemecahan masalah” tertentu, menargetkan topik dan

tingkat Taksonomi Bloom spesifik.

- **Penciptaan Nilai:** Anda akan merespons dengan menghasilkan laporan (peta pengetahuan) yang merepresentasikan pemahaman Anda atau solusi masalah yang diminta.
- **Transaksi:** Karya Anda akan “dibeli” oleh dosen menggunakan sistem mata uang digital berjenjang dan, secara opsional, mata uang fiat, yang berfungsi sebagai penilaian dan insentif.
 - **Point Uang:** Mengingat & Memahami (Level 1-2 Bloom).
 - **Point Emas:** Menerapkan (Level 3 Bloom).
 - **Point Platinum:** Menganalisis & Mengevaluasi (Level 4-5 Bloom).
 - **Point Berlian:** Menciptakan (Level 6 Bloom).
 - **Mata Uang Fiat (contoh):** IDR untuk Domain Waktu Kontinu, USD untuk Domain Frekuensi WK/WD, GBP untuk Transformasi Laplace, dsb. Ini memberikan insentif untuk eksplorasi domain teknis yang berbeda.
- **Publikasi:** Karya yang “dibeli” akan diunggah ke situs web kuliah sebagai sumber belajar bagi mahasiswa di tahun berikutnya, menumbuhkan rasa kepemilikan dan kebanggaan kolektif.
- **Nilai Akhir:** Total “harta” yang terkumpul akan diindeks untuk mendapatkan nilai akhir mata kuliah. Pahami rubrik penilaian yang transparan, yang berfokus pada kualitas refleksi, kedalaman konsep, akurasi, dan inovasi.

4. **Memanfaatkan Teknologi Digital dan Kecerdasan Buatan (AI)** Teknologi adalah “pengganda kekuatan” dalam pembelajaran ini.

- **Alat Pembuatan Peta:** Gunakan alat seperti Miro, MindMeister, Microsoft Visio, Creately, XMind, Coggle, SimpleMind, Eraser DiagramGPT, Math Whiteboard, dan Excalidraw untuk membuat peta interaktif dan kolaboratif. Ini mengurangi beban kognitif ekstrinsik dan mendukung kolaborasi.
- **Asisten Riset AI:** Manfaatkan NotebookLM sebagai asisten riset pribadi untuk meringkas sumber, memberikan wawasan instan, dan menjelaskan konsep kompleks dengan verifikasi sumber. AI juga dapat mempersonalisasi pembelajaran Anda.
- **Kontrol Versi:** Dianjurkan menggunakan Git/GitHub untuk melacak progres dan riwayat jurnal/proyek Anda. Ini mencerminkan praktik pengembangan perangkat lunak profesional.

5. **Pembelajaran Kolaboratif** Bekerja sama dengan rekan-rekan dalam membuat peta pengetahuan sangat penting. Ini mendorong diskusi yang kaya, memperdalam pemahaman, dan membantu membangun model mental bersama.

6. **Membangun Portofolio Kuliah** Wajib membangun portofolio kuliah yang berisi dokumen karya hasil belajar dan tugas-tugas, ditautkan di blog pribadi Anda. Ini berfungsi sebagai refleksi atas pemahaman dan kesadaran metakognitif Anda.

