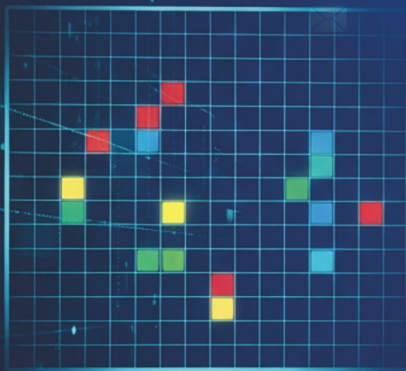


Isman Kurniawan



# Pemodelan dan Simulasi: Prinsip, Teknik, dan Aplikasi

# **PEMODELAN DAN SIMULASI: PRINSIP, TEKNIK, DAN APLIKASI**

Isman Kurniawan



# PEMODELAN DAN SIMULASI: PRINSIP, TEKNIK, DAN APLIKASI

Penulis: Isman Kurniawan

Editor Substantif: Didit Adytia

Editor Naskah: Didit Adytia, Ridwan R.

Tata letak: Rio

Desain sampul: Kukisyam

ISBN: 978-634-7108-49-4

Cetakan 1, Tahun 2026

15,5 x 23 cm

xiv + 146 hlm

Diterbitkan oleh:



Tel-U Press (Anggota IKAPI, Jawa Barat)

Bandung Technoplex

Jl. Telekomunikasi 1 Ters. Buah Batu

Copyright © 2026 by Tel-U Press Publisher

All Rights Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa izin tertulis dari Penerbit.



## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
PRAKATA.....	xiii

### **BAB 1**

Pendahuluan.....	1
1.1 Pengertian dan Ruang Lingkup Pemodelan dan Simulasi.....	1
1.2 Sejarah dan Evolusi Pemodelan dan Simulasi.....	2
1.3 Manfaat dan Aplikasi dalam Berbagai Industri .....	2
1.4 Ringkasan .....	3

### **BAB 2**

Konsep Dasar Pemodelan .....	4
2.1 Definisi dan Terminologi .....	4
2.2 Klasifikasi Model.....	6
2.3 Proses Pemodelan: Tahapan dan Metodologi .....	10
2.4 Studi Kasus: Pemodelan Sistem Antrean.....	11
2.5 Contoh Alat dan Teknik Pemodelan .....	12

2.6	Tantangan dalam Pemodelan .....	12
2.7	Ringkasan .....	13

### **BAB 3**

Teori Simulasi .....	14
3.1 Pengantar .....	14
3.2 Jenis-Jenis Simulasi .....	15
3.3 Elemen Dasar Simulasi.....	17
3.4 Langkah-Langkah dalam Simulasi .....	18
3.5 Keuntungan dan Keterbatasan Simulasi .....	19
3.6 Contoh Aplikasi Simulasi .....	20
3.7 Studi Kasus: Simulasi Lalu Lintas Perkotaan.....	20
3.8 Perangkat Lunak Simulasi .....	21
3.9 Tantangan dalam Simulasi.....	21
3.10 Ringkasan .....	22

### **BAB 4**

Pemodelan Matematika.....	23
4.1 Pengantar .....	23
4.2 Dasar-Dasar Aljabar.....	23
4.3 Dasar-Dasar Kalkulus.....	29
4.4 Contoh Aplikasi Pemodelan Matematika .....	35
4.5 Studi Kasus: Pemodelan Pertumbuhan Populasi .....	36
4.6 Ringkasan .....	37

### **BAB 5**

Pengujian dan Validasi Model.....	38
5.1 Pengantar .....	38
5.2 Tujuan Pengujian dan Validasi Model .....	38
5.3 Proses Pengujian Model .....	39

5.4	Proses Validasi Model.....	47
5.5	Metode Validasi Model.....	48
5.6	Tantangan dalam Pengujian dan Validasi Model.....	49
5.7	Studi Kasus: Validasi Model Epidemiologi.....	50
5.8	Ringkasan .....	50

## **BAB 6**

	Simulasi Sistem Diskrit.....	51
6.1	Pengantar .....	51
6.2	Komponen Utama Simulasi Sistem Diskrit.....	51
6.3	Langkah-Langkah dalam Simulasi Sistem Diskrit .....	52
6.4	Metode Simulasi Sistem Diskrit .....	53
6.5	Aplikasi Simulasi Sistem Diskrit.....	54
6.6	Studi Kasus: Simulasi Antrean di Bank.....	55
6.7	Ringkasan .....	60

## **BAB 7**

	Simulasi Sistem Kontinu.....	61
7.1	Pengantar .....	61
7.2	Komponen Utama Simulasi Sistem Kontinu.....	61
7.3	Langkah-Langkah dalam Simulasi Sistem Kontinu .....	62
7.4	Metode Simulasi Sistem Kontinu .....	63
7.5	Aplikasi Simulasi Sistem Kontinu.....	68
7.6	Studi Kasus: Simulasi Pertumbuhan Populasi.....	69
7.7	Ringkasan .....	72

## **BAB 8**

	Pemodelan dan Simulasi Berbasis Agen.....	73
8.1	Pengantar .....	73
8.2	Komponen Utama Pemodelan Berbasis Agen.....	73
8.3	Langkah-Langkah dalam Pemodelan Berbasis Agen .....	74
8.4	Aplikasi Pemodelan Berbasis Agen.....	76

8.5	Studi Kasus: Pemodelan Epidemi Penyakit Menular .....	76
8.6	Keunggulan dan Keterbatasan Pemodelan Berbasis Agen .....	79
8.7	Ringkasan .....	80

## **BAB 9**

Cellular Automata .....	81
9.1 Pengantar .....	81
9.2 Konsep Dasar <i>Cellular Automata</i> .....	81
9.3 Jenis-Jenis <i>Cellular Automata</i> .....	82
9.4 Contoh Aplikasi <i>Cellular Automata</i> .....	82
9.5 Studi Kasus: Simulasi Penyebaran Api di Hutan.....	83
9.6 Ringkasan .....	87

## **BAB 10**

Simulasi Monte Carlo .....	88
10.1 Pengantar .....	88
10.2 Teori Monte Carlo.....	88
10.3 Langkah-Langkah dalam Simulasi Monte Carlo.....	89
10.4 Contoh Aplikasi Simulasi Monte Carlo.....	90
10.5 Studi Kasus: Penilaian Risiko Portofolio Investasi .....	91
10.6 Ringkasan .....	94

## **BAB 11**

Pemodelan Jaringan .....	95
11.1 Pengantar .....	95
11.2 Konsep Dasar Pemodelan Jaringan .....	95
11.3 Langkah-Langkah dalam Pemodelan Jaringan.....	96
11.4 Contoh Aplikasi Pemodelan Jaringan.....	97
11.5 Studi Kasus: Analisis Jaringan Sosial.....	98
11.6 Keunggulan dan Keterbatasan Pemodelan Jaringan.....	101
11.7 Ringkasan .....	101

**BAB 12**

Pemodelan pada Sistem Industri.....	102
12.1 Pengantar .....	102
12.2 Konsep Dasar Pemodelan Sistem Industri.....	102
12.3 Contoh Aplikasi Pemodelan Sistem Industri.....	103
12.4 Studi Kasus: Optimasi Proses Manufaktur .....	104
12.5 Ringkasan .....	107

**BAB 13**

Pemodelan dan Simulasi pada Ilmu Sosial .....	108
13.1 Pengantar .....	108
13.2 Konsep Dasar Pemodelan dan Simulasi pada Ilmu Sosial .....	108
13.3 Contoh Aplikasi Pemodelan dan Simulasi pada Ilmu Sosial... ..	109
13.4 Studi Kasus: Simulasi Penyebaran Informasi dalam Jaringan Sosial.....	110
13.5 Ringkasan .....	113

**BAB 14**

Pemodelan Ekosistem dan Lingkungan .....	114
14.1 Pengantar .....	114
14.2 Konsep Dasar Pemodelan Ekosistem dan Lingkungan .....	114
14.3 Contoh Aplikasi Pemodelan Ekosistem dan Lingkungan.....	115
14.4 Studi Kasus: Pemodelan Ekosistem Hutan Tropis dan Dampak Deforestasi .....	116
14.5 Ringkasan .....	119

**BAB 15**

Pemodelan dan Simulasi pada Bidang Kesehatan .....	120
15.1 Pengantar .....	120
15.2 Konsep Dasar Pemodelan dan Simulasi pada Bidang Kesehatan .....	120
15.3 Contoh Aplikasi Pemodelan dan Simulasi pada Bidang Kesehatan.....	121

15.4	Studi Kasus: Pemodelan Penyebaran Penyakit Menular dengan Model SIR .....	122
15.5	Ringkasan .....	125

## **BAB 16**

	Pemodelan dan Simulasi Lalu Lintas.....	126
16.1	Pengantar .....	126
16.2	Konsep Dasar Pemodelan dan Simulasi Lalu Lintas.....	126
16.3	Studi Kasus: Simulasi Lalu Lintas Menggunakan Metode <i>Nagel-Schreckenberg</i> .....	127
16.4	Ringkasan .....	131

## **BAB 17**

	Tantangan dan Tren Masa Depan Pemodelan dan Simulasi .....	132
17.1	Pendahuluan.....	132
17.2	Tantangan dalam Pemodelan dan Simulasi .....	132
17.3	Tren Masa Depan dalam Pemodelan dan Simulasi .....	133
17.4	Kesimpulan.....	134

	Penutup .....	135
	Glosarium.....	137
	Daftar Pustaka.....	139
	Indeks.....	142
	Biografi Penulis.....	144



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b>	Plot Hasil Simulasi Pertumbuhan Populasi.....	72
<b>Gambar 2</b>	Plot Hasil Simulasi Penyebaran Penyakit .....	80
<b>Gambar 3</b>	Plot Hasil Simulasi Penyebaran Api .....	86
<b>Gambar 4</b>	Plot Hasil Simulasi Penilaian Risiko Portofolio Investasi .....	93
<b>Gambar 5</b>	Graf Jaringan Sosial .....	100
<b>Gambar 6</b>	Plot Hasil Simulasi Penyebaran Informasi dalam Jaringan Sosial.....	112
<b>Gambar 7</b>	Plot Hasil Simulasi Dampak Deforestasi .....	118
<b>Gambar 8</b>	Plot Hasil Simulasi Penyebaran Penyakit dengan Model SIR.....	124
<b>Gambar 9</b>	Plot Hasil Simulasi Lalu Lintas Menggunakan Model <i>Nagel-Schreckenberg</i> .....	130





## Kata Pengantar

Sebagai seorang akademisi dan peneliti di bidang *Data Science for Health*, saya meyakini bahwa integrasi antara pengetahuan konseptual dan keterampilan praktis merupakan kunci dalam menghasilkan insan pembelajar yang unggul. Oleh karena itu, buku yang ada di tangan Anda ini merupakan salah satu kontribusi nyata dalam menjembatani keduanya.

Buku ini secara sistematis mengulas aspek fundamental hingga aplikatif dalam bidang pemodelan dan simulasi. Hal ini sangat bermanfaat dalam peningkatan kualitas pembelajaran, penguatan karakter, dan pengembangan keterampilan mahasiswa melalui strategi dan pendekatan pembelajaran yang inovatif. Tidak hanya memberikan pemahaman teoretis, buku ini juga mendorong pembaca untuk mengembangkan *skillset* yang relevan dengan tantangan zaman.

Saya memberikan apresiasi setinggi-tingginya kepada penulis atas dedikasi dan kecermatannya dalam menyusun buku ini. Materi yang disajikan tidak hanya relevan bagi kalangan dosen dan mahasiswa, tetapi juga sangat strategis dalam memperkuat peran pendidikan tinggi dalam mencapai *Sustainable Development Goals* (SDGs). Lebih dari itu, buku ini dapat dijadikan referensi penting dalam membangun Generasi Emas

2045—generasi yang tidak hanya cerdas secara intelektual, tetapi juga adaptif, kolaboratif, dan berdaya saing global.

Semoga kehadiran buku ini menjadi bagian dari ikhtiar kolektif kita dalam memajukan bangsa melalui pendidikan yang berkualitas, berdampak, dan berkelanjutan.

Bandung, November 2025

Prof. Dr. Adiwijaya

Guru Besar Data Science

Telkom University



## Prakata

Pemodelan dan Simulasi merupakan pilar penting dalam analisis sistem kompleks. Di era kemajuan teknologi informasi dan melimpahnya data, kemampuan memformulasikan model matematis dan menganalisisnya melalui simulasi menjadi makin krusial. Buku ini dihadirkan sebagai sumber pembelajaran yang sistematis dan aplikatif bagi mahasiswa, peneliti, serta praktisi.

Buku ini disusun berdasarkan pengalaman penulis mengajar mata kuliah Pemodelan dan Simulasi serta minat dalam mengeksplorasi berbagai pendekatan lintas disiplin. Strukturnya dirancang agar pembaca dapat mengikuti alur, mulai dari konsep dasar hingga penerapan praktis, dengan penjelasan teoretis, ilustrasi kasus nyata, dan implementasi kode Python sebagai alat bantu utama.

Buku ini mencakup simulasi sistem diskrit dan kontinu; pemodelan berbasis agen; metode numerik, seperti Euler dan Runge-Kutta; simulasi Monte Carlo; serta pemodelan keuangan dan sosial; hingga tren masa depan. Topik-topik disajikan dengan pendekatan yang mudah dipahami oleh pemula, tetapi tetap mendalam sebagai referensi lanjutan.

Besar harapan penulis agar buku ini dapat menjadi jembatan bagi siapa saja yang ingin memahami, menerapkan, dan mengembangkan pemodelan dan simulasi dalam bidang keahliannya masing-masing.

Semoga buku ini dapat memberi manfaat yang luas dan menjadi bekal yang bermanfaat dalam proses pembelajaran, penelitian, ataupun pengambilan keputusan berbasis sistem.

Bandung, November 2025

Penulis



# BAB 1

## Pendahuluan

### 1.1 PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP PEMODELAN DAN SIMULASI

**P**emodelan dan simulasi adalah alat penting dalam berbagai disiplin ilmu yang digunakan untuk memahami, memprediksi, dan mengoptimalkan sistem kompleks. **Pemodelan** adalah proses pembuatan representasi abstrak dari suatu sistem nyata. Model ini bisa berupa fisik, matematis, atau berbasis komputer, yang dirancang untuk menggambarkan komponen dan hubungan dalam sistem tersebut.

Di sisi lain, **simulasi** adalah proses menjalankan model untuk mengamati perilakunya di bawah kondisi tertentu. Simulasi memungkinkan kita untuk melakukan eksperimen virtual yang mungkin tidak praktis atau tidak mungkin dilakukan di dunia nyata. Simulasi juga dapat didefinisikan sebagai teknik yang memungkinkan kita untuk mempelajari perilaku sistem dengan cara menirukan operasi dan proses sistem tersebut dalam jangka waktu tertentu.

Ruang lingkup pemodelan dan simulasi mencakup berbagai bidang, termasuk teknik, ilmu komputer, ekonomi, ilmu sosial, kesehatan, dan

lingkungan. Dalam setiap bidang ini, pemodelan dan simulasi dapat membantu profesional untuk memahami sistem yang kompleks dan membuat keputusan yang lebih baik berdasarkan data yang dihasilkan dari model.

## 1.2 SEJARAH DAN EVOLUSI PEMODELAN DAN SIMULASI

Pemodelan dan simulasi memiliki sejarah panjang yang berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Awal mula pemodelan dapat ditelusuri kembali ke zaman kuno, ketika manusia menggunakan model fisik sederhana untuk mempelajari dunia sekitar mereka. Dengan perkembangan matematika, model matematis mulai digunakan untuk menggambarkan fenomena alam dan proses buatan manusia. Perkembangan simulasi modern dimulai dengan munculnya komputer elektronik pada abad ke-20. Komputer memungkinkan simulasi yang lebih kompleks dan akurat, mengubah cara kita memahami dan mengelola sistem. Awalnya, simulasi dilakukan secara manual atau dengan komputer analog, tetapi dengan perkembangan komputer digital dan perangkat lunak simulasi, kemampuan kita untuk membuat dan menjalankan model telah meningkat secara signifikan.

