

Diktat

Matakuliah: Sinyal dan Sistem



Disusun oleh: Lina Septiana

Fakultas Teknik Ilmu Komputer/Teknik Elektro

Pendahuluan

Mata kuliah Sinyal dan Sistem merupakan salah satu mata kuliah wajib di Program Studi S1 Teknik Elektro. Mata kuliah ini membahas tentang teori dan aplikasi sinyal serta sistem, serta memberikan pemahaman tentang konsep dasar dalam pengolahan sinyal dan sistem. Dalam mata kuliah ini, mahasiswa akan mempelajari teori sinyal dan sistem, pemrosesan sinyal, dan aplikasi sistem dalam berbagai bidang.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti mata kuliah ini, mahasiswa diharapkan dapat:

Memahami konsep dasar sinyal dan sistem serta aplikasinya di berbagai bidang

Mengerti teori sinyal dan sistem dan mampu menerapkannya dalam pemrosesan sinyal

Mampu mengidentifikasi jenis-jenis sinyal dan sistem serta karakteristiknya

Mampu menganalisis dan merancang sistem yang kompleks menggunakan teori sinyal dan sistem

Materi Pembelajaran

Konsep dasar sinyal dan sistem

Definisi sinyal dan sistem

Jenis-jenis sinyal dan sistem

Karakteristik sinyal dan sistem

Transformasi Fourier

Definisi transformasi Fourier

Transformasi Fourier diskrit

Transformasi Fourier cepat

Analisis Frekuensi

Representasi frekuensi sinyal

Respon frekuensi sistem

Pemrosesan Sinyal

Proses modulasi dan demodulasi

Proses filtering sinyal

Proses encoding dan decoding sinyal

Aplikasi Sistem dalam Berbagai Bidang

Pengolahan audio dan musik

Pengolahan citra dan video

Pengolahan sinyal medis

Referensi

Oppenheim, A.V. & Willsky, A.S. (1997). Sinyal dan Sistem. Jakarta: Erlangga.

Haykin, S. & Van Veen, B. (2002). Sinyal dan Sistem. Jakarta: Erlangga.

Proakis, J.G. & Manolakis, D.G. (2013). Sinyal dan Sistem Digital. Jakarta: Salemba Teknik.

Bab 1: Konsep Dasar Sinyal dan Sistem

1.1 Pengertian Sinyal dan Sistem

Sinyal adalah suatu informasi yang dapat dikirim atau diterima melalui media transmisi atau perantara lainnya. Sinyal dapat berupa suara, gambar, data atau informasi lainnya yang diubah menjadi gelombang atau arus listrik. Sedangkan sistem adalah suatu rangkaian atau kumpulan dari berbagai elemen yang digunakan untuk memproses atau mengolah sinyal sehingga menghasilkan suatu keluaran yang diinginkan.

Contoh perhitungan:

Suatu sinyal suara dapat direpresentasikan sebagai suatu fungsi waktu, di mana pada setiap waktu tertentu, amplitudo sinyal diukur. Sebagai contoh, diberikan sinyal suara berupa suara manusia yang direkam dalam format wave (.wav) dengan sampling rate 44100 Hz. Artinya, dalam satu detik, terdapat 44100 kali pengukuran amplitudo sinyal. Jika kita ingin merekam suara selama 10 detik, maka jumlah pengukuran amplitudo sinyal yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Pengukuran} = 44100 \times 10 = 441000$$

Dengan demikian, diperoleh 441000 pengukuran amplitudo sinyal dalam selang waktu 10 detik.

1.2 Jenis-Jenis Sinyal

Terdapat beberapa jenis sinyal yang biasa digunakan dalam pengolahan sinyal, yaitu:

1.2.1 Sinyal Kontinu

Sinyal kontinu adalah sinyal yang memiliki nilai pada setiap waktu dalam rentang tertentu, baik itu dalam rentang waktu yang panjang atau pendek. Sinyal kontinu sering disebut juga sebagai sinyal analog, karena sinyal ini dapat dinyatakan dengan suatu fungsi matematika yang kontinu.

Contoh perhitungan:

Sinyal kontinu yang umum adalah sinyal suara atau gelombang sinusoidal. Sebagai contoh, diberikan sinyal suara dengan frekuensi 1000 Hz yang dituliskan sebagai:

$$f(t) = \sin(2\pi 1000t)$$

Di mana $f(t)$ adalah nilai amplitudo sinyal pada setiap waktu t .

1.2.2 Sinyal Diskrit

Sinyal diskrit adalah sinyal yang memiliki nilai pada waktu diskrit atau terbatas. Sinyal diskrit biasanya digunakan dalam pengolahan sinyal digital, di mana nilai sinyal dikuantisasi atau dibulatkan menjadi bilangan bulat pada setiap waktu diskrit.

Contoh perhitungan:

Sinyal diskrit dapat dinyatakan dalam bentuk deretan nilai amplitudo pada setiap waktu diskrit. Sebagai contoh, diberikan sinyal diskrit dengan nilai amplitudo pada setiap waktu diskrit yang diberikan sebagai berikut:

$$f[0] = 2$$

$$f[1] = 4$$

$$f[2] = 3$$

$$f[3] = 1$$

Di mana $f[n]$ adalah nilai amplitudo sinyal pada waktu diskrit n .

1.3 Karakteristik Sinyal dan Sistem

Sinyal dan sistem memiliki karakteristik yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan

1.3.1 Amplitudo

Amplitudo adalah ukuran besar atau kecilnya sinyal. Pada sinyal kontinu, amplitudo dinyatakan dalam satuan volt, sedangkan pada sinyal diskrit, amplitudo dinyatakan dalam bilangan bulat.

Contoh perhitungan:

Diberikan sinyal kontinu dengan persamaan $f(t) = 3\sin(2\pi 100t)$. Amplitudo sinyal adalah 3 volt.

1.3.2 Frekuensi

Frekuensi adalah ukuran berapa kali sinyal berulang dalam satu detik. Pada sinyal kontinu, frekuensi dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz), sedangkan pada sinyal diskrit, frekuensi dinyatakan dalam satuan detik.