II. Strategi Belajar Umum untuk Sinyal dan Sistem

1. **Kuasai Dasar-dasar Matematika** Mata kuliah ini memiliki konten matematika yang substansial. Pastikan Anda memiliki latar belakang yang kuat dalam **kalkulus, trigonometri, bilangan kompleks, dan aljabar linear**. Tinjau topik-topik ini secara cermat.
2. **Fokus pada “Melakukan” (Doing)** Tidak ada jalan pintas untuk belajar selain dengan **“melakukan” (doing)**. Pelajari contoh soal yang sudah diselesaikan dan kerjakan soal-soal latihan secara mandiri. Konseptualisasikan masalah sebagai “celah” antara informasi yang diketahui dan solusi yang diinginkan.
3. **Pahami Sifat-sifat Sinyal dan Sistem** Penting untuk memahami sifat-sifat dasar seperti energi dan daya sinyal, transformasi variabel independen (pergeseran waktu, penskalaan), sinyal periodik dan non-periodik, dan sinyal genap/ganjil. Untuk sistem, pahami sifat memori, kausalitas, invertibilitas, stabilitas (BIBO stability), linearitas, dan invarian waktu.
4. **Kuasai Konsep Respon Impuls dan Konvolusi** Respon impuls memegang peran penting dalam analisis sistem LTI. Pahami representasi jumlah konvolusi untuk sistem LTI waktu diskrit dan representasi integral konvolusi untuk sistem LTI waktu kontinu. Pahami properti-properti konvolusi seperti komutatif, distributif, asosiatif, properti pergeseran, dan konvolusi dengan impuls.
5. **Pahami Transformasi Domain**
 - **Deret Fourier:** Pelajari representasi sinyal periodik sebagai kombinasi eksponensial kompleks. Pahami kondisi Dirichlet dan teorema Parseval untuk daya rata-rata.
 - **Transformasi Fourier:** Alat umum untuk representasi sinyal non-periodik. Pahami properti-propertinya. Pahami hubungan antara Transformasi Fourier waktu kontinu dan Transformasi Fourier waktu diskrit.
 - **Transformasi Laplace:** Generalisasi dari Transformasi Fourier, sangat berguna untuk analisis sistem LTI, termasuk yang dicirikan oleh persamaan diferensial linear koefisien konstan. Pahami konsep Region of Convergence (ROC) dan cara menggunakan ekspansi *partial-fraction* untuk Transformasi Laplace invers. Ingat teorema nilai awal dan akhir.
 - **Transformasi Z:** Konsep Transformasi Z untuk urutan diskrit. Pahami perbedaan dengan Transformasi Laplace dan Fourier serta ROC-nya.
6. **Sampling dan Aliasing** Pahami representasi sinyal waktu kontinu oleh sampelnya: Teorema Sampling. Pelajari efek *undersampling* atau *aliasing* dan laju Nyquist.
7. **Desain dan Analisis Filter** Pahami karakteristik filter dari sistem linear, seperti LPF, HPF, dan BPF. Pelajari desain filter dari studi kasus.

8. **Manfaatkan Alat Bantu Perangkat Lunak** Gunakan perangkat lunak seperti MATLAB untuk analisis dan simulasi sinyal dan sistem. MATLAB memiliki fungsi untuk desain filter (butter, cheby1, cheby2, ellip, fir1, fir2, fircls, firfs, firpm), analisis respons (impulse, step, lsim, freqs, freqz, impz, stepz), dan manipulasi simbolik.
9. **Tinjau Ulang dan Hubungkan Konsep** Mata kuliah ini saling terkait. Selalu coba hubungkan topik baru dengan apa yang sudah Anda pelajari. Peta pengetahuan Anda akan sangat membantu dalam hal ini.

Dengan mengikuti petunjuk ini, Anda tidak hanya akan mendapatkan pemahaman mendalam tentang Sinyal dan Sistem, tetapi juga mengembangkan pola pikir dan keterampilan yang esensial untuk menjadi insinyur profesional yang sukses. Selamat belajar!

1 Tinjauan Kuliah

Berikut adalah gambaran umum (overview) mata kuliah Sinyal dan Sistem, mengintegrasikan filosofi pembelajaran VALORAIZE, struktur materi, dan tujuan utama yang dirancang untuk mahasiswa.

1.1 Gambaran Umum Mata Kuliah Sinyal dan Sistem (EL2007)

Mata kuliah Sinyal dan Sistem (kode EL2007) merupakan **fondasi penting dalam semua disiplin ilmu teknik**, khususnya teknik elektro. Mata kuliah ini akan membekali Anda dengan konsep dan teknik fundamental untuk **menganalisis dan menyintesis proses yang kompleks**. Sinyal didefinisikan sebagai fenomena fisik yang bervariasi terhadap waktu yang dimaksudkan untuk menyampaikan informasi, seperti sinyal suara atau video. Ilmu Sinyal dan Sistem memiliki sejarah panjang dan terus berkembang sebagai respons terhadap masalah, teknik, dan peluang baru.

Mata kuliah ini dirancang untuk lebih dari sekadar penguasaan materi. Filosofi intinya adalah **VALORAIZE Learning**, sebuah paradigma transformatif yang secara eksplisit berfokus pada **pembentukan sosok, karakter, dan pola pikir layaknya insinyur profesional**. Anda tidak hanya akan belajar tentang sinyal dan sistem, tetapi juga **dibimbing untuk berpikir dan bertindak sebagai seorang insinyur profesional**. Dalam ekosistem ini, dosen berperan sebagai **fasilitator, pembimbing, dan teladan** dari profesi insinyur, sementara Anda akan bertransformasi menjadi **pembelajar aktif, pencipta pengetahuan, dan reflektor diri**.

