

## Model dan Simulasi: Validasi dan Verifikasi

# Agenda Pembelajaran

## Dasar-dasar Validasi dan Verifikasi

Pengertian, tujuan, dan pentingnya validasi dan verifikasi dalam pemodelan.

## Langkah-langkah Validasi Model

Metodologi dan teknik validasi model yang sistematis dan terukur.

## Langkah-langkah Verifikasi Model

Proses dan metode untuk memverifikasi akurasi implementasi model.

## Studi Kasus dan Aplikasi Praktis

Penerapan validasi dan verifikasi pada contoh riil.

# Apa itu Validasi Model?

Validasi model adalah proses penentuan apakah model yang dibuat merepresentasikan sistem nyata dengan akurat.

Validasi berfokus pada kebenaran substantif model dibandingkan dengan realitas yang dimodelkan.

Validasi menjawab pertanyaan: "Apakah kita membangun model yang benar?"

Proses ini membutuhkan pemahaman mendalam tentang sistem nyata dan tujuan pemodelan.

# Apa itu Verifikasi Model?

Verifikasi model adalah proses pemeriksaan apakah implementasi model sesuai dengan spesifikasi desain konseptualnya.

Verifikasi memastikan bahwa model bebas dari kesalahan teknis.

Verifikasi menjawab pertanyaan: "Apakah kita membangun model dengan benar?"

Fokus pada kebenaran logis dan matematis dari implementasi model.

# Perbedaan Validasi dan Verifikasi



## Validasi

- Fokus pada kebenaran substantif
- Membandingkan dengan sistem nyata
- Menilai ketepatan representasi



## Verifikasi

- Fokus pada kebenaran logis
- Memeriksa implementasi model
- Menilai konsistensi internal

# Mengapa Validasi dan Verifikasi Penting?



## Keandalan Hasil

Memastikan hasil simulasi dapat dipercaya untuk pengambilan keputusan penting.



## Penghematan Biaya

Mendeteksi kesalahan sejak awal, mencegah implementasi model yang tidak tepat.



## Ketepatan Prediksi

Meningkatkan kemampuan model dalam memprediksi perilaku sistem nyata.

# Langkah-langkah Validasi Model



## Validasi Data Input

Memastikan data yang digunakan akurat, relevan, dan merepresentasikan sistem nyata.



## Validasi Asumsi

Mengevaluasi asumsi yang digunakan dalam model terhadap kondisi sistem nyata.



## Validasi Output

Membandingkan hasil simulasi dengan data sistem nyata atau teori yang telah divalidasi.



## Validasi Ahli

Meminta penilaian dari pakar dalam bidang terkait mengenai kesesuaian model.

# Validasi Data Input




## Teknik Validasi Data

- Pemeriksaan distribusi statistik
- Deteksi outlier dan anomali
- Analisis kecukupan sampel
- Validasi silang dengan sumber independen

Data yang valid adalah fondasi model yang baik. Pastikan data representatif, akurat, dan relevan.

Perhatikan juga masalah data seperti bias, ketidaklengkapan, dan inkonsistensi yang dapat memengaruhi validitas model.

# Validasi Asumsi Model

-  **Identifikasi Asumsi Eksplisit dan Implisit**  
Catat semua asumsi yang digunakan dalam pengembangan model dan bedakan berdasarkan tingkat keyakinannya.
-  **Uji Sensitivitas Asumsi**  
Evaluasi bagaimana perubahan pada asumsi memengaruhi hasil model. Asumsi yang sensitif memerlukan validasi lebih teliti.
-  **Konfirmasi dengan Realitas**  
Bandingkan asumsi dengan kondisi nyata sistem yang dimodelkan. Perbaiki asumsi yang tidak realistis.

# Validasi Output Model

## Validasi Grafis

Membandingkan pola dan tren output model dengan data nyata melalui visualisasi grafis.

## Validasi Statistik

Menggunakan uji statistik untuk mengukur kecocokan antara output model dan data nyata.

