

BERTHA MAYA SOPHA  
SEKAR SAKTI

# PEMODELAN DAN SIMULASI BERBASIS AGEN

**untuk Sistem Kompleks Sosio-Teknikal**

**Konsep, Metode, dan Aplikasi**



GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

**PEMODELAN DAN SIMULASI BERBASIS AGEN  
UNTUK SISTEM KOMPLEKS SOSIO-TEKNIKAL**  
Konsep, Metode, dan Aplikasi

**Penulis:**

Bertha Maya Sopha  
Sekar Sakti

**Editor:**

Yuni

**Proofreader:**

Siti

**Desain sampul:**

Sekar Sakti

**Tata letak isi:**

Rio

**Penerbit:**

Gajah Mada University Press  
Anggota IKAPI dan APPTI

**Ukuran:** 15,5 × 21 cm; xii + 160 hlm

**ISBN:** 978-602-386-938-1

**Redaksi:**

Jl. Sendok, Karanggayam CT VIII Caturtunggal  
Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta, 55281  
Telp./Fax.: (0274) 561037  
ugmpress.ugm.ac.id | gmupress@ugm.ac.id

**Cetakan Pertama:** Desember 2020

**Hak Penerbitan ©2020 Gajah Mada University Press**

*Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun, baik cetak, photoprint, micro ilm, dan sebagainya.*

# Kata Pengantar

Proses pengambilan keputusan yang melibatkan interaksi antar-komponen, heterogenitas pada komponen sistem dan ketidakpastian (*uncertainty*) membuat karakter permasalahan bertransformasi menjadi lebih kompleks (*chicken-egg problem, counter-intuitive behavior, path dependence, spatially and temporally dependence*). Tidak ada pilihan lain kecuali menguasai pendekatan/metode yang mampu memfasilitasi karakter sistem kompleks karena metode analitis sudah tidak lagi mampu untuk menyelesaikan permasalahan pada sistem kompleks. Dengan kemampuan teknologi yang semakin canggih yang memfasilitasi komputasi dengan waktu yang cepat dan memungkinkan tersedianya data secara detail, baik pada tingkat mikro maupun tingkat makro, pemodelan dan simulasi berbasis agen (*Agent-Based Modeling and Simulation - ABMS*) telah hadir sebagai solusi untuk memodelkan dan mensimulasikan sistem kompleks. ABMS memiliki kelebihan dibandingkan metode yang lain karena kemampuannya dalam merepresentasikan entitas/agen secara alami (*in a natural way*) yang melibatkan karakter dan perilaku agen yang heterogen dan interaksi (antar-agen ataupun antar-agen lingkungan) untuk mengevaluasi karakter sistem (*emergent properties*).

*Alhamdulillah*, atas rahmat dan karunia Allah Swt., buku ini dapat terselesaikan dan dirilis sebagai buku pertama di Indonesia berjudul *Pemodelan dan Simulasi Berbasis Agen (Agent-Based Modeling and Simulation – ABMS) untuk Sistem Kompleks Sosio-Teknikal: Konsep, Metode, dan Aplikasi*. Buku ini ditujukan untuk pemodel (baik pemula maupun lanjutan) yang bekerja pada sistem kompleks terutama untuk aplikasi sistem sosio-teknikal. Buku ini memberikan pemahaman konsep/

prinsip dasar, metode/teknik penggunaannya sekaligus memberikan beberapa contoh/ilustrasi aplikasinya pada beberapa jenis sistem kompleks. Pada edisi pertamanya, buku ini juga memberikan informasi perkembangan terbaru terkait integrasi ABMS dengan metode/tool yang lain seperti *Geographical Information System (GIS)*, *data mining*, *artificial intelligence*, dan metode simulasi lainnya, yaitu *Discrete-Event Simulation*, *System Dynamics (Multi-Method Simulation)*. Dengan buku ini diharapkan memudahkan para pemodel untuk memahami ABMS dan mengambil peran dalam penyelesaian permasalahan di dunia nyata. Penggunaan *Agent-Based Modeling and Simulation* akan sangat membantu dalam mengevaluasi sistem, merancang aksi perbaikan, bahkan mengubah sistem bila diperlukan.

