

Pengantar Simulasi

Muhammad Luthfi Shahab

Departemen Matematika

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

- **Definisi simulasi:**

- Tiruan dari proses atau sistem nyata sepanjang waktu.
- Dapat dilakukan secara manual maupun dengan komputer.
- Menghasilkan sejarah (history) buatan dari sistem untuk menarik kesimpulan tentang karakteristik sistemnya.

- **Model simulasi:**

- Dibangun berdasarkan serangkaian asumsi tentang operasi sistem.
- Asumsi diekspresikan dalam bentuk hubungan matematis, logis, dan simbolik antar entitas dalam sistem.
- Setelah divalidasi, model dapat digunakan untuk menjawab berbagai pertanyaan “what if”.

- **Kegunaan simulasi:**

- Memprediksi dampak perubahan pada sistem yang sudah ada.
- Mempelajari sistem pada tahap desain sebelum dibangun.
- Berfungsi sebagai alat analisis maupun alat desain.

- **Pendekatan matematis vs simulasi komputer:**

- Jika model cukup sederhana → dapat diselesaikan dengan metode matematika (misalnya kalkulus, teori probabilitas, aljabar).
- Jika sistem sangat kompleks → sulit atau mustahil diselesaikan matematis.
- Solusi: gunakan simulasi berbasis komputer untuk meniru perilaku sistem dari waktu ke waktu, lalu kumpulkan data seolah-olah mengamati sistem nyata.

- **Faktor pendukung popularitas simulasi:**

- Tersedianya bahasa atau program simulasi khusus.
- Kemampuan komputasi besar dengan biaya rendah.
- Kemajuan metodologi simulasi.

- **Kegunaan simulasi:**

- Mempelajari atau bereksperimen dengan sistem yang kompleks atau subsistem.
- Menguji dampak perubahan informasi, organisasi, atau lingkungan pada perilaku model.
- Pengetahuan dari perancangan model simulasi dapat membantu perbaikan sistem.

- Mengubah input & mengamati output → memahami variabel penting dan interaksi antar variabel.
- Alat pembelajaran untuk memperkuat metodologi solusi analitik.
- Mencoba desain atau kebijakan baru sebelum diterapkan.
- Memverifikasi hasil solusi analitik.
- Menentukan kebutuhan mesin dengan mensimulasikan berbagai kapasitasnya.
- Pelatihan dengan model simulasi → belajar tanpa biaya dan gangguan pelatihan langsung di lapangan.
- Animasi simulasi → membantu memvisualisasikan operasi sistem.
- Sistem modern (pabrik, layanan, dll) yang sangat kompleks hanya dapat dipahami melalui simulasi.

- **Kapan simulasi tidak tepat digunakan:**

- Masalah bisa diselesaikan dengan akal sehat → contoh: hitung langsung kebutuhan jumlah pelayan tanpa simulasi.
- Masalah dapat diselesaikan secara analitik → gunakan rumus atau metode matematika yang sudah ada.
- Lebih murah dengan eksperimen langsung → contoh: uji coba manual di restoran cepat saji lebih hemat daripada membuat simulasi.
- Biaya simulasi melebihi penghematan → jika biaya studi \$20.000 tapi penghematan hanya \$10.000, maka tidak layak.

- Sumber daya dan waktu tidak tersedia → dana tidak cukup untuk menjalankan studi simulasi atau jika keputusan dibutuhkan lebih cepat daripada waktu pengerjaan simulasi.
- Data tidak tersedia → simulasi membutuhkan data (banyak), tanpa itu tidak bisa dilakukan.
- Tidak bisa diverifikasi/ divalidasi → jika tidak ada waktu atau tenaga ahli untuk validasi model.
- Ekspektasi manajer tidak realistis → meminta hasil terlalu cepat atau melebih-lebihkan kemampuan simulasi.
- Perilaku sistem terlalu kompleks/ tidak dapat didefinisikan → terutama bila melibatkan perilaku manusia yang sulit dimodelkan.

