



**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA METODE EULER,
RUNGE-KUTTA, DAN SKEMA HYBRID ADAPTIF DALAM
SIMULASI *SOFT-BODY PHYSICS***

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Dalam Menyelesaikan Strata-1 Ilmu Komputer**

**Oleh
AHMAD SAYYIDAN HASIR
NIM 2111016210021**

**PROGRAM STUDI S-1 ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
MEI 2026**



**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA METODE EULER,
RUNGE-KUTTA, DAN SKEMA HYBRID ADAPTIF DALAM
SIMULASI *SOFT-BODY PHYSICS***

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Dalam Menyelesaikan Strata-1 Ilmu Komputer**

**Oleh
AHMAD SAYYIDAN HASIR
NIM 2111016210021**

**PROGRAM STUDI S-1 ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
MEI 2026**

SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA METODE EULER, RUNGE-KUTTA, DAN SKEMA HYBRID ADAPTIF DALAM SIMULASI *SOFT-BODY PHYSICS*

Oleh:

AHMAD SAYYIDAN HASIR

NIM. 2111016210021

Telah dipertahankan di depan Dosen Penguji pada tanggal 21 Agustus 2026.

Susunan Dosen Penguji:

Pembimbing I



Muhammad Itqan Mazdadi, S.Kom., M.Kom.

NIP. 199006122019031013

Dosen Penguji I



Triando Hamonangan Saragih, S.Kom., M.Kom.

NIP. 199308242019031012

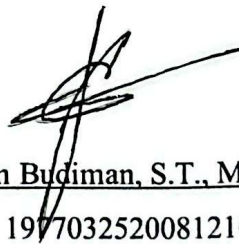
Pembimbing II



Dodon Turianto Nugrahadi, S.Kom., M.Eng.

NIP. 198001122009121002

Dosen Penguji II



Irwan Budiman, S.T., M.Kom.

NIP. 197703252008121001

Banjarbaru, **25** September 2026

Koordinator Program Studi Ilmu Komputer



Iwi Kartini, S.Kom., M.Kom.

NIP. 198704212012122003

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu di dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Banjarbaru, 19 Agustus 2026



Ahmad Sayyidan Hasir

NIM. 2111016210021

ABSTRAK

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA METODE EULER, RUNGE-KUTTA, DAN SKEMA HYBRID ADAPTIF DALAM SIMULASI *SOFT-BODY PHYSICS*

(Oleh: Ahmad Sayyidan Hasir; Pembimbing: Muhammad Itqan Mazdadi, S.Kom., M.Kom. dan Dodon Turianto Nugrahadi, S.Kom., M.Eng.; 2026; 64 halaman)

Simulasi fisika benda lunak (*soft-body physics*) menuntut titik keseimbangan yang optimal antara kecepatan komputasi dan stabilitas numerik, terutama dalam menangani persamaan kaku (*stiff equations*) pada model pegas-massa. Metode Euler Eksplisit menawarkan waktu eksekusi yang cepat namun rentan terhadap kegagalan eksponensial (*blow-up*), sedangkan metode Runge-Kutta Orde 4 (RK4) sangat stabil namun membutuhkan biaya komputasi yang mahal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kinerja metode numerik tersebut, serta menguji efektivitas skema Integrator *Hybrid* Adaptif yang menggabungkan keduanya menggunakan logika perpindahan berbasis ambang batas gaya ($\tau = 15,0$ N). Pengujian dilakukan pada sistem gerak satu dimensi (1-DOF) dengan memvariasikan ukuran langkah waktu (Δt). Kinerja dievaluasi melalui metrik galat energi (*energy drift*), beban eksekusi CPU, dan pemetaan ruang fase (*phase portrait*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada batas resolusi kritis $\Delta t = 0,022$ detik, metode Euler mengalami kegagalan fisis dengan lonjakan galat mencapai 2.070,69 Joule, sementara RK4 mempertahankan tingkat galat terendah (5,37 Joule) namun membebani CPU secara maksimal. Skema *Hybrid* terbukti menjadi solusi *trade-off* yang paling optimal dengan menekan waktu eksekusi hingga 34,3% lebih cepat dibandingkan RK4 murni, sekaligus menahan akumulasi galat pada batas toleransi fisis (17,64 Joule). Mekanisme transisi pada metode *Hybrid* juga terbukti kohesif dalam mempertahankan kemulusan visual tanpa distorsi spasial, menjadikannya arsitektur algoritma yang efisien dalam mengeksplorasi fase relaksasi mekanik benda tanpa mengorbankan stabilitas operasional makro.