Contoh perhitungan:

Diberikan sinyal kontinu dengan persamaan $f(t) = 2\sin(2\pi 500t)$. Frekuensi sinyal adalah 500 Hz.

1.3.3 Fase

Fase adalah perbedaan waktu antara dua sinyal dengan frekuensi yang sama. Fase dinyatakan dalam satuan radian pada sinyal kontinu, sedangkan pada sinyal diskrit, fase dinyatakan dalam bilangan bulat.

Contoh perhitungan:

Diberikan dua sinyal kontinu dengan persamaan $f_1(t) = 2\sin(2\pi 500t)$ dan $f_2(t) = 2\sin(2\pi 500t + \pi/2)$. Fase antara kedua sinyal adalah $\pi/2$ radian.

1.4 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier adalah suatu alat matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal dalam domain frekuensi. Transformasi Fourier mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi.

Contoh perhitungan:

Diberikan sinyal kontinu dengan persamaan $f(t) = 2\sin(2\pi 500t)$. Transformasi Fourier dari sinyal $f(t)$ adalah:

$$F(\omega) = \int_{-\infty, \infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

Dalam kasus ini, hasil transformasi Fourier dari sinyal $f(t)$ adalah:

$$F(\omega) = 2\pi[\delta(\omega-500) - \delta(\omega+500)]$$

Di mana $\delta(\omega)$ adalah fungsi delta Dirac.

Bab 2: Transformasi Fourier Diskret

2.1 Pengantar

Transformasi Fourier adalah teknik matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal dalam domain frekuensi. Transformasi Fourier diskret (DFT) adalah bentuk transformasi Fourier yang

digunakan untuk menganalisis sinyal diskrit dalam domain frekuensi. DFT banyak digunakan dalam pengolahan sinyal digital, seperti audio, video, dan komunikasi digital.

2.2 Persamaan Transformasi Fourier Diskret

Transformasi Fourier Diskret dari sinyal diskrit $f[n]$ dengan panjang N adalah:

$$F[k] = \sum_{n=0, N-1} f[n]e^{-j2\pi nk/N}$$

dimana k adalah indeks frekuensi pada sinyal diskrit dan n adalah waktu diskrit pada sinyal diskrit. $F[k]$ adalah representasi frekuensi dari sinyal $f[n]$ pada frekuensi k .

Dalam prakteknya, DFT sering diimplementasikan menggunakan algoritma cepat Fourier (FFT), yang memungkinkan pengolahan sinyal diskrit dalam domain frekuensi dengan cepat dan efisien.

Contoh perhitungan:

Diberikan sinyal diskrit $f[n] = \{2, 4, 3, 1\}$. Panjang sinyal diskrit adalah $N = 4$. Maka, transformasi Fourier diskret dari sinyal $f[n]$ adalah:

$$F[k] = 2e^{-j2\pi(0)k/4} + 4e^{-j2\pi(1)k/4} + 3e^{-j2\pi(2)k/4} + 1e^{-j2\pi(3)k/4}$$

$$F[k] = 2 + 4e^{-j\pi k/2} + 3e^{-j\pi k} + e^{-j3\pi k/2}$$

$$F[k] = 10 - 1e^{j\pi k/2} - 2j \sin(\pi k) - 1e^{-j\pi k/2}$$

2.3 Interpretasi Hasil Transformasi Fourier Diskret

Hasil transformasi Fourier diskret adalah representasi frekuensi dari sinyal diskrit $f[n]$. Dalam domain frekuensi, sinyal $f[n]$ dapat dianalisis untuk mengetahui karakteristik frekuensi sinyal, seperti frekuensi dominan atau energi sinyal pada frekuensi tertentu.

Contoh, jika hasil transformasi Fourier diskret menunjukkan bahwa frekuensi $k=10$ memiliki amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi lainnya, maka dapat disimpulkan bahwa frekuensi 10 merupakan frekuensi dominan pada sinyal $f[n]$. Selain itu, energi sinyal pada frekuensi 10 juga lebih besar dibandingkan dengan frekuensi lainnya.

2.4 Keuntungan dan Kekurangan Transformasi Fourier Diskret

Transformasi Fourier diskret memiliki beberapa keuntungan dan kekurangan dalam analisis sinyal diskrit.

Keuntungan:

DFT dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik frekuensi dari sinyal diskrit, seperti frekuensi dominan, energi sinyal, dan spektrum frekuensi.

DFT dapat digunakan untuk memproses sinyal dalam domain frekuensi, seperti melakukan filtering dan modulasi.

DFT dapat diimplementasikan dengan mudah menggunakan algoritma cepat Fourier (FFT), yang memungkinkan pengolahan sinyal diskrit dalam domain frekuensi dengan cepat dan efisien.

Kekurangan:

DFT hanya dapat digunakan untuk menganalisis sinyal diskrit dengan panjang tertentu.

DFT memiliki kompleksitas komputasi yang tinggi, sehingga memerlukan waktu dan daya komputasi yang cukup besar terutama pada sinyal dengan panjang yang besar.

DFT hanya dapat digunakan untuk menganalisis sinyal yang stasioner dan linear.

2.5 Aplikasi Transformasi Fourier Diskret

Transformasi Fourier diskret banyak digunakan dalam berbagai aplikasi pengolahan sinyal digital, antara lain:

Analisis spektrum frekuensi sinyal audio dan video

Filtering sinyal, seperti low-pass filter, high-pass filter, dan band-pass filter

Modulasi sinyal, seperti modulasi amplitudo dan modulasi frekuensi

Komunikasi digital, seperti modulasi sinyal untuk transmisi data dan pemrosesan sinyal pada receiver

2.6 Implementasi Transformasi Fourier Diskret

Transformasi Fourier diskret dapat diimplementasikan menggunakan algoritma cepat Fourier (FFT). FFT memungkinkan pengolahan sinyal diskrit dalam domain frekuensi dengan cepat dan efisien, sehingga sering digunakan dalam aplikasi pengolahan sinyal digital. Beberapa algoritma FFT yang umum digunakan antara lain algoritma radix-2 dan radix-4.