*Platform* yang digunakan dalam buku ini, yaitu NetLogo (Wilensky, 1999) yang merupakan bagian terpisah dari buku ini karena *platform* NetLogo merupakan *open source* yang dapat diakses melalui <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/download.shtml>. Ilustrasi yang digunakan dalam buku ini tersedia pada *Model Library* di NetLogo.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Mita Ayu Hervina atas bantuan teknis dalam persiapan buku ini, dan keluarga yang telah memberikan dukungan penuh. Segala kekurangan yang mungkin ditemukan dalam buku ini menunjukkan bahwa kritik dan saran dari para pembaca sangat diharapkan untuk perbaikan dan penyempurnaan buku ini di masa mendatang. Semoga buku ini dapat memberi manfaat bagi para akademisi dan praktisi. *#better*.

Yogyakarta, November 2020

Bertha Maya Sopha  
Sekar Sakti

# Daftar Isi

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Tabel.....	x
Daftar Gambar .....	xi
BAB 1: Simulasi dalam Teknik Industri .....	1
1.1 Simulasi sebagai Metode .....	1
1.2 Manfaat Simulasi.....	4
1.3 Tahapan Penelitian Berbasis Simulasi .....	5
1.4 Metode Simulasi dalam Teknik Industri.....	10
1.4.1 Discrete-Event Simulation (DES) .....	11
1.4.2 System Dynamics (SD) .....	12
1.4.3 Agent-Based Modeling and Simulation (ABMS) .....	13
1.5 Soal Latihan.....	15
BAB 2: <i>Agent-Based Modeling and Simulation (ABMS)</i> .....	18
2.1 Mengapa ABMS – Pemodelan dan Simulasi Berbasis Agen.....	18
2.2 Konsep Dasar ABMS.....	20
2.3 Komponen dalam ABMS.....	23
2.3.1 Agen .....	23
2.3.2 Lingkungan.....	26
2.3.3 Interaksi .....	29
2.3.4 Emergence (Fenomena).....	32
2.4 Kegunaan dan Aplikasi ABMS.....	35
2.5 Kapan Menggunakan ABMS.....	36

2.6	<i>ABMS Platform/Software</i> .....	37
2.7	Soal Latihan.....	40
BAB 3: NetLogo.....		42
3.1	NetLogo.....	42
3.2	Komponen Dasar NetLogo.....	43
3.3	Konsep Pemrograman ABMS pada NetLogo.....	47
3.4	Implementasi Model Sederhana dengan NetLogo .....	50
3.5	Soal Latihan.....	63
BAB 4: Metode Simulasi dengan ABMS .....		66
4.1	<i>Abductive Approach (Retroduction)</i> .....	66
4.2	Jenis-Jenis ABMS.....	69
4.3	Merancang ABMS .....	70
	4.3.1 Model Hotelling's Law.....	71
	4.3.2 Model Supply Chain.....	80
4.4	Soal Latihan.....	93
BAB 5: ODD ( <i>Overview, Design Concept, Detail</i> ) Protocol .....		95
5.1	Reproduksi.....	95
5.2	Apa itu ODD Protocol? .....	98
5.3	Mengapa ODD ( <i>Overview, Design Concept, Detail</i> ).....	98
5.4	Komponen dalam ODD .....	99
5.5	Contoh Penggunaan ODD Protocol .....	107
5.6	Soal Latihan.....	112
BAB 6: Parameterisasi, Verifikasi, dan Validasi .....		113
6.1	Parameterisasi.....	113
6.2	Verifikasi.....	117
6.3	Validasi .....	121
6.4	Soal Latihan.....	125
BAB 7: Analisis ABMS .....		127
7.1	<i>BehaviorSpace</i> dalam NetLogo .....	127
7.2	Analisis Hasil ABMS: <i>Time-Series Result</i> dan <i>Spatial Result</i> ..	131
7.3	Penggunaan Statistik untuk Analisis Hasil Simulasi .....	132

7.4	<i>Sensitivity Analysis, Uncertainty Analysis, dan Robustness Analysis</i> .....	133
7.4.1	<i>Sensitivity Analysis</i> .....	133
7.4.2	<i>Uncertainty Analysis</i> .....	135
7.4.3	<i>Robustness Analysis</i> .....	136
7.5	Soal Latihan .....	137
BAB 8: Integrasi ABMS dengan Metode Lain .....		139
8.1	Integrasi dengan <i>Geographical Information System (GIS)</i> .....	139
8.2	Integrasi dengan <i>Data Mining</i> dan <i>Artificial Intelligence</i> .....	145
8.3	Integrasi dengan Metode Simulasi Lain ( <i>Multi-Method Simulation</i> ).....	147
8.4	Soal Latihan .....	149
Daftar Pustaka.....		151
Indeks.....		156
Tentang Penulis.....		158