- **Karakteristik simulasi:**

- Simulasi menarik bagi klien karena meniru kondisi nyata atau sistem yang masih dalam tahap desain.
- Berbeda dengan model optimasi yang “diselesaikan”, model simulasi “dijalankan” untuk melihat perilaku sistem.
- Dengan mengubah input dan karakteristik model, dapat dievaluasi berbagai skenario.

- **Kelebihan simulasi:**

- Kebijakan, prosedur, aturan keputusan, aliran informasi, dan prosedur organisasi baru bisa diuji tanpa mengganggu operasi nyata.
- Desain perangkat keras, tata letak fisik, sistem transportasi, dll, bisa diuji tanpa perlu investasi langsung.

- Hipotesis mengenai penyebab suatu fenomena bisa diuji kelayakannya.
- Waktu dapat dipercepat atau diperlambat untuk mempermudah pengamatan fenomena.
- Memberikan wawasan tentang interaksi antar variabel.
- Memberikan wawasan tentang pentingnya suatu variabel terhadap kinerja sistem.
- Dapat dilakukan analisis bottleneck untuk menemukan titik keterlambatan proses, informasi, atau material.
- Membantu memahami cara kerja sistem yang sebenarnya, bukan hanya berdasarkan persepsi individu.
- Dapat menjawab pertanyaan “what if” yang sangat berguna dalam desain sistem baru.

- **Kekurangan simulasi:**

- Membangun model butuh keahlian khusus.
- Hasil simulasi sulit diinterpretasikan.
 - Output simulasi biasanya berupa variabel acak karena menggunakan input acak.
- Proses memakan waktu dan biaya.
- Kadang simulasi digunakan padahal solusi analitis tersedia.
 - Misalnya pada simulasi antrian, ada model antrian berbentuk matematis (closed-form) yang lebih sederhana dan efisien.

- **Namun:**

- Tersedia perangkat lunak simulasi dengan paket siap pakai berupa simulator atau template, hanya memerlukan data input.
- Banyak perangkat lunak simulasi kini dilengkapi dengan fitur analisis output.
- Masalah waktu dan biaya semakin berkurang dengan perkembangan hardware.
- Simulasi unggul dibandingkan model matematis tertutup (closed-form).
 - Sebagian besar sistem nyata terlalu kompleks untuk diselesaikan dengan model tertutup.

- Aplikasi simulasi sangat luas, di antaranya:
 - Aplikasi Manufaktur
 - Fabrikasi Wafer
 - Pemrosesan Bisnis
 - Rekayasa Konstruksi dan Manajemen Proyek
 - Logistik, Transportasi, dan Distribusi
 - Aplikasi Militer
 - Pelayanan Kesehatan

- **Definisi sistem:** sekumpulan objek yang saling berinteraksi atau saling bergantung untuk mencapai suatu tujuan (contoh: sistem produksi mobil dengan mesin, komponen, dan pekerja pada jalur perakitan).
- **Lingkungan sistem:** perubahan yang terjadi di luar sistem dapat memengaruhi sistem; hal ini disebut lingkungan sistem.
- **Batas sistem:** penting menentukan batas antara sistem dan lingkungannya; penentuan ini bergantung pada tujuan studi.
- **Contoh pabrik:**
 - Faktor kedatangan pesanan bisa dianggap sebagai bagian dari lingkungan (di luar pengaruh pabrik).
 - Namun, jika hubungan antara output pabrik dan kedatangan pesanan dipertimbangkan, hal ini menjadi aktivitas sistem.
- **Contoh bank:**
 - Batas maksimal suku bunga dapat dianggap sebagai kendala dari lingkungan ketika meneliti satu bank.
 - Namun, dalam studi mengenai hukum moneter terhadap industri perbankan, batas suku bunga menjadi aktivitas sistem.