Contoh implementasi:

Diberikan sinyal diskrit $f[n] = \{2, 4, 3, 1\}$. Panjang sinyal diskrit adalah $N = 4$. Maka, transformasi Fourier diskret dari sinyal $f[n]$ dapat diimplementasikan menggunakan algoritma radix-2 sebagai berikut:

Pertama-tama, sinyal diskrit $f[n]$ diubah menjadi bentuk sinyal kompleks sebagai berikut:

$$F[n] = f[n] + j*0$$

Hal ini dilakukan untuk mempermudah pengolahan sinyal diskrit dalam domain frekuensi.

Selanjutnya, sinyal kompleks $F[n]$ dipecah menjadi dua bagian, yaitu $F[\text{even}]$ dan $F[\text{odd}]$ sebagai berikut:

$$F[\text{even}] = F[0], F[2], F[4], \dots$$

$$F[\text{odd}] = F[1], F[3], F[5], \dots$$

DFT dari $F[\text{even}]$ dan $F[\text{odd}]$ dihitung secara rekursif menggunakan algoritma radix-2 sebagai berikut:

$$F[k] = F[\text{even}][k] + e^{-j2\pi k/N} * F[\text{odd}][k]$$

$$F[k+N/2] = F[\text{even}][k] - e^{-j2\pi k/N} * F[\text{odd}][k]$$

Hasil transformasi Fourier diskret dari sinyal diskrit $f[n]$ diperoleh dari $F[k]$.

Dalam prakteknya, algoritma FFT yang lebih efisien digunakan untuk menghitung transformasi Fourier diskret dari sinyal diskrit $f[n]$. Algoritma FFT dapat diimplementasikan menggunakan perangkat lunak atau perangkat keras, seperti FPGA dan DSP.

2.7 Perbandingan Transformasi Fourier Diskret dengan Transformasi Fourier Kontinu

Transformasi Fourier Diskret (DFT) dan Transformasi Fourier Kontinu (FTC) adalah dua teknik transformasi Fourier yang digunakan dalam pengolahan sinyal. Perbedaan utama antara DFT dan FTC adalah bahwa DFT digunakan untuk menganalisis sinyal diskrit dalam domain frekuensi, sedangkan FTC digunakan untuk menganalisis sinyal kontinu dalam domain frekuensi.

Selain itu, DFT hanya dapat digunakan untuk menganalisis sinyal diskrit dengan panjang tertentu, sedangkan FTC dapat digunakan untuk menganalisis sinyal kontinu dengan domain waktu yang tak terbatas. Dalam prakteknya, DFT sering digunakan dalam pengolahan sinyal digital, sedangkan FTC sering digunakan dalam pengolahan sinyal analog.

2.8 Kesimpulan

Transformasi Fourier Diskret (DFT) adalah teknik matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal diskrit dalam domain frekuensi. DFT mengubah sinyal diskrit dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain frekuensi yang terdiri dari serangkaian bilangan kompleks. DFT banyak digunakan dalam pengolahan sinyal digital, seperti audio, video, dan komunikasi digital.

Dalam prakteknya, DFT sering diimplementasikan menggunakan algoritma cepat Fourier (FFT), yang memungkinkan pengolahan sinyal diskrit dalam domain frekuensi dengan cepat dan efisien. DFT memiliki keuntungan karena sinyal diskrit yang dihasilkan oleh sistem dapat dikonversi ke dalam domain frekuensi untuk menganalisis karakteristik sinyal tersebut. Selain itu, DFT juga dapat digunakan untuk memproses sinyal dalam domain frekuensi, seperti melakukan filtering atau modulasi.

Namun, DFT juga memiliki kekurangan. Salah satu kekurangan utamanya adalah kompleksitas komputasi yang tinggi, terutama pada sinyal dengan panjang yang besar. Selain itu, DFT hanya dapat digunakan untuk menganalisis sinyal yang stasioner dan linear.

Transformasi Fourier Diskret juga memiliki banyak aplikasi dalam pengolahan sinyal digital, seperti analisis spektrum frekuensi sinyal audio dan video, filtering sinyal, modulasi sinyal, dan komunikasi

digital. Dalam prakteknya, DFT sering digunakan dalam implementasi filter digital dan analisis spektrum frekuensi sinyal dalam aplikasi pengolahan sinyal.

Perbandingan antara Transformasi Fourier Diskret dengan Transformasi Fourier Kontinu menunjukkan bahwa keduanya memiliki perbedaan utama dalam hal sifat sinyal yang dapat dianalisis dan domain waktu. Dalam pengolahan sinyal digital, Transformasi Fourier Diskret lebih umum digunakan karena sinyal yang dihasilkan oleh sistem pada umumnya bersifat diskrit.

Dengan demikian, pemahaman dan penerapan Transformasi Fourier Diskret dalam pengolahan sinyal digital sangat penting dan relevan bagi para ahli teknik elektro dan pengolahan sinyal.

Bab 3: Jenis-jenis Sinyal dan Sistem

3.1 Jenis-jenis Sinyal

Sinyal dapat dibedakan berdasarkan bentuk, periode, spektrum frekuensi, dan domain waktu. Beberapa jenis sinyal yang umum digunakan dalam pengolahan sinyal dan sistem antara lain:

3.1.1 Sinyal Sinusoidal

adalah sinyal dengan bentuk gelombang sinusoidal, yang dapat dinyatakan dengan persamaan $f(t) = A \sin(\omega t + \Phi)$, di mana A adalah amplitudo, ω adalah frekuensi sudut, t adalah waktu, dan Φ adalah fase.

Contoh: Sinyal suara yang terdiri dari frekuensi fundamental dan harmoniknya dapat dimodelkan sebagai sinyal sinusoidal.

3.1.2 Sinyal Puls

Sinyal puls adalah sinyal yang memiliki amplitudo yang besar pada waktu yang sangat singkat dan amplitudo yang nol pada waktu yang lain. Sinyal puls umum digunakan dalam sistem komunikasi dan filter.

Contoh: Fungsi delta Dirac merupakan sinyal puls yang digunakan dalam pengolahan sinyal dan sistem.

3.1.3 Sinyal Step

Sinyal step adalah sinyal yang berubah nilai secara tiba-tiba pada waktu tertentu. Sinyal step digunakan dalam pengolahan sinyal dan sistem sebagai sinyal referensi atau sebagai pengatur output sistem.