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) yang akan Anda kuasai setelah mengikuti mata kuliah ini meliputi kemampuan untuk:

1. **Menganalisis sifat sinyal dan sistem** dalam domain waktu, domain frekuensi, dan domain Laplace.
2. **Merancang filter dan pengendali** secara matematis pada studi kasus.
3. **Menggunakan alat bantu (perangkat lunak)** untuk menganalisis sinyal dan sistem.

1.2 I. Pilar Pembelajaran VALORAIZE Learning

Untuk mencapai CPMK dan membentuk identitas profesional, VALORAIZE Learning mengintegrasikan beberapa pilar utama:

1. **Peta Pengetahuan (Knowledge Maps):** Ini adalah fondasi kognitif untuk pemahaman mendalam.
 - **Peta Pengetahuan Primitif (Primitive Knowledge Maps):** Membantu Anda melihat “**gambaran besar**” dan keterkaitan antar konsep inti (pengetahuan deklaratif) di seluruh domain Sinyal dan Sistem, seperti Domain Waktu, Domain Frekuensi, Transformasi Fourier, dan properti sistem.
 - **Peta Pemecahan Masalah (Problem-Solving Knowledge Maps):** Memandu Anda melalui proses pemecahan masalah tertentu. Setiap masalah dikonseptualisasikan sebagai “**celah**” antara informasi yang diketahui (“Titik Mulai”) dan solusi yang diinginkan (“Titik Akhir”). Anda akan mengidentifikasi “**rute**” (langkah-langkah) dan “**kendaraan**” (alat, teknik, algoritma, heuristik) yang tepat untuk melintasi celah tersebut. “Kendaraan” ini dapat berupa matematika dasar (aljabar, kalkulus), diagram & visualisasi (diagram blok, plot pole-zero), alat komputasi (SciPy, SymPy), operasi dasar sinyal/sistem, transformasi (Fourier, Laplace, Z), dan heuristik (strategi pemecahan masalah).
2. **Jurnal Pembelajaran Reflektif (Learning Journal):** Anda diwajibkan untuk mendokumentasikan pengalaman belajar Anda, termasuk **perjuangan, alat yang dipakai, kegagalan, terobosan, dan pelajaran yang dipetik**. Ini penting untuk membangun kesadaran metakognitif dan pola pikir berkembang, seringkali menggunakan kerangka DAR (Deskripsi, Analisis, Refleksi, Rencana Tindak Lanjut).
3. **Knowledge Marketplace:** Sistem penilaian inovatif ini menyerupai pasar profesional. Dosen akan “mengiklankan” kebutuhan akan “karya pengetahuan dan pemecahan masalah” (seringkali dalam bentuk peta pengetahuan) pada topik dan tingkat Taksonomi Bloom tertentu. Karya Anda akan “dibeli” oleh dosen menggunakan **sistem mata uang digital berjenjang** (Point Uang untuk Mengingat & Memahami, Point Emas untuk Menerapkan, Point Platinum untuk Menganalisis & Mengevaluasi, Point Berlian untuk Menciptakan) dan, secara opsional, **mata uang fiat** yang dikaitkan dengan domain teknis spesifik (misalnya, IDR untuk Domain Waktu Kontinu, USD untuk Domain Frekuensi). Karya yang “dibeli” akan diunggah ke situs web kuliah, menjadi sumber belajar bagi mahasiswa di tahun berikutnya.
4. **Pemanfaatan Teknologi Digital dan Kecerdasan Buatan (AI):** Teknologi adalah “pengganda kekuatan”. Anda akan menggunakan alat pembuatan peta seperti Miro atau MindMeister, dan alat komputasi seperti Matplotlib, SciPy, atau SymPy. AI, seperti

NotebookLM, akan berfungsi sebagai asisten riset pribadi untuk meringkas sumber, memberikan wawasan, dan menjelaskan konsep. Penggunaan Git/GitHub juga dianjurkan untuk melacak progres proyek dan jurnal Anda.

5. **Pembelajaran Kolaboratif:** Bekerja sama dengan rekan-rekan dalam membuat peta pengetahuan akan mendorong diskusi yang kaya dan memperdalam pemahaman.