- **Entitas (Entity):** objek yang menjadi fokus dalam suatu sistem.
- **Atribut (Attribute):** sifat atau karakteristik dari sebuah entitas.
- **Aktivitas (Activity):** merepresentasikan periode waktu tertentu.
- Contoh dalam sistem bank:
 - Entitas → nasabah
 - Atribut → saldo rekening
 - Aktivitas → melakukan setoran
- **Subset sistem:** Sistem yang diteliti bisa hanya sebagian dari sistem keseluruhan, tergantung tujuan studi.
- Contoh:
 - Jika tujuan studi → jumlah teller reguler yang dibutuhkan, maka sistem hanya terdiri dari teller reguler dan nasabah dalam antrian.
 - Jika tujuan studi diperluas → jumlah teller khusus, maka definisi sistem juga diperluas.

- **Keadaan sistem (State of a system):** sekumpulan variabel yang diperlukan untuk menggambarkan sistem pada suatu waktu, sesuai tujuan studi.
 - Contoh variabel keadaan di bank: jumlah teller sibuk, jumlah nasabah dalam antrian/ sedang dilayani, waktu kedatangan nasabah berikutnya.
- **Peristiwa (Event):** kejadian sesaat yang dapat mengubah keadaan sistem.
 - **Endogen:** aktivitas/peristiwa yang terjadi di dalam sistem.
 - **Eksogen:** aktivitas/peristiwa dari lingkungan luar yang memengaruhi sistem.
 - Contoh di bank:
 - Kedatangan nasabah → peristiwa eksogen.
 - Selesai layanan nasabah → peristiwa endogen.

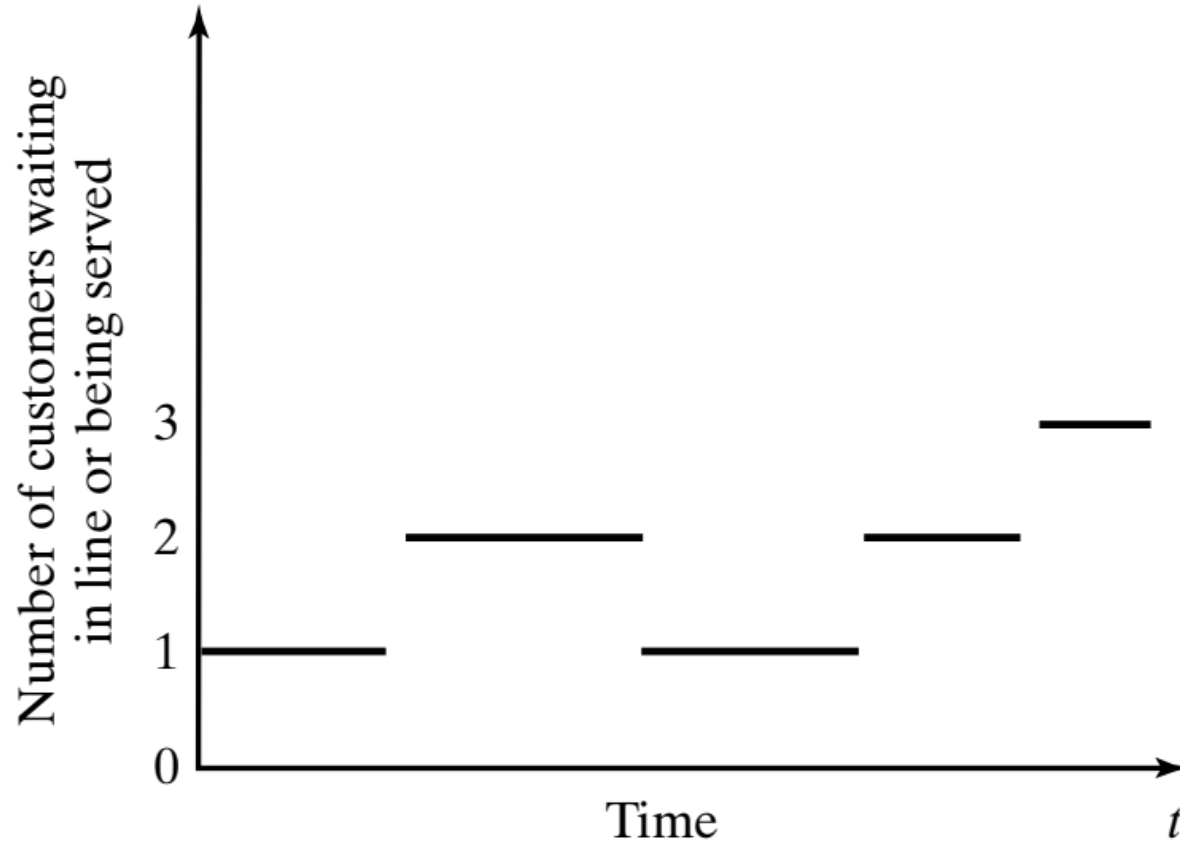
<i>System</i>	<i>Entities</i>	<i>Attributes</i>	<i>Activities</i>	<i>Events</i>	<i>State Variables</i>
Banking	Customers	Checking-account balance	Making deposits	Arrival; departure	Number of busy tellers; number of customers waiting
Rapid rail	Riders	Origin; destination	Traveling	Arrival at station; arrival at destination	Number of riders waiting at each station; number of riders in transit
Production	Machines	Speed; capacity; breakdown rate	Welding; stamping	Breakdown	Status of machines (busy, idle, or down)
Communications	Messages	Length; destination	Transmitting	Arrival at destination	Number waiting to be transmitted
Inventory	Warehouse	Capacity	Withdrawing	Demand	Levels of inventory; backlogged demands

