

# BAB 10

## Model dan Simulasi: Menjalankan Simulasi Diskrit & Kontinu

# Indikator Pembelajaran



## Pemahaman Konsep

Mahasiswa mampu memahami konsep model data diskrit dan kontinu secara komprehensif.



## Keterampilan Praktis

Mahasiswa mampu menjalankan simulasi berbagai model data diskrit dan kontinu dengan baik.

Penguasaan materi akan dinilai melalui diskusi kelompok dan tugas individu.

# Definisi Simulasi dalam Sistem

Simulasi adalah representasi matematis dari sistem nyata yang digunakan untuk studi dan analisis.

Simulasi membantu kita memahami perilaku sistem tanpa mengubah sistem aslinya.



## Peran Utama Simulasi

- Memprediksi perilaku sistem
- Menganalisis risiko
- Menguji skenario berbeda
- Optimasi pengambilan keputusan

# Pengertian Model Data Diskrit

## Definisi

Model data diskrit menggambarkan perubahan status sistem hanya pada titik waktu tertentu.

## Karakteristik

Variabel sistem berubah secara tidak kontinu, hanya pada saat terjadi event spesifik.

## Implementasi

Digunakan untuk sistem dengan perubahan status yang jelas dan terpisah seperti antrian.

Dalam model diskrit, waktu "melompat" dari satu event ke event berikutnya.

# Ciri-ciri Model Diskrit



## Event-Driven

Perubahan sistem hanya terjadi karena adanya event atau kejadian tertentu yang memicu.



## Titik Perubahan Spesifik

Status sistem hanya berubah saat event berlangsung, statis di periode antaranya.



## Contoh Aplikasi

Sistem antrian, proses manufaktur, dan simulasi jaringan komputer.

# Unsur Pokok Simulasi Diskrit



## Entitas

Objek dalam sistem yang menjadi fokus simulasi (contoh: pelanggan).

---



## Activity

Kegiatan yang dilakukan entitas atau sistem selama durasi waktu tertentu.

---



## Event

Kejadian instan yang memicu perubahan status sistem.

---



## Queue

Antrian entitas yang menunggu untuk diproses.

---



## State

Kondisi sistem pada waktu tertentu, diwakili oleh nilai variabel status.

# Contoh Simulasi Diskrit: Antrian Bank

## Status Sistem Bank

- Status teller: sibuk atau bebas
- Jumlah pelanggan dalam antrian
- Total waktu tunggu pelanggan

## Perubahan Status

Perubahan hanya terjadi saat:

- Pelanggan baru tiba
- Pelanggan mulai dilayani
- Pelayanan pelanggan selesai

| Waktu | Event               | Status Teller | Panjang Antrian |
|-------|---------------------|---------------|-----------------|
| 09:00 | Pelanggan 1 tiba    | Sibuk         | 0               |
| 09:05 | Pelanggan 2 tiba    | Sibuk         | 1               |
| 09:10 | Pelanggan 1 selesai | Sibuk         | 0               |

# Langkah Dasar Menyusun Model Diskrit

## Mendefinisikan Status Sistem

Tentukan variabel status yang mewakili kondisi sistem pada waktu tertentu.

## Menentukan Event Pengubah

Identifikasi kejadian yang menyebabkan perubahan status (kedatangan, selesai).

## Menyiapkan Logika Simulasi

Buat aturan bagaimana status berubah saat event terjadi.

## Mengumpulkan Data

Kumpulkan data untuk distribusi probabilitas dalam simulasi.

# Pengertian Model Data Kontinu

## Definisi

Model data kontinu menggambarkan sistem dimana variabel status berubah secara kontinu seiring waktu.

Tidak ada titik waktu diskrit, perubahan terjadi terus menerus dan halus.

Model kontinu menangkap perubahan yang terjadi sepanjang waktu tanpa jeda.

