



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**KOMPARASI METODE *MAX-AVERAGE POOLING* DAN
RESAMPLE PADA MODEL TRIGRS UNTUK OPTIMASI
PERCEPATAN KOMPUTASI**

ARIF ZIDAN PRAYOGO 320210302005

**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 : Arif Zidan Prayogo
NIM : 320210302005
Program Studi : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Komparasi Metode *Max-Average Pooling* dan *Resample*
pada Model TRIGRS untuk Optimasi Percepatan
Komputasi

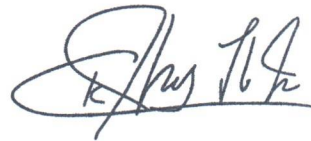
Dosen Pembimbing I



Dr. Bambang Suharjo, M. Si.
Kolonel Laut (KH) NRP. 10830/P

Tanggal : 27 Juni 2025

Dosen Pembimbing II



Khori Sugianti, ST. MT.
Pembina IV/a
NIP. 198302142009122002

Tanggal : 27 Juni 2025

Mengetahui,

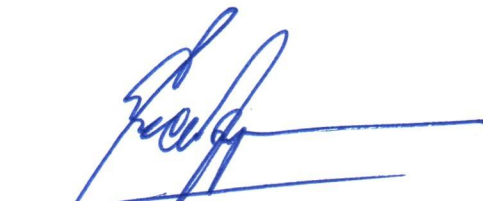
Kepala
Program Studi Matematika



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

Tanggal : 27 Juni 2025

Dekan
Fakultas MIPA Militer

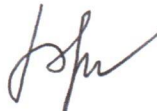
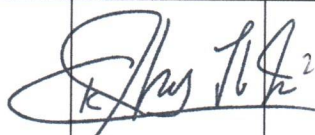
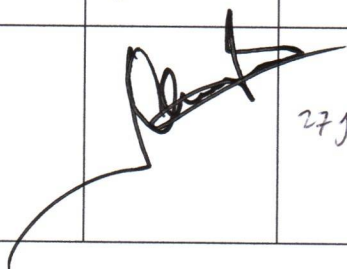


Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si,
Pembina Utama Muda IV/c

Tanggal : 12/8-2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Arif Zidan Prayogo
NIM : 320210302005
Program Studi : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Proposal : Komparasi Metode *Max-Average Pooling* dan
Skripsi *Resample* pada Model TRIGRS untuk
Optimasi Percepatan Komputasi

No.	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dosen Pembimbing I : Dr. Bambang Suharjo, M. Si. Kolonel Laut (KH) NRP. 10830/P		27 Juni 2025
2.	Dosen Pembimbing II : Khoru Sugianti, ST. MT. Pembina IV/a NIP. 198302142009122002		27 Juni 2025
3.	Dosen Penguji I : Dr. Ro'fah Nur Rachmawati, S.Si., M.Si. Penda Tk. I III/b NIP. 198612152022032002		27 Juni 2025
4.	Dosen Penguji II : Djoko Heksa Purnomo, S.Si., M.Si. Kolonel Laut (KH) NRP. 14628/P		27 Juni 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. 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 27 Juni 2025



Ari Zidan Prayogo

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

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

Nama : Arif Zidan Prayogo
NIM : 320210302005
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:

Komparasi Metode *Max-Average Pooling* dan *Resample* pada Model TRIGRS untuk Optimasi Percepatan Komputasi

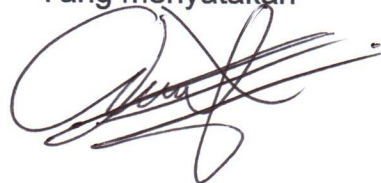
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di :