1.3 II. Cakupan Materi Mata Kuliah (Distribusi Umum)

Mata kuliah ini akan mencakup serangkaian topik inti dalam Sinyal dan Sistem, seringkali disusun sebagai berikut:

- **Minggu 1-3: Deskripsi Sinyal dan Sistem di Domain Waktu**
 - Pengantar Sinyal: Sinyal waktu kontinu dan diskrit, representasi matematis, energi dan daya sinyal.
 - Transformasi Variabel Independen: Pergeseran waktu, penskalaan, sinyal periodik, sinyal genap dan ganjil.
 - Sinyal Elementer: Sinyal eksponensial kompleks dan sinusoidal, fungsi impuls unit dan *step* unit (waktu kontinu dan diskrit).
 - Pengantar Sistem: Contoh sistem sederhana, interkoneksi sistem.
 - Properti Sistem Dasar: Memori, invertibilitas, kausalitas, stabilitas (BIBO), invarian waktu, linearitas.
 - Analisis Sistem LTI (Linear Time-Invariant): Konsep respon impuls, integral dan jumlah konvolusi untuk representasi sistem LTI. Sistem yang dicirikan oleh persamaan diferensial dan beda koefisien konstan.
- **Minggu 4-7: Analisis Domain Frekuensi (Transformasi Fourier)**
 - Representasi Deret Fourier: Untuk sinyal periodik waktu kontinu dan diskrit.
 - Transformasi Fourier: Untuk sinyal aperiodik waktu kontinu dan diskrit.
 - Properti Transformasi Fourier: Linearitas, pergeseran waktu, pergeseran frekuensi, penskalaan, konvolusi, perkalian.
 - Respon Frekuensi Sistem LTI: Konsep filter, filter selektif frekuensi ideal dan non-ideal, *magnitude-phase representation*, *Bode plots*.
- **Minggu 8: Sampling**
 - Teorema Sampling: Representasi sinyal waktu kontinu oleh sampelnya.
 - Efek *Undersampling*: Konsep *aliasing*.
 - Rekonstruksi Sinyal dari Sampel: Interpolasi.
- **Minggu 9-12: Analisis Domain Laplace dan Z-Transform**

- Transformasi Laplace: Definisi, Region of Convergence (ROC), transformasi Laplace invers.
- Properti Transformasi Laplace: Linearitas, pergeseran waktu, konvolusi, diferensiasi, teorema nilai awal/akhir.
- Analisis Sistem LTI menggunakan Fungsi Alih: Kausalitas, stabilitas sistem.
- Transformasi Z: Konsep, ROC, transformasi Z invers.
- Properti Transformasi Z: Linearitas, penskalaan, pergeseran waktu, konvolusi, diferensiasi, teorema nilai awal.
- Analisis Sistem LTI menggunakan Fungsi Sistem: Kausalitas, stabilitas, representasi diagram blok.

• **Minggu 13-14: Desain Filter dan Pengantar Sistem Kendali Umpan Balik**

- Studi Kasus Desain Filter: Perancangan filter secara matematis dan penggunaan perangkat lunak untuk verifikasi.
- Pengantar Sistem Kendali Linier Umpan Balik: Konsep dasar, aplikasi, analisis *root-locus*, kriteria stabilitas Nyquist, *gain* dan *phase margin*.

Dengan berpartisipasi aktif dalam setiap aspek pembelajaran ini, Anda akan mengembangkan pemahaman konseptual yang mendalam, keterampilan pemecahan masalah layaknya ahli, kesadaran metakognitif, dan identitas profesional yang kuat, mempersiapkan Anda untuk tantangan kompleks di dunia kerja.

2 Materi Pembelajaran Minggu 1: Deskripsi Matematis Sinyal Waktu Kontinu

Capaian Pembelajaran Minggu (CPMK Terkait): Mahasiswa diharapkan mampu memahami dasar-dasar sinyal waktu kontinu dan representasi matematisnya.

Minggu ini, kita akan menjelajahi konsep fundamental sinyal dan sistem waktu kontinu, yang merupakan fondasi penting dalam banyak disiplin ilmu teknik. Kita akan mulai dengan memahami apa itu sinyal waktu kontinu, bagaimana merepresentasikannya secara matematis, mengklasifikasikannya, melakukan operasi dasar pada sinyal, serta memperkenalkan sistem waktu kontinu dan sifat-sifat fundamentalnya.

2.1 1.1 Pengenalan Sinyal Waktu Kontinu (Continuous-Time Signals)

Sinyal adalah suatu fungsi yang membawa informasi. Sinyal waktu kontinu (Continuous-Time Signals, CT Signals) adalah sinyal yang didefinisikan untuk setiap nilai waktu dalam suatu interval kontinu. Biasanya, ini direpresentasikan sebagai fungsi dari variabel waktu t , misalnya $x(t)$.

