



Sinyal dan Sistem

Analisis Sinyal dan Sistem dengan MATLAB

Herminarto Nugroho

2024

UNIVERSITAS PERTAMINA

Sinyal dan Sistem

Analisis Sinyal dan Sistem dengan MATLAB

Herminarto Nugroho

EDISI PERTAMA

2024

Sinyal dan Sistem - Analisis Sinyal dan Sistem dengan MATLAB

Penulis: Herminarto Nugroho
ISBN: 978-623-88235-7-4
Editor: Uha Julaeaha
Penerbit: Universitas Pertamina

Cetakan Pertama, 2024
Edisi Pertama, 2024



Hak Cipta © 2023 Universitas Pertamina
Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug,
Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12220
Telepon : 021-29044308
Website : <https://universitaspertamina.ac.id/>
Email : info@universitaspertamina.ac.id

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk tidak terbatas pada memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

UNDANG-UNDANG NO.28 TAHUN 2014 TENTANG HAK CIPTA

1.	Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa ijin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta yang meliputi penerjemahan dan pengadaptasian Ciptaan untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah) .
2.	Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa ijin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta yang meliputi penerbitan, penggandaan dalam segala bentuknya, dan pendistribusian Ciptaan untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah) .
3.	Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada poin kedua di atas yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah) .

Nugroho, Herminarto

Sinyal dan Sistem - Analisis Sinyal dan Sistem dengan MATLAB

_ Jakarta: Penerbit Universitas Pertamina, 2024

1 jil., 159 hlm., 17,6 × 25 cm

ISBN. 978-623-88235-7-4

1. Teknik Elektro
I. Judul

2. Sinyal dan Sistem
II. Nugroho, Herminarto

Abstrak

Buku ini dipersiapkan bagi mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, ataupun pembaca lainnya yang ingin memahami konsep-konsep dasar sinyal dan sistem. Sinyal dan Sistem merupakan salah satu materi dasar dari Teknik Elektro yang menjadi prasyarat Sistem Kendali dan pengetahuan-pengetahuan keteknikelektroan lainnya.

Buku ini membahas konsep-konsep sinyal dan pengolahannya di dalam sebuah sistem hingga dapat menghasilkan sebuah output. Buku ini juga menjelaskan bagaimana kita bisa memahami sebuah perilaku sistem dengan konsep respon impuls. Konsep konvolusi waktu kontinyu dan waktu diskrit juga dijabarkan dengan rinci dan sederhana, disertai dengan contoh-contoh penggunaan MATLAB untuk komputasi konvolusi. Terakhir, buku ini juga menjelaskan dengan rinci konsep deret fourier yang dijabarkan secara matematis dengan runut agar mudah untuk dipahami.

Kata Pengantar

Bismillahirrahmanirrahiim,

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan yang Maha Kuasa, karena atas rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan buku ini.

Buku ini ditulis untuk membantu pengajar dan pelajar yang membutuhkan materi dengan penjelasan yang runut, sistematis dan mudah dipahami terkait dengan konsep-konsep Sinyal dan Sistem. Buku ini juga dilengkapi dengan contoh-contoh implementasi konsep-konsep sinyal dan sistem dengan menggunakan MATLAB. Penulis harap dengan adanya implementasi dengan MATLAB akan memudahkan pembaca untuk memperdalam pemahaman dan connect the dots konsep-konsep terkait sinyal dan sistem.

Semoga buku ini bisa bermanfaat bagi semua pembaca.

Jakarta, 2024.

Herminarto Nugroho

Daftar Isi

Abstrak	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Pendahuluan	xiii
1 Sinyal	1
1.1 Definisi Sinyal	1
1.2 Klasifikasi Sinyal	3
1.3 Transformasi Sinyal	6
1.4 Fungsi Sinyal-Sinyal Dasar	10
1.5 Hubungan Antara Sinyal-Sinyal Dasar	14
1.6 Kombinasi Sinyal	17
1.7 Membuat Sinyal pada MATLAB	19
1.8 Bagian Genap dan Ganjil dari Sinyal	33
1.9 Tugas	34
2 Pengenalan Sistem	41
2.1 Definisi Sistem	41
2.2 Klasifikasi Sistem	42
2.3 Diagram Blok	46
2.4 Pemodelan Sistem	48
2.5 Membuat Blok Diagram pada MATLAB Simulink	52
2.6 Pemodelan Sistem Waktu Diskrit dengan Estimasi Sistem Waktu Kontinu	57
2.7 Tugas	60
3 Respons Impuls pada Sistem <i>Linear Time Invariance</i> (LTI)	63
3.1 Sistem <i>Linear Time Invariance</i> (LTI)	63

