



**UNIVERSITAS PERTAHANAN RI**

**OPTIMALISASI PARAMETER AMR UNTUK SIMULASI  
TSUNAMI MENGGUNAKAN *SURROGATE-BASED  
SEQUENTIAL APPROXIMATION* DALAM  
MENDUKUNG PERTAHANAN LAUT**

**FULKAN KAFILAH AL HUSEIN 320210302013**

**Skripsi yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam  
Mendapatkan Gelar Sarjana**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER  
PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
BOGOR 2025**

## LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Fulkan Kafilah Al Husein  
NIM : 320210302013  
Program studi : Matematika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer  
Judul Skripsi : Optimalisasi Parameter AMR Untuk Simulasi Tsunami Menggunakan *Surrogate-Based Sequential Approximation* Dalam Mendukung Pertahanan Laut

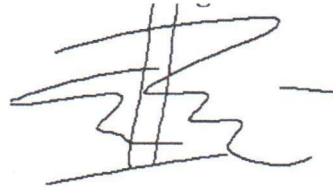
Dosen Pembimbing I,



Muhamad Syazali, S.Si., M.Si.  
NIP. 198611212022031001

Tanggal: .....

Dosen Pembimbing II,



Novan Tofany, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 198611052022021000

Tanggal: .....

Mengetahui:

Kepala  
Program Studi Matematika,



Djoko Heksa Purnomo, S.Si., M.Si.  
Kolonel Laut (KH) NRP. 14628/P

Tanggal: .....

Dekan  
Fakultas MIPA Militer,

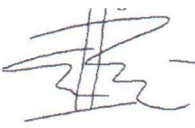
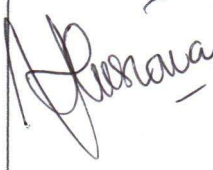


Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si.  
Pembina Utama Muda IV/c

Tanggal: .....

### LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Fulkan Kafilah Al Husein  
NIM : 320210302013  
Program Studi : Matematika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer  
Judul Skripsi : Optimalisasi Parameter AMR Untuk Simulasi Tsunami Menggunakan *Surrogate-Based Sequential Approximation* Dalam Mendukung Pertahanan Laut

| No. | Nama                                                                                                   | Tanda Tangan                                                                          | Tanggal        |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1.  | Dosen Pembimbing I:<br><br>Muhamad Syazali, S.Si., M.Si.<br>Penata III/c<br>NIP. 198611212022031001    |    | 14 Mei<br>2025 |
| 2.  | Dosen Pembimbing II:<br><br>Novan Tofany, M.Sc., Ph.D.<br>NIP. 198611052022021000                      |  | 14 Mei<br>2025 |
| 3.  | Dosen Penguji I:<br><br>Achmad Abdurrazaq, M.Si., Ph.D.<br>Penda Tk.I III/b<br>NIP. 199304032022031003 |  | 14 Mei<br>2025 |
| 4.  | Dosen Penguji II:<br><br>Vina Lusiana, S.Pd., M.Si.<br>PPPK Dosen<br>NIP. 198301302024212005           |   | 14 Mei<br>2025 |

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau sebagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi; dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab, atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan; kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang-undang yang berlaku.

Bogor, 14 Mei 2025



Fulkan Kafilah Al Husein

## LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Pertahanan Republik Indonesia,  
saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fulkan Kafilah Al Husein  
NIM : 320210302013  
Program Studi : Matematika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer  
Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Optimalisasi Parameter AMR Untuk Simulasi Tsunami Menggunakan *Surrogate-Based Sequential Approximation Optimization* Dalam Mendukung Pertahanan Laut

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Bogor

Pada tanggal : 14 Mei 2025

Yang menyatakan



Fulkan Kafilah Al Husein

NIM. 320210302013

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul: “Optimalisasi Parameter AMR Untuk Simulasi Tsunami Menggunakan *Surrogate-Based Sequential Approximation Optimization* Dalam Mendukung Pertahanan Laut” dapat diselesaikan. Penyusunan skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Matematika Militer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pertahanan RI. Penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini Kadet Mahasiswa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer.
2. Bapak Kolonel Laut (KH) Djoko Heksa Purnomo, S.Si., M.Si, selaku Kepala Program Studi Matematika, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, atas segala dukungan, arahan, serta fasilitas yang diberikan selama masa studi penulis.
3. Bapak Muhamad Syazali, S.Si., M.Si. dan Novan Tofany M.Sc, Ph. D. selaku dosen pembimbing dalam penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Achmad Abdurrazzaq, Ph.D. dan Ibu Vina Lusiana, S.Pd., M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan kritik konstruktif yang sangat berharga dalam penyempurnaan penelitian ini.
5. Seluruh dosen Prodi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam selaku pendidik dan pembimbing sehingga penulis mendapatkan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.
6. Orang tua dan saudara-saudara saya yang sudah memberikan bantuan secara moril dalam membantu penulisan skripsi ini dan,

7. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan seluruhnya.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dan bermanfaat bagi *stakeholder* terkait dalam upaya pencegahan gelombang tsunami dari longsor menggunakan pemodelan multi fasa guna mendukung pertahanan laut.