Contoh Sinyal Dasar Waktu Kontinu:

- **Sinyal Sinusoidal:** Menggambarkan osilasi periodik, misalnya $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$.
- **Sinyal Eksponensial:** Menunjukkan pertumbuhan atau peluruhan, misalnya $x(t) = Ae^{\alpha t}$.
 - Jika α real dan negatif, sinyal meluruh.
 - Jika α real dan positif, sinyal bertumbuh.
 - Jika α kompleks ($j\omega$), menjadi eksponensial kompleks ($e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + j \sin(\omega t)$).
- **Fungsi Unit Step (Unit Step Function):** Sinyal yang bernilai 0 untuk $t < 0$ dan 1 untuk $t \geq 0$, dilambangkan $u(t)$. Berguna untuk merepresentasikan sinyal yang “dimulai” pada waktu tertentu.
- **Fungsi Unit Impuls (Unit Impulse Function) / Delta Dirac:** Sinyal ideal yang bernilai tak hingga pada $t = 0$ dan nol di tempat lain, dengan luas area satu. Dilambangkan $\delta(t)$. Sinyal ini sering digunakan sebagai “blok bangunan” untuk merepresentasikan sinyal lain dan menganalisis sistem.

2.2 1.2 Klasifikasi Sinyal Waktu Kontinu

Sinyal dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa properti penting:

- **Sinyal Energi (Energy Signal) vs. Sinyal Daya (Power Signal):**
 - **Sinyal Energi:** Memiliki energi total terbatas ($0 < E < \infty$) dan daya rata-rata nol ($P = 0$). Energi E dihitung sebagai $E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt$.
 - **Sinyal Daya:** Memiliki daya rata-rata terbatas ($0 < P < \infty$) dan energi total tak hingga ($E = \infty$). Daya rata-rata P dihitung sebagai $P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$.
 - Sinyal yang tidak memenuhi kedua kondisi ini tidak diklasifikasikan sebagai sinyal energi maupun sinyal daya (misalnya, sinyal yang terus bertumbuh).
- **Sinyal Periodik (Periodic Signal) vs. Aperiodik (Aperiodic Signal):**
 - **Sinyal Periodik:** Sinyal yang berulang dengan periode waktu tertentu $T > 0$, yaitu $x(t) = x(t + T)$ untuk semua t . **Periode fundamental** adalah periode T terkecil yang memenuhi kondisi ini.
 - **Sinyal Aperiodik:** Sinyal yang tidak berulang.
- **Sinyal Genap (Even Signal) vs. Sinyal Ganjil (Odd Signal):**
 - **Sinyal Genap:** Sinyal yang simetris terhadap sumbu vertikal, yaitu $x(t) = x(-t)$.
 - **Sinyal Ganjil:** Sinyal yang antisimetris terhadap sumbu vertikal, yaitu $x(t) = -x(-t)$.
 - Setiap sinyal dapat diuraikan menjadi komponen genap $x_e(t) = \frac{1}{2}(x(t) + x(-t))$ dan komponen ganjil $x_o(t) = \frac{1}{2}(x(t) - x(-t))$.

2.3 1.3 Operasi Dasar pada Sinyal Waktu Kontinu

Berbagai operasi dapat dilakukan pada sinyal waktu kontinu.

- **Transformasi Variabel Independen (Independent Variable Transformations):**
 - **Pergeseran Waktu (Time Shift):** $y(t) = x(t - t_0)$ menggeser sinyal $x(t)$ ke kanan (menunda) sebesar t_0 unit jika $t_0 > 0$. $y(t) = x(t + t_0)$ menggeser ke kiri (memajukan).
 - **Penskalaan Waktu (Time Scaling):** $y(t) = x(at)$ mengubah “kecepatan” sinyal. Jika $|a| > 1$, sinyal dikompresi (dipercepat). Jika $0 < |a| < 1$, sinyal diekspansi (diperlambat). Jika $a < 0$, juga terjadi pembalikan waktu.
 - **Pembalikan Waktu (Time Reversal):** $y(t) = x(-t)$ membalik sinyal terhadap sumbu vertikal.

- **Transformasi Variabel Dependen (Dependent Variable Transformations):**
 - **Penskalaan Amplitudo:** $y(t) = Ax(t)$ mengalikan amplitudo sinyal dengan konstanta A .
 - **Penjumlahan Sinyal:** $y(t) = x_1(t) + x_2(t)$.
 - **Perkalian Sinyal:** $y(t) = x_1(t) \cdot x_2(t)$.
 - **Diferensiasi Sinyal:** $y(t) = \frac{dx(t)}{dt}$.
 - **Integrasi Sinyal:** $y(t) = \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau$.