# Ciri-ciri Model Kontinu



Berbasis Persamaan Diferensial

Sering menggunakan persamaan diferensial untuk menggambarkan perubahan status terhadap waktu.



Representasi Fenomena Alami

Cocok untuk menggambarkan populasi, suhu, kecepatan, atau konsentrasi yang berubah halus.



Output Lintasan Halus

Menghasilkan kurva perubahan yang halus dan kontinu terhadap waktu.

# Unsur Pokok Simulasi Kontinu

## Variabel Kondisi

Variabel status yang berubah secara kontinu setiap saat, tidak hanya pada titik diskrit.

- Contoh: suhu, tekanan, tinggi permukaan air

## Perubahan Waktu Kontinyu

Perubahan terjadi di setiap titik waktu, bukan hanya saat event tertentu.

- Contoh: pemodelan aliran fluida

## Aplikasi Umum

Sering digunakan pada model fisika, ekosistem, dan penyebaran penyakit.

- Contoh: model SIR (Susceptible-Infected-Recovered)

# Contoh Simulasi Kontinu: Pertumbuhan Populasi

## Model Pertumbuhan

Pertumbuhan populasi berdasarkan laju kelahiran dan kematian dapat dimodelkan secara kontinu.

$$\frac{dP}{dt} = rP$$

Dimana:

- $P$  = jumlah populasi
- $r$  = laju pertumbuhan
- $t$  = waktu

## Output Simulasi

Perubahan populasi terjadi secara bertahap dan kontinu di setiap titik waktu.

# Model Kombinasi Diskrit-Kontinu



## Sistem Produksi

Mesin beroperasi secara kontinu (kecepatan, suhu) tetapi produk mengalir secara diskrit.



## Lalu Lintas

Pergerakan kendaraan (kontinu) dikombinasikan dengan perubahan lampu lalu lintas (diskrit).



## Pelayanan Kesehatan

Monitoring pasien (kontinu) digabungkan dengan kedatangan pasien baru (diskrit).

# Perbandingan Diskrit vs Kontinu

| Aspek     | Model Diskrit                | Model Kontinu           |
|-----------|------------------------------|-------------------------|
| Waktu     | Titik waktu tertentu (event) | Berubah setiap saat     |
| Variabel  | Diskrit (terbatas)           | Kontinu (tak terhingga) |
| Contoh    | Antrian bank                 | Pertumbuhan populasi    |
| Metode    | Event scheduling             | Persamaan diferensial   |
| Komputasi | Lebih efisien                | Lebih intensif          |

Pemilihan model bergantung pada karakteristik sistem yang disimulasikan.