Teknologi komputer yang makin canggih telah mengubah pemodelan dan simulasi menjadi alat yang sangat penting dalam penelitian, pendidikan, dan industri. Perangkat lunak simulasi yang ada saat ini memungkinkan pengguna untuk membuat model yang sangat kompleks dan menjalankan simulasi yang realistis dalam waktu yang singkat. Perkembangan ini telah mengarah pada aplikasi yang luas dalam berbagai bidang, mulai dari simulasi militer hingga analisis pasar keuangan.

## 1.3 MANFAAT DAN APLIKASI DALAM BERBAGAI INDUSTRI

Pemodelan dan simulasi menawarkan berbagai manfaat, termasuk penghematan biaya, pengurangan risiko, peningkatan efisiensi, dan kemampuan untuk mengeksplorasi berbagai skenario tanpa melakukan eksperimen nyata yang mahal atau berbahaya. Beberapa aplikasi utama pemodelan dan simulasi dalam berbagai industri meliputi:

1. **Industri Teknik:** Dalam rekayasa, pemodelan dan simulasi digunakan untuk merancang produk, menganalisis struktur, serta mengoptimalkan proses manufaktur. Contoh aplikasinya adalah simulasi aliran fluida, analisis tegangan, dan desain sistem kontrol.

2. **Kesehatan:** Di bidang kesehatan, pemodelan dan simulasi membantu dalam penelitian medis, perencanaan bedah, serta epidemiologi. Contohnya, model penyebaran penyakit dapat digunakan untuk memprediksi wabah dan merencanakan intervensi kesehatan masyarakat.
3. **Ekonomi dan Keuangan:** Pemodelan ekonomi digunakan untuk memprediksi perilaku pasar, menganalisis risiko keuangan, dan mendukung pengambilan keputusan bisnis. Simulasi pasar keuangan memungkinkan analisis skenario dan evaluasi strategi investasi.
4. **Ilmu Sosial:** Dalam ilmu sosial, pemodelan dan simulasi digunakan untuk mempelajari dinamika populasi, perilaku manusia, dan interaksi sosial. Model berbasis agen sering digunakan untuk menyimulasikan fenomena sosial kompleks, seperti penyebaran informasi atau perubahan perilaku kelompok.

#### 1.4 RINGKASAN

Buku ini bertujuan untuk memberikan pembaca pemahaman yang komprehensif tentang pemodelan dan simulasi serta keterampilan praktis untuk mengembangkan dan menjalankan model mereka sendiri. Dengan mengikuti buku ini, pembaca akan lebih siap dalam menghadapi tantangan kompleks dalam berbagai disiplin ilmu menggunakan pemodelan dan simulasi.



# BAB 2

## Konsep Dasar Pemodelan

### 2.1 DEFINISI DAN TERMINOLOGI

**P**emodelan adalah proses menciptakan representasi abstrak dari sistem nyata untuk memahami dan memprediksi perilakunya. Beberapa terminologi penting dalam pemodelan meliputi:

1. **Sistem:** Kumpulan komponen atau elemen yang saling berinteraksi dan saling tergantung untuk mencapai tujuan tertentu. Setiap sistem memiliki karakteristik unik, seperti komponen-komponen yang membentuknya, cara interaksi antarkomponen, batasan yang memisahkan sistem dari lingkungan luar, serta tujuan yang ingin dicapai.
2. **Model:** Representasi matematis atau komputasional dari sistem nyata atau konsep abstrak. Tujuan utama pembuatan model adalah untuk memahami perilaku sistem, meramalkan respons sistem terhadap berbagai kondisi, serta menguji strategi atau keputusan tanpa harus melakukan eksperimen langsung pada sistem nyata. Model dapat

berbentuk matematis, seperti persamaan diferensial, grafik, atau algoritma komputasional yang memungkinkan analisis sistematis terhadap sistem yang kompleks atau sulit untuk diuji secara langsung.

3. **Parameter:** Variabel yang nilainya dapat diatur atau diubah untuk mengamati efeknya terhadap perilaku sistem. Parameter digunakan untuk menggambarkan karakteristik sistem yang penting dalam model matematis atau komputasional. Contoh parameter, antara lain konstanta fisika, seperti kecepatan, massa, atau koefisien gesekan dalam model mekanik; atau variabel seperti laju pertumbuhan dalam model ekonomi. Memanipulasi parameter memungkinkan analisis sensitivitas dan optimasi dalam memahami bagaimana sistem merespons terhadap perubahan kondisi tertentu.
4. **Variabel:** Ukuran atau properti yang nilainya dapat bervariasi dalam sistem yang sedang dipelajari dan digunakan untuk menggambarkan keadaan atau karakteristik sistem yang dapat diukur atau diamati. Variabel dapat berupa variabel independen yang memengaruhi sistem atau variabel dependen yang berubah sebagai respons terhadap variabel independen. Contoh variabel, meliputi posisi, kecepatan, suhu, atau jumlah individu dalam populasi. Analisis variabel dalam pemodelan membantu untuk memahami hubungan sebab-akibat dalam sistem dan memprediksi bagaimana sistem akan berperilaku dalam berbagai kondisi.
5. **Simulasi:** Proses menggunakan model matematis atau komputasional untuk menyimulasikan perilaku sistem dalam lingkungan yang terkendali. Tujuan utamanya adalah memahami bagaimana sistem akan bereaksi terhadap berbagai situasi atau keputusan tanpa harus menguji secara langsung pada sistem nyata. Simulasi memungkinkan untuk menguji berbagai skenario, menganalisis dampak dari berbagai keputusan, serta memprediksi hasil dari intervensi tertentu dalam sebuah sistem. Hal ini berguna dalam berbagai bidang, seperti ilmu pengetahuan, teknik, bisnis, dan sosial untuk meningkatkan pemahaman serta mengoptimalkan kinerja sistem yang kompleks.

## 2.2 KLASIFIKASI MODEL

Model dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai kriteria, termasuk jenis data, dinamika, dan pendekatan analitis:

### 2.2.1 Model Deterministik vs. Stokastik

1) **Deterministik:** Model deterministik adalah jenis model dalam pemodelan dan simulasi ketika hasil dari sistem ini dapat diprediksi dengan pasti dari keadaan awal dan aturan yang mengaturnya. Tidak ada unsur ketidakpastian atau variabel acak yang memengaruhi hasil dari model ini. Model deterministik memiliki beberapa karakteristik utama. Prediktibilitas merupakan karakteristik ketika hasil dari model dapat diprediksi secara eksak jika keadaan awal dan aturan yang mengatur sistem diketahui. Kepastian adalah aspek lainnya ketika tidak ada unsur ketidakpastian atau variabel acak yang memengaruhi hasil. Reprodusibilitas berarti hasil yang sama akan diperoleh setiap kali model dijalankan dengan keadaan awal yang sama. Salah satu contoh klasik dari model deterministik adalah model gerak harmonik sederhana. Misalkan kita memiliki sebuah benda ber-massa ( $m$ ) yang digantung pada sebuah pegas dengan konstanta pegas ( $k$ ). Persamaan gerak untuk sistem ini dapat dituliskan sebagai:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0 \quad (2.1)$$

dengan  $x(t)$  adalah perpindahan massa dari posisi keseimbangan sebagai fungsi waktu,  $m$  adalah massa benda, dan  $k$  adalah konstanta pegas. Persamaan diferensial ini memiliki solusi dalam bentuk:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2.2)$$

dengan  $A$  adalah amplitudo gerak,  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$  adalah frekuensi sudut, dan  $\phi$  adalah fase awal.

2) **Stokastik:** Model stokastik adalah jenis model dalam pemodelan dan simulasi ketika hasil sistem dipengaruhi oleh elemen acak atau variabel stokastik. Hal ini berbeda dari model deterministik yang memprediksi hasil pasti dari keadaan awal dan aturan yang mengaturnya. Model stokastik fokus pada ketidakpastian dalam hasil simulasi, menggambarkan variasi dalam respons sistem terhadap perubahan

variabel acak. Model ini menggunakan distribusi probabilitas untuk menggambarkan hasil yang mungkin sehingga hasil dari simulasi dapat bervariasi tergantung pada nilai-nilai acak yang digunakan. Model stokastik memiliki keuntungan dalam mengatasi kompleksitas sistem yang melibatkan ketidakpastian dan variasi. Model ini juga lebih realistis dalam menggambarkan fenomena kompleks yang tidak dapat dimodelkan secara deterministik. Namun, penggunaannya memerlukan pemahaman statistik yang kuat dan analisis yang lebih rumit dibandingkan dengan model deterministik. Selain itu, hasil simulasi dapat dipengaruhi oleh keputusan acak dalam memilih nilai-nilai stokastik.

### 2.2.2 Model Diskrit vs. Kontinu

- 1) **Diskrit:** Model diskrit adalah jenis model dalam pemodelan dan simulasi ketika perubahan dalam sistem terjadi pada titik waktu tertentu atau langkah diskrit. Model diskrit mencakup perubahan yang terjadi dalam langkah-langkah diskrit atau titik waktu tertentu. Variabel dalam model ini dapat berubah nilainya hanya pada titik waktu diskrit dan tidak pada waktu lainnya. Hal ini sering digunakan untuk memodelkan sistem yang melibatkan proses, seperti antrian, proses manufaktur, atau pengambilan keputusan di waktu tertentu. Salah satu contoh yang umum dari model diskrit adalah model antrian. Dalam model ini, proses kedatangan pelanggan dan pelayanan dilakukan pada titik waktu diskrit. Misalnya, dalam sebuah bank, pencatatan waktu antara kedatangan pelanggan dan waktu layanan adalah diskrit, dengan waktu antara kedatangan pelanggan berikutnya dapat berbeda-beda. Model diskrit memiliki keuntungan dalam menggambarkan perubahan sistem pada titik waktu diskrit, yang lebih sesuai untuk sistem yang prosesnya terjadi dalam langkah-langkah terpisah. Namun, dalam kasus ketika perubahan sistem terjadi secara kontinu atau cepat, model ini mungkin tidak dapat menggambarkan dinamika sistem dengan akurat.
- 2) **Kontinu:** Model kontinu adalah jenis model dalam pemodelan dan simulasi ketika perubahan dalam sistem terjadi secara terus-menerus dalam interval waktu yang sangat kecil. Hal ini berbeda dari model diskrit ketika perubahan terjadi pada titik waktu tertentu atau langkah diskrit. Model kontinu menggambarkan perubahan dalam sistem

secara mulus seiring waktu, tanpa ada titik waktu tertentu ketika perubahan terjadi. Variabel dalam model ini dapat bervariasi secara terus-menerus dan sering dijelaskan dengan menggunakan persamaan diferensial atau fungsi matematis yang kontinu. Salah satu contoh yang umum dari model kontinu adalah model pertumbuhan populasi. Dalam model ini, pertumbuhan populasi dijelaskan oleh persamaan diferensial yang kontinu, ketika laju pertumbuhan populasi dapat bervariasi sepanjang waktu tanpa terputus. Model kontinu memiliki keuntungan dalam menggambarkan perubahan sistem secara mulus seiring waktu, yang berguna untuk sistem yang prosesnya berlangsung secara terus-menerus. Namun, penggunaannya memerlukan pemahaman matematis yang kuat dan sering kali lebih kompleks dibandingkan dengan model diskrit.

### 2.2.3 Model Analitik vs. Simulasi

- 1) **Analitik:** Model analitik adalah jenis model dalam pemodelan dan simulasi ketika perilaku sistem dianalisis menggunakan persamaan matematis yang dapat dipecahkan secara eksplisit untuk mendapatkan solusi analitik. Model analitik mencerminkan solusi matematis eksplisit dari sistem yang memungkinkan untuk analisis yang mendalam tentang hubungan antara variabel sistem. Persamaan matematis ini sering menggambarkan hubungan sebab akibat atau ketergantungan variabel sistem terhadap parameter tertentu. Salah satu contoh yang umum dari model analitik adalah hukum gravitasi Newton. Dalam model ini, gaya gravitasi antara dua benda dengan massa ( $m_1$ ) dan ( $m_2$ ) yang terpisah oleh jarak ( $r$ ), dapat dijelaskan menggunakan persamaan:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.3)$$

dengan  $F$  adalah gaya gravitasi antara dua benda,  $G$  adalah konstanta gravitasi,  $m_1$  dan  $m_2$  adalah massa dua benda, serta  $r$  adalah jarak antara kedua benda. Model analitik memiliki keuntungan dalam memberikan pemahaman yang mendalam tentang hubungan matematis antara variabel sistem yang dapat digunakan untuk meramalkan perilaku sistem dalam berbagai kondisi. Namun,

tidak semua sistem dapat dimodelkan dengan solusi analitik karena kompleksitas atau *non-linearitas* dalam hubungan variabel.

- 2) **Simulasi:** Simulasi adalah teknik dalam pemodelan ketika perilaku sistem dianalisis dengan menyimulasikan proses-proses yang mungkin terjadi di dunia nyata. Simulasi memungkinkan kita untuk mengobservasi dan memahami bagaimana sistem dapat berinteraksi dalam berbagai kondisi. Simulasi mencakup penggunaan komputer atau alat lain untuk menyimulasikan proses-proses yang terjadi dalam sistem. Simulasi dapat bersifat diskrit atau kontinu, tergantung pada bagaimana waktu dan perubahan dalam sistem dipertimbangkan. Salah satu contoh yang umum dari simulasi adalah simulasi jaringan komputer. Dalam simulasi ini, kita dapat memodelkan bagaimana data dikirim melalui jaringan, mengamati latensi dan *throughput* dalam berbagai skenario, serta mengevaluasi kinerja jaringan dalam kondisi yang berbeda. Simulasi memungkinkan kita untuk mengevaluasi berbagai skenario tanpa risiko yang nyata dan untuk mengoptimalkan keputusan atau proses sebelum menerapkannya dalam lingkungan yang sebenarnya. Namun, simulasi juga memiliki keterbatasan dalam hal representasi yang sempurna dari sistem yang kompleks atau tidak terstruktur.

#### 2.2.4 Model Linier vs. Non-Linier

- 1) **Model Linier:** Model linier adalah jenis model matematika ketika hubungan antara variabel dependen dan satu atau lebih variabel independen diwakili oleh persamaan linier. Model ini digunakan secara luas dalam berbagai bidang, seperti ekonomi, fisika, biologi, dan ilmu sosial untuk menganalisis serta memprediksi perilaku sistem. Model linier memiliki karakteristik utama bahwa hubungan antara variabel dependen dan variabel independen adalah linier, yang berarti bahwa perubahan pada variabel independen menyebabkan perubahan proporsional pada variabel dependen. Persamaan umum untuk model linier adalah sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \epsilon \quad (2.4)$$

dengan  $y$  adalah variabel dependen;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  adalah variabel independen;  $\beta_0$  adalah *intercept*;  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  adalah koefisien regresi; serta  $\epsilon$  adalah *error term*.

- 2) **Model Nonlinier:** Model non-linier adalah jenis model matematika ketika hubungan antara variabel dependen dan satu atau lebih variabel independen tidak dapat direpresentasikan oleh persamaan linier. Model ini digunakan untuk menganalisis sistem yang kompleks dengan hubungan yang tidak linier serta sering ditemukan dalam berbagai bidang, seperti fisika, biologi, ekonomi, dan teknik. Model nonlinier mencakup berbagai bentuk hubungan yang lebih kompleks daripada model linier. Persamaan umum untuk model nonlinier dapat dituliskan sebagai:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \epsilon \quad (2.5)$$

dengan  $y$  adalah variabel dependen;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  adalah variabel independen;  $f$  adalah fungsi nonlinier yang menggambarkan hubungan antara variabel; dan  $\epsilon$  adalah *error term*. Model nonlinier memiliki keuntungan dalam kemampuannya untuk menangkap hubungan yang kompleks dan realistik antara variabel. Model ini dapat memberikan pemahaman yang lebih akurat tentang sistem yang dipelajari. Namun, model nonlinier juga memiliki keterbatasan, termasuk kesulitan dalam estimasi parameter, kebutuhan akan metode komputasi yang lebih canggih, serta potensi untuk *overfitting* jika model terlalu kompleks.

### 2.3 PROSES PEMODELAN: TAHAPAN DAN METODOLOGI

Proses pemodelan terdiri dari beberapa tahapan utama yang harus diikuti untuk membangun model yang efektif.