Contoh: Sinyal step digunakan sebagai pengatur output dalam sistem kontrol otomatis.

3.1.4 Sinyal Random

Sinyal random atau sinyal acak adalah sinyal yang nilai amplitudonya tidak beraturan dan tidak dapat diprediksi. Sinyal random digunakan dalam pengolahan sinyal dan sistem untuk menguji kinerja sistem pada kondisi yang tidak terduga.

Contoh: Sinyal noise pada sinyal audio atau gambar.

3.2 Jenis-jenis Sistem

Sistem adalah suatu mekanisme atau rangkaian yang mengubah sinyal masukan menjadi sinyal keluaran. Sistem dapat dibedakan berdasarkan jenis sinyal masukan dan keluaran, sifat matematis, dan sifat waktu. Beberapa jenis sistem yang umum digunakan dalam pengolahan sinyal dan sistem antara lain:

3.2.1 Sistem Linier

Sistem linier adalah sistem yang memenuhi prinsip superposisi, yaitu jika sinyal masukan sistem adalah kombinasi linear dari beberapa sinyal masukan, maka sinyal keluaran sistem adalah kombinasi linear dari sinyal keluaran dari masing-masing sinyal masukan.

Contoh: Filter linear, amplifier linear.

3.2.2 Sistem Invarian Waktu

Sistem invarian waktu adalah sistem yang sifatnya tidak berubah terhadap perubahan waktu.

Contoh: Filter FIR (Finite Impulse Response), filter IIR (Infinite Impulse Response).

3.2.3 Sistem Kausal

Sistem kausal adalah sistem yang sinyal keluarannya bergantung hanya pada sinyal masukan yang diterima sebelumnya.

Contoh: Sistem kontrol, filter.

3.2.4 Sistem Stasioner

Sistem stasioner adalah sistem yang sifatnya tidak berubah terhadap perubahan waktu. Sinyal masukan dan keluaran sistem memiliki spektrum frekuensi yang konstan.

Contoh: Sistem komunikasi, filter.

3.3 Kesimpulan

Jenis-jenis sinyal dan sistem adalah dasar dalam pengolahan sinyal dan sistem. Pemahaman tentang jenis-jenis sinyal dan sistem sangat penting dalam merancang, menganalisis, dan memahami kinerja dari berbagai sistem pengolahan sinyal.

Jenis-jenis sinyal dapat dibedakan berdasarkan bentuk, periode, spektrum frekuensi, dan domain waktu. Beberapa jenis sinyal yang umum digunakan dalam pengolahan sinyal dan sistem antara lain sinyal sinusoidal, sinyal puls, sinyal step, dan sinyal random.

Sistem adalah mekanisme atau rangkaian yang mengubah sinyal masukan menjadi sinyal keluaran. Sistem dapat dibedakan berdasarkan jenis sinyal masukan dan keluaran, sifat matematis, dan sifat waktu. Beberapa jenis sistem yang umum digunakan dalam pengolahan sinyal dan sistem antara lain sistem linier, sistem invarian waktu, sistem kausal, dan sistem stasioner.

Pemahaman tentang jenis-jenis sinyal dan sistem memungkinkan para ahli teknik elektro dan pengolahan sinyal untuk memilih sistem yang tepat untuk aplikasi yang diinginkan. Selain itu, pemahaman tentang sinyal dan sistem memungkinkan para ahli teknik elektro dan pengolahan

sinyal untuk merancang dan mengoptimalkan sistem pengolahan sinyal untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem.

Bab 4: Pemrosesan Sinyal

4.1 Pengantar Pemrosesan Sinyal

Pemrosesan sinyal adalah suatu proses di mana sinyal dianalisis, diproses, dan dimodifikasi untuk memenuhi tujuan tertentu. Pemrosesan sinyal terutama digunakan dalam aplikasi pengolahan sinyal dan sistem, seperti sistem komunikasi, pemrosesan suara dan gambar, dan pengolahan data.

Dalam pengolahan sinyal, sinyal masukan diproses oleh suatu sistem atau filter untuk menghasilkan sinyal keluaran. Pemrosesan sinyal melibatkan berbagai teknik matematika dan algoritma, seperti transformasi Fourier, konvolusi, dan filter digital, yang digunakan untuk memproses sinyal.

4.2 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier adalah teknik matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal dalam domain frekuensi. Transformasi Fourier memungkinkan sinyal dalam domain waktu diubah menjadi sinyal dalam domain frekuensi yang terdiri dari serangkaian bilangan kompleks.

Transformasi Fourier sering digunakan dalam pengolahan sinyal dan sistem untuk menganalisis karakteristik spektrum frekuensi sinyal, seperti frekuensi fundamental, harmonik, dan gelombang. Terdapat beberapa jenis transformasi Fourier, seperti Transformasi Fourier Kontinu (FTK) dan Transformasi Fourier Diskret (DFT).

4.2.1 Transformasi Fourier Kontinu (FTK)

Transformasi Fourier Kontinu (FTK) digunakan untuk menganalisis sinyal kontinu dalam domain frekuensi. FTK mengubah sinyal dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain frekuensi yang bersifat kontinu. Penerapan FTK tergantung pada jenis sinyal dan kondisi lingkungan di mana sinyal tersebut digunakan.

4.2.2 Transformasi Fourier Diskret (DFT)

Transformasi Fourier Diskret (DFT) digunakan untuk menganalisis sinyal diskrit dalam domain frekuensi. DFT mengubah sinyal dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain frekuensi yang terdiri dari serangkaian bilangan kompleks. DFT banyak digunakan dalam pengolahan sinyal digital, seperti audio, video, dan komunikasi digital.

4.3 Konvolusi

Konvolusi adalah operasi matematika yang digunakan untuk menggabungkan dua sinyal dalam domain waktu atau frekuensi. Dalam pengolahan sinyal dan sistem, konvolusi sering digunakan untuk memproses sinyal masukan dalam rangkaian atau filter.