Bogor, .....

Fulkan Kafilah Al Husein



**ABSTRAK**

**OPTIMALISASI PARAMETER AMR UNTUK SIMULASI  
TSUNAMI MENGGUNAKAN SURROGATE-BASED  
SEQUENTIAL APPROXIMATION DALAM  
MENDUKUNG PERTAHANAN LAUT**

Tsunami merupakan bencana alam yang dapat mengancam wilayah pesisir Indonesia, termasuk instalasi militer dan fasilitas sipil. Salah satu penyebab tsunami adalah fenomena longsoran laut, baik di permukaan maupun bawah laut. Kajian dan simulasi tsunami telah banyak dilakukan untuk memahami karakteristiknya dan memprediksi dampaknya, guna meminimalisir kerusakan yang ditimbulkan. Untuk itu, dibutuhkan simulasi yang akurat dan detail, salah satunya melalui pemodelan multi-fasa berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD). Pendekatan ini mampu menangkap fenomena fisis di sekitar longsoran secara rinci, namun memiliki tantangan berupa waktu komputasi tinggi akibat penggunaan mesh dalam jumlah besar. Penelitian ini mengusulkan optimasi parameter *Adaptive Mesh Refinement* (AMR) menggunakan metode *Surrogate-Based Sequential Approximation* (SAO), dengan tujuan mengurangi jumlah mesh untuk efisiensi komputasi tanpa mengorbankan akurasi. Hasilnya diharapkan bermanfaat untuk simulasi CFD berbasis AMR secara umum.

**Kata Kunci :** *Adaptive Mesh Refinement*, Komputasi Fluida Dinamika, Tsunami, Optimasi, waktu komputasi, akurasi.

## ABSTRACT

### OPTIMIZING AMR PARAMETERS FOR TSUNAMI SIMULATIONS USING SURROGATE-BASED SEQUENTIAL APPROXIMATION TO SUPPORT MARITIME DEFENSE

Tsunamis are natural disasters that pose a threat to Indonesia's coastal regions, including military installations and civilian facilities. One of the causes of tsunamis is underwater or surface landslides. Numerous studies and simulations have been conducted to understand their characteristics and predict their impacts, with the aim of minimizing the resulting damage. To achieve this, accurate and detailed simulations are required, one of which involves multiphase modeling based on Computational Fluid Dynamics (CFD). This approach can capture the physical phenomena around landslides in detail, but it faces challenges such as high computational cost due to the large number of mesh elements used. This study proposes optimizing the parameters of Adaptive Mesh Refinement (AMR) using the Surrogate-Based Sequential Approximation (SAO) method, with the goal of reducing mesh usage for improved computational efficiency without sacrificing accuracy. The results are expected to benefit CFD simulations that use AMR-based methods in general.

**Key Words :** *Adaptive Mesh Refinement, Computational Fluid Dynamics, Tsunami, Optimization, Computational time, Accuracy.*

## DAFTAR ISI

|                                                                                          |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI .....                                                         | ii   |
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....                                                          | iii  |
| PERNYATAAN ORISINALITAS .....                                                            | iv   |
| LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH<br>UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS ..... | v    |
| KATA PENGANTAR .....                                                                     | vi   |
| ABSTRAK .....                                                                            | viii |
| ABSTRACT .....                                                                           | ix   |
| DAFTAR ISI .....                                                                         | x    |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                                      | xiii |
| DAFTAR TABEL .....                                                                       | xiv  |
| DAFTAR BAGAN .....                                                                       | xv   |
| DAFTAR SINGKATAN .....                                                                   | xvi  |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                                                  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                                 | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                                                | 3    |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                                                              | 4    |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                                                             | 4    |
| 1.4.1 Manfaat Teoritis .....                                                             | 4    |
| 1.4.2 Manfaat Praktis .....                                                              | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                                            | 6    |
| 2.1 Landasan Teori .....                                                                 | 6    |
| 2.1.1 Tsunami .....                                                                      | 6    |

