

SISTEM DINAMIK UNTUK PEMULA



Lukman Junaedi, S.T., M.Kom. | Dr. Ir. Agustinus Bimo Gumelar
Ageng Salmanarrizqie, S.Kom.

SISTEM DINAMIK

untuk Pemula

Penulis

Lukman Junaedi, S.T., M.Kom.

Dr. Ir. Agustinus Bimo Gumelar

Ageng Salmanarrizqie, S.Kom.



PENERBIT KBM INDONESIA

Adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku penulis di tanah air Indonesia. Serta menjadi media sharing proses penerbitan buku.

SISTEM DINAMIK UNTUK PEMULA

Copyright @2025 By Lukman Junaedi, S.T., M.Kom., dkk.

All right reserved

Penulis

Lukman Junaedi, S.T., M.Kom.
Dr. Ir. Agustinus Bimo Gumelar
Ageng Salmanarrizqie, S.Kom.

Desain Sampul

Aswan Kreatif

Tata Letak

Sofitahm

Editor

Dr. Muhamad Husein Maruahey, Drs., M.Sc.

Background isi buku di ambil dari <https://www.freepik.com/>

Official

Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor)

Penerbit Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia

Anggota IKAPI/No. IKAPI 279/JTI/2021

081357517526 (Tlpn/WA)

Website

<https://penerbitkbm.com>

www.penerbitbukumurah.com

Email

naskah@penerbitkbm.com

Distributor

<https://penerbitkbm.com/toko-buku/>

Youtube

Penerbit KBM Sastrabook

Instagram

@penerbit.kbmindonesia

@penerbitbukujogja

ISBN: 978-634-202-750-9

Cetakan ke-1, September 2025

14,8 x 21 cm, viii + 138 halaman

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit
Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di DJKI-Kemenkumha
dan isi buku dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas tersusunnya buku ini yang berjudul *Sistem Dinamik untuk Pemula*. Buku ini lahir dari keprihatinan sekaligus kebutuhan nyata di lapangan: masih minimnya referensi berbahasa Indonesia yang menjelaskan konsep sistem dinamik secara terstruktur, kontekstual, dan mudah dipahami, khususnya untuk pembaca di bidang Sistem Informasi, Teknik, dan Ilmu Komputasi.

Sistem dinamik bukan sekadar cabang matematika terapan atau teknik simulasi, tetapi sebuah pendekatan berpikir yang sangat relevan untuk memahami dan mengelola kompleksitas di dunia nyata. Dalam era disrupsi teknologi, perubahan iklim, dan dinamika sosial-ekonomi global, kemampuan untuk melihat sistem secara utuh melampaui sebab-akibat linier menjadi kian penting. Sistem dinamik menawarkan kerangka untuk memahami keterkaitan antar komponen, efek umpan balik, serta potensi konsekuensi jangka panjang dari keputusan yang kita ambil hari ini.

Buku ini disusun secara bertahap dan progresif, dimulai dari konsep dasar, pemodelan matematis, simulasi numerik, analisis perilaku, hingga tren masa depan. Setiap bab dirancang agar saling melengkapi, dengan pendekatan naratif, ilustratif, dan praktis. Penulis berusaha agar pembaca tidak hanya

mengerti persamaan, tetapi juga mampu berpikir secara sistemik dalam menyikapi persoalan dunia nyata.

Buku ini ditujukan terutama bagi:

- Mahasiswa program sarjana dan pascasarjana yang baru mengenal sistem dinamik,
- Profesional muda di bidang industri, teknologi, dan kebijakan publik yang ingin memahami sistem secara lebih menyeluruh,
- Dosen dan fasilitator pelatihan yang membutuhkan referensi pengantar sistem dinamik yang aplikatif.

Dalam proses penulisan buku ini, penulis mendapat banyak inspirasi dari pengalaman mengajar, studi literatur internasional, serta diskusi dengan rekan-rekan sejawat di bidang pemodelan sistem. Penulis menyadari bahwa buku ini belum tentu sempurna, namun besar harapan kami agar buku ini dapat menjadi batu pijakan awal bagi siapa saja yang ingin memasuki dunia sistem dinamik secara lebih serius dan bermakna.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan buku ini. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi pembaca, membuka cakrawala berpikir baru, serta menjadi kontribusi kecil bagi pembangunan ilmu pengetahuan yang lebih holistik dan berkelanjutan.