Konvolusi antara dua sinyal $x(t)$ dan $h(t)$ dalam domain waktu dinyatakan sebagai:

$$y(t) = x(t) * h(t) = \int x(\tau)h(t - \tau)d\tau$$

di mana * adalah operator konvolusi, $x(t)$ adalah sinyal masukan, $h(t)$ adalah filter atau sistem, dan $y(t)$ adalah sinyal keluaran.

4.4 Filter Digital

Filter digital adalah suatu sistem yang digunakan untuk memproses sinyal digital dalam domain frekuensi atau waktu. Filter digital dapat digunakan untuk menghilangkan noise atau gangguan pada sinyal, mengubah karakteristik sinyal, atau melakukan pengolahan sinyal lainnya

Filter digital dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu filter FIR (Finite Impulse Response) dan filter IIR (Infinite Impulse Response).

4.4.1 Filter FIR (Finite Impulse Response)

Filter FIR adalah filter digital yang sifatnya kausal dan stabil. Filter FIR memiliki respon impuls yang berhingga dan dapat dinyatakan sebagai polinomial.

Filter FIR dapat diimplementasikan dengan menggunakan konvolusi antara sinyal masukan dan koefisien filter. Filter FIR sering digunakan dalam pengolahan sinyal digital, seperti pemrosesan suara dan gambar, dan dalam sistem komunikasi.

4.4.2 Filter IIR (Infinite Impulse Response)

Filter IIR adalah filter digital yang sifatnya tidak kausal dan dapat memiliki respon impuls yang tak berhingga. Filter IIR dapat dinyatakan sebagai fungsi transfer rasional yang memiliki pembilang dan penyebut yang merupakan polinomial.

Filter IIR dapat diimplementasikan dengan menggunakan rekursi antara sinyal masukan dan sinyal keluaran. Filter IIR sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan filter dengan orde tinggi dan kinerja yang lebih baik, seperti dalam pemrosesan audio dan dalam sistem kontrol.

4.5 Kesimpulan

Pemrosesan sinyal adalah suatu proses di mana sinyal dianalisis, diproses, dan dimodifikasi untuk memenuhi tujuan tertentu. Pemrosesan sinyal melibatkan berbagai teknik matematika dan algoritma, seperti transformasi Fourier, konvolusi, dan filter digital.

Transformasi Fourier adalah teknik matematika yang digunakan untuk menganalisis sinyal dalam domain frekuensi. Transformasi Fourier memungkinkan sinyal dalam domain waktu diubah menjadi sinyal dalam domain frekuensi yang terdiri dari serangkaian bilangan kompleks.

Konvolusi adalah operasi matematika yang digunakan untuk menggabungkan dua sinyal dalam domain waktu atau frekuensi. Dalam pengolahan sinyal dan sistem, konvolusi sering digunakan untuk memproses sinyal masukan dalam rangkaian atau filter.

Filter digital adalah suatu sistem yang digunakan untuk memproses sinyal digital dalam domain frekuensi atau waktu. Filter digital dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu filter FIR (Finite Impulse Response) dan filter IIR (Infinite Impulse Response). Pemahaman tentang teknik pemrosesan sinyal penting dalam merancang dan mengoptimalkan sistem pengolahan sinyal untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem.

Bab 5: Aplikasi Sistem dalam Berbagai Bidang

5.1 Pengantar Aplikasi Sistem

Sistem adalah suatu mekanisme atau rangkaian yang mengubah sinyal masukan menjadi sinyal keluaran. Sistem dapat diterapkan dalam berbagai bidang, seperti sistem kontrol, sistem komunikasi, sistem audio dan video, dan sistem sensor.

Penerapan sistem dalam berbagai bidang memungkinkan pengembangan produk yang lebih efektif dan efisien. Sistem yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan kinerja dan keandalan produk serta memberikan pengalaman yang lebih baik bagi pengguna.

5.2 Aplikasi Sistem dalam Bidang Kontrol

Sistem kontrol adalah sistem yang digunakan untuk mengontrol suatu proses atau sistem untuk memenuhi tujuan tertentu. Sistem kontrol digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam industri manufaktur, transportasi, dan sistem energi.

Contoh aplikasi sistem kontrol adalah pengendalian kecepatan motor pada mesin industri, pengaturan suhu pada sistem pendingin, dan pengendalian sistem navigasi pada pesawat terbang.

5.3 Aplikasi Sistem dalam Bidang Komunikasi

Sistem komunikasi adalah sistem yang digunakan untuk mentransmisikan informasi antara dua atau lebih pihak. Sistem komunikasi digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti telepon, televisi, radio, dan internet.

Contoh aplikasi sistem komunikasi adalah pengiriman data melalui jaringan internet, transmisi sinyal audio dan video pada televisi dan radio, serta sistem telepon seluler.

5.4 Aplikasi Sistem dalam Bidang Audio dan Video

Sistem audio dan video adalah sistem yang digunakan untuk merekam, memproses, dan memutar sinyal audio dan video. Sistem audio dan video digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti produksi musik, film, dan televisi.

Contoh aplikasi sistem audio dan video adalah produksi musik dan rekaman suara, produksi film dan televisi, serta sistem tata suara pada acara konser dan pertunjukan.

5.5 Aplikasi Sistem dalam Bidang Sensor

Sistem sensor adalah sistem yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur, dan memproses sinyal sensor. Sistem sensor digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem keamanan, sistem otomotif, dan sistem lingkungan.

Contoh aplikasi sistem sensor adalah sensor parkir pada mobil, sensor kebakaran pada gedung, serta sensor kualitas udara pada lingkungan.

5.6 Aplikasi Sistem dalam Bidang Kesehatan

Sistem kesehatan adalah sistem yang digunakan untuk mendiagnosis, memantau, dan mengobati kondisi kesehatan manusia. Sistem kesehatan digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti diagnostik medis, sistem rekam medis, dan sistem pemantauan kesehatan.

Contoh aplikasi sistem kesehatan adalah sistem pemantauan tekanan darah pada pasien hipertensi, sistem pencitraan medis seperti CT scan dan MRI, serta sistem rekam medis elektronik untuk memudahkan pengaksesan data pasien oleh dokter.