Kata kunci: *Soft-body physics*, Integrasi Numerik, Metode Euler, Runge-Kutta, Skema Hybrid Adaptif, Sistem Pegas-Massa

ABSTRACT

COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF EULER, RUNGE-KUTTA, AND ADAPTIVE HYBRID SCHEME METHODS IN SOFT-BODY PHYSICS SIMULATION

(By: Ahmad Sayyidan Hasir; Advisor: Muhammad Itqan Mazdadi, S.Kom., M.Kom. and Dodon Turianto Nugrahadi, S.Kom., M.Eng.; 2026; 64 pages)

Soft-body physics simulation demands an optimal balance between computational speed and numerical stability, particularly when handling stiff equations in mass-spring models. The Explicit Euler method offers fast execution times but is prone to exponential failure (blow-up), whereas the Fourth-Order Runge-Kutta (RK4) method is highly stable but computationally expensive. This study aims to analyze the comparative performance of these numerical methods and evaluate the effectiveness of an Adaptive Hybrid Integrator scheme that combines both using a force-threshold-based switching logic ($\tau = 15.0$ N). The experiment was conducted on a one-degree-of-freedom (1-DOF) system by varying the time step sizes (Δt). Performance was evaluated through energy drift metrics, CPU execution load, and phase portrait mapping. The results indicate that at the critical resolution limit of $\Delta t = 0.022$ seconds, the Euler method experienced a physical failure with an error surge reaching 2,070.69 Joules, while RK4 maintained the lowest error rate (5.37 Joules) but heavily burdened the CPU. The Hybrid scheme proved to be the most optimal trade-off solution, reducing execution time by up to 34.3% compared to pure RK4, while simultaneously keeping error accumulation within physical tolerance limits (17.64 Joules). The transition mechanism in the Hybrid method also proved cohesive in maintaining visual smoothness without spatial distortion, establishing it as an efficient algorithmic architecture for exploiting mechanical relaxation phases without sacrificing macro operational stability.

Keywords: *Soft-body physics, Numerical Integration, Euler Method, Runge-Kutta, Adaptive Hybrid Scheme, Mass-Spring System*

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi yang berjudul **“Analisis Perbandingan Kinerja Metode Euler, Runge-Kutta, dan Skema Hybrid Adaptif dalam Simulasi *Soft-Body Physics*”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat untuk memperoleh gelar sarjana di program studi Strata-1 Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan rasa hormat, penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat, karunia, hidayah, dan ridho-Nya yang telah memungkinkan penulis menyelesaikan skripsi ini.
2. Ayah, ibu, serta kedua saudara penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan dorongan tanpa henti, sehingga penulis memiliki semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Muhammad Itqan Mazdadi, S.Kom., M.Kom., dan Bapak Dodon Turianto Nugrahadi, S.Kom., M.Eng., selaku dosen pembimbing utama dan pendamping, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Triando Hamonangan Saragih, S.Kom., M.Kom. selaku Ketua Penguji, dan Bapak Irwan Budiman, S.T., M.Kom. selaku Anggota Penguji, yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran yang sangat berarti dalam penyempurnaan skripsi ini.
5. Ibu Dwi Kartini, S.Kom., M.Kom, selaku ketua program studi Ilmu Komputer, beserta seluruh dosen dan staf Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat atas bantuan yang diberikan selama penulis mengikuti studi.

6. Teman-teman seperjuangan di Ilmu Komputer angkatan 2021 serta sahabat-sahabat yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama masa perkuliahan.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis membuka diri terhadap kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan menjadi kontribusi kecil dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Banjarbaru, 19 Agustus 2026



Ahmad Sayyidan Hasir

NIM. 2111016210021

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kajian terdahulu	7
2.2 Landasan Teori	11
2.2.1 Simulasi Fisika Benda Lunak (<i>Soft-Body Physics</i>)	11
2.2.1.1 Konsep Benda Terdeformasi (<i>Deformable Bodies</i>).....	11
2.2.1.2 Pemodelan Sistem Massa-Pegas (<i>Mass-Spring System</i>)	12
2.2.1.3 Sistem Satu Derajat Kebebasan (1-DOF).....	13
2.2.1.4 Pemodelan Gaya Fisika Internal dan Eksternal	14
2.2.1.5 Karakteristik Persamaan Kaku (<i>Stiff Equations</i>).....	15
2.2.2 Metode Integrasi Numerik Persamaan Diferensial Biasa (PDB)	16