- **Sistem Diskrit**

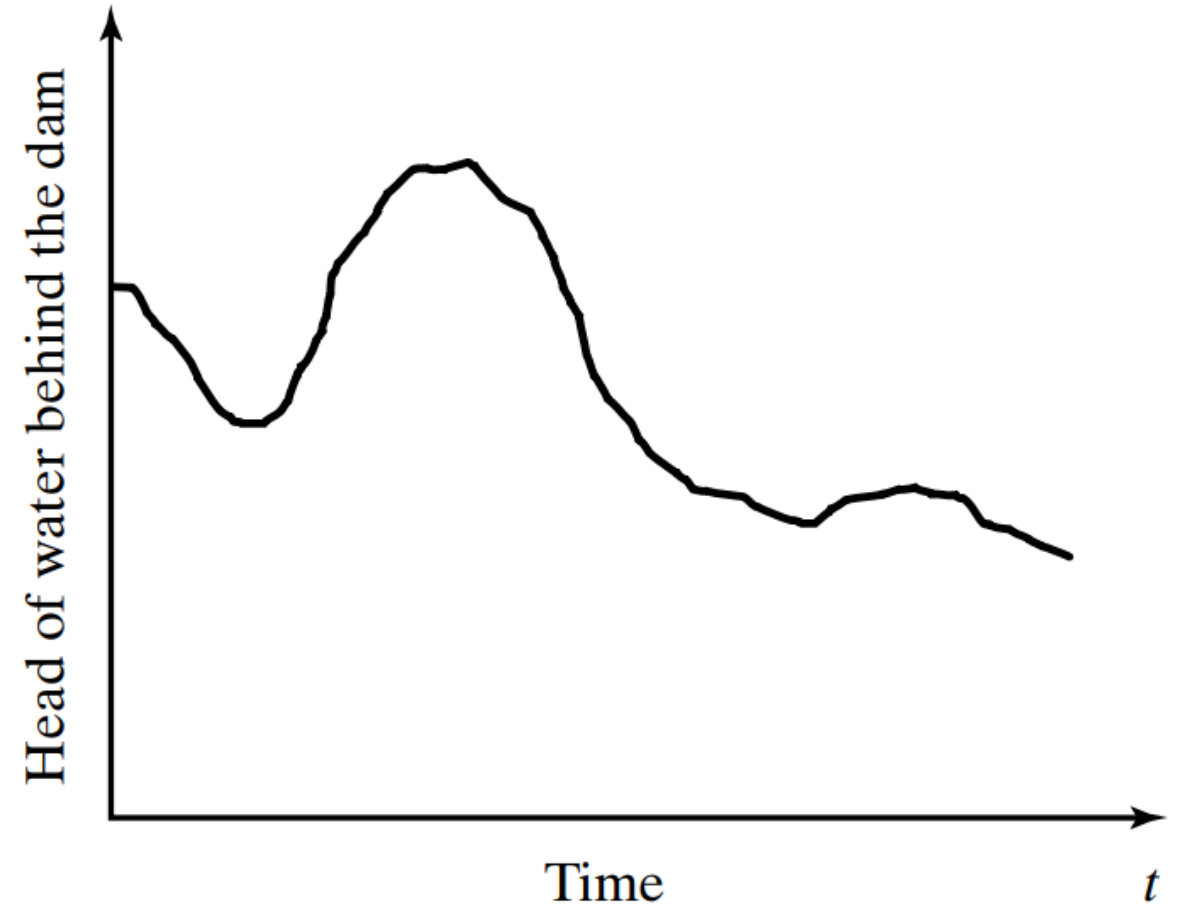
- Variabel keadaan (state variables) berubah hanya pada titik-titik waktu tertentu.
- Contoh: Bank → jumlah nasabah berubah hanya saat ada nasabah datang atau selesai dilayani.