5.7 Aplikasi Sistem dalam Bidang Keamanan

Sistem keamanan adalah sistem yang digunakan untuk memantau dan melindungi suatu lingkungan atau properti dari potensi bahaya atau ancaman. Sistem keamanan digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti keamanan gedung, keamanan jaringan, dan keamanan transportasi.

Contoh aplikasi sistem keamanan adalah sistem keamanan rumah atau kantor dengan menggunakan CCTV dan alarm, sistem keamanan jaringan untuk melindungi data dari serangan hacker, serta sistem keamanan transportasi seperti pengamanan bandara dan pelabuhan.

5.8 Aplikasi Sistem dalam Bidang Energi

Sistem energi adalah sistem yang digunakan untuk menghasilkan, menyimpan, dan mendistribusikan energi untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Sistem energi digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pembangkit listrik, kendaraan listrik, dan sistem pencahayaan.

Contoh aplikasi sistem energi adalah pembangkit listrik tenaga surya dan angin, kendaraan listrik dengan baterai yang dapat diisi ulang, serta sistem pencahayaan menggunakan lampu LED yang hemat energi.

5.9 Kesimpulan

Penerapan sistem dalam berbagai bidang memungkinkan pengembangan produk yang lebih efektif dan efisien serta meningkatkan kinerja dan keandalan sistem. Dalam bab ini, telah dijelaskan beberapa contoh aplikasi sistem dalam berbagai bidang, seperti sistem kontrol, sistem komunikasi, sistem audio dan video, sistem sensor, sistem kesehatan, sistem keamanan, dan sistem energi.

Penting bagi para insinyur dan desainer untuk memahami penerapan sistem dalam berbagai bidang agar dapat merancang dan mengoptimalkan sistem dengan baik.

Bab 6: Teknologi Terkini dalam Pengolahan Sinyal

6.1 Pengantar Teknologi Terkini dalam Pengolahan Sinyal

Teknologi terkini dalam pengolahan sinyal mencakup berbagai inovasi dan perkembangan baru dalam teknologi yang digunakan untuk memproses sinyal. Teknologi ini memungkinkan pengolahan sinyal yang lebih cepat, lebih akurat, dan lebih efisien.

Penggunaan teknologi terkini dalam pengolahan sinyal telah memungkinkan aplikasi yang lebih luas dalam berbagai bidang, seperti dalam sistem komunikasi, sistem kontrol, pengolahan audio dan video, serta dalam aplikasi kesehatan.

6.2 Teknologi Terkini dalam Pengolahan Sinyal Digital

Teknologi terkini dalam pengolahan sinyal digital mencakup berbagai inovasi dalam perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk memproses sinyal digital. Beberapa teknologi terkini yang banyak digunakan dalam pengolahan sinyal digital adalah:

6.2.1 Pengolahan Sinyal dengan Algoritma Deep Learning

Algoritma Deep Learning adalah suatu teknik pembelajaran mesin yang memungkinkan sistem untuk memproses data secara mandiri dan mempelajari pola-pola kompleks dalam data. Algoritma Deep Learning telah diterapkan dalam berbagai aplikasi pengolahan sinyal digital, seperti pengolahan suara dan gambar, serta dalam sistem komunikasi dan kesehatan.

Contoh penggunaan algoritma Deep Learning dalam pengolahan sinyal digital adalah pengenalan suara dalam sistem asisten virtual, pengenalan gambar dalam sistem deteksi wajah, serta pengenalan pola gelombang otak dalam sistem diagnosis medis.

6.2.2 Prosesor Sinyal Digital (DSP)

Prosesor Sinyal Digital (DSP) adalah perangkat keras yang dirancang khusus untuk memproses sinyal digital dengan cepat dan efisien. DSP banyak digunakan dalam berbagai aplikasi pengolahan sinyal digital, seperti dalam sistem audio dan video, sistem komunikasi, dan sistem kontrol.

Contoh penggunaan DSP dalam pengolahan sinyal digital adalah dalam sistem pemrosesan suara dan gambar pada ponsel pintar, sistem komunikasi seluler, serta dalam pengolahan sinyal medis seperti MRI dan CT scan.

6.2.3 Teknologi Multi-Core dan Paralel

Teknologi Multi-Core dan Paralel memungkinkan pemrosesan sinyal digital dalam jumlah besar secara simultan. Teknologi ini telah digunakan dalam berbagai aplikasi pengolahan sinyal digital,

seperti dalam sistem pengenalan suara, sistem pencitraan medis, serta dalam sistem pengolahan gambar dan video.

Contoh penggunaan teknologi Multi-Core dan Paralel dalam pengolahan sinyal digital adalah dalam sistem pengenalan suara pada sistem asisten virtual, dalam sistem pencitraan medis untuk mempercepat pemrosesan gambar, serta dalam pengolahan gambar dan video pada sistem televisi dan kamera.

6.3 Teknologi Terkini dalam Pengolahan Sinyal Analog

Teknologi terkini dalam pengolahan sinyal analog mencakup inovasi dalam perangkat keras dan teknik pengolahan sinyal analog yang memungkinkan pemrosesan sinyal dengan lebih akurat dan efisien. Beberapa teknologi terkini yang digunakan dalam pengolahan sinyal analog adalah:

6.3.1 Teknologi Filter Sinyal

Teknologi Filter Sinyal adalah suatu teknik pengolahan sinyal analog yang digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi kebisingan pada sinyal. Filter sinyal dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam sistem audio dan video, sistem pengukuran, dan sistem komunikasi.

Contoh penggunaan teknologi filter sinyal adalah dalam sistem audio untuk menghilangkan kebisingan dan distorsi pada sinyal audio, dalam sistem komunikasi untuk mengurangi interferensi sinyal, serta dalam sistem pengukuran untuk memperoleh sinyal yang lebih akurat.

6.3.2 Teknologi Amplifier Sinyal

Teknologi Amplifier Sinyal adalah suatu teknik pengolahan sinyal analog yang digunakan untuk memperkuat atau menguatkan sinyal. Amplifier sinyal dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam sistem audio dan video, sistem komunikasi, dan sistem kontrol.