2.2.2.1 Konsep Masalah Nilai Awal (<i>Initial Value Problem</i>).....	16
2.2.2.2 Metode Euler	17
2.2.2.2.1 Metode Euler Eksplisit.....	18
2.2.2.3 Metode Runge-Kutta	19
2.2.2.3.1 Metode Runge-Kutta Orde 4 (RK4).....	19
2.2.2.4 Skema Hybrid Adaptif.....	20
2.2.3 Analisis Stabilitas dan Akurasi Numerik.....	21
2.2.3.1 Analisis Galat Pemotongan (<i>Truncation Error</i>).....	21
2.2.3.2 Domain Stabilitas Mutlak (<i>Region of Absolute Stability</i>) ...	23
2.2.3.3 Konservasi Energi Fisika dan Simpangan Energi (<i>Energy Drift</i>).....	23
2.2.4 Metodologi Evaluasi Kinerja Komputasi	24
2.2.4.1 Kompleksitas Komputasi dan <i>CPU Time</i>	25
2.2.4.2 Metode <i>Parameter Sweep</i>	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Alat Penelitian	27
3.2 Desain Penelitian.....	27
3.3 Variabel Penelitian	28
3.4 Implementasi Model Komputasi 1-DOF	28
3.5 Rancangan Algoritma Komputasi	29
3.5.1 Algoritma Integrasi Euler Eksplisit (Orde 1)	30
3.5.2 Algoritma Integrasi Runge-Kutta Orde 4 (RK4).....	31
3.5.3 Algoritma Transisi Integrator Adaptif (<i>Hybrid</i>).....	33
3.5.4 Algoritma Pembangkitan Data Sintetik (Loop Utama)	35
3.6 Skenario dan Rancangan Pengujian	37
3.7 Teknik Pengumpulan Data	38

3.8	Prosedur Penelitian (Alur Kerja)	40
3.9	Teknik Analisis Data	42
3.10	Penyimpulan Hasil.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Hasil.....	45
4.1.1	Spesifikasi Lingkungan dan Inisialisasi Parameter Fisik	45
4.1.2	Hasil Pembangkitan Dataset Numerik (<i>Parameter Sweep</i>)....	46
4.1.3	Hasil Uji Orbit Ruang Fase (<i>Phase Portrait</i>)	49
4.1.4	Hasil Pengukuran <i>Energy Drift</i> (Konservasi Hukum Termodinamika)	50
4.1.5	Hasil Pemrofilan Kinerja Waktu Eksekusi (Efisiensi Komputasi)	51
4.1.6	Hasil Perekaman Perilaku Logika Adaptif (<i>Switching Logging</i>)	53
4.2	Pembahasan	54
4.2.1	Karakteristik Pergerakan dan Anatomi Iterasi Numerik	54
4.2.2	Analisis Stabilitas Sistem dan Karakteristik Orbit Ruang Fase	56
4.2.3	Evaluasi Galat Pemotongan Global (<i>Global Truncation Error</i>)	57
4.2.4	Kompleksitas Algoritma dan Pemrofilan Beban CPU	58
4.2.5	Kelayakan Arsitektur Logika Switching Adaptif	58
4.2.6	Analisis Keseimbangan (<i>Trade-off</i>) antara Akurasi dan Beban Komputasi.....	59
BAB V PENUTUP		62
5.1	Kesimpulan.....	62
5.2	Saran	63

DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	68

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Keaslian Penelitian.....	9
Tabel 2 Perancangan Penelitian	10
Tabel 3 Data Lintasan Metode Euler.....	46
Tabel 4 Data Lintasan RK4.....	46
Tabel 5 Data Lintasan <i>Hybrid</i>	47
Tabel 6 Data Performa <i>Sweep</i>	48
Tabel 7 Rekapitulasi Ekstraksi Data Performa Integrator Numerik	49
Tabel 8 Matriks Keputusan Perbandingan Metode Numerik.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Alur Penelitian.....	40
Gambar 2 Peta Orbit <i>Phase Portrait</i>	50
Gambar 3 Kurva Akumulasi Galat Energi.....	51
Gambar 4 Grafik Kinerja Waktu Eksekusi CPU.....	52
Gambar 5 Peta Distribusi Keputusan Logika <i>Hybrid</i>	53
Gambar 6 Diagram Langkah Lintasan.....	54
Gambar 7 Mekanisme Metode Euler.....	55
Gambar 8 Mekanisme Metode RK4.....	55
Gambar 9 Analisis Persilangan <i>Trade-off</i>	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Source Code.....	69
Lampiran 2 Riwayat Penulis	80