|                                                     |                                                                                                        |           |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.3                                               | Akurasi simulasi .....                                                                                 | 7         |
| 2.1.4                                               | <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i> .....                                                         | 8         |
| 2.1.6                                               | Finite Volume Method (FVM) .....                                                                       | 9         |
| 2.1.7                                               | Adaptive Mesh Refinement (AMR) .....                                                                   | 10        |
| 2.1.8                                               | Surrogate Based Sequential Approximation Optimization .....                                            | 11        |
| 2.1.9                                               | Radial Basis Function (RBF) .....                                                                      | 15        |
| 2.1.10                                              | Hypervolume .....                                                                                      | 17        |
| 2.2                                                 | Hasil Penelitian Terdahulu .....                                                                       | 18        |
| 2.3                                                 | Kerangka Pemikiran .....                                                                               | 25        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....              |                                                                                                        | <b>27</b> |
| 3.1                                                 | Metode dan Desain Penelitian .....                                                                     | 27        |
| 3.2                                                 | Tempat dan Waktu Penelitian .....                                                                      | 29        |
| 3.3                                                 | Alat dan Bahan .....                                                                                   | 29        |
| 3.4                                                 | Prosedur Penelitian .....                                                                              | 30        |
| <b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> ..... |                                                                                                        | <b>36</b> |
| 4.1                                                 | Hasil .....                                                                                            | 36        |
| 4.1.1                                               | Hasil Analisis Parameter Optimal Dengan Komparasi<br>Eksperimen Viroulet et al (2014) .....            | 36        |
| 4.1.2                                               | Simulasi Konfigurasi Sensitif dan Optimal Dengan Komparasi<br>Eksperimen Takabatake et al (2020) ..... | 43        |
| 4.2                                                 | Pembahasan .....                                                                                       | 47        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....             |                                                                                                        | <b>63</b> |
| 5.1                                                 | Kesimpulan .....                                                                                       | 63        |
| 5.1.1                                               | Kesimpulan Hasil Penerapan SAO .....                                                                   | 63        |
| 5.1.2                                               | Kesimpulan Hasil Optimasi Waktu Komputasi dan Akurasi<br>Dengan penerapan parameter AMR Optimal. ....  | 63        |

|                     |    |
|---------------------|----|
| 5.2 Saran.....      | 64 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 65 |



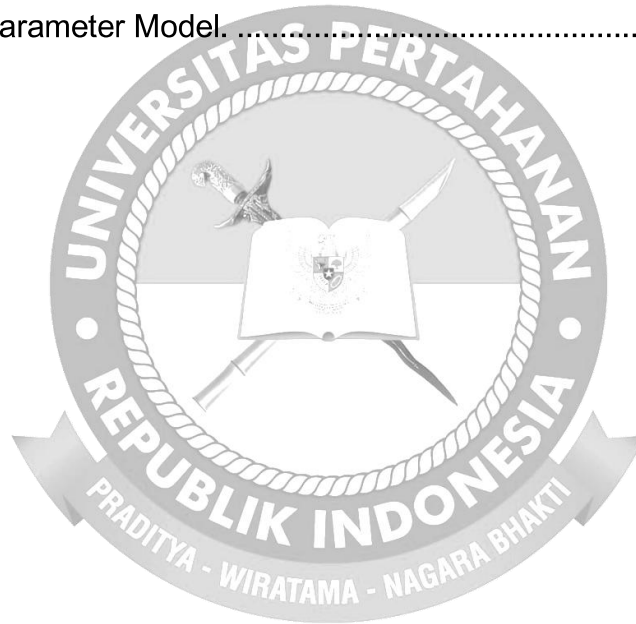
## DAFTAR GAMBAR

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Ilustrasi Cara Kerja <i>Finite Volume Method</i> . .... | 25 |
| Gambar 2.2 Diagram Tulang Ikan Kerangka Pemikiran. ....            | 34 |
| Gambar 3.1 Alur penelitian. ....                                   | 36 |
| Gambar 3.2 Domain Eksperimen Viroulet. ....                        | 44 |



## DAFTAR TABEL

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu.....     | 28 |
| Tabel 3.1 Desain Konfigurasi Eksperimen. .... | 39 |
| Tabel 3.2 Jadwal Penelitian. ....             | 41 |
| Tabel 3.3 Data Penelitian.....                | 42 |
| Tabel 3.4 Set Up Parameter Eksperimen.....    | 44 |
| Tabel 3.5 Parameter Model.....                | 45 |



## DAFTAR BAGAN

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Bagan 2.1 <i>Flowchart</i> Surrogate Model. ....      | 17 |
| Bagan 2.2 <i>Flowchart</i> Pemilihan titik baru. .... | 18 |
| Bagan 4.1 <i>Flowchart</i> Optimasi SAO. ....         | 49 |



## DAFTAR SINGKATAN

|      |   |                                                              |
|------|---|--------------------------------------------------------------|
| AMR  | : | <i>Adaptive Mesh Refinement</i>                              |
| CFD  | : | <i>Computational Fluid Dynamic</i>                           |
| FVM  | : | <i>Finite Volume Method</i>                                  |
| SAO  | : | <i>Surrogate Based Sequential Approximation Optimization</i> |
| RMSE | : | <i>Root Mean Square Error</i>                                |

