



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**OPTIMASI *ADAPTIVE MESH REFINEMENT* PADA
PEMODELAN ALIRAN CFD MULTIFASA UNTUK
SIMULASI TSUNAMI AKIBAT LONGSORAN
SUBAERIAL DENGAN *NON-DOMINATED
SORTED GENETIC ALGORITHM-II***

NIELDY REJEKINTA TARIGAN 320210302019

**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 : Nielly rejekinta Tarigan
NIM : 320210302019
Program studi : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Optimasi *Adaptive Mesh Refinement* Pada Pemodelan Aliran CFD Multifasa Untuk Simulasi Tsunami Akibat Longsoran Subaerial Dengan *Non-Dominated Sorted Genetic Algorithm-II*

Dosen Pembimbing I,



Achmad Abdurrazzaq, M.Si., Ph.D.
NIP.199304032022031003
Tanggal: 6 Agustus 2025

Dosen Pembimbing II,



Novan Tofany, M.Sc., Ph.D.
NIP. 198611052022021000
Tanggal: 6 Agustus 2025

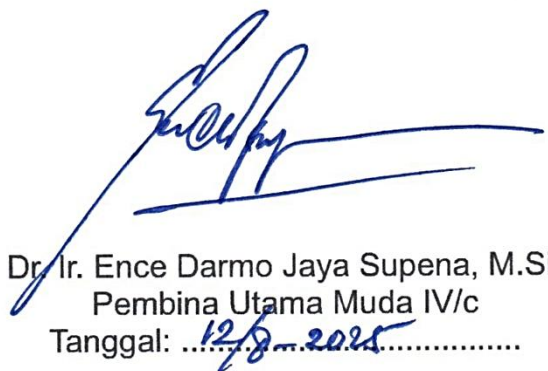
Mengetahui:

Kepala
Program Studi Matematika,



Djoko Heksa Purnomo, S.Si., M.Si.
Kolonel Laut (KH) NRP. 14628/P
Tanggal: 6 Agustus 2025

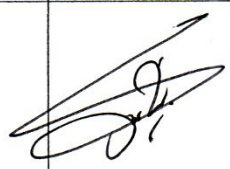
Dekan
Fakultas MIPA Militer,



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si.
Pembina Utama Muda IV/c
Tanggal: 12/8-2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Nielly Rejekinta Tarigan
NIM : 320210302019
Program Studi : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Optimasi *Adaptive Mesh Refinement* Pada
Pemodelan Aliran CFD Multifasa Untuk
Simulasi Tsunami Akibat Longsoran Subaerial
Dengan *Non-Dominated Sorted Genetic
Algorithm-II*

No.	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dosen Pembimbing I: Achmad Abdurrazaq, M.Si., Ph.D. Penda Tk.I III/b NIP. 199304032022031003		6/8-25
2.	Dosen Pembimbing II: Novan Tofany, M.Sc., Ph.D. NIP. 198611052022021000		6/8-25
3.	Dosen Penguji I: Ruby Alamsyah, M.Tr.Opsla., M.Han., MCE., CIPA., CIT., CIIQA. Laksma TNI NRP.10342/P		20/5-25
4.	Dosen Penguji II: Muhamad Syazali, S.Si., M.Si. Penata III/c NIP. 198611212022031001		6/8-25

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, 8 Agustus 2025



Nieldy Rejekinta Tarigan

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Nieldy Rejekinta Tarigan

NIM : 320210302019

Program Studi : Matematika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer

Jenis Karya : Skripsi

Demi 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:

Optimasi *Adaptive Mesh Refinement* Pada Pemodelan Aliran CFD Multifasa Untuk Simulasi Tsunami Akibat Longsoran Subaerial Dengan *Non-Dominated Sorted Genetic Algorithm-II*

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 saya buat dengan sebenarnya

Bogor, 6 Agustus 2025



Nieldy Rejekinta Tarigan

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul “Optimasi Adaptive Mesh Refinement pada Pemodelan Aliran CFD Multifasa untuk Simulasi Tsunami Akibat Longsoran Subaerial dengan Non-Dominated Sorted Genetic algorithm-II” 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. Kolonel Laut (KH) Djoko Heksa Purnomo, S.Si., M.Si. selaku Kaprodi Matematika Universitas Pertahanan Republik Indonesia atas segala waktu, kepercayaan, dan dorongan yang diberikan Penulis selama proses penelitian dan penulisan skripsi;
2. Achmad Abdurrazaq, S.Si., M.Si., Ph.D dan Novan Tofany M.Sc, Ph. D. selaku dosen pembimbing atas waktu, bimbingan, dorongan dan ilmu yang telah diberikan kepada Penulis selama proses penelitian dan penulisan skripsi;
3. Laksma TNI Ruby Alamsyah, M.Tr.Opsla., M.Han., MCE., CIPA., CIT., CIIQA. dan Muhamad Syazali, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu dalam sidang skripsi Penulis serta saran dan masukan yang diberikan dalam pengerjaan skripsi ini;
4. Segenap dosen dan staf akademik Prodi Matematika Universitas Pertahanan yang telah membantu Penulis dalam menimba ilmu yang menunjang penyelesaian penelitian dan penulisan skripsi;
5. Orangtua dan keluarga atas doa, kasih sayang, serta segala bentuk dukungannya yang telah diberikan kepada Penulis sehingga Penulis dapat menyelesaikan proses penelitian dan penulisan skripsi;