3.2	Respon dan <i>Behavior</i> Sistem LTI	67
3.3	Solusi Persamaan Diferensial untuk Menentukan Respon Impuls Sistem LTI	71
3.4	Solusi Respon Impulse dengan Solusi Homogen Persamaan Diferensial	75
3.5	Respon Impuls pada Sistem Diskrit	78
3.6	Solusi Respon Impuls Tak Berhingga (<i>Infinite Impulse Response</i>)	82
3.7	Sistem Kausal dan Sistem Stabil	85
3.8	Implementasi Respon Impulse dengan MATLAB	88
3.9	Tugas	90
4	Konvolusi Waktu Kontinu	93
4.1	Pengenalan Konsep Konvolusi Waktu Kontinu	94
4.2	Properti Konvolusi Waktu Kontinu	95
4.3	Solusi Konvolusi Waktu Kontinu dengan Pendekatan Grafik	96
4.4	Membuat Gambar Plot Konvolusi Sinyal pada MATLAB	104
4.5	Tugas	107
5	Konvolusi Waktu Diskrit	111
5.1	Pengenalan Konsep Konvolusi Waktu Diskrit	111
5.2	Properti Konvolusi Waktu Diskrit	112
5.3	Solusi Konvolusi Waktu Diskrit dengan Pendekatan Grafik	114
5.4	Solusi Konvolusi Waktu Diskrit dari Persamaan Output	116
5.5	Tugas	119
6	Deret Fourier Waktu Kontinu (<i>Continuous-time Fourier Series</i>)	121
6.1	Konsep Deret Fourier	122
6.2	Sejarah Deret Fourier	124
6.3	Konsep Matematis Deret Fourier	125
6.4	Pasangan Deret Fourier	135
6.5	Dirichlet Condition untuk Deret Fourier	140
6.6	Tabel Pasangan Deret Fourier	141
6.7	Properti Deret Fourier	144
6.8	Implementasi Deret Fourier dengan MATLAB	147
6.9	Tugas	150
	Daftar Pustaka	155
	Biografi Penulis	159

Daftar Gambar

1.1	Ilustrasi hubungan antara sinyal dan sistem.	2
1.2	Contoh hubungan sinyal dan sistem dalam kehidupan sehari-hari.	3
1.3	Ilustrasi klasifikasi sinyal waktu kontinyu dan sinyal waktu diskrit.	4
1.4	Ilustrasi klasifikasi sinyal genap dan sinyal ganjil.	5
1.5	Ilustrasi klasifikasi sinyal periodik dan sinyal aperiodik.	6
1.6	Ilustrasi transformasi sinyal: Time Shifting dan Time Scaling.	8
1.7	Ilustrasi transformasi sinyal: Amplitude Shifting dan Amplitude Scaling.	9
1.8	Ilustrasi sinyal impuls waktu kontinyu.	11
1.9	Ilustrasi sinyal impuls waktu diskrit.	12
1.10	Ilustrasi sinyal step waktu kontinyu.	12
1.11	Ilustrasi sinyal step waktu diskrit.	13
1.12	Ilustrasi sinyal ramp waktu kontinyu.	13
1.13	Ilustrasi sinyal ramp waktu diskrit.	14
1.14	Ilustrasi hubungan antara sinyal impuls dan step waktu diskrit.	15
1.15	Ilustrasi hubungan antara sinyal impuls dan step waktu kontinyu.	15
1.16	Ilustrasi hubungan antara sinyal impuls, step, dan ramp.	17
1.17	Ilustrasi sinyal kotak waktu kontinyu.	17
1.18	Ilustrasi sinyal kotak waktu kontinyu dapat dibentuk dari kombinasi dua sinyal step.	18
1.19	Ilustrasi sinyal tangga waktu kontinyu dapat dibentuk dari kombinasi dua sinyal step.	19
1.20	Contoh sinyal hasil kombinasi dari beberapa sinyal dasar.	20
1.21	Hasil plot gambar sinyal impuls pada MATLAB.	20
1.22	Hasil plot gambar sinyal unit impulse pada MATLAB.	22
1.23	Hasil plot gambar sinyal unit signum pada MATLAB.	23
1.24	Hasil plot gambar sinyal step pada MATLAB.	23
1.25	Hasil plot gambar sinyal step dengan memanfaatkan fungsi Signum pada MATLAB.	24
1.26	Hasil plot gambar sinyal unit step pada MATLAB.	25
1.27	Hasil plot gambar sinyal ramp pada MATLAB.	26
1.28	Hasil plot gambar sinyal ramp dengan memanfaatkan fungsi Signum pada MATLAB.	27