2.4 1.4 Pengenalan Sistem Waktu Kontinu (Continuous-Time Systems)

Sistem dapat didefinisikan sebagai entitas yang memproses sinyal input untuk menghasilkan sinyal output. Hubungan input-output ini dapat direpresentasikan secara matematis atau grafis.

- **Representasi Diagram Blok (Block Diagram Representation):** Digunakan untuk memvisualisasikan bagaimana komponen-komponen sistem dihubungkan. Simbol-simbol dasar meliputi penambah, pengali (gain), dan integrator/diferensiator.
- **Interkoneksi Sistem (Interconnection of Systems):**
 - **Seri (Cascade):** Output satu sistem menjadi input sistem berikutnya.
 - **Paralel:** Input yang sama diberikan ke beberapa sistem, dan outputnya dijumlahkan.

2.5 1.5 Sifat Dasar Sistem Waktu Kontinu

Klasifikasi sistem penting untuk memahami perilakunya.

- **Sistem dengan Memori (System with Memory) vs. Tanpa Memori (Memoryless System):**
 - **Tanpa Memori:** Output $y(t)$ pada waktu t hanya bergantung pada input $x(t)$ pada waktu yang sama.
 - **Dengan Memori:** Output $y(t)$ pada waktu t bergantung pada nilai input atau output di masa lalu atau masa depan. Contohnya, integrator.
- **Kausalitas (Causality):** Output $y(t)$ pada waktu t hanya bergantung pada input $x(\tau)$ untuk $\tau \leq t$ (yaitu, input saat ini atau masa lalu). Sistem tidak dapat “memprediksi” input masa depan. Sistem fisik harus kausal.

- **Invertibilitas (Invertibility):** Sistem dikatakan invertibel jika inputnya dapat direkonstruksi secara unik dari outputnya. Artinya, ada sistem invers yang, jika dihubungkan secara seri, akan menghasilkan kembali input asli.
- **Stabilitas BIBO (Bounded-Input Bounded-Output Stability):** Sistem stabil BIBO jika setiap input terbatas (bounded) menghasilkan output yang terbatas. Input $x(t)$ terbatas jika ada konstanta $M_x < \infty$ sehingga $|x(t)| \leq M_x$ untuk semua t . Output $y(t)$ terbatas jika ada konstanta $M_y < \infty$ sehingga $|y(t)| \leq M_y$ untuk semua t .
- **Invariansi Waktu (Time-Invariance):** Karakteristik sistem tidak berubah seiring waktu. Jika input $x(t)$ menghasilkan output $y(t)$, maka input yang digeser waktu $x(t-t_0)$ akan menghasilkan output $y(t-t_0)$.
- **Linearitas (Linearity):** Sistem linear jika memenuhi dua prinsip:
 - **Aditivitas:** Input $x_1(t) + x_2(t)$ menghasilkan output $y_1(t) + y_2(t)$, di mana $y_1(t)$ adalah output dari $x_1(t)$ dan $y_2(t)$ adalah output dari $x_2(t)$.
 - **Homogenitas (Scaling):** Input $ax(t)$ menghasilkan output $ay(t)$ untuk konstanta skalar a apa pun.
 - Seringkali disebut prinsip superposisi.

2.6 Peta Pengetahuan Primitif: Sinyal & Sistem Waktu Kontinu

Tujuan: Membantu mahasiswa melihat gambaran besar, interkoneksi antar konsep, dan mengatur pengetahuan deklaratif (fakta dan definisi) sinyal dan sistem waktu kontinu. (Mengingat & Memahami - Level 1-2 Bloom).

Node Pusat: Sinyal & Sistem

- **Cabang 1: SWK (Sinyal Waktu Kontinu)**
 - **Sub-Cabang 1.1: Representasi Matematis (SWK_Representasi)**
 - * Node: Sinusoidal (SWK_Sinusoidal), Eksponensial (SWK_Eksponensial), Unit Step (SWK_UnitStep), Unit Impuls (SWK_UnitImpuls).
 - **Sub-Cabang 1.2: Klasifikasi Sinyal (SWK_Klasifikasi)**
 - * Node: Energi/Daya (SWK_EnergiDaya), Periodik/Aperiodik (SWK_Periodisitas), Genap/Ganjil (SWK_Simetri).
 - **Sub-Cabang 1.3: Operasi Sinyal (SWK_Operasi)**

- * Node: Pergeseran Waktu (SWK_GeserWaktu), Penskalaan Waktu (SWK_SkalaWaktu), Pembalikan Waktu (SWK_BalikWaktu), Penjumlahan (SWK_Jumlah), Perkalian (SWK_Kali), Penskalaan Amplitudo (SWK_SkalaAmplitudo).