- **Sistem Kontinu**

- Variabel keadaan berubah secara terus-menerus sepanjang waktu.
- Contoh: Tinggi permukaan air di balik bendungan.



Diskrit



Kontinu

- **Definisi:** Model adalah representasi dari suatu sistem yang digunakan untuk mempelajari sistem tersebut.
- **Fokus:** Hanya aspek-aspek yang relevan dengan masalah yang diteliti yang dimasukkan dalam model.
- **Sifat:** Model merupakan penyederhanaan dari sistem nyata.
- **Keseimbangan:** Model harus cukup detail agar dapat menghasilkan kesimpulan yang valid tentang sistem nyata.
- **Fleksibilitas:** Satu sistem dapat memiliki model yang berbeda tergantung tujuan penelitian.

- **Klasifikasi Model**

- **Matematis:** Menggunakan notasi simbolik dan persamaan matematika untuk merepresentasikan sistem. Model simulasi adalah salah satu jenis model matematis.
- **Fisik:** Representasi berupa versi lebih besar atau lebih kecil dari objek nyata (misalnya perbesaran atom atau miniatur tata surya).

- **Klasifikasi Model Simulasi**

- **Statis:** Mewakili sistem pada satu titik waktu tertentu (contoh: Monte Carlo simulation).
- **Dinamis:** Mewakili sistem yang berubah seiring waktu (contoh: simulasi bank dari pukul 9:00–16:00).

- **Deterministik:** Tidak mengandung variabel acak.
- **Stokastik:** Memiliki satu atau lebih variabel acak sebagai input → menghasilkan output acak.

- **Diskrit & Kontinu:**

- Model diskret tidak selalu dipakai untuk sistem diskret, begitu pula sebaliknya.
- Contoh: Tangki dan pipa dapat dimodelkan secara diskret meski aliran fluida bersifat kontinu.
- Model simulasi juga bisa berupa kombinasi (diskret sekaligus kontinu).

- **Catatan Penting**

- Pemilihan model diskret, kontinu, atau kombinasi tergantung karakteristik sistem dan tujuan studi.

- Mata kuliah ini berkaitan dengan **simulasi sistem berbasis peristiwa diskrit**: pemodelan sistem di mana variabel keadaan berubah hanya pada titik-titik waktu tertentu.
- Model simulasi dianalisis dengan metode numerik, bukan metode analitik.
- Metode numerik menggunakan prosedur komputasi untuk menyelesaikan model matematis.
- Dalam simulasi, model dijalankan (run) bukan diselesaikan (solved); artinya riwayat buatan sistem dibuat berdasarkan asumsi model, lalu dikumpulkan data observasi untuk analisis dan estimasi kinerja sistem sebenarnya.
- Model simulasi dunia nyata biasanya sangat besar dengan jumlah data yang disimpan dan diproses dalam skala besar. Oleh karena itu, komputer sangat dibutuhkan untuk menjalankan simulasi.