Pada Tanggal : 27 Juni 2025

Yang menyatakan



Arif Zidan Prayogo
NIM. 320210302005

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul: “Komparasi Metode *Max-Average Pooling* dan *Resample* pada Model TRIGRS untuk Optimasi Percepatan Komputasi” 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. Dr. Bambang Suharjo, M. Si. dan Ibu Khoris Sugianti, ST. MT. selaku dosen pembimbing dalam penelitian tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen Prodi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam selaku pendidik dan pembimbing sehingga penulis mendapatkan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.
4. Seluruh dosen penguji penelitian tugas akhir ini sejak seminar proposal hingga sidang skripsi.
5. Orang tua dan keluarga saya yang sudah memberikan bantuan secara moril dan materil dalam membantu penulisan skripsi ini.
6. Fulkan Kafilah Al Husein sebagai mentor yang memberikan bimbingan dalam penelitian tugas akhir ini.
7. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan seluruhnya.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan-kebaikan berbagai pihak atas bantuannya.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, oleh karena itu

dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhirnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dan bermanfaat bagi *stakeholder* terkait dalam upaya mitigasi bencana guna ketahanan wilayah di Indonesia.

Bogor, ...

Arif Zidan Prayogo



ABSTRAK

Komparasi Metode *Max-Average Pooling* dan *Resample* pada Model TRIGRS untuk Optimasi Percepatan Komputasi

Kemampuan untuk memetakan dan memitigasi risiko bencana menjadi bagian integral dari strategi ketahanan nasional dalam konteks pertahanan negara. Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan keragaman topografi dan iklim tropis, memiliki kerentanan tinggi terhadap bencana, khususnya tanah longsor akibat curah hujan tinggi di wilayah dengan topografi curam. Penelitian ini mengusulkan metode *Max-Average Pooling* sebagai pendekatan efisien untuk mereduksi data spasial dalam pemodelan deterministik tanah longsor berbasis model TRIGRS (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability*). Model TRIGRS memiliki tantangan utama pada waktu komputasi yang lama, terutama saat menggunakan data dengan resolusi spasial tinggi. Studi dilakukan di wilayah Kabupaten Bandung Barat menggunakan data DEMNAS dan parameter geoteknik yang relevan. Metode *Max-Average Pooling* dikomparasikan dengan teknik *Resample* seperti *Nearest Neighbor*, *Bilinear Interpolation*, dan *Bi-Cubic Interpolation*. Hasil evaluasi menggunakan kurva ROC dan nilai AUC menunjukkan bahwa metode ini mampu mereduksi ukuran data secara efisien tanpa mengorbankan akurasi pemodelan secara signifikan, serta menghasilkan waktu komputasi yang lebih cepat. Temuan ini menunjukkan potensi *Max-Average Pooling* sebagai alternatif unggul dalam pengembangan sistem pemodelan bencana yang cepat dan akurat, untuk mendukung ketahanan bencana dan pertahanan negara di wilayah rawan longsor.

Kata Kunci : TRIGRS, *Max-Average Pooling*, *Resample*, Efisiensi Komputasi, Ketahanan Bencana, Pertahanan Negara, Longsor

ABSTRACT

Comparative Study of Max-Average Pooling and Resample Methods in the TRIGRS Model For Computational Efficiency Optimization

The ability to map and mitigate disaster risks is an integral part of national resilience strategies within the context of national defense. Indonesia, as an archipelagic country with diverse topography and a tropical climate, is highly vulnerable to natural disasters, particularly landslides triggered by heavy rainfall in steep terrain. This study proposes the Max-Average Pooling method as an efficient approach for spatial data reduction in deterministic landslide modeling using the TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability) model. One of the main challenges in implementing TRIGRS is its high computational time, especially when applied to high-resolution spatial data. The study was conducted in West Bandung Regency using DEMNAS data and relevant geotechnical parameters. The Max-Average Pooling method is compared with common resampling techniques such as Nearest Neighbor, Bilinear Interpolation, and Bi-Cubic Interpolation. Evaluation using ROC curves and AUC values demonstrates that this method effectively reduces data size without significantly compromising modeling accuracy while achieving faster computation times. These findings highlight the potential of Max-Average Pooling as a promising alternative for developing fast and accurate disaster modeling systems to support disaster resilience and strengthen national defense in landslide-prone areas.