1. **Identifikasi Masalah:** Memahami masalah yang akan dipecahkan dan tujuan pemodelan. Hal ini termasuk mengidentifikasi sistem yang akan dimodelkan, tujuan pemodelan, dan pertanyaan penelitian yang ingin dijawab

2. **Pengumpulan Data:** Mengumpulkan data yang relevan untuk menginformasikan model. Data ini bisa berasal dari pengamatan langsung, eksperimen, atau literatur yang sudah ada. Data yang akurat dan relevan sangat penting untuk validitas model.
3. **Pengembangan Model:** Membangun representasi abstrak dari sistem menggunakan alat dan teknik yang sesuai. Hal ini termasuk memilih jenis model yang tepat (deterministik, stokastik, diskrit, atau kontinu) dan memformulasikan hubungan antarvariabel dan parameter.
4. **Verifikasi dan Validasi:** Memastikan model bekerja dengan benar dan akurat merepresentasikan sistem nyata.
  - a. **Verifikasi:** Proses memeriksa bahwa model telah diimplementasikan dengan benar tanpa kesalahan logis atau kesalahan pemrograman.
  - b. **Validasi:** Proses memastikan bahwa model secara akurat merepresentasikan sistem nyata. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan data nyata atau hasil eksperimen.
5. **Implementasi dan Penggunaan:** Menggunakan model untuk memprediksi dan mengoptimalkan perilaku sistem. Model dapat digunakan untuk menjalankan simulasi di bawah berbagai kondisi untuk mengevaluasi respons sistem.
6. **Evaluasi dan Pemeliharaan:** Mengevaluasi hasil dan melakukan penyesuaian jika diperlukan. Model perlu diperbarui dan dipelihara untuk tetap relevan dan akurat seiring perubahan dalam sistem nyata.

## 2.4 STUDI KASUS: PEMODELAN SISTEM ANTREAN

Sebagai contoh penerapan konsep dasar pemodelan, mari kita lihat studi kasus pemodelan sistem antrean di sebuah bank. Pada kasus ini, bank ingin mengoptimalkan waktu tunggu pelanggan dengan menambah atau mengurangi jumlah teller. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, dilakukan pemodelan dengan tahap-tahap berikut:

1. **Identifikasi Masalah:** Mengurangi waktu tunggu pelanggan dengan mengoptimalkan jumlah teller.
2. **Pengumpulan Data:** Mengumpulkan data waktu kedatangan dan layanan pelanggan di bank.

3. **Pengembangan Model:** Membangun model antrean menggunakan teori antrean dan perangkat lunak simulasi.
4. **Verifikasi dan Validasi:** Memastikan model merepresentasikan antrean di bank dengan akurat melalui pengujian dan validasi.
5. **Implementasi dan Penggunaan:** Menjalankan simulasi untuk mengevaluasi berbagai skenario jumlah teller dan dampaknya terhadap waktu tunggu pelanggan.
6. **Evaluasi dan Pemeliharaan:** Mengevaluasi hasil simulasi dan menyesuaikan model jika diperlukan untuk perbaikan lebih lanjut.

Melalui hasil dari simulasi yang dilakukan, bank dapat menentukan jumlah teller optimal yang meminimalkan waktu tunggu pelanggan tanpa menambah biaya operasional secara signifikan.

## 2.5 CONTOH ALAT DAN TEKNIK PEMODELAN

Terdapat berbagai alat dan teknik yang dapat digunakan dalam pemodelan. Berikut ini alat yang dapat digunakan untuk membangun dan menyelesaikan pemodelan matematika:

1. **MATLAB:** Digunakan untuk analisis numerik dan pemodelan matematika.
2. **R:** Digunakan untuk analisis statistik dan pemodelan data.
3. **Python:** Digunakan untuk pemodelan numerik dan data dengan *library*, seperti NumPy, SciPy, dan Pandas.

## 2.6 TANTANGAN DALAM PEMODELAN

Beberapa tantangan utama dalam pemodelan meliputi:

1. **Ketersediaan dan Kualitas Data:** Data yang tidak lengkap atau berkualitas rendah dapat mengurangi akurasi model.
2. **Kompleksitas Sistem:** Sistem yang sangat kompleks mungkin sulit untuk dimodelkan secara akurat.
3. **Asumsi dan Penyederhanaan:** Semua model melibatkan asumsi dan penyederhanaan yang dapat memengaruhi validitas hasil.
4. **Validasi dan Verifikasi:** Memastikan bahwa model valid dan diverifikasi memerlukan usaha dan sumber daya yang signifikan.

## **2.7 RINGKASAN**

Bab ini telah menjelaskan konsep dasar pemodelan, termasuk definisi, klasifikasi, proses, alat, teknik, dan tantangan yang terkait dengan pemodelan. Pada bab-bab berikutnya, kita akan menjelajahi lebih dalam tentang teknik-teknik pemodelan spesifik dan aplikasi dalam berbagai bidang.



# BAB 3

## Teori Simulasi

### 3.1 PENGANTAR

Simulasi adalah proses matematis atau komputasional untuk mereproduksi perilaku sistem nyata atau abstrak. Tujuan dari simulasi adalah untuk memahami, memprediksi, atau menguji perilaku sistem di bawah berbagai kondisi. Simulasi melibatkan penggunaan model matematis, komputer, atau alat lain untuk menyimulasikan interaksi antarkomponen sistem. Model ini dapat berupa model fisik, model matematis, atau model berbasis aturan yang menggambarkan perilaku entitas dalam sistem. Simulasi digunakan dalam berbagai bidang, seperti ilmu komputer, ilmu fisika, ilmu sosial, dan lain-lain. Contoh penerapan termasuk simulasi cuaca untuk memprediksi kondisi cuaca di masa depan, simulasi ekonomi untuk menganalisis dampak kebijakan ekonomi, dan simulasi medis untuk memahami respons tubuh terhadap pengobatan atau penyakit.

### 3.2 JENIS-JENIS SIMULASI

Simulasi dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan berbagai karakteristik.

1. **Simulasi Diskrit:** Simulasi diskrit adalah teknik dalam pemodelan ketika peristiwa atau kejadian dalam sistem dipelajari sebagai urutan diskrit dari waktu. Teknik ini memungkinkan kita untuk memodelkan dan menganalisis sistem yang terdiri dari entitas diskrit yang berinteraksi satu sama lain dalam waktu yang diskrit juga. Simulasi diskrit mencakup representasi entitas individual dalam sistem yang bergerak melalui serangkaian kejadian diskrit. Setiap entitas memiliki properti dan perilaku yang dapat diubah sesuai dengan aturan yang ditentukan dalam simulasi. Simulasi diskrit digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti manufaktur untuk mengoptimalkan aliran produksi, logistik untuk mengatur rute pengiriman, dan sistem transportasi untuk memodelkan aliran lalu lintas. Contoh lain termasuk simulasi antrian, baik dalam antrian bank maupun *supermarket*. Simulasi diskrit memiliki keuntungan dalam memungkinkan pemodelan sistem yang kompleks dengan detail tinggi dan dalam memprediksi efek dari perubahan pada sistem. Namun, simulasi ini memiliki keterbatasan terkait kompleksitas dalam pengembangan model yang akurat dan kebutuhan akan data yang valid untuk validasi yang efektif.
2. **Simulasi Kontinu:** Simulasi kontinu adalah teknik dalam pemodelan ketika perubahan dalam sistem dipelajari sebagai fungsi kontinu dari waktu. Teknik ini memungkinkan kita untuk memodelkan dan menganalisis sistem ketika variabel-variabel dan perubahan terjadi secara berkelanjutan. Simulasi kontinu melibatkan representasi variabel-variabel dalam sistem yang berubah secara mulus seiring dengan perubahan waktu. Model ini memanfaatkan persamaan diferensial atau fungsi matematis untuk menggambarkan interaksi dan perubahan dalam sistem. Simulasi kontinu digunakan dalam banyak bidang ilmu pengetahuan dan teknik, seperti fisika untuk memodelkan pergerakan partikel dalam medan gaya, biologi untuk memprediksi pertumbuhan populasi, dan ekonomi untuk menganalisis dinamika pasar. Simulasi kontinu memiliki keuntungan dalam kemampuannya untuk memodelkan perubahan yang halus dan berkelanjutan dalam sistem. Namun, simulasi ini memiliki keterbatasan terkait kompleksitas dalam pengembangan model yang akurat dan kebutuhan akan data yang valid untuk validasi yang efektif.

- 3. Simulasi Berbasis Agen:** Simulasi Berbasis Agen adalah teknik dalam pemodelan ketika sistem diwakili sebagai kumpulan agen yang independen dan otonom. Setiap agen memiliki kemampuan untuk mengamati lingkungan, membuat keputusan berdasarkan aturan atau strategi tertentu, serta berinteraksi dengan agen lainnya dan dengan lingkungan. Simulasi Berbasis Agen mencakup representasi entitas individu (agen) yang bertindak secara mandiri dan responsif terhadap perubahan dalam lingkungan. Agen dapat memiliki tujuan yang berbeda-beda, strategi yang kompleks, dan kemampuan untuk belajar dari pengalaman atau interaksi. Simulasi Berbasis Agen diterapkan dalam berbagai bidang, seperti ekonomi untuk memodelkan pasar dengan agen yang merupakan pelaku ekonomi, transportasi untuk mengatur lalu lintas dengan agen yang merupakan kendaraan atau pengguna jalan, dan biologi untuk memahami perilaku kawanan hewan. Simulasi Berbasis Agen memiliki keuntungan dalam memodelkan kompleksitas sistem yang melibatkan interaksi antarentitas yang independen. Namun, simulasi ini memiliki keterbatasan terkait kompleksitas dalam pengembangan model yang akurat dan waktu komputasi yang diperlukan untuk simulasi dengan jumlah agen yang besar.
- 4. Simulasi Monte Carlo:** Simulasi Monte Carlo adalah teknik komputasi yang menggunakan pengambilan sampel acak untuk memecahkan masalah matematis dan fisika. Metode ini dinamakan demikian karena kesamaannya dengan permainan peluang yang biasa ditemukan di kasino Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo melibatkan penggunaan bilangan acak untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan hasil dari suatu proses atau sistem. Proses ini dapat digunakan untuk mengestimasi nilai ekspektasi, varians, dan berbagai statistik lainnya. Simulasi Monte Carlo digunakan dalam berbagai bidang, seperti fisika, keuangan, teknik, dan lainnya. Sebagai contoh, dalam keuangan, metode ini digunakan untuk menilai harga derivatif atau untuk memperkirakan risiko portofolio investasi. Dalam fisika, simulasi ini digunakan untuk memodelkan interaksi partikel dan untuk mempelajari sistem termodinamika. Simulasi Monte Carlo memiliki keuntungan dalam kemampuannya untuk menangani masalah yang kompleks dan tidak linier serta untuk memberikan solusi dalam situasi ketika metode analitis tidak dapat digunakan. Namun, simulasi ini memiliki keterbatasan terkait kebutuhan akan komputasi yang intensif

dan waktu yang lama untuk mencapai konvergensi pada hasil yang diinginkan.

### 3.3 ELEMEN DASAR SIMULASI

Setiap model simulasi memiliki beberapa elemen dasar yang perlu didefinisikan, antara lain:

1. **Entitas:** Elemen atau objek dasar yang memiliki atribut dan perilaku tertentu yang berperan sebagai unit fundamental yang mengalami perubahan dan berinteraksi satu sama lain dalam model simulasi. Contoh entitas termasuk pelanggan dalam simulasi antrian, kendaraan dalam simulasi lalu lintas, atau partikel dalam simulasi fisika. Dengan mendefinisikan entitas secara tepat, simulasi dapat menggambarkan dinamika sistem yang kompleks dan memberikan wawasan yang mendalam tentang cara kerja sistem tersebut
2. **Atribut:** Properti atau karakteristik yang dimiliki oleh entitas. Atribut digunakan untuk mendeskripsikan keadaan atau informasi penting tentang entitas. Contoh atribut termasuk waktu kedatangan pelanggan dalam simulasi antrian, kecepatan kendaraan dalam simulasi lalu lintas, atau energi partikel dalam simulasi fisika. Atribut membantu dalam melacak dan mengukur perubahan yang terjadi pada entitas selama simulasi, memungkinkan pemodel untuk menganalisis dan memahami dinamika sistem secara lebih rinci.
3. **Status (States):** Representasi dari kondisi atau keadaan saat ini dari entitas atau sistem. Status mencakup informasi tentang semua atribut penting yang mendefinisikan entitas atau sistem pada waktu tertentu. Misalnya, dalam simulasi antrian, status pelanggan bisa mencakup apakah pelanggan sedang menunggu, dilayani, atau sudah selesai. Status membantu dalam melacak perubahan yang terjadi selama simulasi dan digunakan untuk menentukan langkah atau keputusan berikutnya dalam proses simulasi.
4. **Kejadian (Events):** Insiden atau perubahan yang memengaruhi status entitas atau sistem pada titik waktu tertentu. Kejadian menggerakkan dinamika simulasi dengan mengubah atribut atau status entitas. Contoh kejadian termasuk kedatangan pelanggan baru dalam simulasi antrian, perubahan lampu lalu lintas dalam simulasi transportasi, atau terjadinya reaksi kimia dalam simulasi laboratorium. Kejadian menentukan urutan dan waktu terjadinya perubahan dalam simulasi,

memungkinkan pemodel untuk mempelajari bagaimana sistem merespons berbagai situasi.

5. **Proses (*Processes*):** Serangkaian langkah atau aktivitas yang dilakukan oleh entitas untuk mencapai tujuan tertentu atau untuk menggambarkan alur kerja dalam sistem. Proses mencakup interaksi antara entitas dan respons terhadap kejadian yang terjadi selama simulasi. Misalnya, dalam simulasi manufaktur, proses dapat mencakup tahapan produksi dari bahan mentah hingga produk jadi. Proses menentukan bagaimana dan kapan entitas berubah atau bertransisi dari satu status ke status lainnya, memberikan struktur dan dinamika pada model simulasi.

### 3.4 LANGKAH-LANGKAH DALAM SIMULASI

Proses simulasi terdiri dari beberapa langkah penting yang harus diikuti untuk memastikan akurasi dan validitas hasil.

1. **Definisi Masalah dan Tujuan:** Langkah pertama adalah menentukan masalah yang akan dipecahkan dan tujuan simulasi. Hal ini melibatkan identifikasi sistem yang akan dimodelkan, penentuan tujuan spesifik dari simulasi, dan pertanyaan penelitian yang ingin dijawab.
2. **Pengembangan Model Konseptual:** Langkah kedua adalah membuat model abstrak dari sistem yang akan disimulasikan. Hal ini mencakup identifikasi entitas, atribut, status, kejadian, dan proses. Model konseptual harus cukup rinci untuk menangkap dinamika utama dari sistem, tetapi tetap sederhana agar dapat diimplementasikan dengan efisien.
3. **Pemilihan Perangkat Lunak Simulasi:** Langkah ketiga adalah memilih alat atau perangkat lunak yang akan digunakan untuk membangun dan menjalankan model simulasi. Pemilihan perangkat lunak harus mempertimbangkan kemampuan alat dalam menangani jenis simulasi yang diinginkan, kemudahan penggunaan, dan dukungan teknis yang tersedia.
4. **Pembangunan Model Komputer:** Langkah keempat adalah mengimplementasikan model konseptual ke dalam perangkat lunak simulasi. Hal ini melibatkan pemrograman model, memasukkan data yang relevan, dan mengatur parameter simulasi.
5. **Verifikasi Model:** Langkah kelima adalah memastikan model bekerja sesuai dengan spesifikasi dan bebas dari kesalahan. Verifikasi

dilakukan dengan memeriksa kode dan menjalankan tes untuk memastikan bahwa model berfungsi sebagaimana mestinya.