- **Cabang 2: SYWK (Sistem Waktu Kontinu)**

- **Sub-Cabang 2.1: Definisi & Representasi (SYWK_Representasi)**

- * Node: Sistem (SYWK_Definisi), Diagram Blok (SYWK_DiagramBlok), Interkoneksi (SYWK_Interkoneksi).

- **Sub-Cabang 2.2: Sifat Sistem (SYWK_Sifat)**

- * Node: Memori (SYWK_Memori), Kausalitas (SYWK_Kausalitas), Invertibilitas (SYWK_Invertibilitas), Stabilitas (SYWK_Stabilitas), Invariansi Waktu (SYWK_InvarianWaktu), Linearitas (SYWK_Linearitas).

Hubungan (Edges):

- “Sinyal & Sistem” **TERDIRI_DARI** “SWK”, “SYWK”.
- “SWK” **MEMILIKI** “SWK_Representasi”, “SWK_Klasifikasi”, “SWK_Operasi”.
- “SYWK” **MEMILIKI** “SYWK_Representasi”, “SYWK_Sifat”.
- “SWK_Representasi” **MELIPUTI** “SWK_Sinusoidal”, “SWK_Eksponensial”, “SWK_UnitStep”, “SWK_UnitImpuls”.
- “SWK_Klasifikasi” **MELIPUTI** “SWK_EnergiDaya”, “SWK_Periodisitas”, “SWK_Simetri”.
- “SWK_Operasi” **MELIPUTI** “SWK_GeserWaktu”, “SWK_SkalaWaktu”, “SWK_BalikWaktu”, “SWK_Jumlah”, “SWK_Kali”, “SWK_SkalaAmplitudo”.
- “SYWK_Representasi” **MELIPUTI** “SYWK_Definisi”, “SYWK_DiagramBlok”, “SYWK_Interkoneksi”.
- “SYWK_Sifat” **MELIPUTI** “SYWK_Memori”, “SYWK_Kausalitas”, “SYWK_Invertibilitas”, “SYWK_Stabilitas”, “SYWK_InvarianWaktu”, “SYWK_Linearitas”.
- “SYWK_Interkoneksi” **CONTOH_NYA** “Seri”, “Paralel”.
- “SYWK_Linearitas” **MELIPUTI** “Aditivitas”, “Homogenitas”.

2.7 Kendaraan Matematika (Mathematical Vehicles)

Ini adalah alat, teknik, dan metode spesifik yang digunakan untuk memecahkan masalah dalam domain Sinyal dan Sistem.

- **K_MAT_Aljabar:** Untuk manipulasi ekspresi matematis, penyelesaian persamaan, dan penyederhanaan.

- **K_MAT_Kalkulus:** Untuk diferensiasi (turunan) dan integrasi fungsi waktu kontinu.
 - **K_MAT_Bilangan_Kompleks:** Untuk bekerja dengan sinyal eksponensial kompleks dan memahami representasi fasor.
 - **K_OPS_Sinyal_Dasar:** Meliputi operasi dasar pada sinyal seperti penskalaan amplitudo, pergeseran waktu, penskalaan waktu, pembalikan waktu, penjumlahan, perkalian, serta pemahaman definisi unit step dan unit impuls.
 - **K_VIS_PlotSinyal:** Untuk memvisualisasikan sinyal waktu kontinu, membantu dalam memahami dan menganalisis efek operasi sinyal.
-

3 Materi Kuliah Minggu 2: Deskripsi Sistem di Domain Waktu dan Sifat-sifat Dasarnya

Pada minggu ini, kita akan menjelajahi bagaimana sinyal dan sistem dapat digambarkan dan diklasifikasikan berdasarkan perilaku mereka di domain waktu. Pemahaman dasar ini sangat penting sebagai fondasi untuk analisis sistem yang lebih kompleks.

1. Sinyal Waktu Kontinu dan Waktu Diskrit Sinyal adalah fenomena fisik apa pun yang membawa informasi.

- **Sinyal Waktu Kontinu (Continuous-Time Signals):** Sinyal yang didefinisikan untuk setiap nilai waktu kontinu t . Contohnya gelombang suara, tegangan pada rangkaian listrik.
- **Sinyal Waktu Diskrit (Discrete-Time Signals):** Sinyal yang hanya didefinisikan pada interval waktu diskrit tertentu. Contohnya urutan sampel digital dari sinyal analog.