## Validasi Independen

Membandingkan hasil dengan model lain atau teori yang telah divalidasi sebelumnya.

Validasi output adalah langkah krusial untuk memastikan model menghasilkan prediksi yang akurat.

# Teknik Validasi Statistik

## Uji Statistik Umum

- Mean Absolute Error (MAE)
- Root Mean Square Error (RMSE)
- Koefisien Korelasi
- Uji Chi-square
- Uji Kolmogorov-Smirnov

Teknik statistik membantu mengukur kesesuaian antara hasil model dan data nyata secara objektif.

Pilih teknik yang sesuai dengan jenis data dan tujuan validasi. Pastikan asumsi dasar uji statistik terpenuhi.

# Validasi Ahli (Face Validation)



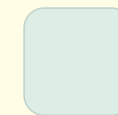
## Panel Ahli

Kumpulkan pakar dari berbagai disiplin ilmu yang relevan untuk mengevaluasi model.



## Metode Delphi

Gunakan pendekatan terstruktur untuk mendapatkan konsensus ahli mengenai validitas model.



## Wawancara Terstruktur

Siapkan pertanyaan spesifik tentang aspek model untuk dinilai oleh ahli.

Penilaian ahli sangat berharga terutama untuk model sistem kompleks yang sulit divalidasi secara kuantitatif.

# Langkah-langkah Verifikasi Model



# Verifikasi Konsistensi Dimensi

## Langkah Verifikasi Dimensi

1. Identifikasi semua variabel dan parameter
2. Tentukan dimensi dan satuan setiap variabel
3. Periksa keseimbangan dimensi dalam persamaan
4. Pastikan konsistensi konversi satuan

Inkonsistensi dimensi adalah indikator kesalahan model. Model yang valid harus memiliki keseimbangan dimensi.

Gunakan analisis dimensi untuk memverifikasi rumus dan persamaan matematika dalam model.

# Verifikasi Kode Program



## Tinjauan Kode

Pemeriksaan kode oleh rekan atau tim untuk menemukan kesalahan dan memastikan kepatuhan pada standar.



## Pengujian Unit

Uji fungsi dan metode secara terpisah untuk memastikan operasi yang benar.



## Analisis Statis

Gunakan alat analisis kode untuk mendeteksi kesalahan, kerentanan, dan masalah performa.

# Uji Kasus Sederhana

## Strategi Pengujian

- Gunakan kasus dengan solusi analitik
- Verifikasi dengan perhitungan manual
- Bandingkan dengan model yang sudah tervalidasi
- Gunakan data historis dengan hasil yang diketahui

Uji kasus sederhana sangat penting untuk memverifikasi bahwa model berperilaku sesuai harapan.

Mulai dari kasus dasar dan tingkatkan kompleksitas secara bertahap untuk memastikan verifikasi yang komprehensif.

# Uji Kondisi Ekstrem



## Nilai Batas

Uji model dengan nilai input minimum dan maksimum untuk memastikan perilaku yang stabil.



## Kasus Nol dan Tak Hingga

Verifikasi respons model terhadap input nol, sangat kecil, atau sangat besar.



## Kondisi Batas

Uji model pada titik transisi atau perubahan status untuk memastikan logika transisi yang benar.

Pengujian kondisi ekstrem membantu mengidentifikasi kelemahan model yang mungkin tidak terlihat dalam kondisi normal.

# Teknik Pemeriksaan Trace

## Metode Trace

- Logging nilai variabel pada titik kritis
- Breakpoint untuk inspeksi status program
- Pelacakan alur eksekusi step-by-step
- Visualisasi status internal model

Pemeriksaan trace membantu memverifikasi logika eksekusi model dan menemukan kesalahan tersembunyi.

Teknik ini sangat berguna untuk model kompleks dengan banyak interdependensi dan kondisi bersyarat.