6. **Validasi Model:** Langkah keenam adalah memastikan model merepresentasikan sistem nyata dengan akurat. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data empiris atau hasil eksperimen. Jika hasil simulasi sesuai dengan data nyata, model dianggap valid.
7. **Eksperimen Simulasi:** Langkah ketujuh adalah menjalankan simulasi di bawah berbagai kondisi untuk mengumpulkan data dan mengamati perilaku sistem. Eksperimen dilakukan untuk mengevaluasi berbagai skenario dan memahami bagaimana sistem merespons terhadap perubahan kondisi.
8. **Analisis Hasil:** Langkah kedelapan adalah menganalisis data yang dihasilkan dari simulasi untuk membuat kesimpulan dan rekomendasi. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem, mengidentifikasi masalah potensial, dan mengembangkan strategi untuk perbaikan.
9. **Pelaporan dan Implementasi:** Langkah terakhir adalah menyusun laporan hasil simulasi dan—jika relevan—mengimplementasikan rekomendasi berdasarkan hasil analisis. Laporan harus mencakup deskripsi model, metode eksperimen, hasil, serta rekomendasi yang jelas dan mudah dipahami.

### 3.5 KEUNTUNGAN DAN KETERBATASAN SIMULASI

Simulasi memiliki banyak keuntungan, tetapi juga memiliki beberapa keterbatasan. Beberapa keuntungan dari simulasi adalah:

1. **Penghematan Biaya dan Waktu:** Simulasi memungkinkan pengujian berbagai skenario tanpa perlu melakukan eksperimen fisik yang mahal.
2. **Keamanan:** Dapat menghindari risiko yang mungkin terjadi dalam eksperimen nyata.
3. **Fleksibilitas:** Mudah untuk mengubah dan menyesuaikan model untuk mengakomodasi kondisi yang berbeda.
4. **Visualisasi:** Membantu dalam memvisualisasikan proses dan hasil yang kompleks.

Sementara itu, beberapa keterbatasan dari simulasi adalah:

1. **Kompleksitas:** Pengembangan model simulasi yang akurat bisa sangat kompleks dan memerlukan keahlian khusus.
2. **Waktu Komputasi:** Simulasi yang sangat perinci atau kompleks dapat memerlukan waktu komputasi yang lama.
3. **Kesalahan Model:** Hasil simulasi bergantung pada keakuratan model; asumsi yang salah dapat menghasilkan hasil yang menyesatkan.

### 3.6 CONTOH APLIKASI SIMULASI

Simulasi digunakan dalam berbagai bidang untuk menyelesaikan berbagai masalah. Beberapa contoh aplikasi simulasi meliputi:

1. **Simulasi Manufaktur:** Mengoptimalkan alur produksi dan mengurangi waktu tunggu.
2. **Simulasi Transportasi:** Memprediksi lalu lintas dan merencanakan infrastruktur jalan.
3. **Simulasi Epidemiologi:** Mempelajari penyebaran penyakit dan efektivitas intervensi Kesehatan.
4. **Simulasi Keuangan:** Menilai risiko investasi dan mengembangkan strategi portofolio.
5. **Simulasi Militer:** Melatih personel dan merencanakan operasi militer.

### 3.7 STUDI KASUS: SIMULASI LALU LINTAS PERKOTAAN

Sebagai contoh penerapan teori simulasi, mari kita lihat studi kasus simulasi lalu lintas perkotaan. Pada kasus ini, pemerintah kota ingin mengurangi kemacetan lalu lintas di pusat kota dengan mengoptimalkan sinyal lalu lintas. Adapun tahap-tahap simulasi yang dapat dilakukan adalah:

1. **Definisi Masalah dan Tujuan:** Mengurangi kemacetan lalu lintas dan waktu tunggu di persimpangan utama.
2. **Pengembangan Model Konseptual:** Membuat model lalu lintas yang mencakup kendaraan, persimpangan, dan sinyal lalu lintas.
3. **Pemilihan Perangkat Lunak Simulasi:** Menggunakan perangkat lunak simulasi lalu lintas.

4. **Pembangunan Model Komputer:** Mengimplementasikan model konseptual ke dalam perangkat lunak simulasi.
5. **Verifikasi Model:** Memastikan model berjalan sesuai dengan spesifikasi tanpa kesalahan.
6. **Validasi Model:** Membandingkan hasil simulasi dengan data lalu lintas nyata untuk memastikan akurasi.
7. **Eksperimen Simulasi:** Menjalankan simulasi untuk berbagai skenario pengaturan sinyal lalu lintas.
8. **Analisis Hasil:** Menganalisis hasil simulasi untuk menentukan pengaturan sinyal yang optimal.
9. **Pelaporan dan Implementasi:** Menyusun laporan hasil dan merekomendasikan implementasi pengaturan sinyal baru.

Melalui hasil dari simulasi yang dilakukan, pemerintah kota dapat mengidentifikasi pengaturan sinyal lalu lintas yang mengurangi kemacetan dan meningkatkan aliran lalu lintas.

### 3.8 PERANGKAT LUNAK SIMULASI

Beberapa perangkat lunak yang sering digunakan untuk simulasi meliputi:

1. **AnyLogic:** Mendukung simulasi berbasis agen, diskrit, dan sistem dinamis.
2. **Simul8:** Cocok untuk simulasi proses bisnis dan sistem antrian.
3. **Arena:** Banyak digunakan dalam industri manufaktur dan logistik.
4. **MATLAB/Simulink:** Digunakan untuk simulasi sistem dinamis dan analisis numerik.
5. **VISSIM:** Digunakan untuk simulasi lalu lintas dan transportasi.

### 3.9 TANTANGAN DALAM SIMULASI

Simulasi memiliki beberapa tantangan yang perlu diperhatikan:

1. **Validasi dan Verifikasi:** Memastikan model simulasi akurat dan bebas dari kesalahan.
2. **Kompleksitas Model:** Model yang terlalu kompleks bisa sulit untuk dikembangkan dan dipahami.

3. **Keterbatasan Data:** Data yang tidak lengkap atau tidak akurat dapat memengaruhi hasil simulasi.
4. **Waktu Komputasi:** Simulasi yang kompleks dapat memerlukan waktu komputasi yang lama dan sumber daya yang besar.

### 3.10 RINGKASAN

Bab ini telah menjelaskan teori simulasi, termasuk pengertian, jenis-jenis simulasi, elemen dasar, langkah-langkah, keuntungan, keterbatasan, dan aplikasi simulasi. Pada bab-bab berikutnya, kita akan menggali lebih dalam tentang teknik-teknik simulasi spesifik dan aplikasi dalam berbagai bidang.



# BAB 4

## Pemodelan Matematika

### 4.1 PENGANTAR

Pemodelan matematika adalah proses penggunaan persamaan dan konsep matematis untuk merepresentasikan, menganalisis, dan memprediksi fenomena dunia nyata. Pemodelan ini bertujuan untuk menciptakan abstraksi yang akurat dari sistem atau proses yang kompleks, memungkinkan pemahaman yang lebih baik, optimisasi, dan pengambilan keputusan yang didasarkan pada analisis matematis. Pemodelan matematika terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk variabel, parameter, dan hubungan matematis. Variabel merepresentasikan aspek-aspek dari sistem yang dapat berubah, sedangkan parameter adalah konstanta yang memengaruhi perilaku sistem. Hubungan matematis—yang dapat berupa persamaan atau ketidaksetaraan—menggambarkan interaksi antara variabel dan parameter.

### 4.2 DASAR-DASAR ALJABAR

Aljabar adalah cabang matematika yang mempelajari operasi dan hubungan antara elemen-elemen yang sering dinyatakan dalam bentuk

simbol. Beberapa konsep dasar dalam aljabar yang penting untuk pemodelan matematika meliputi sebagai berikut.

#### 4.2.1 Persamaan dan Pertidaksamaan

Persamaan dan pertidaksamaan merupakan konsep fundamental dalam aljabar yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara dua ekspresi matematis. Keduanya memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi matematika, sains, dan teknik.

- 1) **Persamaan** adalah pernyataan yang menyatakan bahwa dua ekspresi matematis adalah setara. Persamaan biasanya dituliskan dalam bentuk:

$$f(x) = g(x)$$

dengan  $f(x)$  dan  $g(x)$  adalah dua ekspresi yang melibatkan variabel  $x$ . Tujuan utama dari mempelajari persamaan adalah untuk menemukan nilai  $x$  yang membuat persamaan tersebut benar. Proses ini disebut sebagai penyelesaian persamaan. Beberapa bentuk persamaan di antaranya persamaan linier dan persamaan kuadrat. Persamaan linier adalah persamaan yang dapat dituliskan dalam bentuk:

$$ax + b = 0$$

dengan  $a$  dan  $b$  adalah konstanta. Penyelesaian persamaan ini adalah:

$$x = -\frac{b}{a}$$

Adapun persamaan kuadrat adalah persamaan yang dapat dituliskan dalam bentuk:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

dengan  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah konstanta. Secara sederhana, penyelesaian persamaan ini diberikan oleh rumus kuadrat:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

- 2) **Pertidaksamaan** adalah pernyataan yang menyatakan bahwa satu ekspresi lebih besar atau lebih kecil dari yang lain. Pertidaksamaan biasanya dituliskan dalam bentuk:

$$f(x) \leq g(x) \text{ atau } f(x) \geq g(x)$$

dengan  $f(x)$  dan  $g(x)$  adalah dua ekspresi yang melibatkan variabel  $x$ . Tujuan dari mempelajari pertidaksamaan adalah untuk menemukan nilai  $x$  yang membuat pertidaksamaan tersebut benar.

Persamaan dan pertidaksamaan digunakan dalam berbagai bidang, termasuk fisika, ekonomi, biologi, dan teknik, seperti untuk memodelkan fenomena alam, menyelesaikan masalah optimasi, dan menganalisis sistem dinamis.

#### 4.2.2 Fungsi

Fungsi adalah konsep fundamental dalam aljabar yang menggambarkan hubungan antara dua himpunan. Fungsi menghubungkan setiap elemen di satu himpunan (domain) dengan tepat satu elemen di himpunan lain (kodomain). Fungsi adalah aturan yang mengasosiasikan setiap elemen dari domain dengan tepat satu elemen dari kodomain. Fungsi  $f$  dari himpunan  $X$  ke himpunan  $Y$  biasanya dinotasikan sebagai:

$$f : X \rightarrow Y$$

Jika  $x \in X$  maka  $f(x) \in Y$  adalah elemen yang diasosiasikan dengan  $x$  oleh fungsi  $f$ .

Fungsi dapat direpresentasikan dalam berbagai cara, termasuk:

- 1) **Notasi Ekspresi:** Fungsi dapat dinyatakan dalam bentuk ekspresi matematis, misalnya  $f(x) = 2x + 3$ .
- 2) **Tabel:** Fungsi dapat direpresentasikan dalam bentuk tabel yang mencantumkan pasangan nilai domain dan kodomain.
- 3) **Grafik:** Fungsi dapat digambarkan secara visual dengan grafik di bidang kartesius yang menunjukkan hubungan antara nilai domain dan kodomain.

Fungsi dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat dan bentuknya. Beberapa jenis fungsi yang umum termasuk:

- 1) **Fungsi Linier:** Fungsi yang memiliki bentuk  $f(x) = ax + b$ , dengan  $a$  dan  $b$  adalah konstanta.
- 2) **Fungsi Kuadrat:** Fungsi yang memiliki bentuk  $f(x) = ax^2 + bx + c$ , dengan  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah konstanta.
- 3) **Fungsi Eksponensial:** Fungsi yang memiliki bentuk  $f(x) = ae^{bx}$ , dengan  $a$  dan  $b$  adalah konstanta.
- 4) **Fungsi Logaritma:** Fungsi yang memiliki bentuk  $f(x) = \log_a(x)$ , dengan  $a$  adalah basis logaritma.

### 4.2.3 Matriks dan Vektor

Matriks dan vektor adalah konsep fundamental dalam aljabar linear yang merupakan cabang dari matematika yang mempelajari ruang vektor dan transformasi linear. Matriks dan vektor digunakan secara luas dalam berbagai bidang, seperti fisika, ekonomi, teknik, dan ilmu komputer. Matriks adalah susunan persegi panjang dari elemen-elemen, yang diatur dalam baris dan kolom. Matriks  $A$  dengan ukuran  $M \times N$  dapat dituliskan sebagai:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

dengan  $a_{ij}$  adalah elemen di baris ke- $i$  dan kolom ke- $j$ . Operasi dasar pada matriks mencakup penjumlahan, pengurangan, perkalian, *determinant*, dan invers matriks.

- 1) **Penjumlahan matriks:** Jika  $A$  dan  $B$  adalah matriks dengan ukuran  $m \times n$  maka  $A + B$  adalah matriks berukuran  $m \times n$  yang elemen-elemennya adalah penjumlahan elemen-elemen yang bersesuaian dari  $A$  dan  $B$ .

kapasitas di stasiun kerja yang mengalami *bottleneck*, redistribusi beban kerja, dan penyesuaian jadwal produksi.

- 6. Implementasi dan Monitoring:** Solusi yang diusulkan diimplementasikan dalam sistem nyata dan kinerjanya dipantau secara berkelanjutan. Hasil menunjukkan peningkatan *throughput*, pengurangan *lead time*, dan peningkatan efisiensi proses produksi secara keseluruhan.

Berikut adalah contoh kode Python untuk mensimulasikan proses produksi:

```
import random

# Parameter simulasi
RANDOM_SEED = 42
NUM_MACHINES = 2 # Jumlah mesin di stasiun kerja
TIME_PER_UNIT = 10 # Waktu siklus rata-rata per unit (menit)
SIM_TIME = 100 # Waktu simulasi (menit)

# Inisialisasi variabel
random.seed(RANDOM_SEED)
current_time = 0
units_produced = 0
machines_busy = 0
events = []

# Fungsi untuk menjadwalkan peristiwa
def schedule_event(time, event_type, unit_id):
    events.append((time, event_type, unit_id))
    events.sort()

# Fungsi untuk menangani peristiwa produksi
def handle_production_start(unit_id):
    global machines_busy
    if machines_busy < NUM_MACHINES:
        machines_busy += 1
        finish_time = current_time + random.
            expovariate(1.0 / TIME_PER_UNIT)
        schedule_event(finish_time, 'finish', unit_id)
        print(f'Unit {unit_id} memulai produksi
            pada {current_time:.2f} dan selesai pada
            {finish_time:.2f}')
    else:
```

```

        print(f'Unit {unit_id} menunggu pada
        {current_time:.2f}')

# Fungsi untuk menangani peristiwa selesai produksi
def handle_production_finish(unit_id):
    global machines_busy, units_produced
    machines_busy -= 1
    units_produced += 1
    print(f'Unit {unit_id} selesai produksi pada {current_
    time:.2f}')

# Simulasi produksi
for unit_id in range(1, 6):
    schedule_event(random.expovariate(1.0 / TIME_PER_
    UNIT), 'start', unit_id)

while current_time < SIM_TIME and events:
    current_time, event_type, unit_id = events.pop(0)
    if event_type == 'start':
        handle_production_start(unit_id)
    elif event_type == 'finish':
        handle_production_finish(unit_id)

print(f'Total unit diproduksi: {units_produced}')

```

Berikut ini penjelasan kode program:

1. **Inisialisasi Parameter Simulasi:** Menentukan parameter simulasi termasuk jumlah mesin, waktu siklus per unit, dan waktu simulasi.
2. **Inisialisasi Variabel:** Menginisialisasi variabel untuk melacak waktu saat ini, jumlah unit yang diproduksi, jumlah mesin yang sedang digunakan, dan daftar peristiwa yang dijadwalkan.
3. **Fungsi untuk Menjadwalkan Peristiwa:** Mendefinisikan fungsi untuk menjadwalkan peristiwa produksi dengan menambahkan peristiwa ke daftar peristiwa dan mengurutkannya berdasarkan waktu.
4. **Fungsi untuk Menangani Peristiwa Produksi:** Mendefinisikan fungsi untuk menangani peristiwa produksi dengan memulai produksi jika ada mesin yang tersedia dan menjadwalkan peristiwa selesai produksi.
5. **Fungsi untuk Menangani Peristiwa Selesai Produksi:** Mendefinisikan fungsi untuk menangani peristiwa selesai produksi

dengan mengurangi jumlah mesin yang sedang digunakan dan meningkatkan jumlah unit yang diproduksi.

6. **Simulasi Produksi:** Melakukan simulasi produksi dengan menjadwalkan peristiwa awal produksi untuk beberapa unit dan menjalankan simulasi hingga waktu simulasi habis atau tidak ada lagi peristiwa yang dijadwalkan.