1.29	Hasil plot gambar sinyal unit ramp pada MATLAB.	28
1.30	Hasil plot gambar sinyal periodik impuls pada MATLAB.	29
1.31	Hasil plot gambar sinyal unit kotak pada MATLAB.	30
1.32	Hasil plot gambar sinyal unit segitiga pada MATLAB.	31
1.33	Hasil plot gambar sinyal kombinasi pada MATLAB.	32
1.34	Hasil plot gambar sinyal kombinasi dari sebuah sinyal dengan nilai berubah-ubah pada rentang waktu tertentu dengan menggunakan MATLAB.	33
1.35	Hasil plot gambar bagian genap dan ganjil dari sebuah sinyal dengan menggunakan MATLAB.	34
1.36	Grafik sinyal untuk soal nomor 16.	36
1.37	Grafik sinyal untuk soal nomor 17.	36
1.38	Grafik sinyal untuk soal nomor 18.	37
1.39	Grafik sinyal untuk soal nomor 20-22.	37
1.40	Grafik sinyal untuk soal nomor 34.	39
1.41	Grafik sinyal untuk soal nomor 35.	40
1.42	Grafik sinyal untuk soal nomor 35.	40
2.1	Ilustrasi proses sinyal input masuk ke dalam sistem dan sistem menghasilkan sinyal output.	41
2.2	Diagram blok sebuah sistem.	42
2.3	Sistem waktu kontinyu vs sistem waktu diskrit.	42
2.4	Sistem waktu kontinyu vs sistem waktu diskrit.	43
2.5	Sistem time-variance vs sistem time-invariance.	44
2.6	Sistem statis vs sistem dinamis.	45
2.7	Sistem kausal vs sistem non-kausal.	46
2.8	Diagram blok perkalian (kiri) dan pembagian (kanan).	46
2.9	Diagram blok penjumlahan (kiri) dan pengurangan (kanan).	47
2.10	Diagram blok penjumlahan dari banyak sinyal.	47
2.11	Diagram blok integral (kiri) dan diferensial (kanan).	48
2.12	Diagram blok delay (kiri) dan percabangan (kanan).	48
2.13	Ilustrasi sistem mass-spring-damper.	49
2.14	Diagram blok sistem mass-spring-damper dengan sinyal input posisi x dan output percepatan a	50
2.15	Diagram blok sistem mass-spring-damper dengan sinyal input posisi x dan output kecepatan v	50
2.16	Diagram blok alternatif sistem mass-spring-damper dengan sinyal input posisi x dan output kecepatan v	50
2.17	Ilustrasi sistem rangkaian RLC.	51
2.18	Diagram blok sistem rangkaian RLC dengan input $V(t)$ dan output $I(t)$	52
2.19	Membuka Simulink dari Command Window MATLAB.	53
2.20	Membuka Simulink dari Icon pada Toolstrip MATLAB.	53
2.21	Membuka Simulink dari Menu Home MATLAB.	53
2.22	Klik <i>Blank Model</i> pada jendela awal Simulink.	54