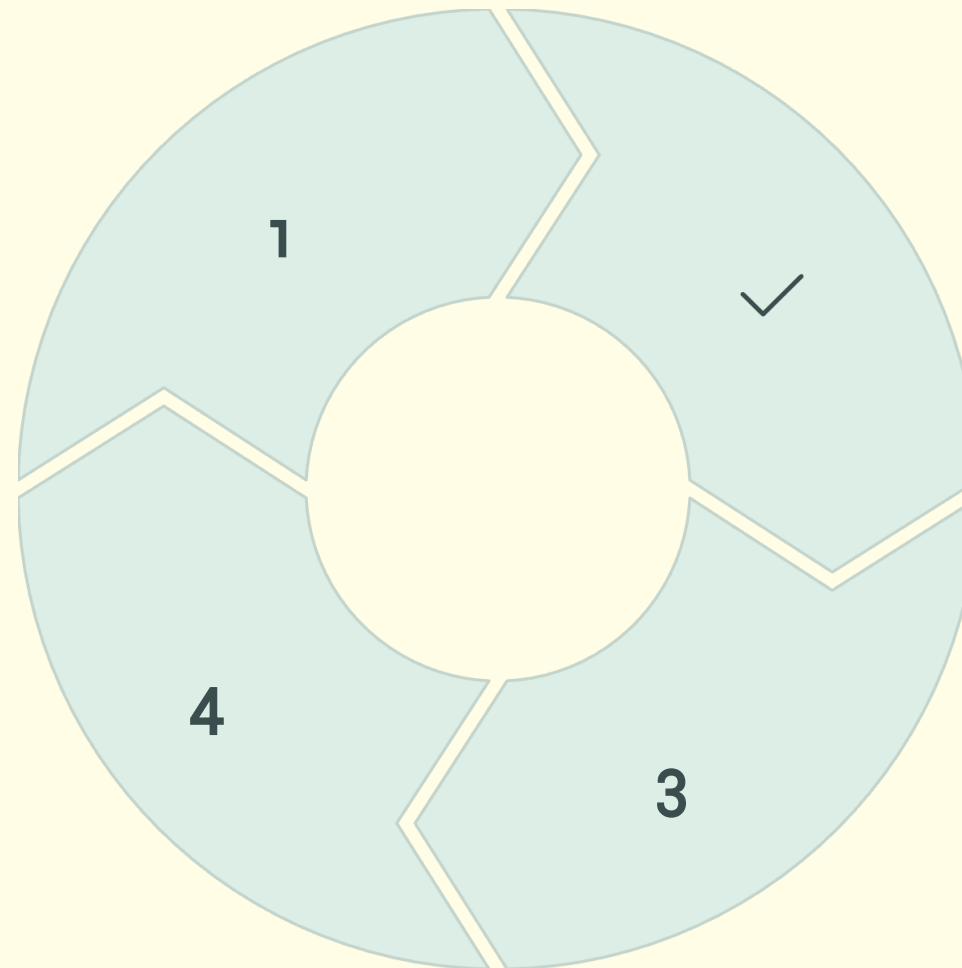
# Validasi dan Verifikasi Berulang

## Pengembangan Model

Bangun atau perbarui model berdasarkan spesifikasi dan masukan.

## Penyesuaian

Lakukan perbaikan berdasarkan hasil validasi dan verifikasi.



## Verifikasi

Pastikan model diimplementasikan dengan benar secara teknis.

## Validasi

Evaluasi kesesuaian model dengan sistem nyata.

Validasi dan verifikasi bukan proses sekali jalan, melainkan siklus berulang sepanjang pengembangan model.

# Studi Kasus: Sistem Antrian

## Deskripsi Sistem

Model simulasi sistem antrian layanan perbankan dengan beberapa loket dan pola kedatangan nasabah yang bervariasi.

## Tujuan Model

Mengoptimalkan jumlah loket layanan untuk meminimalkan waktu tunggu nasabah dan biaya operasional.