Berikut ini contoh *output* yang dihasilkan dari simulasi:

```
Unit 2 memulai produksi pada 0.25 dan selesai pada 11.55
Unit 4 memulai produksi pada 2.53 dan selesai pada 24.80
Unit 3 menunggu pada 3.22
Unit 1 menunggu pada 10.20
Unit 2 selesai produksi pada 11.55
Unit 5 memulai produksi pada 13.34 dan selesai pada 14.25
Unit 5 selesai produksi pada 14.25
Unit 4 selesai produksi pada 24.80
Total unit diproduksi: 3
```

## 12.5 RINGKASAN

Bab ini telah menjelaskan konsep dasar pemodelan sistem industri, termasuk definisi, jenis-jenis pemodelan, metrik kinerja, langkah-langkah dalam pemodelan, aplikasi, studi kasus, serta keunggulan dan keterbatasan pemodelan sistem industri. Pemodelan sistem industri adalah alat yang sangat berguna untuk memahami, menganalisis, serta mengoptimalkan proses dan sistem dalam lingkungan industri. Dengan pemodelan sistem industri, kita dapat mengidentifikasi permasalahan, mengevaluasi solusi, serta merancang sistem yang lebih efisien dan efektif.



# BAB 13

## Pemodelan dan Simulasi pada Ilmu Sosial

### 13.1 PENGANTAR

Pemodelan dan simulasi pada ilmu sosial digunakan untuk memahami dan menganalisis fenomena sosial melalui representasi matematis atau komputasi dari sistem sosial. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi dinamika interaksi sosial, menguji teori, dan memprediksi konsekuensi dari kebijakan atau intervensi.

### 13.2 KONSEP DASAR PEMODELAN DAN SIMULASI PADA ILMU SOSIAL

Pemodelan dan simulasi pada ilmu sosial melibatkan beberapa konsep dasar yang penting untuk dipahami, yaitu:

1. **Sistem Sosial:** Kumpulan individu atau kelompok yang saling berinteraksi dan membentuk struktur sosial. Contohnya termasuk keluarga, komunitas, organisasi, dan masyarakat.
2. **Dinamika Sosial:** Perubahan dalam interaksi sosial, struktur, dan perilaku individu dalam sistem sosial. Hal ini bisa mencakup perubahan dalam norma sosial, mobilitas sosial, atau penyebaran informasi.

Metrik kinerja yang biasa digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi kinerja sistem sosial, di antaranya:

1. **Kesejahteraan Sosial:** Tingkat kesejahteraan individu atau kelompok dalam sistem sosial yang bisa diukur melalui indikator ekonomi, kesehatan, pendidikan, dan kualitas hidup.
2. **Kohesi Sosial:** Tingkat keterikatan dan solidaritas antara individu atau kelompok dalam sistem sosial.
3. **Kesetaraan Sosial:** Tingkat kesetaraan dalam distribusi sumber daya, kesempatan, dan hak di antara individu atau kelompok dalam sistem sosial.
4. **Partisipasi Sosial:** Tingkat keterlibatan individu atau kelompok dalam proses sosial, politik, dan ekonomi.

### 13.3 CONTOH APLIKASI PEMODELAN DAN SIMULASI PADA ILMU SOSIAL

Pemodelan dan simulasi pada ilmu sosial digunakan dalam berbagai bidang untuk menyelesaikan berbagai masalah. Berikut adalah beberapa contoh aplikasinya:

1. **Analisis Jaringan Sosial:** Dalam analisis jaringan sosial, pemodelan digunakan untuk mempelajari hubungan sosial antara individu atau kelompok. Hal ini bisa membantu mengidentifikasi individu berpengaruh, memetakan komunitas, atau memahami penyebaran informasi dan pengaruh sosial. Misalnya, analisis jaringan sosial dapat digunakan untuk mengidentifikasi *influencer* di media sosial atau memahami dinamika kelompok kerja dalam organisasi.
2. **Simulasi Dinamika Populasi:** Dalam simulasi dinamika populasi, pemodelan digunakan untuk mempelajari perubahan dalam struktur demografis suatu populasi. Hal ini bisa melibatkan analisis kelahiran, kematian, migrasi, dan perubahan struktur usia. Contoh aplikasi termasuk perencanaan kebijakan kependudukan, analisis dampak penuaan populasi, dan studi migrasi.
3. **Simulasi Pengambilan Keputusan Politik:** Dalam simulasi pengambilan keputusan politik, pemodelan digunakan untuk memahami dinamika keputusan politik dalam konteks tertentu. Hal ini bisa melibatkan analisis perilaku pemilih, strategi kampanye, atau dinamika legislasi. Contoh aplikasi termasuk analisis pemilu, studi kebijakan publik, dan simulasi proses legislatif.

### 13.4 STUDI KASUS: SIMULASI PENYEBARAN INFORMASI DALAM JARINGAN SOSIAL

Sebagai contoh penerapan pemodelan dan simulasi dalam ilmu sosial, mari kita lihat studi kasus simulasi penyebaran informasi dalam jaringan sosial.

1. **Deskripsi Masalah:** Tujuan dari studi ini adalah untuk memahami bagaimana informasi menyebar dalam jaringan sosial dan mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran tersebut. Informasi dapat berupa berita, rumor, atau ide yang disebarakan dari satu individu ke individu lain melalui interaksi sosial.
2. **Pengumpulan Data:** Data dikumpulkan dari platform media sosial, survei, serta studi lapangan yang mencakup informasi tentang struktur jaringan sosial, frekuensi interaksi, dan karakteristik individu dalam jaringan. Data ini digunakan untuk membangun model jaringan sosial yang akurat.
3. **Pembangunan Model:** Model berbasis agen dibangun untuk merepresentasikan penyebaran informasi dalam jaringan sosial. Setiap agen merepresentasikan individu dengan atribut, seperti status informasi (belum tahu, tahu, atau menyebarkan), tingkat aktivitas sosial, dan kecenderungan untuk menyebarkan informasi. Interaksi antaragen digunakan untuk menyimulasikan penyebaran informasi.
4. **Verifikasi dan Validasi Model:** Model diverifikasi dengan memeriksa apakah semua komponen model telah dibangun dengan benar sesuai dengan spesifikasi. Model divalidasi dengan membandingkan *output* model dengan data historis tentang penyebaran informasi untuk memastikan bahwa model merepresentasikan penyebaran informasi dengan akurat.
5. **Eksperimen dan Analisis:** Eksperimen dilakukan dengan model untuk mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran informasi, seperti tingkat aktivitas sosial, kepercayaan terhadap informasi, dan pengaruh individu berpengaruh. Simulasi berbagai skenario dilakukan untuk mengidentifikasi strategi yang paling efektif dalam menyebarkan informasi atau mengendalikan penyebaran rumor.
6. **Implementasi dan Monitoring:** Solusi yang diusulkan diimplementasikan dalam konteks nyata seperti kampanye informasi publik atau strategi komunikasi pemasaran dan kinerjanya dipantau

secara berkelanjutan. Hasil menunjukkan peningkatan efektivitas penyebaran informasi atau pengendalian penyebaran rumor.

Berikut adalah contoh kode Python untuk menyimulasikan penyebaran informasi dalam jaringan sosial menggunakan pemodelan berbasis agen:

```
import random
import matplotlib.pyplot as plt

# Parameter simulasi
POPULATION_SIZE = 100
INITIAL_INFORMED = 5
INFECTION_RATE = 0.1
SIM_TIME = 50

# Inisialisasi populasi
population = [{'status': 'uninformed'} for _ in range(POPULATION_SIZE)]
for i in range(INITIAL_INFORMED):
    population[i]['status'] = 'informed'

# Fungsi untuk menghitung statistik
def count_status(population):
    uninformed = sum(1 for person in population if
person['status'] == 'uninformed')
    informed = sum(1 for person in population if person['status']
== 'informed')
    spreading = sum(1 for person in population if
person['status'] == 'spreading')
    return uninformed, informed, spreading

# Simulasi penyebaran informasi
history = []
for day in range(SIM_TIME):
    new_informed = []
    for person in population:
        if person['status'] == 'informed':
            if random.random() < INFECTION_RATE:
                person['status'] = 'spreading'
                for _ in range(10): # Asumsikan setiap
orang melakukan kontak dengan 10 orang
per hari
                    contact = random.choice(population)
```

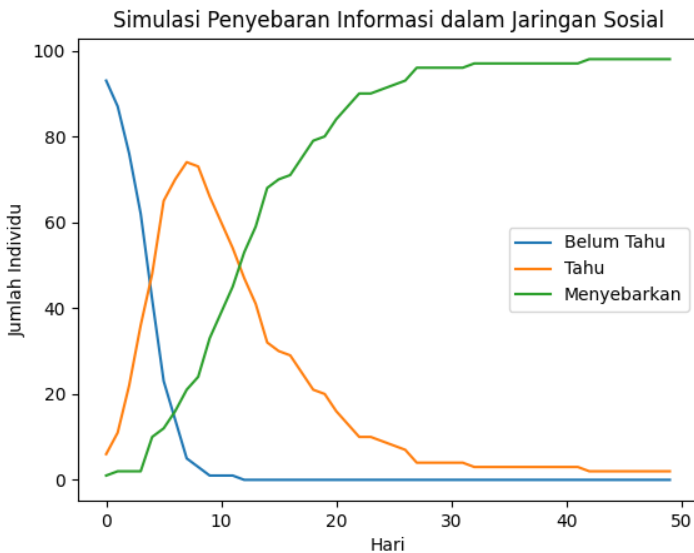
```

        if contact['status'] == 'uninformed'
        and random.random() < INFECTION_
        RATE:
            new_informed.append(contact)
    for person in new_informed:
        person['status'] = 'informed'
    history.append(count_status(population))

# Menampilkan hasil
days = range(SIM_TIME)
uninformed, informed, spreading = zip(*history)
plt.plot(days, uninformed, label='Belum Tahu')
plt.plot(days, informed, label='Tahu')
plt.plot(days, spreading, label='Menyebarkan')
plt.xlabel('Hari')
plt.ylabel('Jumlah Individu')
plt.title('Simulasi Penyebaran Informasi dalam Jaringan
Sosial')
plt.legend() plt.show()

```

Berikut ini contoh hasil plot simulasi penyebaran informasi dalam jaringan sosial:



**Gambar 6** Plot Hasil Simulasi Penyebaran Informasi dalam Jaringan Sosial

Berikut ini penjelasan dari kode program:

1. **Inisialisasi Parameter Simulasi:** Menentukan parameter simulasi termasuk ukuran populasi, jumlah awal individu yang tahu, tingkat infeksi (penyebaran informasi), dan waktu simulasi.
2. **Inisialisasi Populasi:** Menginisialisasi populasi dengan status informasi awal (belum tahu atau tahu).
3. **Fungsi untuk Menghitung Statistik:** Mendefinisikan fungsi untuk menghitung jumlah individu dalam setiap status informasi.
4. **Simulasi Penyebaran Informasi:** Menyimulasikan penyebaran informasi dengan mengubah status individu berdasarkan kontak dan probabilitas infeksi (penyebaran informasi).
5. **Menampilkan Hasil:** Menggunakan pustaka Matplotlib untuk memvisualisasikan hasil simulasi penyebaran informasi.

### 13.5 RINGKASAN

Bab ini telah menjelaskan konsep dasar pemodelan dan simulasi dalam ilmu sosial, termasuk definisi, jenis-jenis pemodelan, metrik kinerja, langkah-langkah dalam pemodelan, aplikasi, serta studi kasus pemodelan dan simulasi pada ilmu sosial. Pemodelan dan simulasi dalam ilmu sosial adalah alat yang sangat berguna untuk memahami, menganalisis, dan mengoptimalkan fenomena sosial. Dengan pemodelan dan simulasi, kita dapat mengidentifikasi masalah, mengevaluasi solusi, serta merancang intervensi yang lebih efektif.



# BAB 14

## Pemodelan Ekosistem dan Lingkungan

### 14.1 PENGANTAR

Pemodelan ekosistem dan lingkungan adalah pendekatan untuk memahami, menganalisis, dan memprediksi dinamika komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem. Pendekatan ini melibatkan representasi matematis atau komputasi dari sistem ekologi untuk mengevaluasi interaksi antara organisme dan lingkungan mereka serta dampak dari perubahan lingkungan atau aktivitas manusia.

### 14.2 KONSEP DASAR PEMODELAN EKOSISTEM DAN LINGKUNGAN

Pemodelan ekosistem dan lingkungan melibatkan beberapa konsep dasar yang penting untuk dipahami.

1. **Komponen Biotik:** Organisme hidup dalam ekosistem, termasuk tanaman, hewan, mikroorganisme, dan manusia. Komponen biotik berinteraksi satu sama lain melalui berbagai hubungan ekologis, seperti predasi, herbivor, dan simbiosis.

2. **Komponen Abiotik:** Faktor fisik dan kimia yang memengaruhi ekosistem, termasuk cahaya matahari, suhu, air, tanah, dan nutrisi. Komponen abiotik berperan penting dalam menentukan struktur dan fungsi ekosistem.
3. **Interaksi Ekologis:** Hubungan timbal balik antara komponen biotik dan abiotik yang membentuk jaringan interaksi yang kompleks dalam ekosistem.

Metrik kinerja yang umum digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi kesehatan dan fungsi ekosistem, di antaranya:

1. **Keanekaragaman Hayati:** Tingkat variasi spesies dalam ekosistem yang dapat diukur melalui indeks keanekaragaman, seperti indeks Shannon atau Simpson.
2. **Produktivitas Primer:** Jumlah biomassa yang dihasilkan oleh produsen primer (misalnya, tanaman) melalui fotosintesis.
3. **Biomassa:** Jumlah total massa organisme hidup dalam ekosistem.
4. **Kualitas Air:** Parameter kimia dan fisik yang menentukan kesehatan ekosistem perairan, seperti pH, suhu, kadar oksigen terlarut, dan kandungan nutrisi.
5. **Kesehatan Tanah:** Parameter fisik, kimia, dan biologis yang menentukan kemampuan tanah untuk mendukung kehidupan tanaman dan organisme tanah lainnya.

### 14.3 CONTOH APLIKASI PEMODELAN EKOSISTEM DAN LINGKUNGAN

Pemodelan ekosistem dan lingkungan digunakan dalam berbagai bidang untuk menyelesaikan berbagai masalah. Berikut adalah beberapa contoh aplikasinya:

1. **Pemodelan Perubahan Iklim:** Dalam pemodelan perubahan iklim, model digunakan untuk mempelajari dampak dari perubahan iklim pada ekosistem dan lingkungan. Hal ini bisa melibatkan analisis perubahan suhu, pola curah hujan, dan kejadian cuaca ekstrem. Contoh aplikasi termasuk prediksi dampak perubahan iklim pada keanekaragaman hayati, produktivitas pertanian, dan kesehatan ekosistem laut.
2. **Pemodelan Restorasi Ekosistem:** Dalam pemodelan restorasi ekosistem, model digunakan untuk merancang dan mengevaluasi strategi restorasi ekosistem yang terdegradasi. Hal ini bisa melibatkan

pemulihan habitat, penanaman kembali vegetasi asli, atau pengelolaan spesies invasif. Contoh aplikasi termasuk restorasi lahan basah, hutan, dan padang rumput.

3. **Pemodelan Kualitas Air:** Dalam pemodelan kualitas air, model digunakan untuk mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi kualitas air dalam ekosistem perairan. Hal ini bisa melibatkan analisis sumber polusi, transportasi nutrisi, dan dinamika ekosistem perairan. Contoh aplikasi termasuk pengelolaan sungai, danau, dan sistem estuari.
4. **Pemodelan Keanekaragaman Hayati:** Dalam pemodelan keanekaragaman hayati, model digunakan untuk mempelajari faktor-faktor yang memengaruhi distribusi dan keanekaragaman spesies dalam ekosistem. Hal ini bisa melibatkan analisis habitat, interaksi spesies, dan dampak perubahan lingkungan. Contoh aplikasi termasuk konservasi spesies langka, pengelolaan kawasan lindung, dan studi ekologi lanskap.

#### 14.4 STUDI KASUS: PEMODELAN EKOSISTEM HUTAN TROPIS DAN DAMPAK DEFORESTASI

Sebagai contoh penerapan pemodelan ekosistem dan lingkungan, mari kita lihat studi kasus pemodelan ekosistem hutan tropis dan dampak deforestasi.