Surabaya, 29 Agustus 2025

Lukman Junaedi, ST, M.Kom

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
Bab 1 Pengantar Sistem Dinamik.....	1
1.1. Memahami Konsep Inti.....	6
1.2. Contoh Sistem Dinamik di Dunia Nyata	18
1.3. Urgensi Belajar Sistem Dinamik	30
Bab 2 Konsep Dasar Sistem Dinamik.....	42
2.1. Komponen Utama Sistem	42
2.2. Jenis-jenis Sistem Dinamik.....	48
2.3. Stabilitas Sistem.....	52
Bab 3 Pemodelan Matematis	56
3.1. Proses Pemodelan	56
3.2. Persamaan Dinamik	62
3.3. Validasi Model	66
Bab 4 Simulasi Dan Analisis Numerik.....	71
4.1. Pengantar Simulasi.....	72
4.2. Metode Numerik Dasar	76
4.3. Interpretasi Hasil Simulasi.....	79
Bab 5 Analisis Perilaku Sistem	85
5.1. Stabilitas dan Titik Ekuilibrium	86
5.2. Bifurkasi: Titik Kritis Perubahan Perilaku	89

5.3. Chaos dan Ketidakteraturan	93
Bab 6 Studi Kasus Praktis	98
6.1. Ekonomi dan Bisnis.....	98
6.2. Sumber Daya dan Lingkungan	102
6.3. Sistem Informasi dan Jaringan.....	105
BAB 6 Tantangan Dan Solusi	110
7.1. Hambatan Umum dalam Pemodelan	110
7.2. Strategi Mitigasi	114
Bab 8 Alat Dan Tools Modern.....	119
8.1. Lingkungan Pemrograman untuk Simulasi.....	119
8.2. Aplikasi Web Interaktif	123
8.3. Integrasi ke Sistem Lain	128
GLOSARIUM.....	133
SIMBOL MATEMATIS	135
DAFTAR PUSTAKA	136
BIOGRAFI PENULIS.....	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram Kausal Model WORLD2 (Forrester, 1971)	4
Gambar 1.2. Diagram CLD untuk Populasi Rusa	10
Gambar 1.3. Grafik Keseimbangan Jangka Panjang Model Solow	20
Gambar 1.4. Siklus Umpan Balik Positif pada Perubahan Iklim	23
Gambar 1.5. Siklus Populasi Predator-Mangsa.	26
Gambar 1.6. Alur Kerja Sistem Cruise Control	29
Gambar 1.7. Umpan Balik Sistem Rekomendasi Adaptif.	38
Gambar 2.1. Alur Dasar Sistem (Input-State-Output)	44
Gambar 2.2. Parameter dan Pertumbuhan Logistik	46
Gambar 2.3. Perbedaan Respons Sistem Linier dan Non-linier	49
Gambar 2.4. Representasi Waktu Kontinu vs. Diskrit	50
Gambar 2.5. Trajektori: Deterministik vs Stokastik	51
Gambar 2.6. Ilustrasi Tiga Sifat Kestabilan Titik Ekuilibrium	54
Gambar 3.1. Causal Loop Diagram (CLD) Dinamika Populasi Ikan	59
Gambar 3.2. Tiga Pola Perilaku Dasar dari Model Dinamik Klasik.	66
Gambar 3.3. Ilustrasi Proses Kalibrasi Model	67
Gambar 4.1. Diagram Alur Proses Simulasi Sistem Dinamik.	73
Gambar 4.2. Akurasi: Euler vs RK4	78

Gambar 4.3. Grafik Rangkaian Waktu: Kurva Pertumbuhan Logistik.	81
Gambar 4.4. Contoh Diagram Fase: Siklus Predator-Prey.....	82
Gambar 5.1. Ilustrasi Konsep Linearisasi.....	87
Gambar 5.2. Ilustrasi Diagram Bifurkasi Saddle-Node.....	90
Gambar 5.3. Diagram Bifurkasi Pitchfork (Superkritik).....	91
Gambar 5.4. Diagram Feigenbaum (Bifurkasi pada Peta Logistik).....	95
Gambar 6.1. Diagram Aliran untuk Model Permintaan dan Persediaan.	100
Gambar 6.2. Diagram Transisi Keadaan Pelanggan.	101
Gambar 6.3. Grafik Perbandingan Skenario Eksploitasi Hutan	103
Gambar 6.4. Sistem Ketersediaan Air di Waduk.....	105
Gambar 6.5. Diagram Alur Sistem Antrian Jaringan.....	107
Gambar 7.1. Tantangan Pemodelan Sistem Dinamik.	114
Gambar 7.2. Skema Hubungan Tantangan dan Strategi Solusi.....	118
Gambar 8.1. Skema Arsitektur Integrasi IoT dengan Model Dinamik.....	129

