

KERANGKA KOMPUTASI SUDUT TEMBAK PROYEKTIL BALISTIK UNTUK INTERSEPSI TARGET BERGERAK

ARIYUDO PERTAMA



PROGRAM STUDI SARJANA ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Kerangka Komputasi Sudut Tembak Proyektil Balistik untuk Intersepsi Target Bergerak” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Ariyudo Pertama
G6401221098

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

ARIYUDO PERTAMA. Kerangka Komputasi Sudut Tembak Proyektil Balistik untuk Intersepsi Target Bergerak. Dibimbing oleh MUSHTHOFA dan IRMAN HERMADI.

Penelitian ini mengusulkan kerangka komputasi untuk menentukan sudut tembak yang dapat diterapkan pada berbagai model lintasan proyektil dan model gerak target, selama posisi proyektil sebagai fungsi waktu dan sudut tembak serta posisi target sebagai fungsi waktu dapat diperoleh dalam kerangka acuan yang sama. Dalam menerapkan kerangka, hanya dua permasalahan umum yang perlu diselesaikan: permasalahan *nonlinear least squares* dua peubah dan permasalahan pencarian akar satu peubah. Untuk mengevaluasi penerapannya, kerangka yang diusulkan digunakan pada dua studi kasus. Studi kasus pertama menggunakan model lintasan proyektil *point mass* yang diujikan terhadap empat model gerak target dengan karakteristik yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 97,583%, dengan median akurasi sebesar $1,830 \times 10^{-10}$ m serta median waktu eksekusi sebesar 3,92 ms. Studi kasus kedua menerapkan kerangka pada formulasi permasalahan dari penelitian terdahulu dan membandingkan metode penyelesaian yang diperoleh dengan metode pada penelitian tersebut. Pada pengujian yang sama, tingkat keberhasilan metode hasil penerapan kerangka mencapai 99,992%, dibandingkan dengan 85,121% pada metode pembandingan, serta menunjukkan akurasi dan waktu eksekusi yang lebih baik.

Kata kunci: intersepsi, proyektil balistik, sistem pengendali tembakan, sudut tembak, target bergerak



ABSTRACT

ARIYUDO PERTAMA. Computational Method of Ballistic Projectile Firing Angle for Moving Target Interception. Supervised by MUSHTHOFA and IRMAN HERMADI.

This study proposes a computational framework for determining firing angles across a range of projectile trajectory and target motion models, provided that the projectile position can be obtained as a function of time and firing angles and the target position as a function of time within a common reference frame. Applying the framework requires solving only two general problems: a two-variable nonlinear least-squares problem and a one-variable root-finding problem. The proposed framework is evaluated in two case studies. The first case study employs a point-mass projectile trajectory model and evaluates it against four target motion models with distinct characteristics. The results show a success rate of 97.583%, with a median accuracy of 1.830×10^{-10} m and a median execution time of 3.92 ms. The second case study applies the framework to a problem formulation adopted from previous research and compares the resulting solution method with the method originally proposed for that formulation. Under the same test cases, the framework-derived method achieves a success rate of 99.992%, compared with 85.121% for the comparison method, while also achieving better accuracy and execution time.

Keywords: ballistic projectile, fire control system, firing angle, interception, moving target

@Hak Cipta IPB University



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KERANGKA KOMPUTASI SUDUT TEMBAK PROYEKTIL BALISTIK UNTUK INTERSEPSI TARGET BERGERAK

ARIYUDO PERTAMA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Ilmu Komputer

**PROGRAM SARJANA ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1 Lailan Sahrina Hasibuan, S.Kom, M.Kom



Judul Skripsi : Kerangka Komputasi Sudut Tembak Proyektil Balistik untuk
Intersepsi Target Bergerak

Nama : Ariyudo Pertama

NIM : G6401221098

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Mushthofa S.Kom., M.Sc.

19820325 200912 1 003

Pembimbing 2:

Irman Hermadi S.Kom., M.S., Ph.D.

19750311 200604 1 009

Diketahui oleh

Ketua Program Sarjana Ilmu Komputer:

Dr. Sony Hartono Wijaya, S.Kom., M.Kom.

19810809 200812 1 002

Tanggal Ujian:

5 Agustus 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2026 sampai bulan Agustus 2026 dengan judul “Kerangka Komputasi Sudut Tembak Proyektil Balistik untuk Intersepsi Target Bergerak”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Mushthofa S.Kom., M.Sc. dan Irman Hermadi S.Kom., M.S., Ph.D. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Ariyudo Pertama



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
METODE	4
2.1 Kerangka Komputasi	4
2.2 Kerangka Acuan	4
2.3 Formulasi Permasalahan	5
2.4 Optimasi Sudut Tembak Lokal	5
2.5 Pencarian Waktu Intersepsi	6
2.6 Kompleksitas Waktu	8
2.7 Studi Kasus 1	9
2.8 Studi Kasus 2	13
2.9 Evaluasi	16
2.10 Analisis	16
III HASIL DAN PEMBAHASAN	17
3.1 Evaluasi Studi Kasus 1	17
3.2 Evaluasi Studi Kasus 2	18
3.3 Analisis Kasus Gagal	19
IV SIMPULAN DAN SARAN	24
4.1 Simpulan	24
4.2 Saran	25
DAFTAR PUSTAKA	26
LAMPIRAN	27
RIWAYAT HIDUP	30



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

1	Parameter Runge-Kutta Dormand-Prince	10
2	Parameter Levenberg–Marquardt	11
3	Parameter Algoritma 748	12
4	Parameter tembak balistik	13
5	Parameter model gerak target polinomial	13
6	Parameter model gerak target membelok	13
7	Parameter tembak balistik	15
8	Parameter model gerak target	15
9	Tingkat kesuksesan algoritma	17
10	Akurasi algoritma dalam meter	17
11	Waktu eksekusi algoritma dalam milidetik	18
12	Perbandingan tingkat kesuksesan	18
13	Perbandingan akurasi dalam meter	19
14	Perbandingan waktu eksekusi algoritma dalam mikrodetik	19

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka acuan	4
2	Topologi ruang pencarian sudut tembak	5
3	Perbandingan antara fungsi objektif dan fungsi proksi	7
4	Skenario hasil pembangkitan kasus uji	12
5	Diagram batang proporsi nilai <i>drop-one deviance</i> pada kasus kegagalan	20
6	Histogram solusi waktu terbang terhadap persentase kegagalan	20
7	Fungsi objektif dan fungsi proksi berdasarkan sampel kasus uji dengan solusi waktu terbang singkat	21
8	Fungsi objektif dan fungsi proksi berdasarkan sampel kasus uji dengan solusi waktu terbang mendekati batas maksimum parameter pengujian	22
9	Fungsi objektif dan fungsi proksi berdasarkan sampel kasus uji dengan solusi waktu terbang mendekati batas maksimum parameter pengujian terfokus	23