1. **Deskripsi Masalah:** Hutan tropis di daerah tertentu mengalami deforestasi akibat penebangan ilegal, konversi lahan untuk pertanian, dan pembangunan infrastruktur. Tujuan dari studi ini adalah untuk memahami dampak deforestasi pada keanekaragaman hayati dan fungsi ekosistem hutan tropis serta merancang strategi konservasi yang efektif untuk memitigasi dampak tersebut.
2. **Pengumpulan Data:** Data dikumpulkan melalui survei lapangan, citra satelit, serta data historis tentang kondisi hutan tropis sebelum dan sesudah deforestasi. Data ini mencakup informasi tentang jenis dan distribusi spesies, tutupan lahan, biomassa, serta parameter lingkungan, seperti suhu dan curah hujan.
3. **Pembangunan Model:** Model berbasis agen dan sistem dinamis dibangun untuk merepresentasikan dinamika ekosistem hutan tropis dan dampak deforestasi. Model ini mencakup interaksi antarspesies, pertumbuhan vegetasi, dan perubahan lingkungan akibat deforestasi.

Persamaan diferensial dan aturan berbasis agen digunakan untuk menggambarkan proses-proses ini.

4. **Verifikasi dan Validasi Model:** Model diverifikasi dengan memeriksa apakah semua komponen model telah dibangun dengan benar sesuai dengan spesifikasi. Model divalidasi dengan membandingkan *output* model dengan data historis dan pengamatan lapangan untuk memastikan bahwa model merepresentasikan ekosistem hutan tropis dengan akurat.
5. **Eksperimen dan Analisis:** Eksperimen dilakukan dengan model untuk mengevaluasi dampak berbagai skenario deforestasi dan strategi konservasi seperti penanaman kembali pohon, perlindungan kawasan hutan, dan pengelolaan spesies invasif. Simulasi berbagai skenario dilakukan untuk mengidentifikasi strategi yang paling efektif dalam memitigasi dampak deforestasi.
6. **Implementasi dan Monitoring:** Solusi yang diusulkan diimplementasikan dalam konteks nyata melalui program konservasi hutan tropis, dan kinerjanya dipantau secara berkelanjutan. Hasil menunjukkan peningkatan keanekaragaman hayati, pemulihan fungsi ekosistem, dan mitigasi dampak negatif deforestasi.

Berikut adalah contoh kode Python untuk menyimulasikan dampak deforestasi pada ekosistem hutan tropis:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Parameter simulasi
TIME_STEPS = 200
INITIAL_TREES = 0.8
INITIAL_ANIMALS = 0.5
DEFORESTATION_RATE = 0.01
REFORESTATION_RATE = 0.005
ANIMAL_GROWTH_RATE = 0.02
ANIMAL_CARRYING_CAPACITY = 1.0

# Inisialisasi variabel
trees = np.zeros(TIME_STEPS)
animals = np.zeros(TIME_STEPS)
trees[0] = INITIAL_TREES
animals[0] = INITIAL_ANIMALS
```

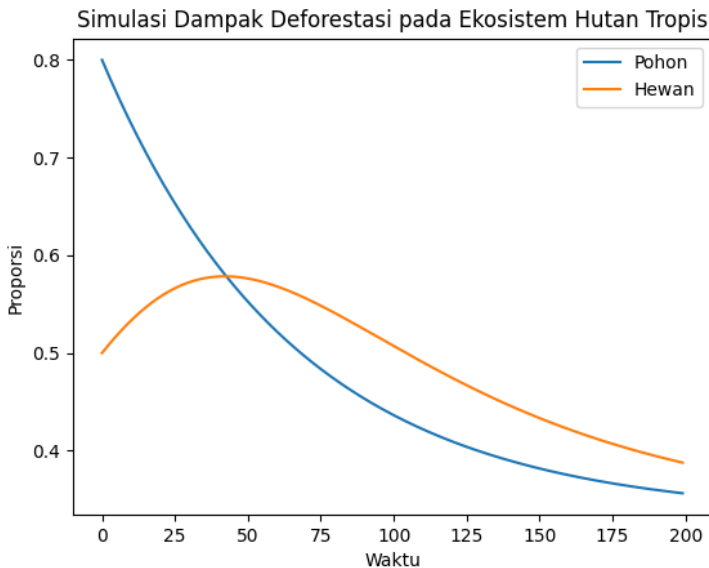
```

# Simulasi dampak deforestasi
for t in range(1, TIME_STEPS):
    trees[t] = trees[t-1] - DEFORESTATION_RATE * trees[t-1]
    + REFORESTATION_RATE * (1 - trees[t-1])
    animals[t] = animals[t-1] + ANIMAL_GROWTH_RATE *
    animals[t-1] * (1 - animals[t-1] / (ANIMAL_CARRYING_
    CAPACITY * trees[t]))

# Menampilkan hasil
time = range(TIME_STEPS)
plt.plot(time, trees, label='Pohon')
plt.plot(time, animals, label='Hewan')
plt.xlabel('Waktu')
plt.ylabel('Proporsi')
plt.title('Simulasi Dampak Deforestasi pada Ekosistem Hutan
Tropis')
plt.legend()
plt.show()

```

Berikut ini contoh plot hasil simulasi dampak deforestasi.



**Gambar 7** Plot Hasil Simulasi Dampak Deforestasi

Berikut ini penjelasan dari kode program:

1. **Inisialisasi Parameter Simulasi:** Menentukan parameter simulasi termasuk jumlah langkah waktu, kondisi awal populasi pohon dan hewan, tingkat deforestasi, tingkat reforestasi, tingkat pertumbuhan hewan, serta kapasitas dukung hewan.
2. **Inisialisasi Variabel:** Menginisialisasi variabel untuk melacak proporsi pohon dan hewan pada setiap langkah waktu.
3. **Simulasi Dampak Deforestasi:** Menyimulasikan dampak deforestasi dengan mengubah proporsi pohon dan hewan berdasarkan persamaan diferensial yang menggambarkan proses deforestasi, reforestasi, dan pertumbuhan populasi hewan.
4. **Menampilkan Hasil:** Menggunakan pustaka Matplotlib untuk memvisualisasikan hasil simulasi dampak deforestasi pada ekosistem hutan tropis.

## 14.5 RINGKASAN

Bab ini telah menjelaskan konsep dasar pemodelan ekosistem dan lingkungan, termasuk definisi, jenis-jenis pemodelan, metrik kinerja, langkah-langkah dalam pemodelan, aplikasi, studi kasus, serta keunggulan dan keterbatasan pemodelan ekosistem dan lingkungan. Pemodelan ekosistem dan lingkungan adalah alat yang sangat berguna untuk memahami, menganalisis, serta mengoptimalkan interaksi antara komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem. Dengan pemodelan ini, kita dapat mengidentifikasi masalah, mengevaluasi solusi, serta merancang intervensi yang lebih efektif untuk konservasi dan restorasi ekosistem.



# BAB 15

## Pemodelan dan Simulasi pada Bidang Kesehatan

### 15.1 PENGANTAR

Pemodelan dan simulasi pada bidang kesehatan dilakukan untuk memahami, menganalisis, serta memprediksi dinamika sistem kesehatan dan penyakit. Pendekatan ini melibatkan representasi matematis atau komputasi dari sistem biologis, epidemiologi, serta interaksi manusia untuk mengevaluasi intervensi kesehatan, merancang kebijakan, dan meningkatkan hasil kesehatan.

### 15.2 KONSEP DASAR PEMODELAN DAN SIMULASI PADA BIDANG KESEHATAN

Pemodelan dan simulasi pada bidang kesehatan melibatkan beberapa konsep dasar yang penting untuk dipahami sebagai berikut:

1. **Sistem Biologis:** Komponen dan proses biologis dalam tubuh manusia, termasuk organ, jaringan, sel, dan molekul. Hal ini mencakup dinamika penyakit, respons imun, dan mekanisme fisiologis.

2. **Epidemiologi:** Studi tentang distribusi dan *determinant* penyakit dalam populasi. Hal ini mencakup pola penularan, faktor risiko, dan statistik kesehatan.
3. **Intervensi Kesehatan:** Tindakan yang dilakukan untuk mencegah, mengobati, atau mengendalikan penyakit. Hal ini bisa mencakup vaksinasi, pengobatan, kebijakan kesehatan, dan edukasi kesehatan.

Metrik kinerja yang biasa digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi hasil kesehatan, di antaranya:

1. **Insidensi dan Prevalensi:** Jumlah kasus baru (insidensi) dan total kasus (prevalensi) penyakit dalam populasi pada periode tertentu.
2. **Mortalitas dan Morbiditas:** Tingkat kematian (mortalitas) dan tingkat penyakit (morbiditas) dalam populasi.
3. **Harapan Hidup:** Rata-rata usia yang diharapkan untuk hidup dalam populasi.
4. **Kualitas Hidup:** Pengukuran subjektif tentang kesejahteraan individu, mencakup aspek fisik, mental, dan sosial.
5. **Efikasi dan Efektivitas:** Efikasi mengukur kemampuan intervensi untuk menghasilkan hasil yang diinginkan dalam kondisi ideal, sedangkan efektivitas mengukur kemampuan intervensi dalam kondisi nyata.

### 15.3 CONTOH APLIKASI PEMODELAN DAN SIMULASI PADA BIDANG KESEHATAN

Pemodelan dan simulasi pada bidang kesehatan digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah kesehatan. Berikut adalah beberapa contoh aplikasinya:

1. **Pemodelan Penyebaran Penyakit Menular:** Dalam pemodelan penyebaran penyakit menular, model digunakan untuk mempelajari bagaimana penyakit menular menyebar dalam populasi. Hal ini bisa melibatkan analisis faktor-faktor yang memengaruhi penyebaran, seperti tingkat kontak, tingkat infeksi, dan efektivitas intervensi kesehatan. Contoh aplikasi termasuk pemodelan penyebaran influenza, HIV/AIDS, atau Covid-19.
2. **Pemodelan Pengelolaan Penyakit Kronis:** Dalam pemodelan pengelolaan penyakit kronis, model digunakan untuk merancang dan mengevaluasi strategi pengelolaan penyakit kronis seperti diabetes,

hipertensi, atau penyakit jantung. Hal ini bisa melibatkan analisis efek dari pengobatan, perubahan gaya hidup, dan intervensi pencegahan. Contoh aplikasi termasuk pengelolaan diabetes dengan perubahan pola makan dan aktivitas fisik.

3. **Pemodelan Respons Imun dan Pengobatan Kanker:** Dalam pemodelan respons imun dan pengobatan kanker, model digunakan untuk mempelajari dinamika respons imun terhadap kanker dan efektivitas pengobatan kanker, seperti kemoterapi, imunoterapi, atau terapi target. Ini bisa melibatkan analisis interaksi antara sel kanker, sel imun, dan obat-obatan. Contoh aplikasi termasuk pemodelan respons imun terhadap tumor dan optimasi dosis kemoterapi.
4. **Pemodelan Kesehatan Masyarakat:** Dalam pemodelan kesehatan masyarakat, model digunakan untuk merancang dan mengevaluasi kebijakan kesehatan masyarakat yang bertujuan untuk meningkatkan kesehatan populasi. Hal ini bisa melibatkan analisis dampak dari program vaksinasi, kampanye kesehatan, atau kebijakan lingkungan. Contoh aplikasi termasuk pemodelan dampak program vaksinasi massal dan kebijakan antimerokok.

#### 15.4 STUDI KASUS: PEMODELAN PENYEBARAN PENYAKIT MENULAR DENGAN MODEL SIR

Sebagai contoh penerapan pemodelan dan simulasi kesehatan, mari kita lihat studi kasus pemodelan penyebaran penyakit menular menggunakan model SIR (*Susceptible-Infected-Recovered*) yang diselesaikan menggunakan metode *Euler*.

1. **Deskripsi Masalah:** Tujuan dari studi ini adalah untuk memahami penyebaran penyakit menular dalam suatu populasi dan mengevaluasi efektivitas berbagai strategi intervensi seperti vaksinasi dan isolasi. Penyakit yang dimodelkan memiliki periode infeksi dan kemungkinan penyembuhan atau kematian.
2. **Model SIR:** Model SIR membagi populasi menjadi tiga kelompok, yaitu:
  - a. **S (*Susceptible*):** Individu yang rentan terhadap infeksi.
  - b. **I (*Infected*):** Individu yang terinfeksi dan dapat menularkan penyakit.
  - c. **R (*Recovered*):** Individu yang sembuh dan memiliki kekebalan atau meninggal.

Model ini dapat dinyatakan dengan sistem persamaan diferensial berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta SI \\ \frac{dI}{dt} &= \beta SI - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I\end{aligned}$$

dengan  $\beta$  adalah laju penularan dan  $\gamma$  adalah laju pemulihan.

- 2. Metode Euler untuk Model SIR:** Metode *Euler* adalah metode numerik sederhana untuk menyelesaikan sistem persamaan diferensial. Dengan metode ini, perubahan setiap variabel dihitung dalam langkah-langkah waktu diskret. Berikut adalah langkah-langkah untuk menyelesaikan model SIR menggunakan metode Euler:

$$\begin{aligned}S_{t+1} &= S_t + \Delta t(-\beta S_t I_t) \\ I_{t+1} &= I_t + \Delta t(\beta S_t I_t - \gamma I_t) \\ R_{t+1} &= R_t + \Delta t(\gamma I_t)\end{aligned}$$

Berikut adalah contoh kode Python untuk simulasi penyebaran penyakit menular menggunakan model SIR:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Parameter simulasi
beta = 0.3 # Laju penularan
gamma = 0.1 # Laju pemulihan
dt = 0.1 # Langkah waktu
T = 160 # Waktu simulasi
N = 1000 # Ukuran populasi

# Inisialisasi variabel
S = np.zeros(int(T/dt))
I = np.zeros(int(T/dt))
R = np.zeros(int(T/dt))
S[0] = 999 # Individu rentan awal
I[0] = 1 # Individu terinfeksi awal
```

```

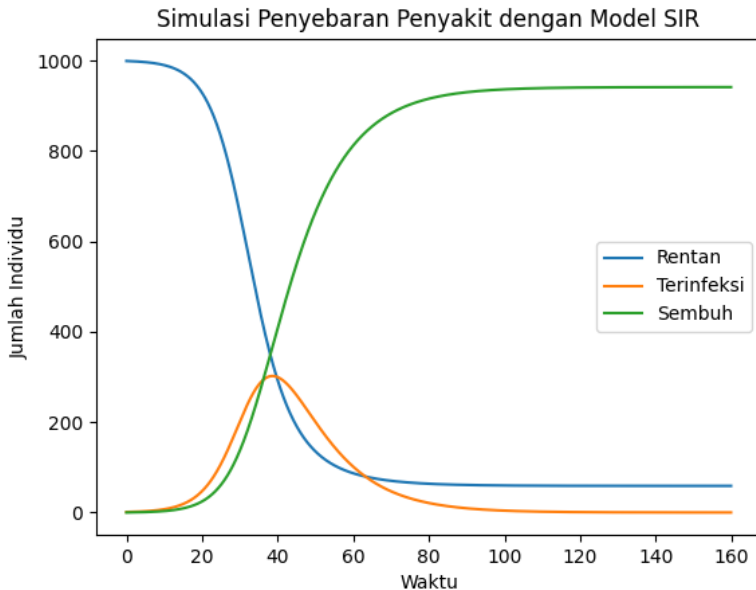
R[0] = 0 # Individu sembuh awal

# Simulasi dengan metode Euler
for t in range(1, int(T/dt)):
    S[t] = S[t-1] - dt * beta * S[t-1] * I[t-1] / N
    I[t] = I[t-1] + dt * (beta * S[t-1] * I[t-1] / N -
        gamma * I[t-1])
    R[t] = R[t-1] + dt * gamma * I[t-1]

# Menampilkan hasil
time = np.arange(0, T, dt)
plt.plot(time, S, label='Rentan')
plt.plot(time, I, label='Terinfeksi')
plt.plot(time, R, label='Sembuh')
plt.xlabel('Waktu')
plt.ylabel('Jumlah Individu')
plt.title('Simulasi Penyebaran Penyakit dengan Model SIR')
plt.legend()
plt.show()

```

Berikut ini contoh plot hasil simulasi penyebaran penyakit dengan model SIR:



**Gambar 8** Plot Hasil Simulasi Penyebaran Penyakit dengan Model SIR

Berikut ini penjelasan dari kode program:

1. **Inisialisasi Parameter Simulasi:** Menentukan parameter simulasi termasuk laju penularan ( $\beta$ ), laju pemulihan ( $\gamma$ ), langkah waktu ( $\Delta t$ ), waktu simulasi ( $T$ ), dan ukuran populasi ( $N$ ).
2. **Inisialisasi Variabel:** Menginisialisasi variabel untuk melacak jumlah individu yang rentan ( $S$ ), terinfeksi ( $I$ ), dan sembuh ( $R$ ) pada setiap langkah waktu.
3. **Simulasi dengan Metode Euler:** Menyimulasikan penyebaran penyakit dengan memperbarui jumlah individu yang rentan, terinfeksi, dan sembuh menggunakan metode Euler.
4. **Menampilkan Hasil:** Menggunakan pustaka Matplotlib untuk memvisualisasikan hasil simulasi penyebaran penyakit dengan model SIR.