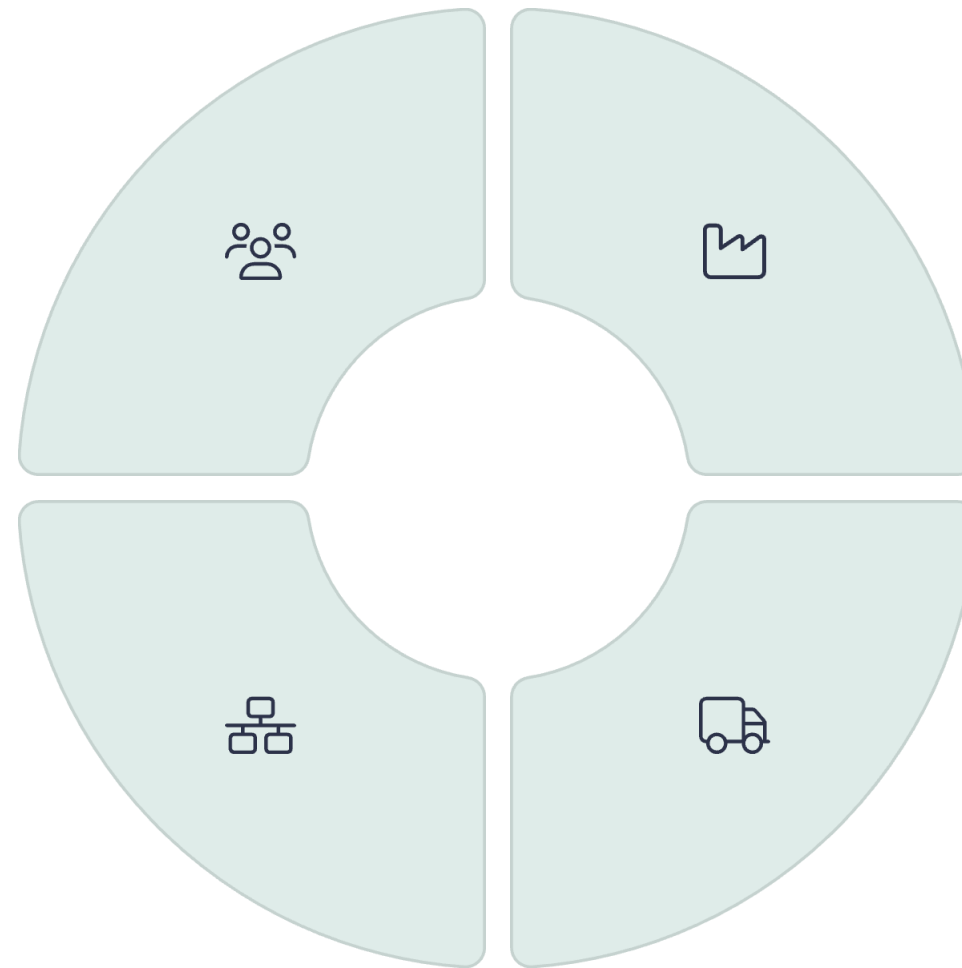
# Kapan Menggunakan Model Diskrit?

## Sistem Antrian

Saat entitas terpisah menunggu layanan (bank, kasir, call center).

## Jaringan Komputer

Saat paket data dikirim melalui jaringan dengan titik-titik tertentu.



## Proses Manufaktur

Saat produk bergerak melalui tahapan produksi yang jelas.

## Logistik

Saat barang dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain.

# Kapan Menggunakan Model Kontinu?

## Sistem Fisik

Ketika variabel status berubah terus-menerus seperti:

- Suhu dalam ruangan
- Aliran fluida dalam pipa
- Pergerakan planet dalam orbit

## Sistem Biologis

Cocok untuk pemodelan:

- Pertumbuhan populasi
- Penyebaran penyakit
- Interaksi predator-mangsa

## Sistem Ekonomi

Ideal untuk:

- Model makroekonomi
- Dinamika harga pasar
- Tingkat inflasi

# Pemilihan Model Berdasarkan Studi Kasus



## Transportasi (Diskrit)

Kedatangan bus, kereta, atau pesawat pada waktu tertentu.



## Reaksi Kimia (Kontinu)

Perubahan konsentrasi zat terjadi terus-menerus selama reaksi.



## Layanan Kesehatan (Hibrida)

Kombinasi kedatangan pasien (diskrit) dan pemantauan kondisi (kontinu).

# Software Simulasi Populer

## Software Simulasi Diskrit

- Arena
- Simul8
- AnyLogic
- NetLogo (agent-based)
- FlexSim

## Software Simulasi Kontinu

- MATLAB/Simulink
- Vensim
- Stella
- Berkeley Madonna
- SystemModeler

# Menyiapkan Simulasi Diskrit: Studi Kasus

## Sistem Antrian Restoran

Kita akan menyimulasikan antrian pelanggan di sebuah restoran cepat saji.

## Data Input

- Waktu kedatangan pelanggan
- Lama pelayanan di kasir
- Kapasitas tempat duduk

## Output yang Diharapkan

- Waktu tunggu rata-rata
- Panjang antrian maksimum
- Tingkat kesibukan kasir
- Jumlah pelanggan yang dilayani per jam

Model ini membantu pemilik restoran mengoptimalkan jumlah kasir.