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Konsep Stok, Alur, dan Umpan Balik di Berbagai Sistem	8
Tabel 1.2. Konsep Kunci Lainnya dalam Sistem Dinamik	10
Tabel 1.3. Perbandingan Perspektif Statis dan Dinamis	12
Tabel 1.4. Penerapan Universal Konsep Sistem Dinamik	15
Tabel 1.5. Contoh Perbandingan Skenario Kebijakan Transportasi	33
Tabel 1.6. Optimisasi Perencanaan: Contoh Terapan.....	36
Tabel 1.7. Penerapan Sistem Dinamik pada Sistem Informasi Modern.....	39
Tabel 2.1. Contoh Fungsi Hubungan dalam Model Populasi	47
Tabel 4.1. Perbandingan Metode Euler dan Runge-Kutta 4....	79
Tabel 8.1. Perbandingan Platform Simulasi Berbasis Web	127

GLOSARIUM

1. **Sistem Dinamik:** Sistem yang perilakunya berubah seiring waktu dan dipengaruhi oleh variabel serta parameter internal maupun eksternal.
2. **Variabel Keadaan (State Variable):** Variabel utama yang menggambarkan kondisi sistem pada waktu tertentu.
3. **Input:** Masukan ke dalam sistem yang mempengaruhi evolusi variabel keadaan.
4. **Output:** Respons sistem yang dihasilkan dari interaksi antara variabel dan input.
5. **Parameter:** Nilai tetap atau semi-tetap dalam model yang mengatur perilaku sistem.
6. **Persamaan Diferensial:** Persamaan yang menggambarkan laju perubahan variabel terhadap waktu secara kontinu.
7. **Persamaan diferensial (Difference Equation):** Persamaan untuk sistem waktu diskrit, menggambarkan perubahan variabel antar waktu diskrit.
8. **Titik Ekuilibrium:** Kondisi sistem di mana semua variabel tidak berubah dari waktu ke waktu (keadaan stabil atau konstan).
9. **Bifurkasi:** Fenomena di mana perubahan kecil pada parameter sistem menyebabkan perubahan struktur ekuilibrium atau perilaku sistem.
10. **Chaos:** Perilaku sistem yang sangat sensitif terhadap kondisi awal, tampak acak tetapi bersifat deterministik.

11. **Simulasi Numerik:** Proses menghitung solusi pendekatan terhadap sistem matematika menggunakan metode numerik.
12. **Metode Euler:** Teknik numerik sederhana untuk menyelesaikan persamaan diferensial orde pertama.
13. **Metode Runge-Kutta:** Metode numerik yang lebih akurat daripada Euler, umum digunakan dalam simulasi dinamik.
14. **Feedback (Umpan Balik):** Proses di mana output sistem kembali mempengaruhi input atau komponen lain dalam sistem.
15. **Kalibrasi:** Penyesuaian parameter model agar hasil simulasi mendekati data nyata.

SIMBOL MATEMATIS

Simbol	Keterangan
t	Waktu (variabel independen).
$x(t)$	Nilai variabel keadaan (<i>state variable</i>) pada waktu t .
$u(t)$	Nilai variabel masukan (<i>input variable</i>) pada waktu t .
$y(t)$	Nilai variabel keluaran (<i>output variable</i>) pada waktu t .
$\frac{dx}{dt}$	Laju perubahan variabel terhadap waktu
r	Parameter laju pertumbuhan
K	Parameter daya dukung lingkungan (<i>carrying capacity</i>)
A	Matriks koefisien sistem dalam representasi <i>state-space</i>
Λ	Nilai eigen (<i>eigenvalue</i>) dari sebuah matriks sistem
h	Ukuran langkah waktu (<i>time step</i>) dalam simulasi numerik
x_n	Nilai variabel x pada langkah waktu diskrit ke- n

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications," *IEEE Commun. Surv. & Tutorials*, vol. 17, p. Fourthquarter 2015, Nov. 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [2] J. Sterman, "Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World," vol. 19, Jan. 2000.
- [3] W. E. Boyce, R. C. DiPrima, and D. B. Meade, *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*. Wiley, 2017. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=SyaVDwAAQBAJ>
- [4] J. Murray, *Mathematical Biology I: An Introduction*, vol. 1. 2002.
- [5] N. Masoud, "A contribution to the theory of economic growth: Old and New," *J. Econ. Int. Financ.*, vol. 6, pp. 47–61, Mar. 2014, doi: 10.5897/JEIF2013.0518.
- [6] N. S. Nise, *Control Systems Engineering*. Wiley, 2020. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=sEL2DwAAQBAJ>
- [7] B. Zeigler, A. Muzy, and E. Kofman, *Zeigler, B. P., Muzy, A., & Kofman, E. (2018). Theory of Modeling and Simulation: Discrete Event & Iterative System Computational Foundations. Academic Press. 2018. doi: 10.1016/C2016-0-*

03987-6.