2. Sistem Waktu Kontinu dan Waktu Diskrit Sistem dapat memproses sinyal, mengubah satu sinyal input menjadi sinyal output.

- **Sistem Waktu Kontinu:** Sistem yang mengambil sinyal waktu kontinu sebagai input dan menghasilkan sinyal waktu kontinu sebagai output.
- **Sistem Waktu Diskrit:** Sistem yang mengambil sinyal waktu diskrit sebagai input dan menghasilkan sinyal waktu diskrit sebagai output.

3. Representasi Matematis Sistem di Domain Waktu Sistem dapat dijelaskan secara matematis melalui berbagai bentuk:

- **Persamaan Diferensial (Continuous-Time Systems):** Banyak sistem fisik waktu kontinu, seperti rangkaian listrik atau sistem mekanik, dapat dimodelkan menggunakan persamaan diferensial linear koefisien konstan (Linear Constant-Coefficient Differential Equations). Misalnya, sistem LTI yang umum dapat dijelaskan oleh persamaan diferensial $d^N y(t)/dt^N + \sum_{k=0}^{N-1} a_k d^k y(t)/dt^k = \sum_{k=0}^M b_k d^k x(t)/dt^k$.
- **Persamaan Beda (Difference Equations) (Discrete-Time Systems):** Sistem waktu diskrit sering dijelaskan oleh persamaan beda linear koefisien konstan (Linear Constant-Coefficient Difference Equations).

- **Respon Impuls (Impulse Response):** Karakteristik fundamental dari sistem LTI adalah responnya terhadap sinyal impuls unit (unit impulse function). Respon impuls, $h(t)$ untuk CT atau $h[n]$ untuk DT, sepenuhnya mengkarakterisasi perilaku sistem LTI. Ini memungkinkan kita untuk menghitung output sistem untuk input apa pun melalui operasi konvolusi (yang akan dibahas lebih detail di minggu berikutnya).

4. Sifat-sifat Sistem Dasar Sistem dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat-sifat fundamentalnya:

- **Sistem dengan dan tanpa Memori (Memory vs. Memoryless Systems):**
 - **Sistem tanpa Memori (Memoryless System):** Output sistem pada waktu tertentu hanya bergantung pada input pada waktu yang sama. Contoh: $y(t) = 2x(t)$.
 - **Sistem dengan Memori (System with Memory):** Output sistem pada waktu tertentu bergantung pada input dari waktu lampau atau masa depan. Contoh: $y(t) = \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau$.
- **Kausalitas (Causality):**
 - **Sistem Kausal (Causal System):** Output sistem pada waktu tertentu hanya bergantung pada input pada waktu sekarang dan waktu lampau. Sistem fisik harus kausal.
 - **Sistem Non-Kausal (Non-causal System):** Output bergantung pada input di masa depan.
- **Invertibilitas (Invertibility):** Sistem dikatakan *invertible* jika inputnya dapat ditentukan secara unik dari outputnya. Artinya, ada sistem invers yang, jika dikaskadekan dengan sistem asli, akan menghasilkan input asli sebagai output.
- **Stabilitas BIBO (Bounded-Input Bounded-Output Stability):**
 - **Sistem Stabil BIBO:** Sebuah sistem dikatakan stabil BIBO jika setiap input yang terbatas (bounded input) menghasilkan output yang terbatas (bounded output). Untuk sistem LTI, stabilitas BIBO terjamin jika respon impulsnya dapat diintegrasikan secara absolut ($\sum |h[n]| < \infty$ untuk DT atau $\int |h(t)| dt < \infty$ untuk CT).
- **Invariansi Waktu (Time-Invariance):** Sistem dikatakan *time-invariant* jika perilaku dan karakteristiknya tidak berubah seiring waktu. Artinya, pergeseran waktu pada input akan menghasilkan pergeseran waktu yang sama pada output.
- **Linearitas (Linearity):** Sistem dikatakan *linear* jika memenuhi prinsip superposisi, yaitu homogenitas (perkalian input dengan konstanta menghasilkan output yang dikalikan konstanta yang sama) dan aditivitas (respon terhadap jumlah input adalah jumlah respon terhadap masing-masing input secara terpisah).

Pemahaman yang kuat tentang sifat-sifat ini sangat penting untuk menganalisis dan merancang sistem yang berperilaku sesuai keinginan.