# Menjalankan Simulasi Diskrit Step-by-Step

## Mendefinisikan Entity dan Event

Entity: Pelanggan, Kasir. Event: Kedatangan, Mulai Dilayani, Selesai Dilayani.

## Membuat Tabel Simulasi

Buat tabel dengan kolom Waktu, Event, Status Kasir, Panjang Antrian.

## Update Status per Event

Perbarui status sistem setiap kali event terjadi sesuai logika simulasi.

## Interpretasi Hasil

Analisis output berupa waktu tunggu, panjang antrian, dan utilitas kasir.

# Menyiapkan Simulasi Kontinu: Studi Kasus

## Pertumbuhan Bakteri

Kita akan menyimulasikan pertumbuhan koloni bakteri dalam media nutrisi.

## Data Input

- Jumlah bakteri awal
- Laju pertumbuhan per jam
- Kapasitas pembawa (daya dukung media)

Output: Kurva pertumbuhan populasi bakteri terhadap waktu.

## Model Matematis

$$\frac{dP}{dt} = rP\left(1 - \frac{P}{K}\right)$$

Dimana:

- $P$  = populasi bakteri
- $r$  = laju pertumbuhan intrinsik
- $K$  = kapasitas pembawa

# Menjalankan Simulasi Kontinu Step-by-Step



## Menulis Persamaan Model

Formulasikan persamaan diferensial yang menggambarkan perubahan variabel status.



## Menentukan Parameter

Tetapkan nilai awal dan parameter model berdasarkan data empiris.



## Integrasi Numerik

Gunakan metode Euler atau Runge-Kutta untuk memecahkan persamaan diferensial.



## Visualisasi Hasil

Tampilkan hasil berupa grafik kurva yang menunjukkan perubahan variabel terhadap waktu.