- **Perumusan masalah**

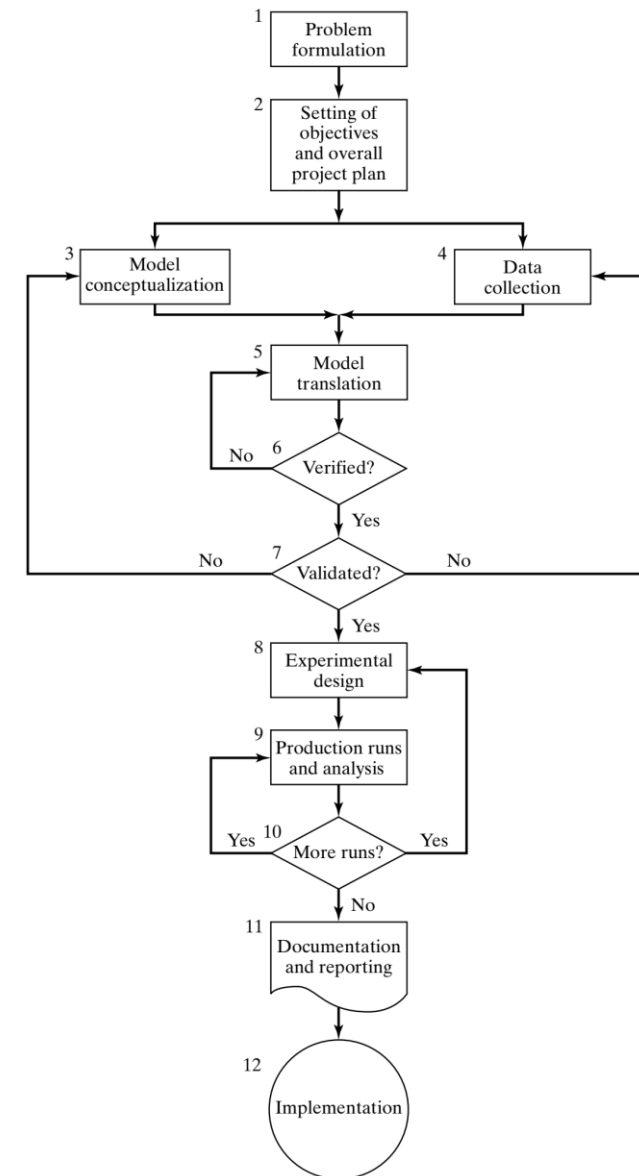
- Mulai dengan pernyataan masalah yang jelas.

- **Penetapan tujuan & rencana proyek**

- Tentukan pertanyaan yang ingin dijawab.
- Buat rencana proyek: alternatif sistem, metode evaluasi, jumlah orang, biaya, waktu, serta hasil tiap tahap.

- **Konseptualisasi model**

- Abstraksi fitur penting dari sistem.
- Mulai dengan model sederhana lalu tingkatkan kompleksitas sesuai kebutuhan.
- Libatkan pengguna model untuk meningkatkan kualitas & kepercayaan.



- **Pengumpulan data**

- Dilakukan paralel dengan pembangunan model.
- Jenis data tergantung tujuan studi.
- Data historis digunakan untuk validasi model.