Contoh penggunaan teknologi amplifier sinyal adalah dalam sistem audio untuk memperkuat sinyal audio yang lemah, dalam sistem komunikasi untuk memperkuat sinyal yang diterima, serta dalam sistem kontrol untuk menguatkan sinyal sensor yang lemah.

6.3.3 Teknologi Konversi Analog ke Digital

Teknologi Konversi Analog ke Digital adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital yang dapat diproses dengan perangkat lunak atau perangkat keras digital. Teknologi konversi analog ke digital banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam sistem audio dan video, sistem pengukuran, dan sistem kontrol.

Contoh penggunaan teknologi konversi analog ke digital adalah dalam sistem audio untuk merekam sinyal audio menjadi format digital, dalam sistem pengukuran untuk mengubah sinyal analog menjadi data yang dapat diproses oleh komputer, serta dalam sistem kontrol untuk mengkonversi sinyal sensor analog menjadi sinyal digital yang dapat diproses oleh sistem kontrol.

6.4 Kesimpulan

Teknologi terkini dalam pengolahan sinyal memungkinkan pengolahan sinyal yang lebih cepat, lebih akurat, dan lebih efisien. Dalam bab ini telah dijelaskan beberapa teknologi terkini dalam pengolahan sinyal digital dan analog, seperti algoritma Deep Learning, prosesor sinyal digital, teknologi Multi-Core dan Paralel, teknologi filter sinyal, teknologi amplifier sinyal, dan teknologi konversi analog ke digital. Penting bagi para insinyur dan desainer untuk mengikuti perkembangan teknologi terkini dalam pengolahan sinyal agar dapat merancang dan mengoptimalkan sistem dengan baik.

Bab 7: Pengembangan Sistem Pengolahan Sinyal

7.1 Pengantar Pengembangan Sistem Pengolahan Sinyal

Pengembangan sistem pengolahan sinyal merupakan proses merancang dan mengembangkan sistem pengolahan sinyal yang efektif dan efisien. Proses pengembangan sistem pengolahan sinyal meliputi tahapan perencanaan, desain, implementasi, dan evaluasi sistem.

Dalam pengembangan sistem pengolahan sinyal, penting untuk mempertimbangkan aspek-aspek seperti kebutuhan pengguna, tujuan sistem, kinerja sistem, serta ketersediaan sumber daya dan teknologi terkini.

7.2 Tahapan Pengembangan Sistem Pengolahan Sinyal

Tahapan pengembangan sistem pengolahan sinyal meliputi beberapa tahapan, yaitu:

7.2.1 Perencanaan Sistem

Tahap perencanaan sistem merupakan tahap awal dalam pengembangan sistem pengolahan sinyal. Pada tahap ini, dilakukan identifikasi kebutuhan pengguna, penentuan tujuan sistem, analisis kinerja sistem, serta identifikasi sumber daya dan teknologi yang tersedia.

Contoh kegiatan dalam tahap perencanaan sistem adalah pengumpulan data dan informasi, wawancara dengan pengguna, analisis pasar dan industri, serta analisis risiko dan keamanan.

7.2.2 Desain Sistem

Tahap desain sistem merupakan tahap di mana sistem pengolahan sinyal dirancang berdasarkan kebutuhan dan tujuan sistem yang telah ditentukan pada tahap perencanaan. Pada tahap ini, dilakukan desain arsitektur sistem, desain algoritma pengolahan sinyal, serta desain perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan dalam sistem.

Contoh kegiatan dalam tahap desain sistem adalah membuat skema blok sistem, merancang algoritma pengolahan sinyal, merancang perangkat keras dan perangkat lunak, serta melakukan simulasi dan verifikasi desain.

7.2.3 Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem merupakan tahap di mana sistem pengolahan sinyal dibangun berdasarkan desain yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini, dilakukan pembuatan

prototipe sistem, pengujian komponen dan sistem secara terpisah, serta integrasi komponen dan sistem.

Contoh kegiatan dalam tahap implementasi sistem adalah membuat prototipe sistem, melakukan pengujian terhadap komponen sistem, melakukan integrasi komponen dan sistem, serta melakukan uji coba sistem secara keseluruhan.

7.2.4 Evaluasi Sistem

Tahap evaluasi sistem merupakan tahap di mana sistem pengolahan sinyal dievaluasi untuk menentukan kinerja dan efektivitasnya. Pada tahap ini, dilakukan pengujian sistem secara menyeluruh, analisis hasil pengujian, serta perbaikan dan peningkatan sistem jika diperlukan.

Contoh kegiatan dalam tahap evaluasi sistem adalah melakukan pengujian sistem secara menyeluruh, mengumpulkan data kinerja sistem, melakukan analisis data, serta melakukan perbaikan dan peningkatan sistem jika diperlukan.

7.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pengembangan Sistem Pengolahan Sinyal

Pengembangan sistem pengolahan sinyal dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

7.3.1 Kebutuhan Pengguna

Kebutuhan pengguna merupakan faktor yang sangat penting dalam pengembangan sistem pengolahan sinyal. Sistem pengolahan sinyal harus dirancang dan dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna agar dapat memberikan manfaat yang maksimal.

Contoh kebutuhan pengguna dalam sistem pengolahan sinyal adalah kebutuhan dalam sistem pengolahan suara dan gambar, sistem pengukuran, sistem komunikasi, dan sistem kontrol.

7.3.2 Teknologi yang Tersedia

Teknologi yang tersedia juga merupakan faktor yang mempengaruhi pengembangan sistem pengolahan sinyal. Teknologi yang digunakan harus memenuhi kebutuhan pengguna dan memperhatikan ketersediaan sumber daya dan infrastruktur yang ada.

Contoh teknologi yang tersedia dalam pengembangan sistem pengolahan sinyal adalah prosesor sinyal digital, teknologi filter sinyal, teknologi konversi analog ke digital, dan teknologi jaringan komunikasi.

7.3.3 Biaya dan Waktu

Biaya dan waktu yang tersedia juga mempengaruhi pengembangan sistem pengolahan sinyal. Pembangunan sistem pengolahan sinyal memerlukan biaya dan waktu yang cukup besar, sehingga harus dipertimbangkan dengan baik agar dapat meminimalisir biaya dan waktu yang diperlukan.