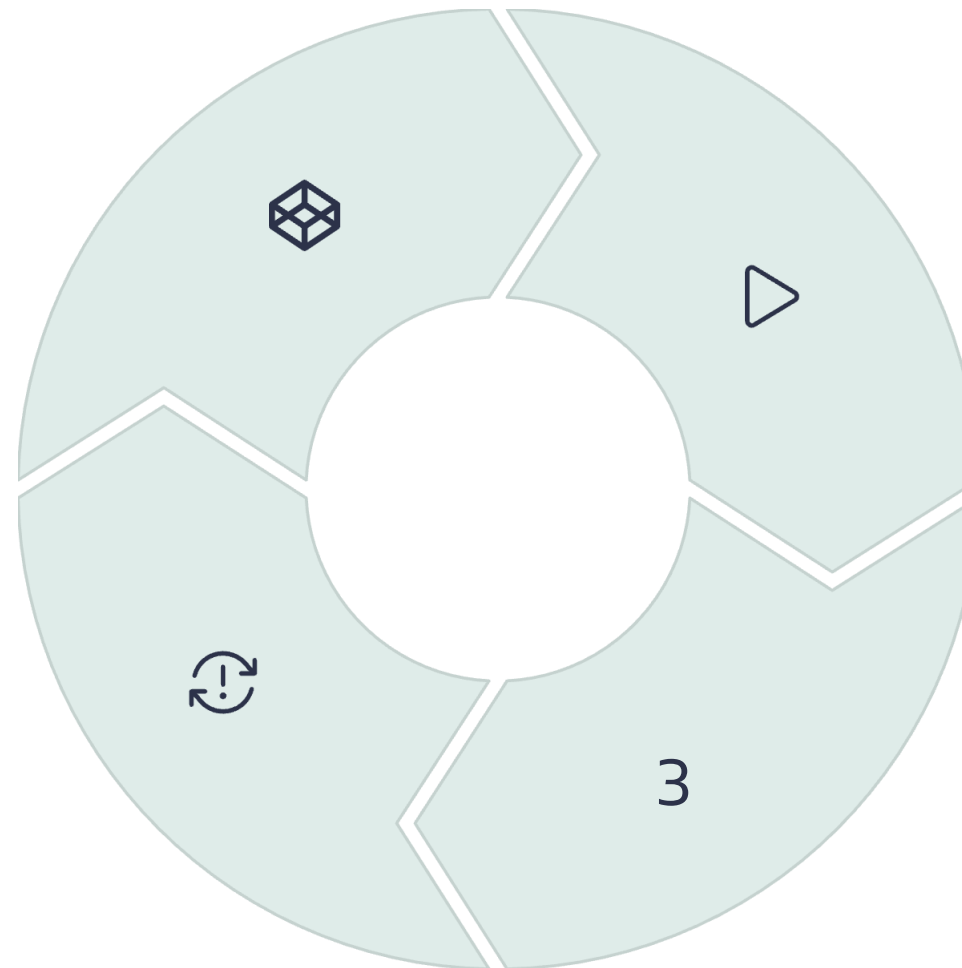
# Validasi & Evaluasi Model

## Pembuatan Model

Susun model berdasarkan hipotesis awal tentang sistem.

## Kalibrasi Model

Sesuaikan parameter dan asumsi untuk memperbaiki akurasi model.



## Menjalankan Simulasi

Jalankan simulasi dengan parameter yang telah ditentukan.

## Perbandingan Data

Bandingkan hasil simulasi dengan data aktual dari sistem nyata.

Validasi yang baik meningkatkan kepercayaan terhadap hasil simulasi.

# Diskusi: Studi Kasus Simulasi Diskrit

## Petunjuk Diskusi Tim

1. Bentuk kelompok 3-4 mahasiswa
2. Pilih satu sistem antrian (bank, bandara, restoran)
3. Tentukan variabel status dan event penting
4. Buat tabel simulasi sederhana (10-15 event)
5. Analisis hasil dan presentasikan temuan

Waktu diskusi: 60 menit, presentasi per kelompok: 10 menit.

## Pertanyaan Diskusi

- Bagaimana pengaruh distribusi kedatangan terhadap panjang antrian?
- Strategi apa yang efektif untuk mengurangi waktu tunggu?
- Bagaimana trade-off antara biaya layanan dan kepuasan pelanggan?

# Diskusi: Studi Kasus Simulasi Kontinu

## Pilihan Kasus

- Dinamika populasi (predator-mangsa)
- Perubahan suhu dalam ruangan
- Penyebaran kontaminan dalam air
- Pertumbuhan ekonomi makro

## Tugas Tim

1. Rumuskan model matematis
2. Tentukan parameter awal
3. Jalankan simulasi sederhana
4. Sajikan kurva hasil

## Aspek Diskusi

- Dinamika jangka panjang
- Titik kesetimbangan
- Sensitivitas terhadap parameter

# Tantangan Diskusi Gabungan: Sistem Hibrida

## Tugas Kelompok

Ciptakan model yang menggabungkan proses diskrit dan kontinu dalam satu sistem.

## Contoh Sistem Hibrida

- Sistem irigasi otomatis (sensor diskrit, aliran air kontinu)
- Pabrik kimia (batch proses diskrit, reaksi kontinu)
- Jaringan listrik cerdas (penggunaan diskrit, distribusi kontinu)

Presentasikan ide model dengan diagram konseptual dan alur logika simulasi.

## Aspek untuk Dibahas

- Interaksi antara komponen diskrit dan kontinu
- Tantangan integrasi kedua jenis model
- Metode validasi untuk sistem hibrida
- Keuntungan pendekatan gabungan dibanding model tunggal

# Tugas Individu: Penugasan Simulasi Diskrit

## 1 Pilih Satu Kasus

Pilih salah satu sistem diskrit berikut:

- Sistem antrian di fasilitas umum
- Proses produksi multi-tahap
- Sistem penerimaan layanan digital

## 2 Bangun Model

Susun model simulasi dengan menentukan:

- Variabel status dan parameter
- Event-event penting
- Logika perubahan status

## 3 Jalankan Simulasi

Simulasikan minimal 10 event dan catat perubahan status.