## Langkah Validasi & Verifikasi

1. Verifikasi algoritma distribusi kedatangan
2. Validasi asumsi waktu layanan
3. Uji model dengan data historis bank
4. Validasi output dengan pengamatan nyata

# Validasi Sistem Antrian



1

## Validasi Data Kedatangan

Membandingkan distribusi kedatangan nasabah dalam model dengan data nyata menggunakan uji goodness-of-fit.



2

## Validasi Waktu Tunggu

Mengevaluasi ketepatan prediksi waktu tunggu model dibandingkan dengan pengukuran nyata di bank.

# Verifikasi Sistem Antrian



## Verifikasi Algoritma

Memeriksa implementasi algoritma antrian sesuai dengan teori antrian yang telah mapan.

2

## Uji Kasus Sederhana

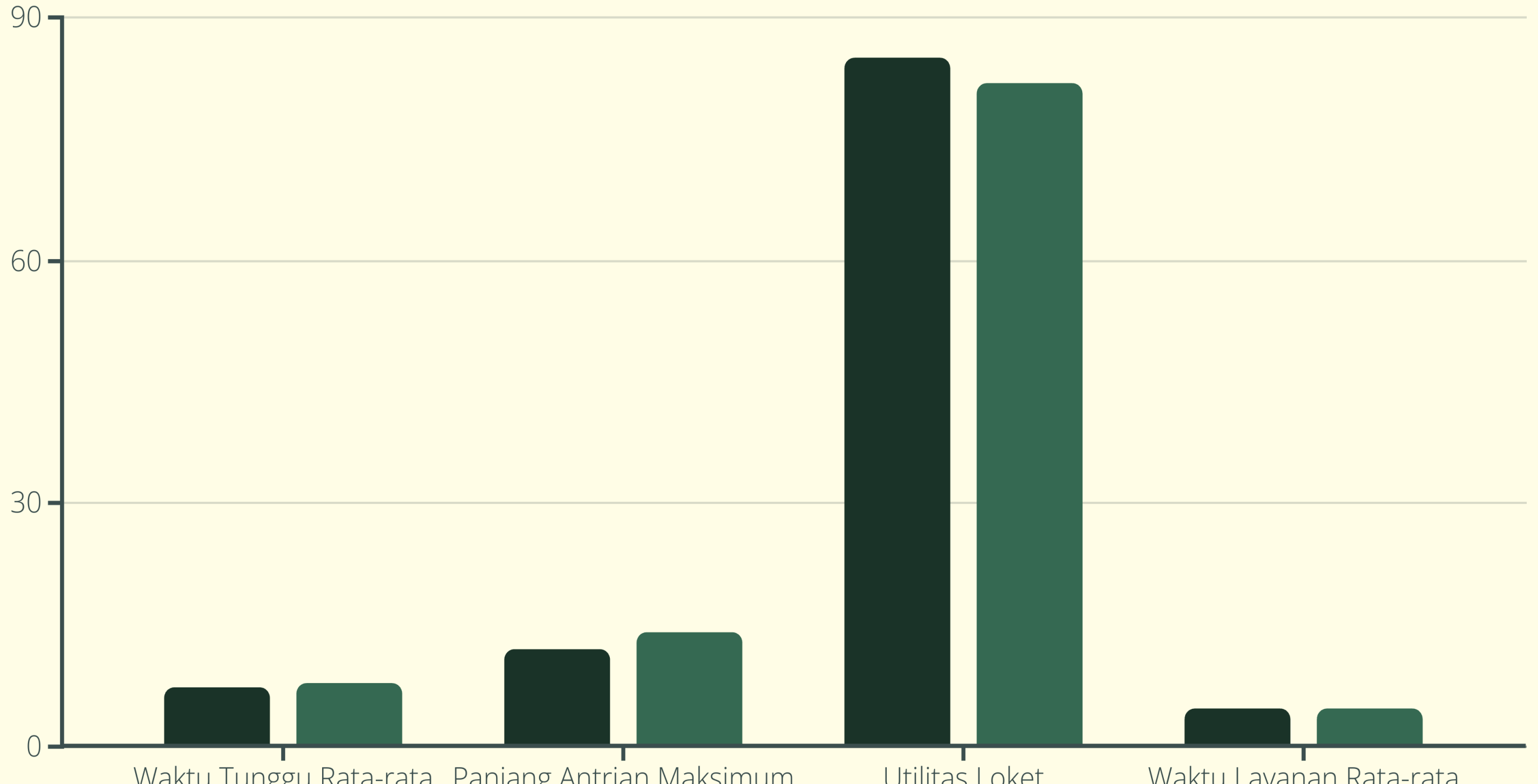
Menjalankan model dengan satu loket dan kedatangan konstan untuk verifikasi perilaku dasar.