- [8] G. James, D. Witten, T. Hastie, and R. Tibshirani, *An Introduction to Statistical Learning*. in Springer Texts in Statistics. New York, NY: Springer US, 2021. doi: 10.1007/978-1-0716-1418-1.
- [9] S. H. Strogatz, *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. CRC Press, 2018. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=A0paDwAAQBAJ>
- [10] A. Saltelli *et al.*, *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. Wiley, 2008. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=dqFzSD4MxbMC>
- [11] J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*. in Students' edition. M.I.T. Press, 1961. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=4CgzAAAAMAAJ>
- [12] J. A. Sokolowski and C. M. Banks, *Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains*. Wiley, 2010. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=oza7FSuIIDgC>
- [13] C. Chapra, *Numerical Methods For Engineers, 7 Ed*, 7th ed. Mc Graw Hill India, 2016.
- [14] A. Ford, "Modeling the Environment, Second Edition," *Bibliovault OAI Repos. Univ. Chicago Press*, Jan. 2010.
- [15] G. Ciardo, "Stochastic Petri Nets: Introduction and Applications to the Modeling of Computer and Communication Systems," 2024, pp. 203–234. doi: 10.1201/9781003580676-9.
- [16] B. Efron and T. Hastie, *Computer Age Statistical Inference*. Cambridge University Press, 2016. doi:

10.1017/CBO9781316576533.

- [17] I. Drori, *The Science of Deep Learning*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. doi: DOI: 10.1017/9781108891530.
- [18] W. Ingersoll, *Hypothesis Testing Model and Decision Logic for the Range Sustainability Module of the Visual Sampling Plan (RS-VSP) 1*. 2008.

BIOGRAFI PENULIS



Lukman Junaedi, S.T., M.Kom., lahir di Surabaya pada 11 Januari 1981. Menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri Banyu Urip II Surabaya pada tahun 1993, pendidikan menengah di SMP Negeri 6 Surabaya pada tahun 1996, dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 21 Surabaya jurusan IPA pada tahun 1999.

Menyelesaikan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Teknik Industri pada tahun 2004, dan S2 di ITS Surabaya jurusan Sistem Informasi pada tahun 2012. Pengalaman kerja meliputi Service Assistant di PT. AON Indonesia (Januari 2005 - Juli 2005), Administrasi Produksi di PT. Philips Indonesia (September 2005 - September 2006), Agent Telkomsel di PT. Infomedia Nusantara (Januari 2007 - April 2008), dan Supervisor Marketing di PT. Betjik Djojo (Oktober 2008 - Oktober 2010). Saat ini menjabat sebagai Dosen Perguruan Tinggi di Universitas Narotama.



Agustinus Bimo Gumelar (Dr.), Insinyur (Ir.) dalam bidang Komputasi Afektif Neurosains – Peneliti Profesional dibidang Interaksi Manusia Komputer (HCI). Spesialisasi dalam bidang ilmu saraf afektif pada komputasi neuromorfis, dan UX (User eXperience) dengan fokus pada peningkatan pengalaman pelanggan (CX: Customer eXperience) melalui teknologi inovatif.



Ageng Salmanarrizqie, S.Kom. Lahir di Surabaya, 17 Mei 2001. Menyelesaikan studi Sarjana (S1) di Program Studi Informatika, Universitas Dr. Soetomo, Surabaya. Penulis memiliki pengalaman yang memadukan dunia akademis dan industri. Ia pernah menjabat sebagai Asisten Dosen dan Administrator Laboratorium di Universitas Dr. Soetomo selama periode 2020-2024, di mana ia bertanggung jawab atas operasional laboratorium IT dan membantu penyusunan modul ajar untuk mata kuliah seperti Jaringan Komputer, Sistem Operasi, dan Basis Data. Saat ini, penulis aktif sebagai *Document Control* di sebuah perusahaan konsultan, dengan fokus pada analisis dan pemodelan sistem menggunakan UML dan BPMN. Karya tulisnya yang telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah berjudul "Sistem Rekomendasi Pemilihan Komponen Komputer Menggunakan Metode AHP dan Profile Matching".