Keywords : TRIGRS, Max-Average Pooling, Resample, Computational Efficiency, Disaster Resilience, National Defense, Landslides

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
<i>ABSTRACT</i>	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.....	6
1.3. Tujuan Penelitian.....	6
1.4. Manfaat Penelitian.....	7
1.4.1. Manfaat Teoritis.....	7
1.4.2. Manfaat Praktis.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Landasan Teori.....	8
2.1.1. Ketahanan Bencana.....	8
2.1.2. Mitigasi Bencana.....	9

2.1.3.	Longsor Akibat Curah Hujan	10
2.1.4.	TRIGRS	10
2.1.5.	Faktor Keselamatan (FK)	15
2.1.6.	<i>Max-Average Pooling (Concat)</i>	17
2.1.7.	<i>Nearest Neighbor</i>	18
2.1.8.	<i>Bilinear Interpolation</i>	20
2.1.9.	<i>Bi-Cubic Interpolation</i>	21
2.1.10	Evaluasi Model	22
2.2.	Hasil Penelitian Terdahulu	24
2.3.	Kerangka Pemikiran	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1.	Metode dan Desain Penelitian	29
3.2.	Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.3.	Alat dan Data Penelitian	31
3.4.	Prosedur Penelitian	32
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		43
4.1.	Pemetaan Hasil <i>Preprocessing Data</i>	43
4.2.	Analisis Hasil <i>Preprocessing Data</i>	50
4.2.	Pemodelan Deterministik	53
4.2.1.	TRIGRS	53
4.2.2.	TRIGRS menggunakan <i>Max-Average Pooling</i>	55
4.2.3.	TRIGRS Menggunakan <i>Resample Nearest Neighbor</i>	57
4.2.4.	TRIGRS Menggunakan <i>Resample Bilinear Interpolation</i>	59
4.2.5.	Hasil menggunakan <i>Resample Bi-Cubic Interpolation</i>	61
4.3.	Hasil Waktu Komputasi	63

4.4.	Efisiensi Waktu Komputasi	64
4.5.	Evaluasi Model	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		68
5.1.	Reduksi Matriks dalam Model TRIGRS	68
5.2.	Efisiensi Waktu Komputasi dalam Model TRIGRS	68
5.3.	Evaluasi Akurasi <i>Max-Average Pooling</i> dan <i>Resample</i>	69
5.4.	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		70



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Jumlah Kejadian Bencana di Jawa Barat.....	1
Gambar 1.2. Dokumentasi dampak tanah longsor di Desa Jatisari Kecamatan Bojongpicung.....	2
Gambar 1.3. Perkembangan TRIGRS.....	4
Gambar 2.1. Model respon tekanan air tanah pada permukaan lereng terhadap air hujan.	11
Gambar 2.2. Koordinat vertikal (Z)	12
Gambar 2.3. Skema metode <i>Pooling</i> , dengan gambar (a) sebagai matriks awal, gambar (b) menggunakan metode <i>Max Pooling</i> , gambar (c) menggunakan metode <i>Average Pooling</i> , gambar (d) menggunakan metode <i>Max-Average Pooling</i>	17
Gambar 2.4. <i>Nearest Neighbor</i>	19
Gambar 2.5. Perhitungan <i>Bi-Cubic Interpolation</i> terhadap titik data dari 16 titik di sekitarnya.....	21
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Penelitian	29
Gambar 4.1. Data Penelitian.....	44
Gambar 4.2. Data Penelitian <i>Max-Average Pooling</i>	45
Gambar 4.3. Data Penelitian <i>Nearest Neighbor</i>	47
Gambar 4.4. Data Penelitian <i>Bilinear Interpolation</i>	48
Gambar 4.5. Data Penelitian <i>Bi-Cubic Interpolation</i>	49
Gambar 4.6. Hasil TRIGRS.....	53
Gambar 4.7. Hasil TRIGRS dengan <i>Max-Average Pooling</i>	55
Gambar 4.8. Hasil TRIGRS dengan <i>Resample Nearest Neighbor</i>	57
Gambar 4.9. Hasil TRIGRS dengan <i>Resample Bilinear Interpolation</i>	59
Gambar 4.10. Hasil TRIGRS dengan <i>Resample Bi-Cubic Interpolation</i>	61
Gambar 4.11. Kurva ROC untuk berbagai metode dengan kurva (a) metode <i>Max-Average Pooling</i> , (b) metode <i>Nearest Neighbor</i> , (c) metode <i>Bilinear Interpolation</i> , (d) metode <i>Bi-Cubic Interpolation</i>	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Kerentanan (Faktor Keamanan) Pada TRIGRS	16
Tabel 2.2. Hasil Penelitian Terdahulu	24
Tabel 2.3. Kerangka Pemikiran	28
Tabel 3.1. Jadwal Penelitian	30
Tabel 3.2. Data Penelitian	31
Tabel 3. 3. Algoritma <i>Max-Average Pooling</i>	34
Tabel 3. 4. Algoritma <i>Nearest Neighbor</i>	36
Tabel 3. 5. Algoritma <i>Bilinear Interpolation</i>	38
Tabel 3. 6. Algoritma <i>Bicubic Interpolation</i>	40
Tabel 4.1. Perhitungan Menggunakan Metode Max-Average Pooling	51
Tabel 4.2. Hasil Waktu Komputasi dalam berbagai metode.....	63