3

## Uji Kondisi Ekstrem

Menguji model dengan tingkat kedatangan sangat tinggi atau sangat rendah.

# Hasil Validasi Sistem Antrian



# Studi Kasus: Lalu Lintas Kota

## Deskripsi Model

Simulasi arus lalu lintas di persimpangan utama kota untuk mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas.

Model mencakup variasi volume kendaraan berdasarkan waktu dan pola pergerakan di persimpangan.

## Fokus Validasi & Verifikasi

- Validasi pola kedatangan kendaraan
- Verifikasi logika lampu lalu lintas
- Validasi waktu tempuh kendaraan
- Verifikasi perilaku pengemudi

# Tantangan Validasi dan Verifikasi

## Kompleksitas Sistem

Sistem yang sangat kompleks dengan banyak variabel dan interaksi sulit divalidasi secara menyeluruh.

## Keterbatasan Data

Data sistem nyata yang tidak lengkap atau tidak tersedia membatasi validasi empiris.

## Perilaku Emergent

Sistem kompleks sering menunjukkan perilaku emergent yang sulit diprediksi dan divalidasi.

## Perubahan Sistem

Sistem nyata terus berubah sehingga validasi model menjadi proses yang berkelanjutan.

# Strategi Mengatasi Tantangan



## Pendekatan Modular

Memecah sistem kompleks menjadi komponen yang lebih kecil dan mudah divalidasi.



## Validasi Bertingkat

Memvalidasi model dari level mikro hingga makro secara sistematis.



## Validasi Silang

Menggunakan berbagai teknik validasi yang berbeda untuk meningkatkan kepercayaan pada model.

# Diskusi Kelompok

## Instruksi Diskusi

1. Bentuk kelompok beranggotakan 4-5 orang
2. Pilih satu sistem nyata yang menarik
3. Diskusikan strategi validasi dan verifikasi
4. Identifikasi tantangan dan solusi
5. Presentasikan hasil diskusi (10 menit)

## Topik Sistem Pilihan

- Sistem transportasi publik
- Penyebaran penyakit menular
- Pemrosesan antrian di rumah sakit
- Pergerakan harga saham
- Pola konsumsi energi gedung

# Tugas Individu

## Laporan Validasi dan Verifikasi

Pilih sebuah model simulasi sederhana dan lakukan proses validasi dan verifikasi secara lengkap.

## Konten Laporan

- Deskripsi model dan tujuan
- Metode validasi yang digunakan
- Teknik verifikasi yang diterapkan
- Hasil dan analisis
- Rekomendasi perbaikan model

## Tenggat Waktu

Kumpulkan laporan maksimal 10 halaman dalam format PDF dua minggu setelah pertemuan ini.

# Rangkuman Materi



# Referensi dan Sumber Belajar

## Buku Referensi

- Law, A.M. (2015). Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill.
- Banks, J. et al. (2010). Discrete-Event System Simulation. Pearson.
- Sokolowski, J.A. & Banks, C.M. (2009). Principles of Modeling and Simulation.
- Sargent, R.G. (2013). Verification and validation of simulation models.

## Sumber Online

- Journal of Simulation (Taylor & Francis)
- Winter Simulation Conference Papers
- ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation
- IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics
- Coursera: Model Thinking (University of Michigan)