## 4 Buat Laporan

Dokumentasikan model, hasil simulasi, dan analisis dalam laporan terstruktur.

# Tugas Individu: Penugasan Simulasi Kontinu

## 1 Pilih Satu Kasus

Pilih salah satu sistem kontinu berikut:

- Pertumbuhan atau penurunan populasi spesies
- Perubahan suhu dalam perangkat elektronik
- Pengisian atau pengosongan tangki air

## 2 Rancang Model

Formulasikan model matematis dengan persamaan diferensial yang sesuai.

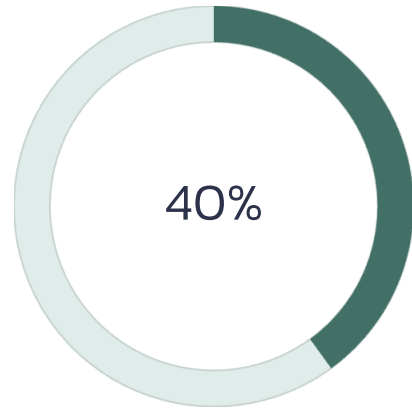
## 3 Jalankan Simulasi

Gunakan metode numerik atau software simulasi untuk menyelesaikan model.

## 4 Sajikan Hasil

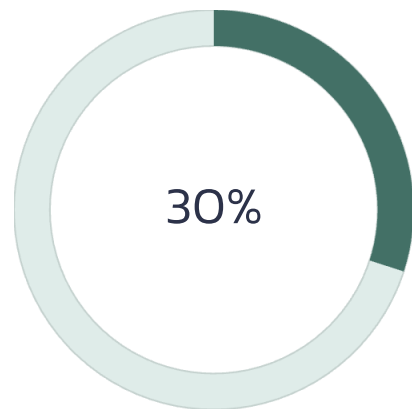
Buat laporan dengan grafik hasil, interpretasi, dan analisis sensitivitas.

# Kriteria Penilaian



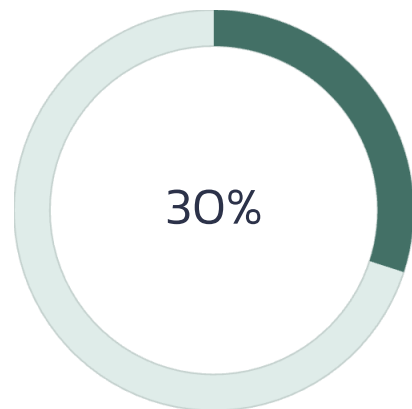
## Pemahaman Konsep

Ketepatan dalam menjelaskan konsep model diskrit dan kontinu serta aplikasinya.



## Simulasi Model

Kreativitas dan ketepatan dalam merancang dan menjalankan model simulasi.



## Analisis Hasil

Kedalaman interpretasi hasil simulasi dan kemampuan mengambil kesimpulan.

Penilaian dilakukan untuk tugas individu dan kontribusi dalam diskusi kelompok.

# Kesimpulan dan Refleksi

## Kunci Pemilihan Model

Pilih model yang sesuai dengan karakteristik sistem nyata yang disimulasikan.

Kombinasikan pendekatan diskrit dan kontinu untuk sistem kompleks bila diperlukan.

Eksplorasi dunia nyata melalui simulasi membuka wawasan baru tentang perilaku sistem kompleks yang sulit diobservasi langsung.

## Simulasi sebagai Alat

Simulasi adalah alat yang kuat untuk analisis sistem dan pengambilan keputusan.

Keberhasilan simulasi bergantung pada pemahaman mendalam tentang sistem yang dimodelkan.