2.23	Tiga bagian utama pada jendela awal Simulink.	55
2.24	Cara akses <i>Simulink Library Browser</i>	55
2.25	Tampilan <i>Library Browser</i> pada Simulink.	56
2.26	Tampilan model simulink untuk sistem massa-pegas-peredam. . .	56
2.27	Ilustrasi sistem tanki sederhana.	57
2.28	Hasil plot gambar estimasi sistem tanki.	59
2.29	Sistem pembagi tegangan	61
2.30	Sistem pendulum sederhana	61
2.31	Sistem tanki sederhana	62
2.32	Sistem rangkaian listrik	62
3.1	Sebuah sistem LTI merupakan sebuah sistem yang bersifat linear dan time-invariant.	63
3.2	Properti Homogeneity sebuah sistem LTI.	64
3.3	Properti Additivity sebuah sistem LTI.	65
3.4	Sebuah sistem <i>delay</i>	65
3.5	Sebuah sistem <i>averaging</i>	66
3.6	Sebuah sistem integral.	66
3.7	Ilustrasi proses sinyal input masuk ke dalam sistem dan sistem menghasilkan sinyal output.	67
3.8	Diagram blok sebuah sistem dengan nilai proporsional P konstan. .	67
3.9	Respon sistem non-konstan tidak sama dengan respon sistem konstan. .	67
3.10	Respon sistem non-konstan.	68
3.11	Respon impuls sistem.	69
3.12	Ilustrasi proses mendapatkan fungsi <i>behavior</i> sistem.	70
3.13	Respon impuls sebuah sistem didapatkan dengan memberikan sinyal impuls ke dalam sistem.	74
3.14	Ilustrasi sistem kasual vs sistem non-kausal	85
3.15	Sinyal hasil respon impuls dengan menggunakan MATLAB	89
3.16	Sinyal hasil respon impuls dari sebuah sistem diskrit dengan menggunakan MATLAB	90
3.17	Rangkaian RL.	91
3.18	Gambar sistem untuk soal nomor 3	91
3.19	Gambar sistem untuk soal nomor 4	91
3.20	Gambar sistem untuk soal nomor 5	92
4.1	Ilustrasi respon sebuah sistem LTI jika diberikan sinyal kotak. . .	94
4.2	Contoh persoalan konvolusi sederhana $y(t) = u(t) * u(t)$	97
4.3	Step 1 - Rotate.	97
4.4	Step 2 - Shift.	98
4.5	Step 3 - Multiply.	98
4.6	Contoh persoalan konvolusi sinyal step dengan sinyal kotak. . . .	99
4.7	Step 1 - Rotate.	99
4.8	Step 2 - Shift.	100
4.9	Step 3 - Multiply (fase 1).	100