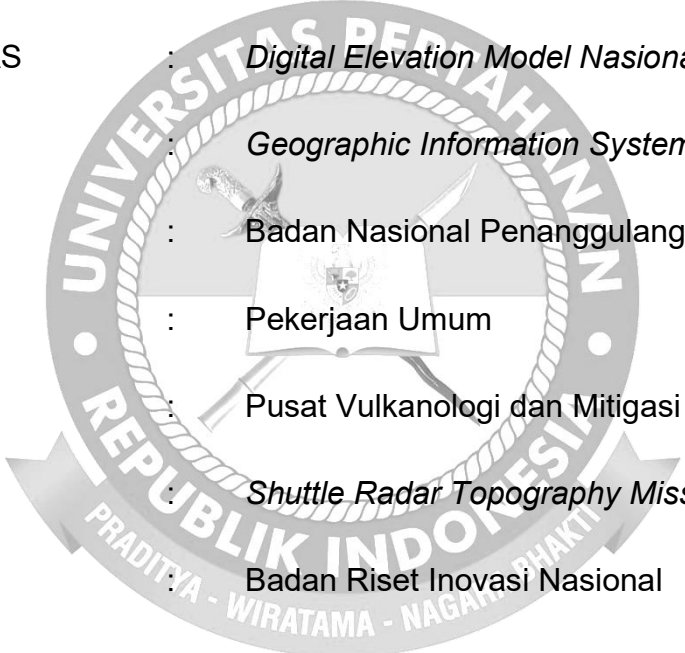


DAFTAR BAGAN

Bagan 3. 1 Prosedur Penelitian	32
--------------------------------------	----



DAFTAR SINGKATAN



DEM	:	<i>Digital Elevation Model</i>
VS Code	:	<i>Visual Studio Code</i>
TRIGRS	:	<i>Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability</i>
DEMNAS	:	<i>Digital Elevation Model Nasional</i>
GIS	:	<i>Geographic Information System</i>
BNPB	:	Badan Nasional Penanggulangan Bencana
PU	:	Pekerjaan Umum
PVMBG	:	Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi
SRTM	:	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
BRIN	:	Badan Riset Inovasi Nasional
PRKG	:	Pusat Riset Kebencanaan Geologi
ROC	:	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
AUC	:	<i>Area Under Curve</i>
TPR	:	<i>True Positive Rate</i>
FPR	:	<i>False Positive Rate</i>
ZKGT	:	Zona Kerentanan Gerakan Tanah
TP	:	<i>True Positive</i>
FN	:	<i>False Negative</i>