6. Angelia Melisa Hutapea dan Fulkan Kafilah Al Hussein serta teman-teman matematika Cohort-II yang telah memberikan dukungan selama masa perkuliahan.
7. Serta segala pihak lainnya yang sangat membantu Penulis selama proses penelitian dan penulisan skripsi yang tidak dapat Penulis tuliskan satu per satu.

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 penanggulangan gelombang tsunami dari longsor menggunakan pemodelan multi fasa guna mendukung pertahanan laut.

Bogor, 6 Agustus 2025

Nieldy Rejekinta Tarigan

ABSTRAK

OPTIMASI *ADAPTIVE MESH REFINEMENT* PADA PEMODELAN ALIRAN CFD MULTIFASA UNTUK SIMULASI TSUNAMI AKIBAT LONGSORAN SUBAERIAL DENGAN *NON-DOMINATED SORTED GENETIC ALGORITHM-II*

Tsunami merupakan salah satu bencana alam yang berpotensi mengancam sistem pertahanan maritim Indonesia dan merupakan ancaman Non-Militer. Dampak yang ditimbulkan dari tsunami dapat mengganggu pertahanan Nir-Militer bagian keselamatan umum yaitu dapat mengakibatkan korban jiwa serta merusak infrastruktur terutama bagian pesisir. Salah satu penyebab terjadinya tsunami adalah fenomena longsor yang terjadi di permukaan maupun dasar laut. Dalam konteks pertahanan Nir-Militer, kesiapsiagaan terhadap bencana ini menjadi bagian penting dari sistem pertahanan nasional. Penelitian ini bertujuan meminimalkan kerusakan yang ditimbulkan oleh tsunami di masa mendatang dengan meningkatkan efisiensi dan akurasi simulasi tsunami akibat longsor melalui pemodelan numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan pendekatan *Adaptive Mesh Refinement* (AMR). Metode optimasi parameter AMR dilakukan menggunakan algoritma evolusi *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II* (NSGA-II), serta pemilihan konfigurasi terbaik menggunakan metode TOPSIS. Simulasi dilakukan dengan memvalidasi hasil terhadap data eksperimen laboratorium, mengevaluasi akurasi gelombang dan sedimen, serta waktu komputasi. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi parameter optimal dapat mengurangi waktu komputasi hingga 54% dan meningkatkan akurasi simulasi secara signifikan.

Kata Kunci : *Adaptive Mesh Refinement, Computational Fluid Dynamics, Non-Dominated Sorted Genetic Algorithm-II*

ABSTRACT

OPTIMIZING ADAPTIVE MESH REFINEMENT IN MULTIPHASE CFD FOR TSUNAMI SIMULATION INDUCED BY SUBAERIAL LANDSLIDES USING NSGA-II

Tsunami is one of the natural disasters that has the potential to threaten Indonesia's maritime defense system and is a Non-Military threat. The impact caused by a tsunami can interfere with the Non-Military defense of public safety, which can result in casualties and damage infrastructure, especially the coastal part. One of the causes of tsunamis is the phenomenon of landslides that occur on the surface and seabed. In the context of Non-Military defense, preparedness for this disaster is an important part of the national defense system. This research aims to minimize the damage caused by future tsunamis by improving the efficiency and accuracy of tsunami simulation due to landslides through Computational Fluid Dynamics (CFD)-based numerical modeling with an Adaptive Mesh Refinement (AMR) approach. The AMR parameter optimization method is performed using the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II) evolutionary algorithm, and the selection of the best configuration using the TOPSIS method. Simulations were conducted by validating the results against laboratory experimental data, evaluating the accuracy of wave and sediment transport, and computation time. The results show that the optimal parameter combination can reduce the computation time by 54% and improve the simulation accuracy significantly.