- **Translasi model**

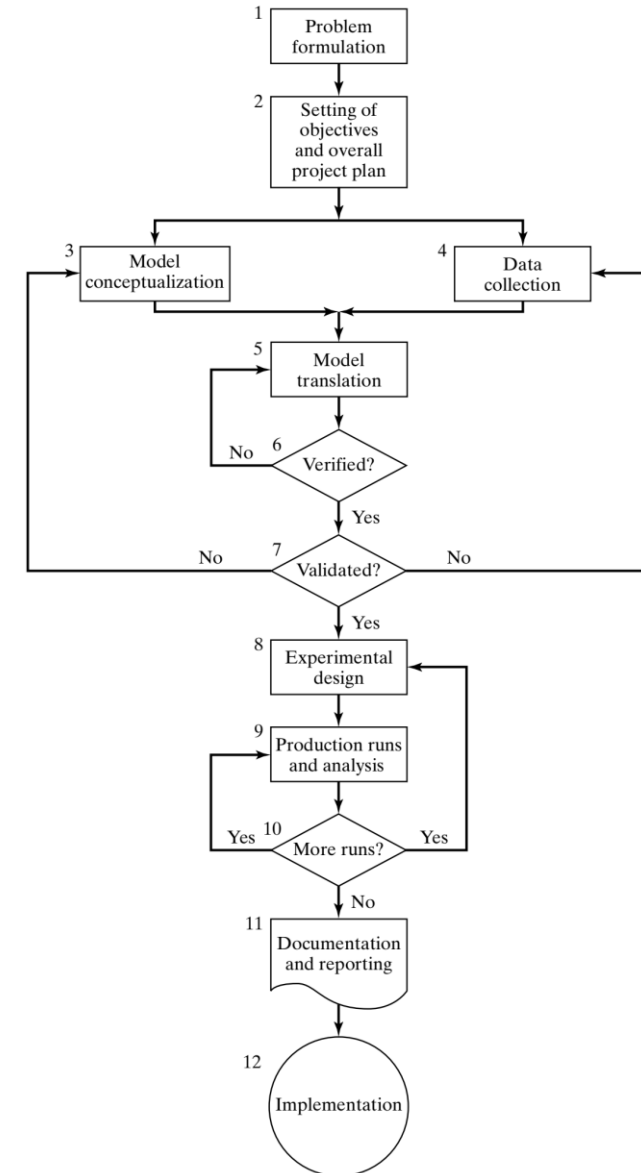
- Model dimasukkan ke format komputer.

- **Verifikasi**

- Pastikan program simulasi bekerja sesuai logika & parameter yang dimasukkan.
- Biasanya melibatkan debugging.

- **Validasi**

- Bandingkan hasil simulasi dengan perilaku sistem nyata.
- Dilakukan secara iteratif sampai akurat.



- **Desain eksperimen**

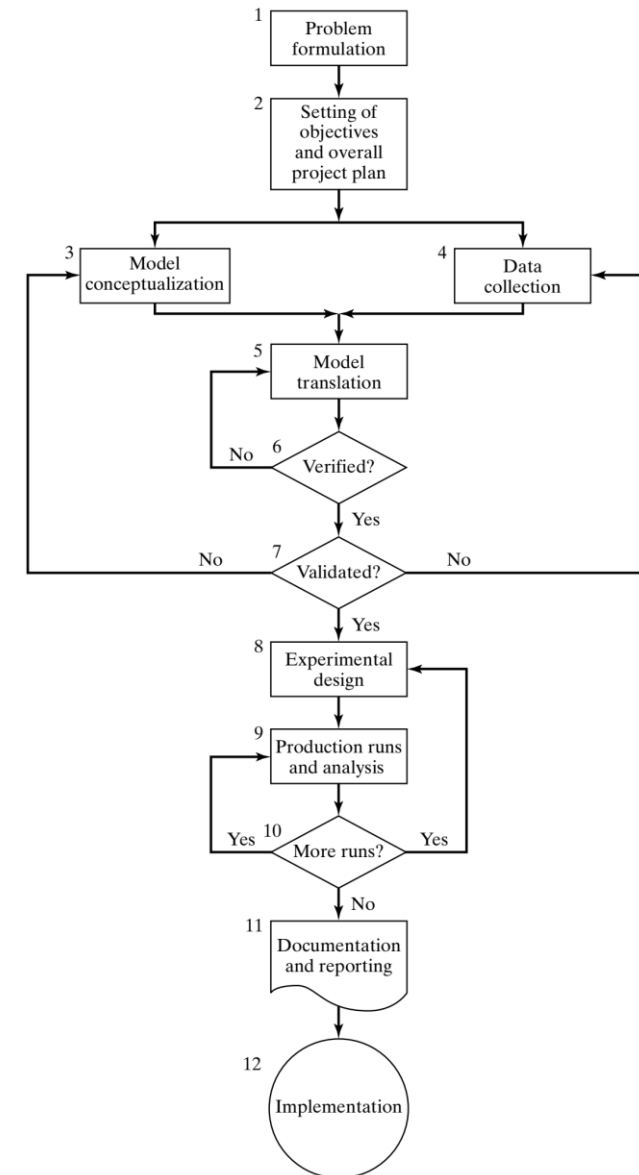
- Tentukan alternatif yang akan diuji.
- Tetapkan panjang periode inisialisasi, lama run simulasi, dan jumlah replikasi.