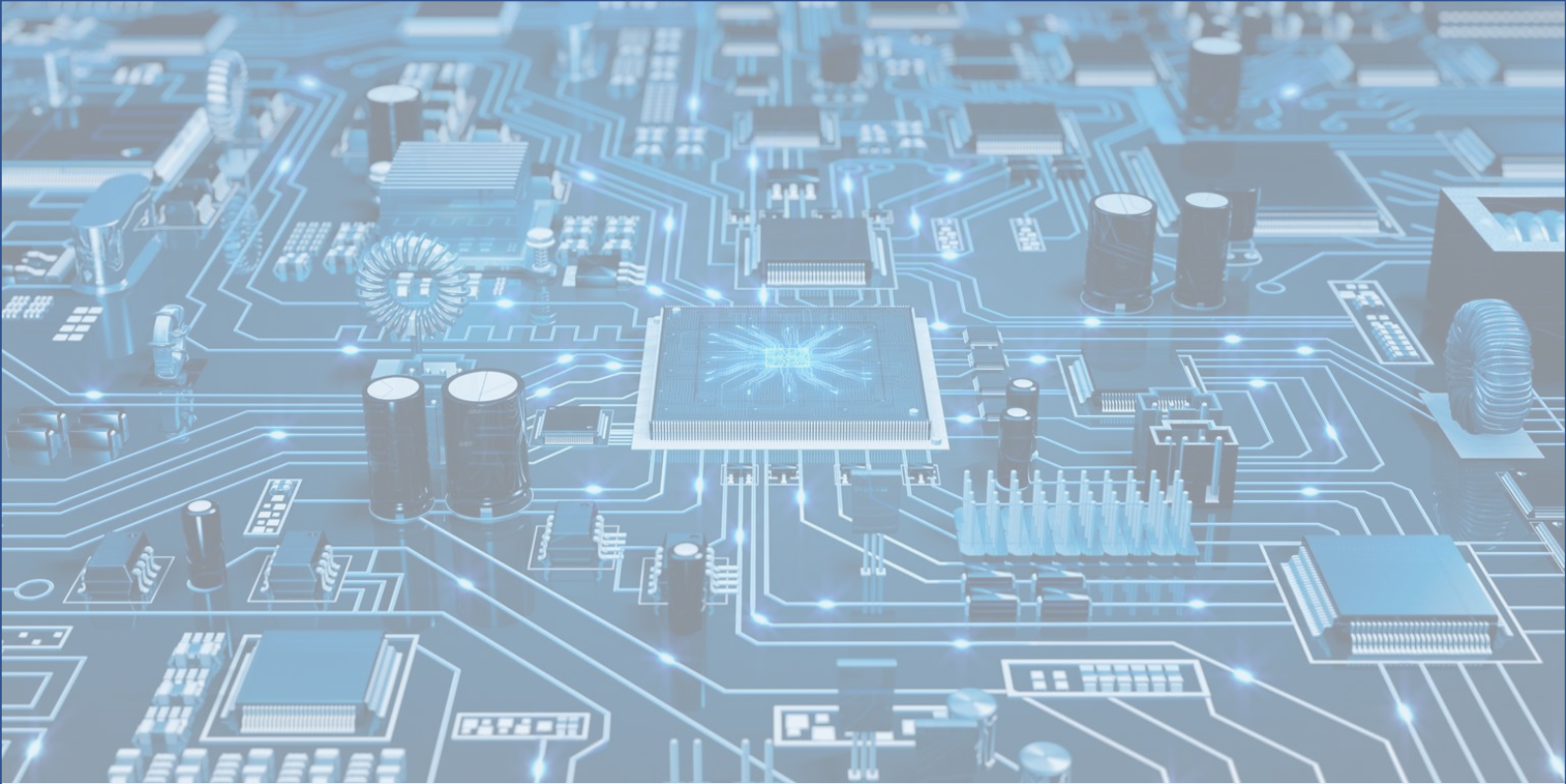
4.10	Step 3 - Multiply (fase 2).	100
4.11	Step 3 - Multiply (fase 3).	101
4.12	Step 5 - Hasil akhir konvolusi pada contoh 2.	101
4.13	Contoh persoalan konvolusi sederhana $y(t) = r(t) * r(t)$.	102
4.14	Step 1 - Rotate.	102
4.15	Step 2 - Shift.	102
4.16	Step 3 - Multiply.	103
4.17	Sinyal $y(t) = u(t)$	105
4.18	Sinyal $h(t) = u(t - 10)$	105
4.19	Sinyal $q(t) = y(t) * h(t) = u(t) * u(t - 10)$	105
4.20	Hasil konvolusi dua sinyal segitiga	106
4.21	Hasil konvolusi dua sinyal segitiga	107
4.22	Soal Konvolusi 01	108
4.23	Soal Konvolusi 02	108
4.24	Soal Konvolusi 03	109
4.25	Soal Konvolusi 04	109
4.26	Soal Konvolusi 05	109
4.27	Soal Konvolusi 06	110
4.28	Soal Konvolusi 07	110
4.29	Soal Konvolusi 08	110
5.1	Ilustrasi respon sebuah sistem LTI hasil konvolusi.	112
5.2	Contoh persoalan konvolusi sederhana $y[n] = u[n] * u[n]$.	114
5.3	Step 1 - Rotate.	114
5.4	Step 2 - Shift.	115
5.5	Step 3 - Multiply.	115
5.6	Hasil konvolusi sistem averaging.	117
5.7	Hasil konvolusi sistem averaging.	117
5.8	Hasil simulasi konvolusi dua buah sinyal waktu diskrit.	118
6.1	Ilustrasi kombinasi dua sinyal dasar untuk menghasilkan sinyal kotak.	121
6.2	Ilustrasi kombinasi dua sinyal dasar untuk menghasilkan sinyal tangga.	122
6.3	Ilustrasi contoh sinyal kompleks yang disusun oleh beberapa sinyal sinusoidal dengan beberapa amplitudo dan frekuensi yang berbeda-beda.	123
6.4	Beberapa contoh sinyal hasil kombinasi dari sinyal-sinyal sinusoidal.	123
6.5	Jean Baptiste Joseph Fourier (21 Maret 1768 – 16 Mei 1830).	124
6.6	Contoh fungsi genap (gambar atas) dan fungsi ganjil (gambar bawah)	126
6.7	Fungsi kotak (square) periodik dengan $T = 1$	130
6.8	Hasil penjumlahan sinyal sinusoidal penyusun sinyal kotak periodik untuk nilai $n = 0$ hingga $n = 4$	131
6.9	Leonhard Euler (1707-1783)	132