Key Words : Adaptive Mesh Refinement, Computational Fluid Dynamics, Non-Dominated Sorted Genetic Algorithm-II

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 Tsunami	6
2.1.2 <i>Computational Fluid Dynamic</i>	7
2.1.3 Pemodelan Multi Fasa	9
2.1.4 <i>Finite Volume Method</i>	10
2.1.5 <i>Adaptive Mesh Refinement</i>	11

2.1.6	<i>One-At-A-Time Analysis</i>	13
2.1.7	<i>Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm</i>	14
2.1.8	TOPSIS	15
2.2	Hasil Penelitian Terdahulu	16
2.3	Kerangka Berpikir	18
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1.	Metode dan Desain Penelitian	20
3.2.	Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.3.	Prosedur Penelitian	23
3.3.1.	Studi Literatur	24
3.3.2.	<i>Running</i> Simulasi	24
3.3.3.	Penghimpunan Data	26
3.3.4.	<i>One-At-A-Time Analysis</i>	26
3.3.5.	Optimasi dengan NSGA	26
3.3.6.	Pemilihan Parameter Terbaik dengan TOPSIS.....	27
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	28
4.1.	Hasil <i>One At-A-Time Analysis</i>	28
4.2.	Hasil <i>Looping</i> Generasi Pertama	30
4.2.1.	Pemilihan <i>Parent</i> untuk Generasi Pertama	30
4.2.2.	Hasil <i>Offspring</i> Generasi Pertama	36
4.2.3.	<i>Output</i> dari <i>Offspring</i> Generasi Pertama.....	39
4.2.4.	<i>Ranking Parent</i> dan <i>Offspring</i> Generasi Pertama	40
4.3.	Hasil <i>Looping</i> Generasi Kedua	42
4.3.1.	Pemilihan <i>parent</i> untuk generasi Kedua	42
4.3.2.	Hasil <i>Offspring</i> Generasi Kedua	42

4.3.3.	<i>Output</i> dari <i>Offspring</i> Generasi Kedua	43
4.3.4.	<i>Ranking Parent</i> dan <i>Offspring</i> Generasi Kedua	44
4.4.	Hasil <i>Looping</i> Generasi Ketiga	46
4.4.1.	Pemilihan <i>Parent</i> Generasi Ketiga	46
4.4.2.	Hasil <i>Offspring</i> generasi Ketiga	47
4.4.3.	<i>Output</i> dari <i>Offspring</i> Generasi Ketiga	47
4.4.4.	<i>Ranking Parent</i> dan <i>Offspring</i> Generasi Ketiga	48
4.5.	Komparasi Hasil	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1.	Kesimpulan.....	54
5.1.1.	Menerapkan NSGA-II untuk menentukan parameter AMR .	54
5.1.2.	Mempercepat waktu dan meningkatkan akurasi untuk pemodelan multifasi dengan konfigurasi <i>solver</i> AMR	54
5.2.	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA		56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Multivariable</i> AMR	12
Gambar 3.1 Alur Penelitian	23
Gambar 3.2 Domain Eksperimen	25
Gambar 4.1 Contoh crossover yang terjadi pada individu	37
Gambar 4.2 Contoh mutasi yang terjadi pada individu	38
Gambar 4.3 Bentuk <i>sediment</i> dan <i>wavegate</i> dari kasus basic	52
Gambar 4.4 Bentuk <i>sediment</i> dan <i>wavegate</i> dari <i>output</i> 1	52



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter AMR.....	12
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	16
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	21
Tabel 3.2 Data Penelitian	22
Tabel 3.3 Set Up Parameter Eksperimen	25
Tabel 4.1 Konfigurasi parameter AMR pada AOT.....	28
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Berdasarkan Konfigurasi dari OAT	29
Tabel 4.3 Pendefinisian Konfigurasi Menjadi Bilangan Nominal	30
Tabel 4.4 Pengelompokan individu berdasarkan Front <i>Pareto</i>	32
Tabel 4.5 Parent Generasi Pertama	36
Tabel 4.6 Offspring Generasi Pertama	38
Tabel 4.7 <i>Output</i> Offspring Generasi Pertama	39
Tabel 4.8 <i>Ranking</i> Generasi Pertama	40
Tabel 4.9 Parent Generasi Kedua	42
Tabel 4.10 Offspring Generasi Kedua	43
Tabel 4.11 <i>Output</i> Offspring Generasi Kedua	43
Tabel 4.12 <i>Ranking</i> Generasi Kedua	45
Tabel 4.13 Parent Generasi Ketiga	46
Tabel 4.14 Offspring Generasi Ketiga	47
Tabel 4.15 <i>Output</i> Offspring Generasi Ketiga	48
Tabel 4.16 <i>Ranking</i> Generasi Ketiga.....	49
Tabel 4.17 Komparasi Hasil	51

DAFTAR SINGKATAN

AMR	: <i>Adaptive Mesh Refinement</i>
CFD	: <i>Computational Fluid Dynamic</i>
FVM	: <i>Finite Volume Method</i>
MAE	: <i>Mean Average Error</i>
RMSE	: <i>Root Mean Square Error</i>
NSGA-II	: <i>Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II</i>
TOPSIS	: <i>Technique for Order Preferences by Similarity to Ideal Solution</i>