Contoh penghematan biaya dan waktu dalam pengembangan sistem pengolahan sinyal adalah penggunaan teknologi terkini yang lebih efisien dan penggunaan perangkat lunak open-source yang dapat diakses secara gratis.

7.3.4 Kemampuan Insinyur dan Desainer

Kemampuan insinyur dan desainer juga mempengaruhi pengembangan sistem pengolahan sinyal. Insinyur dan desainer harus memiliki kemampuan yang memadai dalam merancang dan mengembangkan sistem pengolahan sinyal agar dapat menghasilkan sistem yang efektif dan efisien.

Contoh kemampuan insinyur dan desainer dalam pengembangan sistem pengolahan sinyal adalah kemampuan dalam menggunakan teknologi terkini, kemampuan dalam merancang dan mengoptimalkan sistem, serta kemampuan dalam menganalisis kinerja sistem.

7.4 Kesimpulan

Pengembangan sistem pengolahan sinyal merupakan proses yang kompleks dan memerlukan perencanaan, desain, implementasi, dan evaluasi yang baik. Penting bagi para insinyur dan desainer untuk memperhatikan kebutuhan pengguna, teknologi yang tersedia, biaya dan waktu, serta kemampuan dalam merancang dan mengembangkan sistem pengolahan sinyal. Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, diharapkan sistem pengolahan sinyal yang dikembangkan dapat memberikan manfaat yang maksimal bagi pengguna dan memenuhi kebutuhan pasar yang ada.

Referensi

Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (2010). Discrete-time signal processing. Pearson Education.

Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (2006). Digital signal processing: principles, algorithms, and applications. Pearson Education.

Smith, S. W. (1997). The scientist and engineer's guide to digital signal processing. California Technical Publishing.

Hayes, M. (1996). Statistical digital signal processing and modeling. John Wiley & Sons.

Lyons, R. G. (2011). Understanding digital signal processing. Pearson Education.

Tan, L. (2012). Digital signal processing: fundamentals and applications. Elsevier.

Mitra, S. K. (2006). Digital signal processing: a computer-based approach. McGraw-Hill.

Li, T., & Li, F. (2018). Signal processing for intelligent sensors with MATLAB. Springer.

Vaseghi, S. V. (1997). Advanced digital signal processing and noise reduction. John Wiley & Sons.

Kuo, L., & Lee, W. (2012). Real-time digital signal processing: fundamentals, implementations and applications. John Wiley & Sons.

Bab 8: Lampiran

Daftar Simbol

A: Amplitudo

f: Frekuensi

Φ : Fase

ω : Frekuensi sudut

δ : Fungsi delta Dirac

N: Panjang sinyal diskrit

k: Indeks frekuensi pada sinyal diskrit

n: Waktu diskrit pada sinyal diskrit

h: Koefisien filter FIR

Daftar Persamaan

Transformasi Fourier untuk sinyal kontinu: $F(\omega) = \int_{-\infty, \infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$

Transformasi Fourier Diskret: $F[k] = \sum_{n=0, N-1} f[n]e^{-j2\pi nk/N}$

Respon frekuensi sistem: $|H(\omega)| = 1/\sqrt{1+(\omega/2)^2}$

Filtering sinyal dengan filter FIR: $g[n] = \sum_{k=0, 2} h[k]f[n-k]$

Modulasi AM: $s(t) = (A_c + A_m \cos(2\pi f_m t)) \cos(2\pi f_c t)$

Demodulasi AM: $s'(t) = s(t) \cos(2\pi f_c t)$

Filter median: $g[n] = \text{median}\{f[n], f[n-1], f[n-2]\}$

Daftar Tabel

Tabel Transformasi Fourier

Sinyal $f(t)$ Transformasi Fourier $F(\omega)$

$2\sin(2\pi 100t)$ $3\pi[\delta(\omega-100) - \delta(\omega+100)]$

$2\sin(2\pi 500t)$ $2\pi[\delta(\omega-500) - \delta(\omega+500)]$

Tabel Transformasi Fourier Diskret

Sinyal $f[n]$ Transformasi Fourier $F[k]$

$\{2, 4, 3, 1\}$ $\{10, -1+2j, 0, -1-2j\}$

Tabel Respon Frekuensi Sistem

Frekuensi (Hz)	Respon Frekuensi Sistem
0	1
2	0.707
4	0.447

Tabel Modulasi AM

Waktu t	Sinyal informasi $f_m(t)$	Sinyal pembawa $f_c(t)$	Sinyal modulasi $s(t)$
0	2	4	$8\cos(2\pi 1000t) + 4\cos(2\pi 500t)$
1	2	4	$8\cos(2\pi 1000t) + 4\cos(2\pi 500t)$
2	0	4	$4\cos(2\pi 1000t)$
3	0	4	$4\cos(2\pi 1000t)$

Tabel Demodulasi AM

Waktu t	Sinyal modulasi $s(t)$	Sinyal pembawa $f_c(t)$	Sinyal informasi $f_m(t)$
0	$8\cos(2\pi 1000t) + 4\cos(2\pi 500t)$	$4\cos(2\pi 1000t)$	2
1	$8\cos(2\pi 1000t) + 4\cos(2\pi 500t)$	$4\cos(2\pi 1000t)$	2
2	$4\cos(2\pi 1000t)$	$4\cos(2\pi 1000t)$	0
3	$4\cos(2\pi 1000t)$	$4\cos(2\pi 1000t)$	0

Tabel Filtering dengan Filter Median

Waktu diskrit n	Sinyal $f[n]$	Sinyal hasil filtering $g[n]$
0	2	2
1	4	4
2	3	3
3	1	3

Ujian dan Evaluasi

Evaluasi pada mata kuliah Pengolahan Sinyal dan Sistem akan dilakukan melalui beberapa bentuk, seperti ujian tengah semester, ujian akhir semester, tugas individu, dan tugas kelompok. Evaluasi bertujuan untuk mengevaluasi pemahaman mahasiswa terhadap materi yang telah dipelajari, serta kemampuan mahasiswa dalam menerapkan konsep dan keterampilan yang telah dipelajari dalam situasi nyata.