6.10	Ilustrasi Persamaan Euler yang menggambarkan hubungan antara fungsi trigonometrik dengan complex exponential.	132
6.11	Ilustrasi Persamaan Euler yang menggambarkan hubungan antara fungsi complex exponential dengan trigonometri.	133
6.12	Fungsi $x(t) = A.\text{rect}(\frac{t}{w}) * \delta_T(t)$	136
6.13	Potongan fungsi $x(t) = A.\text{rect}(\frac{t}{w}) * \delta_T(t)$ dalam rentang satu Periode T	137
6.14	Ilustrasi plot grafik fungsi $\text{sinc}(t)$ pada persamaan 6.53	138
6.15	Johann Peter Gustav Lejeune Dirichlet (1805-1859)	140
6.16	Joseph-Louis Lagrange (1736-1813)	140
6.17	Hasil deret Fourier dari fungsi kotak dengan menggunakan MATLAB	148
6.18	Hasil deret Fourier dengan menggunakan MATLAB dengan $T = T_0$	150
6.19	Hasil deret Fourier dengan menggunakan MATLAB dengan $T = mT_0$ dimana $m = 2$	151

Pendahuluan

Buku ini membahas beberapa konsep-konsep mendasar mengenai sinyal dan sistem, termasuk di dalamnya penjelasan konsep dalam kehidupan sehari-hari. Lebih dari itu, buku ini juga menjabarkan implementasi konsep-konsep tersebut dengan menggunakan MATLAB.

Pembaca akan dapat memahami dengan mudah dan jelas mengenai konsep-konsep sinyal dan sistem yang dipelajari pada tingkat Universitas. Buku ini ditulis untuk mahasiswa Teknik Elektro tingkat awal yang telah terlebih dahulu mempelajari beberapa mata kuliah dasar seperti: Kalkulus 1 (Matematika Diferensial), Kalkulus 2 (Matematika Integral), Fisika Dasar 1 (Fisika Mekanik), dan Fisika Dasar 2 (Fisika Elektromagnetik).



Buku ini dipersiapkan bagi mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, ataupun pembaca lainnya yang ingin memahami konsep-konsep dasar sinyal dan sistem. Sinyal dan Sistem merupakan salah satu materi dasar dari Teknik Elektro yang menjadi prasyarat Sistem Kendali dan pengetahuan-pengetahuan keteknikelektroan lainnya.

Buku ini membahas konsep-konsep sinyal dan pengolahannya di dalam sebuah sistem hingga dapat menghasilkan sebuah output. Buku ini juga menjelaskan bagaimana kita bisa memahami sebuah perilaku sistem dengan konsep respon impuls. Konsep konvolusi waktu kontinyu dan waktu diskrit juga dijabarkan dengan rinci dan sederhana, disertai dengan contoh-contoh penggunaan MATLAB untuk komputasi konvolusi. Terakhir, buku ini juga menjelaskan dengan rinci konsep deret fourier yang dijabarkan secara matematis dengan runut agar mudah untuk dipahami.