- **Production runs & analisis**

- Jalankan simulasi untuk estimasi kinerja sistem.
- Gunakan software analisis tambahan bila diperlukan.

- **Run tambahan?**

- Tentukan apakah perlu eksperimen tambahan berdasarkan hasil sebelumnya.

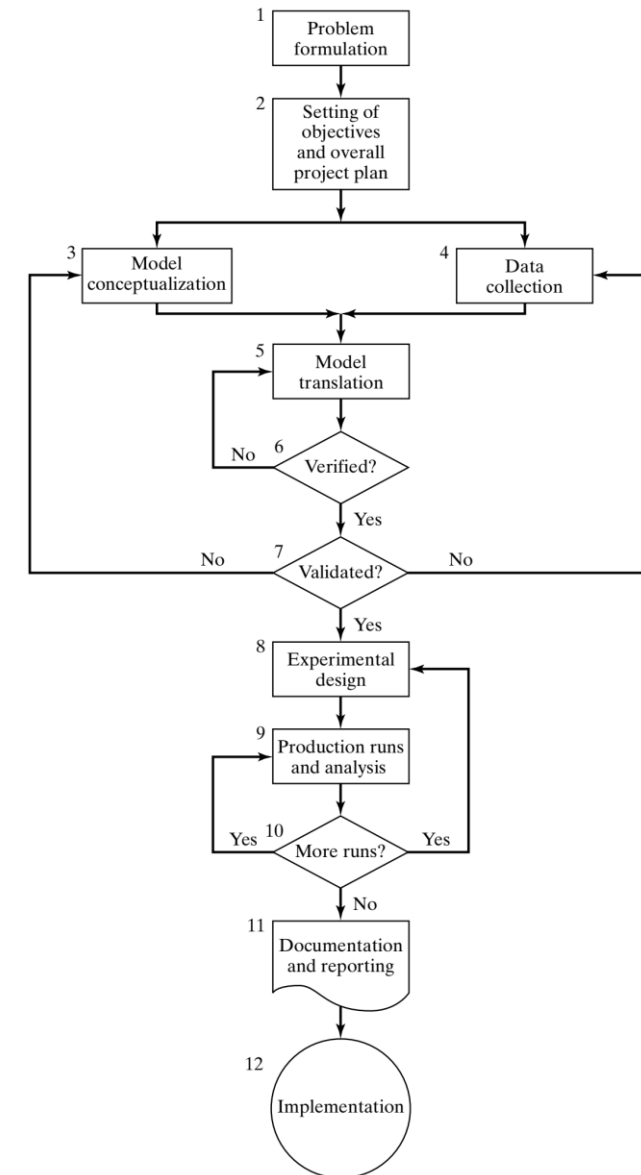


- **Dokumentasi & pelaporan**

- Ada dokumentasi program & dokumentasi progres.
- Laporan akhir berisi formulasi masalah, alternatif yang diuji, hasil eksperimen, serta rekomendasi solusi.

- **Implementasi**

- Keberhasilan bergantung pada keterlibatan pengguna sejak awal.
- Validasi model (langkah 7) sangat krusial, karena model tidak valid bisa menghasilkan keputusan salah & berisiko.



- **Fase Utama Proses Simulasi**

- **Fase 1: Orientasi/penemuan** → Langkah 1 & 2 (perumusan masalah, penetapan tujuan).
- **Fase 2: Pembangunan model & pengumpulan data** → Langkah 3–7.
- **Fase 3: Running model** → Langkah 8–10.
- **Fase 4: Implementasi** → Langkah 11–12.