## 15.5 RINGKASAN

Bab ini telah menjelaskan konsep dasar pemodelan dan simulasi kesehatan, termasuk definisi, jenis-jenis pemodelan, metrik kinerja, langkah-langkah dalam pemodelan, aplikasi, studi kasus pemodelan penyebaran penyakit menular dengan model SIR, keunggulan dan keterbatasan pemodelan, serta simulasi kesehatan. Pemodelan dan simulasi kesehatan adalah alat yang sangat berguna untuk memahami, menganalisis, dan mengoptimalkan dinamika sistem kesehatan. Dengan pemodelan ini, kita dapat mengidentifikasi masalah, mengevaluasi solusi, serta merancang intervensi yang lebih efektif untuk meningkatkan hasil kesehatan.



# BAB 16

## Pemodelan dan Simulasi Lalu Lintas

### 16.1 PENGANTAR

Pemodelan dan simulasi lalu lintas dilakukan untuk memahami, menganalisis, dan memprediksi dinamika lalu lintas kendaraan. Pendekatan ini melibatkan representasi matematis atau komputasi dari perilaku pengemudi, interaksi antarkendaraan, serta kondisi jalan untuk mengevaluasi kebijakan transportasi, mengelola kemacetan, dan meningkatkan keselamatan jalan raya.

### 16.2 KONSEP DASAR PEMODELAN DAN SIMULASI LALU LINTAS

Pemodelan dan simulasi lalu lintas melibatkan beberapa konsep dasar yang penting untuk dipahami sebagai berikut:

1. **Kendaraan:** Unit dasar dalam sistem lalu lintas yang mencakup mobil, truk, sepeda motor, dan sepeda.
2. **Pengemudi:** Individu yang mengoperasikan kendaraan dengan perilaku dan preferensi yang memengaruhi dinamika lalu lintas.

3. **Jalan:** Infrastruktur fisik tempat kendaraan bergerak, termasuk jalan raya, jalan tol, persimpangan, dan lampu lalu lintas.

Berikut ini beberapa jenis pendekatan pada pemodelan lalu lintas:

1. **Pemodelan Makroskopis:** Pendekatan yang memodelkan lalu lintas sebagai aliran kontinu menggunakan variabel agregat, seperti kepadatan, kecepatan rata-rata, dan arus kendaraan.
2. **Pemodelan Mikroskopis:** Pendekatan yang memodelkan perilaku individu kendaraan dan pengemudi serta interaksi antarkendaraan dalam sistem lalu lintas.
3. **Pemodelan Mesoskopis:** Pendekatan yang menggabungkan elemen-elemen makroskopis dan mikroskopis untuk memodelkan kelompok kendaraan atau *platoon*.

Metrik kinerja yang biasa digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi hasil simulasi lalu lintas, di antaranya:

1. **Kepadatan Lalu Lintas:** Jumlah kendaraan per unit panjang jalan.
2. **Kecepatan Rata-Rata:** Kecepatan rata-rata kendaraan dalam sistem lalu lintas.
3. **Arus Kendaraan:** Jumlah kendaraan yang melewati titik tertentu per unit waktu.
4. **Waktu Perjalanan:** Waktu yang diperlukan untuk melakukan perjalanan dari satu titik ke titik lain dalam sistem lalu lintas.
5. **Kemacetan:** Kondisi ketika arus kendaraan melambat atau berhenti karena kepadatan yang tinggi.

### 16.3 STUDI KASUS: SIMULASI LALU LINTAS MENGGUNAKAN METODE NAGEL-SCHRECKENBERG

Sebagai contoh penerapan pemodelan dan simulasi lalu lintas, mari kita lihat studi kasus simulasi lalu lintas menggunakan metode *Nagel-Schreckenberg*.

1. **Deskripsi Masalah:** Tujuan dari studi ini adalah untuk memahami dinamika lalu lintas pada jalan tol dan mengevaluasi efektivitas berbagai kebijakan pengelolaan lalu lintas untuk mengurangi kemacetan. Metode *Nagel-Schreckenberg* digunakan untuk memodelkan perilaku kendaraan dan interaksi antar kendaraan dalam sistem lalu lintas.

2. **Model Nagel-Schreckenberg:** Model *Nagel-Schreckenberg* adalah model mikroskopis berbasis *Cellular Automata* yang menyimulasikan lalu lintas kendaraan pada jalan satu lajur. Model ini menggunakan aturan sederhana untuk memperbarui posisi dan kecepatan kendaraan pada setiap langkah waktu. Berikut ini aturan yang digunakan pada model tersebut.

- a. **Akselerasi:** Setiap kendaraan mempercepat satu unit kecepatan jika belum mencapai kecepatan maksimum.

$$v_i(t+1) = \min(v_i(t) + 1, v_{max})$$

- b. **Pelambatan:** Setiap kendaraan melambat untuk menghindari tabrakan dengan kendaraan di depannya.

$$v_i(t+1) = \min(v_i(t+1), d_i(t))$$

dengan  $d_i(t)$  adalah jarak ke kendaraan di depan.

- c. **Randomisasi:** Setiap kendaraan memiliki probabilitas ( $p$ ) untuk melambat secara acak, menyimulasikan perilaku pengemudi.

$$v_i(t+1) = \max(v_i(t+1) - 1, 0) \text{ dengan probabilitas } p$$

- d. **Pembaruan Posisi:** Setiap kendaraan diperbarui posisinya sesuai dengan kecepatannya.

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$

Berikut adalah contoh kode Python untuk menyimulasikan lalu lintas menggunakan model *Nagel-Schreckenberg*:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Parameter simulasi
road_length = 100
num_cars = 20
max_speed = 5
prob_slowdown = 0.3
steps = 100

# Inisialisasi jalan dan kecepatan kendaraan
```

```

road = np.zeros(road_length, dtype=int)
speeds = np.zeros(num_cars, dtype=int)
positions = np.random.choice(road_length, num_cars,
                             replace=False)
road[positions] = speeds + 1 # Representasikan kendaraan
                             dengan kecepatan

# Fungsi untuk memperbarui jalan dan kecepatan
def update_road(road, speeds, prob_slowdown, max_speed):
    road_length = len(road)
    new_road = np.zeros_like(road)
    new_speeds = np.zeros_like(speeds)

    for i in range(len(speeds)):
        pos = np.where(road > 0)[0][i]
        speed = speeds[i]

        # Akselerasi
        if speed < max_speed:
            speed += 1

        # Pelambatan
        distance = 1
        while road[(pos + distance) % road_length] == 0
            and distance <= speed:
            distance += 1
        if distance <= speed:
            speed = distance - 1

        # Randomisasi
        if np.random.rand() < prob_slowdown:
            speed = max(speed - 1, 0)

        # Pembaruan Posisi
        new_pos = (pos + speed) % road_length
        new_road[new_pos] = speed + 1
        new_speeds[i] = speed

    return new_road, new_speeds

# Simulasi
history = []
for _ in range(steps):

```

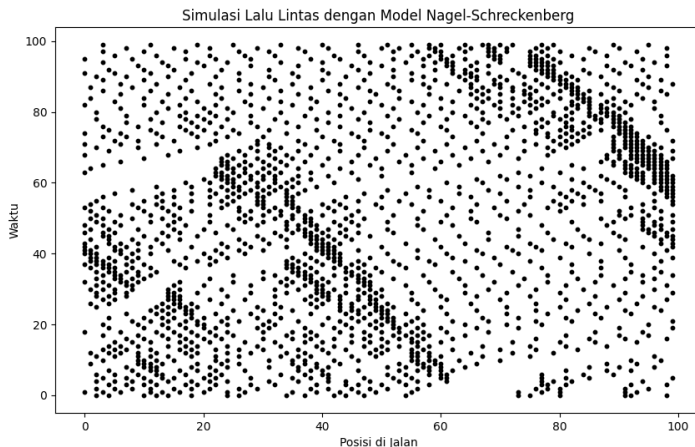
```

road, speeds = update_road(road, speeds, prob_slowdown,
max_speed)
history.append(road.copy())

