

Nama : Aulia Defitri Wulandari

NIM : 20224001

### **Sistem Dinamik**

Sistem dinamik (System Dynamics/SD) adalah suatu metodologi yang digunakan untuk mengembangkan strategi dalam menghadapi sistem yang kompleks dan terus berubah. Pendekatan ini menggabungkan pemodelan matematis dan simulasi untuk membantu pengambilan keputusan yang lebih baik. Salah satu ciri khas dari sistem dinamik adalah penggunaan teori sistem umpan balik (feedback system), yang merupakan pelengkap bagi pendekatan berpikir sistem (systems thinking). Dalam konteks systems thinking, perhatian difokuskan pada hubungan sebab-akibat antara elemen dalam sistem, sementara system dynamics digunakan untuk mengkuantifikasi dan menyimulasikan efek dari hubungan tersebut. Pendekatan ini sering digunakan dalam permasalahan yang muncul dari sistem sosial, manajerial, ekonomi, hingga ekologi yang kompleks.

### **Tantangan dan Keterbatasan**

Meskipun memiliki potensi yang besar, penerapan sistem dinamik memiliki sejumlah tantangan dan keterbatasan. Dalam kasus pengelolaan sumber daya air misalnya, terdapat beberapa kendala utama seperti keterbatasan pengetahuan dan pengalaman pengguna, kebutuhan untuk menggabungkan banyak subsistem, kesulitan dalam validasi model, serta kompleksitas dalam mengintegrasikan berbagai aspek sistem. Validasi model menjadi salah satu isu krusial karena model sistem dinamik sering kali diterapkan pada sistem yang sulit diamati atau tidak memungkinkan untuk dilakukan eksperimen langsung. Teknik validasi tradisional seperti pencocokan data historis kadang tidak dapat diterapkan secara andal. Bahkan jika model mampu meniru data masa lalu dengan baik, hal ini tidak menjamin kemampuannya untuk memprediksi perilaku sistem di masa depan—terutama ketika terjadi gangguan besar atau perubahan kondisi.

Terdapat tiga aspek utama dalam validasi sistem dinamik: validitas struktural (apakah model merepresentasikan struktur sistem dengan akurat), validitas perilaku (apakah model menghasilkan dinamika yang sesuai dengan data observasi), dan validitas prediktif (kemampuan model untuk memproyeksikan dinamika masa depan secara akurat).

### **Tahapan Pengembangan Model Sistem Dinamik**

Pembangunan model sistem dinamik secara umum melalui empat tahap utama. Tahap pertama adalah konseptualisasi, di mana komponen-komponen utama sistem diidentifikasi dan hubungan kausal di antaranya dijelaskan. Tahap kedua adalah formulasi, yaitu penerjemahan hubungan tersebut ke dalam bentuk matematis atau diagram aliran informasi. Tahap ketiga adalah pengujian atau validasi model, yang meliputi simulasi dan evaluasi performa model terhadap data historis atau skenario hipotesis. Terakhir, tahap keempat adalah implementasi, yaitu penggunaan model untuk mendukung pengambilan keputusan atau perencanaan strategis. Kerangka ini

banyak digunakan dalam praktik dan dipopulerkan oleh Jay Forrester dan timnya di MIT.

## **Aplikasi Sistem Dinamik dalam Berbagai Sektor**

### **1. Simulasi Proses Produksi**

Dalam dunia manufaktur, khususnya dalam proses pengemasan yang kompleks dan padat mesin, sistem dinamik digunakan untuk memodelkan alur kerja dan kinerja mesin dalam satu lini produksi. Karena karakteristik produksi massal dan pentingnya titik pemisah (decoupling point), pemodelan ini membantu mengidentifikasi hambatan kinerja dan mengevaluasi efisiensi. Meskipun sistem dinamik tidak secara rinci dapat menjelaskan semua penyebab kerugian produktivitas, metode ini efektif untuk memperoleh pemahaman cepat dengan usaha pemodelan yang minimal. Model ini juga dapat dikombinasikan dengan metode analitik seperti OEE (Overall Equipment Effectiveness) dan OEEML.

### **2. Evaluasi Kinerja Sistem Manufaktur**

Di luar simulasi lini produksi, sistem dinamik juga banyak digunakan untuk mengevaluasi dan mengoptimasi keseluruhan sistem manufaktur. Fokus utama di sini adalah pada interaksi antara parameter proses (misalnya waktu siklus, keandalan mesin) dan parameter operasional (seperti variasi permintaan). Dengan pendekatan ini, manajer pabrik dapat memahami bagaimana sistem merespons terhadap perubahan lingkungan atau kebijakan, sehingga dapat menyusun strategi peningkatan performa yang tepat.

### **3. Rebound Ekonomi Sirkular**

Salah satu isu menarik yang baru-baru ini muncul adalah efek rebound dalam ekonomi sirkular. Sistem ekonomi sirkular bertujuan mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi sumber daya. Namun, paradoksnya, efisiensi yang tinggi terkadang mendorong konsumsi berlebih karena biaya yang ditekan. Dengan sistem dinamik, peneliti dapat memodelkan dinamika rebound ini dan mengevaluasi berbagai skenario berdasarkan parameter seperti potensi penghematan, kecenderungan konsumen membelanjakan penghematan, dan kapasitas pemulihan sistem. Temuan ini menunjukkan bahwa interaksi antar variabel dalam sistem sirkular sangat kompleks dan bergantung pada umpan balik nonlinier.

### **4. Pengelolaan Lingkungan Ekologis di Wilayah Tambang**

Studi kasus dari wilayah tambang batubara di Tiongkok menunjukkan bahwa sistem dinamik dapat digunakan untuk memodelkan pengelolaan lingkungan ekologis. Dalam studi tersebut, model dikembangkan untuk menjelaskan hubungan antara pertumbuhan ekonomi (GDP), investasi lingkungan, kualitas udara, dan pendapatan tambang. Diagram kausal menunjukkan dua jenis umpan balik: positif (di mana peningkatan GDP mendorong investasi lingkungan dan akhirnya meningkatkan kualitas udara dan pendapatan) dan negatif (di mana kualitas udara yang tinggi mengurangi kebutuhan akan investasi lebih lanjut). Sistem ini terdiri dari lima

subsistem penting: atmosfer, limbah padat, sumber daya air, tutupan vegetasi, dan reklamasi lahan. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kualitas lingkungan sangat bergantung pada pemulihan kerusakan vegetasi.

## **Kesimpulan**

System Dynamics merupakan alat yang sangat kuat untuk memodelkan, memahami, dan mengelola sistem yang kompleks dan dinamis. Metodologi ini telah terbukti bermanfaat dalam berbagai bidang mulai dari manufaktur hingga pengelolaan lingkungan dan ekonomi sirkular. Meskipun memiliki keterbatasan dalam hal validasi dan integrasi subsistem, pendekatan ini tetap relevan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis skenario. Dengan menggunakan kerangka sistem dinamik, pengambil kebijakan dan praktisi dapat lebih memahami dinamika sistem dan merancang solusi yang lebih adaptif terhadap perubahan.