# Visualisasi hasil
plt.figure(figsize=(10, 6))
for t, road in enumerate(history):
    plt.scatter(np.where(road > 0)[0], np.full(np.sum(road >
0), t), color='black', s=10)
plt.xlabel('Posisi di Jalan')
plt.ylabel('Waktu')
plt.title('Simulasi Lalu Lintas dengan Model Nagel-
Schreckenberg')
plt.show()

```

Berikut ini contoh plot hasil simulasi lalu lintas menggunakan model *Nagel-Schreckenberg*:



**Gambar 9** Plot Hasil Simulasi Lalu Lintas Menggunakan Model *Nagel-Schreckenberg*

Berikut ini penjelasan dari kode program:

- 1. Inisialisasi Parameter Simulasi:** Menentukan panjang jalan, jumlah kendaraan, kecepatan maksimum, probabilitas pelambatan, dan jumlah langkah simulasi.
- 2. Inisialisasi Jalan dan Kecepatan Kendaraan:** Menginisialisasi jalan dengan kendaraan dan kecepatan awal.

3. **Fungsi untuk Memperbarui Jalan dan Kecepatan:** Mendefinisikan fungsi untuk memperbarui jalan dan kecepatan kendaraan berdasarkan aturan model *Nagel-Schreckenberg*.
4. **Simulasi:** Melakukan simulasi lalu lintas dengan memperbarui jalan dan kecepatan kendaraan pada setiap langkah waktu.
5. **Visualisasi Hasil:** Menggunakan pustaka Matplotlib untuk memvisualisasikan hasil simulasi lalu lintas.

## 16.4 RINGKASAN

Bab ini telah menjelaskan konsep dasar pemodelan dan simulasi lalu lintas, termasuk definisi, jenis-jenis pemodelan, metrik kinerja, langkah-langkah dalam pemodelan, aplikasi, studi kasus simulasi lalu lintas menggunakan model *Nagel-Schreckenberg*, keunggulan dan keterbatasan pemodelan, serta simulasi lalu lintas. Pemodelan dan simulasi lalu lintas adalah alat yang sangat berguna untuk memahami, menganalisis, dan mengoptimalkan dinamika lalu lintas. Dengan pemodelan ini, kita dapat mengidentifikasi masalah, mengevaluasi solusi, serta merancang intervensi yang lebih efektif untuk meningkatkan aliran lalu lintas dan keselamatan jalan raya.



# BAB 17

## Tantangan dan Tren Masa Depan Pemodelan dan Simulasi

### 17.1 PENDAHULUAN

Pemodelan dan simulasi telah menjadi alat yang sangat penting dalam berbagai disiplin ilmu dan industri. Pemodelan dan simulasi memungkinkan kita untuk memahami dan memprediksi perilaku sistem kompleks, menguji hipotesis, dan mengembangkan solusi untuk berbagai masalah. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi dan peningkatan kompleksitas sistem yang kita hadapi, terdapat sejumlah tantangan serta tren masa depan yang perlu diperhatikan dalam bidang pemodelan dan simulasi.

### 17.2 TANTANGAN DALAM PEMODELAN DAN SIMULASI

Terdapat beberapa tantangan utama yang dihadapi dalam bidang pemodelan dan simulasi, yaitu:

1. **Keterbatasan Komputasi:** Keterbatasan dalam kapasitas komputasi merupakan salah satu tantangan utama dalam pemodelan dan

simulasi. Model yang makin kompleks dan membutuhkan pemrosesan data yang besar dapat membebani sumber daya komputasi yang ada. Pengembangan algoritma yang lebih efisien, pemanfaatan komputasi paralel dan terdistribusi, serta penggunaan teknologi komputasi awan (*cloud computing*) dapat membantu mengatasi keterbatasan ini.

2. **Kualitas dan Ketersediaan Data:** Kualitas dan ketersediaan data adalah faktor kritis dalam keberhasilan pemodelan dan simulasi. Data yang tidak lengkap, tidak akurat, atau tidak relevan dapat menghasilkan model yang tidak valid atau menyesatkan. Penggunaan teknik pengumpulan data yang lebih baik, validasi dan pembersihan data, serta integrasi berbagai sumber data dapat meningkatkan kualitas data yang digunakan dalam pemodelan dan simulasi.
3. **Validasi dan Verifikasi Model:** Validasi dan verifikasi model adalah proses yang kompleks dan memakan waktu. Memastikan bahwa model merepresentasikan sistem nyata dengan akurat dan dapat diandalkan adalah tantangan besar dalam pemodelan dan simulasi. Pengembangan metode validasi dan verifikasi yang lebih baik, termasuk penggunaan data *real-time* dan teknik *machine learning* untuk meningkatkan akurasi dan keandalan model.
4. **Kompleksitas Sistem:** Sistem yang makin kompleks dengan banyak variabel dan interaksi dapat membuat pemodelan dan simulasi menjadi sangat rumit. Memodelkan sistem ini secara akurat memerlukan pemahaman mendalam tentang dinamika sistem dan interaksi antarkomponennya. Penggunaan pendekatan modular dan hierarkis serta pengembangan model yang dapat beradaptasi dengan perubahan dan kompleksitas sistem.

### 17.3 TREN MASA DEPAN DALAM PEMODELAN DAN SIMULASI

Berikut adalah beberapa tren masa depan yang diharapkan akan membentuk bidang pemodelan dan simulasi:

1. **Integrasi dengan Kecerdasan Buatan:** Integrasi pemodelan dan simulasi dengan kecerdasan buatan dan *machine learning* akan menjadi tren utama di masa depan. Kecerdasan buatan dapat membantu dalam pengembangan model yang lebih cerdas, analisis data yang lebih cepat dan akurat, serta pengambilan keputusan yang lebih baik.

2. **Pemodelan dan Simulasi Berbasis Data *Real-Time***: Penggunaan data *real-time* dalam pemodelan dan simulasi akan makin meningkat. Data *real-time* memungkinkan model untuk lebih responsif terhadap perubahan kondisi dan memberikan hasil yang lebih akurat dan relevan.
3. **Pemodelan dan Simulasi Multiskala**: Pemodelan dan simulasi multiskala akan menjadi penting dalam memahami sistem yang kompleks. Pendekatan ini memungkinkan kita untuk memodelkan fenomena pada berbagai skala waktu dan ruang, dari mikroskopis hingga makroskopis.
4. **Komputasi Kuantum**: Komputasi kuantum memiliki potensi besar untuk merevolusi pemodelan dan simulasi. Dengan kemampuan komputasi yang jauh melampaui komputer klasik, komputasi kuantum dapat mengatasi masalah yang saat ini tidak dapat diselesaikan dengan metode komputasi tradisional.
5. **Interaksi Manusia—Komputer yang Lebih Baik**: Pengembangan antarmuka yang lebih intuitif dan interaktif akan mempermudah pengguna dalam melakukan pemodelan dan simulasi. Teknologi seperti *virtual reality* (VR) dan *augmented reality* (AR) dapat memberikan visualisasi yang lebih baik dan pengalaman yang lebih imersif.
6. **Penggunaan Teknologi *Blockchain***: Teknologi *blockchain* dapat digunakan untuk meningkatkan transparansi dan keamanan dalam pemodelan dan simulasi. *Blockchain* dapat membantu dalam pengelolaan data, validasi model, dan pelacakan perubahan dalam model.

#### 17.4 KESIMPULAN

Pemodelan dan simulasi adalah alat yang sangat penting dalam berbagai disiplin ilmu dan industri. Namun, terdapat sejumlah tantangan yang perlu diatasi untuk memaksimalkan potensi pemodelan dan simulasi. Di sisi lain, tren masa depan dalam teknologi, seperti kecerdasan buatan, komputasi kuantum, dan pemodelan berbasis data *real-time*, akan terus mendorong perkembangan dan inovasi dalam bidang ini. Dengan mengatasi tantangan yang ada dan memanfaatkan tren masa depan, pemodelan dan simulasi akan terus menjadi alat yang kuat untuk memahami dan memecahkan masalah kompleks di berbagai bidang.



## Penutup

**B**uku ini telah membahas berbagai konsep, pendekatan, dan aplikasi dalam bidang pemodelan dan simulasi secara menyeluruh dan sistematis. Dimulai dari pemahaman dasar tentang apa itu pemodelan dan simulasi, dilanjutkan dengan metode-metode matematis, teknik numerik, pendekatan berbasis agen dan automata, hingga aplikasi konkret dalam berbagai bidang, seperti industri, sosial, lingkungan, keuangan, serta kesehatan.

Melalui buku ini, penulis berharap pembaca dapat memperoleh pemahaman yang utuh mengenai bagaimana suatu sistem nyata dapat direpresentasikan secara matematis dan dianalisis melalui simulasi untuk mendukung pengambilan keputusan yang berbasis data dan logika. Dengan disertakannya studi-studi kasus, ilustrasi kode program, serta penjelasan teoretis yang mendalam, buku ini juga diharapkan mampu menjadi panduan praktis dalam proses pembelajaran, penelitian, ataupun implementasi langsung di dunia kerja.

Perkembangan teknologi, ketersediaan data besar, serta kebutuhan akan pemahaman sistem kompleks yang makin meningkat, menjadikan bidang pemodelan dan simulasi terus berkembang dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, pengetahuan dalam buku ini juga diharapkan dapat menjadi fondasi untuk eksplorasi lebih lanjut dalam kajian dan praktik

pemodelan modern, termasuk pemodelan berbasis data, kecerdasan buatan, dan komputasi berbasis *cloud*.

Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung penyusunan buku ini. Kritik, saran, dan masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan edisi selanjutnya. Semoga buku ini memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi para pembaca.



## Glosarium

**Algoritma:** Sekumpulan instruksi atau prosedur yang terdefinisi dengan baik untuk menyelesaikan masalah atau melakukan tugas tertentu.

**Akurasi:** Tingkat ketepatan suatu model atau hasil simulasi dalam merepresentasikan sistem nyata atau memprediksi hasil yang benar.

**Aljabar:** Cabang matematika yang mempelajari struktur, hubungan, dan operasi pada himpunan bilangan atau objek matematis lainnya.

**Agen:** Entitas otonom dalam pemodelan berbasis agen yang dapat berinteraksi dengan agen lain dan lingkungannya.

**Automata Seluler (*Cellular Automata*):** Model matematis yang terdiri dari *grid* sel yang memiliki keadaan diskrit dan diperbarui secara serentak berdasarkan aturan lokal.

**Distribusi Probabilitas:** Fungsi yang mendefinisikan kemungkinan setiap hasil dalam ruang sampel dari suatu eksperimen atau kejadian acak.

**Efisiensi:** Ukuran seberapa efektif suatu algoritma atau sistem dalam menggunakan sumber daya komputasi untuk menyelesaikan tugas.

**Grid:** Struktur geometris yang terdiri dari sel-sel yang diatur dalam pola tertentu, seperti baris dan kolom dalam dua dimensi atau kubus dalam tiga dimensi.

**Komputasi Paralel:** Teknik komputasi yang memanfaatkan beberapa prosesor untuk menjalankan beberapa perhitungan atau tugas secara bersamaan.

- Komputasi Terdistribusi:** Teknik komputasi yang melibatkan beberapa komputer yang bekerja sama untuk menyelesaikan tugas komputasi yang besar.
- Model Deterministik:** Model yang memberikan hasil yang pasti dan dapat diprediksi berdasarkan set input yang diberikan, tanpa adanya unsur ketidakpastian atau acak.
- Model Stokastik:** Model yang memperhitungkan ketidakpastian dan variabilitas dengan menggunakan distribusi probabilitas untuk variabel-variabel yang relevan.
- Numerical Simulation:** Metode komputasi yang digunakan untuk memecahkan persamaan matematis yang kompleks dengan menggunakan pendekatan numerik.
- Pemodelan:** Proses membangun representasi abstrak dari sistem nyata untuk tujuan analisis, prediksi, atau optimasi.
- Persamaan Diferensial:** Persamaan matematis yang menggambarkan hubungan antara fungsi dan turunan-turunannya.
- Probabilitas:** Ukuran kemungkinan terjadinya suatu kejadian atau hasil dalam ruang sampel yang diberikan.
- Proses Markov:** Model stokastik yang menggambarkan sistem yang berubah dari satu keadaan ke keadaan lain dengan probabilitas tertentu, dengan probabilitas transisi hanya bergantung pada keadaan saat ini.
- Simulasi:** Proses menggunakan model untuk menjalankan eksperimen atau analisis untuk memprediksi perilaku sistem nyata di bawah kondisi tertentu.
- Validasi:** Proses mengevaluasi sejauh mana suatu model merepresentasikan sistem nyata dengan akurat dan dapat diandalkan.
- Verifikasi:** Proses memastikan bahwa suatu model atau program telah dibangun dengan benar sesuai dengan spesifikasi atau desain yang diberikan.



## Daftar Pustaka

- Axelrod, R. (1997). *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press.
- Banks, J.; Carson, J. S.; Nelson, B. L.; & Nicol, D. M. (2001). *Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall.
- Banks, J.; Carson, J. S.; Nelson, B. L.; & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-Event System Simulation*. Pearson.
- Barabási, A.-L. (2016). *Network Science*. Cambridge University Press.
- Bonabeau, E. (2002). “Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems”. Proceedings of the *National Academy of Sciences*, 99(suppl 3), 7280—7287.
- Brailsford, S. C.; Harper, P. R.; Patel, B.; & Pitt, M. (2009). “An Analysis of the Academic Literature on Simulation and Modelling in Health Care”. *Journal of Simulation*, 3(3), 130—140.
- Easley, D. & Kleinberg, J. (2010). *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World*. Cambridge University Press.
- Epstein, J. M. (2006). *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton University Press.
- Fishman, G. S. (2001). *Discrete-Event Simulation: Modeling, Programming, and Analysis*. Springer.

- Fishwick, P. A. (1995). *Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds*. Prentice Hall.
- Fishwick, P. A. (2007). *Handbook of Dynamic System Modeling*. CRC Press.
- Gilbert, N. & Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press.
- Gilbert, N. (2008). *Agent-Based Models*. SAGE Publications.
- Glasserman, P. (2003). *Monte Carlo Methods in Financial Engineering*. Springer.
- Grimm, V. & Railsback, S. F. (2005). *Individual-based Modeling and Ecology*. Princeton University Press.
- Helbing, D. (2001). “Traffic and Related Self-Driven Many-Particle Systems”. *Reviews of Modern Physics*, 73(4), 1067—1141.
- Hull, J. C. (2006). *Options, Futures, and Other Derivatives*. Prentice Hall.
- Jørgensen, S. E. & Bendoricchio, G. (2001). *Fundamentals of Ecological Modelling*. Elsevier.
- Kleijnen, J. P. C. (1995). “Verification and Validation of Simulation Models”. *European Journal of Operational Research*, 82(1), 145—162.
- lachinski, A. (2001). *Cellular Automata: A Discrete Universe*. World Scientific Publishing Company.
- Law, A. M. & Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill.
- Law, A. M. (2014). *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill Education.
- Longini, I. M.: et al. (2005). “Containing Pandemic Influenza at the Source”. *Science*, 309(5737), 1083—1087.
- Longini, I. M.; Halloran, M. E.; Nizam, A.; & Yang, Y. (2004). “Containing Pandemic Influenza with Antiviral Agents”. *American Journal of Epidemiology*, 159(7), 623—633.
- Macal, C. M. & North, M. J. (2010). “Tutorial on Agent-Based Modeling and Simulation”. *Journal of Simulation*, 4(3), 151—162.
- Metropolis, N. & Ulam, S. (1949). “The Monte Carlo Method”. *Journal of the American Statistical Association*, 44(247), 335—341.

- Nagel, K. & Schreckenberg, M. (1992). "A Cellular Automaton Model for Freeway Traffic". *Journal de Physique I*, 2(12), 2221—2229.
- Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
- Odum, E. P. & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of Ecology*. Thomson Brooks/Cole.
- Rubinstein, R. Y. & Kroese, D. P. (2016). *Simulation and the Monte Carlo Method*. John Wiley & Sons.
- Sargent, R. G. (2013). "Verification and Validation of Simulation Models". *Journal of Simulation*, 7(1), 12—24.
- Shannon, R. E. (1975). *Systems Simulation: The Art and Science*. Prentice Hall.
- Sokolowski, J. A. & Banks, C. M. (2009). *Principles of Modeling and Simulation: A Multidisciplinary Approach*. John Wiley & Sons.
- Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill.
- Toffoli, T. & Margolus, N. (1987). *Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling*. MIT Press.
- Treiber, M. & Kesting, A. (2013). *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*. Springer.
- Weinstein, M. C. & Fineberg, H. V. (1980). *Clinical Decision Analysis*. Elsevier.
- Wolfram, S. (2002). *A New Kind of Science*. Wolfram Media.
- Zeigler, B. P.; Praehofer, H.; & Kim, T. G. (2000). *Theory of Modeling and Simulation*. Academic Press.
- Zeigler, B. P.; Praehofer, H.; & Kim, T. G. (2000). *Theory of Modeling and Simulation*. Academic Press.



## Indeks

### A

Agen 16, 54, 73, 74, 76, 79, 137, 142, 143

Algoritma 137, 142

Aljabar 23, 137, 142

Automata Seluler 137, 142

### B

Bank (simulasi antrean) 142

### C

Cellular Automata 54, 81, 82, 83, 84, 87, 128, 137, 140, 141, 142

### D

Discrete Event Simulation 53, 142

### E

Euler, Metode 142

Evaluasi Model 142

### I

Inflasi 142

Integrasi Komponen 142

### K

Keuangan 3, 20, 90, 142, 143

Komputasi 20, 22, 132, 134, 137, 138, 142, 144

Komputasi Berbasis Agen 142

Krisis Ekonomi 142

### L

Lalu Lintas 20, 126, 127, 130, 142

Leapfrog, Metode 142

### M

Matematika 23, 35, 142

Model Deterministik 6, 138, 142

Model Stokastik 138, 142

Monte Carlo, Simulasi 143

### P

Pemodelan vii, 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 23, 35, 36, 73, 74, 76, 79, 80, 91, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 107, 108, 109, 113, 114, 115, 116, 119, 120, 121,

- 122, 125, 126, 127, 131, 132,  
133, 134, 138, 142, 143
- Pemodelan Berbasis Agen 73, 74,  
76, 79, 143
- Pemodelan Diskrit 143
- Pemodelan Ekosistem 76, 114,  
115, 116, 143
- Pemodelan Industri 143
- Pemodelan Keuangan 143
- Pemodelan Matematika 23, 35, 142
- Pemodelan Sosial 142
- Penyebaran Penyakit 79, 80, 121,  
122, 124, 142
- Perilaku Agen 74, 142
- Populasi 35, 36, 68, 69, 70, 71, 72,  
79, 109, 113, 142
- Portofolio Investasi 91, 93, 142
- R**
- Runge-Kutta, Metode 142
- Rute Evakuasi 142
- S**
- Sensitivitas 46, 142
- Simulasi vii, 1, 2, 3, 5, 8, 9, 14, 15,  
16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 51,  
52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60,  
61, 62, 63, 68, 69, 70, 71, 72,  
73, 75, 76, 77, 79, 80, 83, 85,  
86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94,  
106, 107, 108, 109, 110, 111,  
112, 113, 117, 118, 119, 120,  
121, 124, 125, 126, 127, 129,  
130, 131, 132, 133, 134, 138,  
142, 143
- Simulasi Kesehatan 142
- Simulasi Keuangan 20, 142
- Simulasi Monte Carlo 16, 54, 88,  
89, 90, 92, 94, 142
- Simulasi Traffic 142
- Sistem Diskrit 51, 52, 53, 54, 142
- Sistem Kontinu 61, 62, 63, 68, 142
- Sistem Sosial 108, 142
- T**
- Teori Simulasi 14, 142
- U**
- Unemployment (Pengangguran)  
142
- V**
- Validasi Model 19, 21, 36, 38, 47,  
48, 49, 50, 53, 56, 63, 70, 75,  
77, 104, 110, 117, 142
- VAR (Vector Autoregression) 143
- Vektor 26, 143
- Volatilitas 143



## Biografi Penulis



**I**sman Kurniawan, Ph.D. merupakan seorang dosen dan peneliti di bidang pemodelan dan simulasi; pembelajaran mesin; serta kimia komputasi. Beliau menyelesaikan pendidikan sarjana di bidang Pendidikan Kimia dari Universitas Pendidikan Indonesia, lalu melanjutkan magister di bidang Sains Komputasi melalui program Double Degree Institut Teknologi Bandung—Kanazawa University. Selanjutnya, beliau menyelesaikan pendidikan doktoral di bidang yang sama, Sains Komputasi, dari Kanazawa University. Saat ini, beliau aktif mengajar dan melakukan penelitian di Fakultas Informatika Universitas Telkom sejak tahun 2015.

Minat beliau dalam bidang pemodelan dan simulasi berawal dari ketertarikannya pada bagaimana sistem kompleks di dunia nyata dapat dianalisis dan diprediksi melalui pendekatan matematis dan komputasional. Dalam aktivitas akademiknya, beliau telah terlibat dalam berbagai proyek penelitian dan pengembangan model sistem, khususnya yang terkait dengan proses kimia. Selain aktif dalam kegiatan pengajaran dan penelitian, beliau

juga rutin membuat modul pembelajaran dan artikel ilmiah terkait bidang penelitiannya.

Melalui buku ini, beliau berharap dapat memberikan kontribusi nyata dalam memperkaya referensi literatur di bidang pemodelan dan simulasi serta menjadi sumber belajar yang aplikatif dan relevan bagi mahasiswa, akademisi, serta praktisi.



# Pemodelan dan Simulasi: Prinsip, Teknik, dan Aplikasi

Dunia bergerak makin dinamis dan metode konvensional sering kali tak cukup untuk memprediksinya. Buku *Pemodelan dan Simulasi: Prinsip, Teknik, dan Aplikasi* membuka wawasan Anda terhadap teknik-teknik simulasi mutakhir seperti *Agent-Based Modeling* dan *Cellular Automata*. Buku ini menjelaskan bagaimana elemen-elemen kecil dalam sebuah sistem berinteraksi dan membentuk pola besar, mulai dari penyebaran penyakit menular hingga dinamika sistem antrean yang kompleks.

Buku yang diramu oleh Isman Kurniawan ini dirancang untuk memicu inovasi yang mengajak pembaca memahami bagaimana simulasi dapat menjadi alat bantu keputusan yang ampuh dalam menghadapi ketidakpastian. Dengan alur yang runtut dari sejarah evolusi simulasi hingga aplikasi praktisnya di bidang ilmu sosial dan industri, buku ini menyajikan materi yang padat, tetapi mudah dicerna. Bagi Anda yang ingin berada di garis depan teknologi prediksi dan analisis sistem, buku ini menawarkan kerangka berpikir yang Anda butuhkan. Siapkah Anda menciptakan solusi cerdas dan inovatif berbasis simulasi? Mulailah perjalanan intelektual Anda dari halaman pertama buku ini!



Tel-U Press - Anggota IKAPI Jabar  
Bandung TechnoPlex Jln. Telekomunikasi No. 1  
Bandung 40257  
e-mail: [telupress@telkomuniversity.ac.id](mailto:telupress@telkomuniversity.ac.id)  
<https://telupress.telkomuniversity.ac.id>

