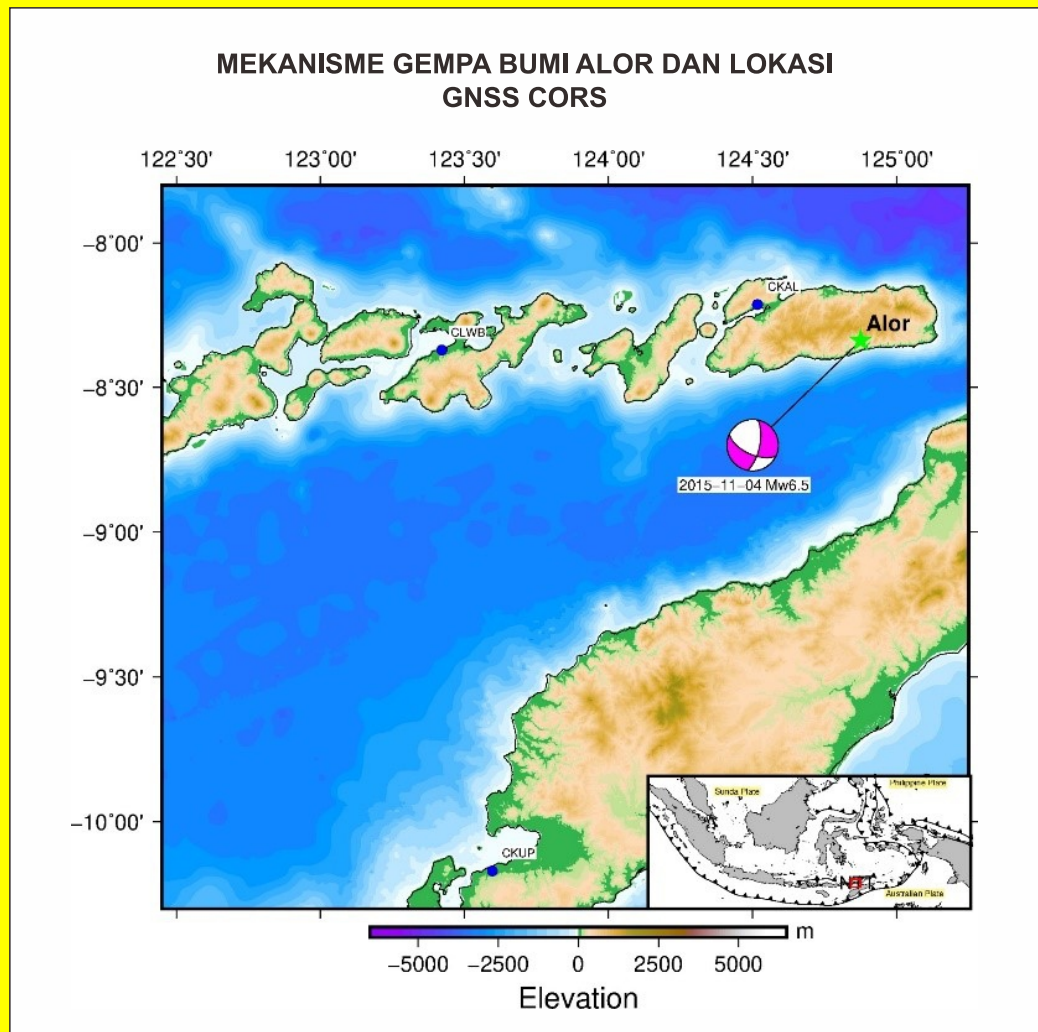


# GEOMATIKA

Vol. 29 No. 2, November 2023



Geomatika | Volume 29 Nomor 2 | November 2023 | Hal. 67 - 132



Diterbitkan oleh:  
**BADAN INFORMASI GEOSPASIAL**  
Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong  
Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064



BADAN INFORMASI  
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

# GEOMATIKA

**Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial**

**Vol. 29 No. 2, November 2023**

Geomatika diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN). Geomatika merupakan media komunikasi ilmiah, riset dan teknologi terkait pengumpulan, pengolahan dan analisis data yang menghasilkan informasi Geospasial Dasar (IGD), antara lain mencakup bidang-bidang Ilmu Kebumihan (Geodesi, Geologi, Geografi, Geografi Fisik, Ilmu Atmosfer, Oseanografi), Teknologi Informasi Spasial, termasuk juga Penginderaan Jauh, Sistem Informasi Geografis, Kartografi dan Batas Wilayah. Pernyataan penulis dalam artikel yang dimuat pada majalah ini merupakan pendapat individu penulis bukan pendapat penerbit.

Jurnal terbit 2 kali setiap tahun, 1 volume 2 nomor, bulan **Mei** dan **November**.

**Pengarah:**

Kepala Badan Informasi Geospasial

**Penanggung Jawab:**

Kepala Pusat Penelitian, Promosi, dan Kerja Sama

**Mitra Bestari:**

**Nama:**

Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar  
Dr. Agustan, ST., M.Sc  
Dr. Yosef Prihanto, M.Si

Dr. Atriyon Julzarika, S.T., M. Eng  
Dr. Ati Rahadiati, M.Sc  
Dr. Wiwin Ambarwulan, M.Sc.

Dr. rer. nat. Djati Mardiatno, M.Si  
Dr. rer. nat. Anang Widhi Nirwansyah,  
Dr. Yudo Prasetyo, ST., MT.  
Abdul Basith, M,Si., Ph.D

**Kepakaran:**

Penginderaan Jauh, SIG  
Penginderaan Jauh  
SIG, Pengelolaan SDA dan  
Linakunaan  
Geomatika, SIG, Penginderaan Jauh  
Penginderaan Jauh, Kelautan, SIG,  
Penginderaan Jauh Kelautan, SIG,  
Pengelolaan SDA dan Linakunaan  
Geomorfologi  
Geomatika, SIG, Penginderaan  
Penginderaan Jauh - SIG  
Geodesi Kelautan

**Instansi:**

Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Universitas Gadjah Mada  
Universitas Muhamadiyah Purwokerto  
Universitas Diponegoro  
Universitas Gadjah Mada

**Dewan Editor:**

**Nama:**

Dr. Ratna Sari Dewi, M.Sc  
Prof. Dr. Jonson Lumban-Gaol, M.Si  
Prof. Dewayany, M.App.Sc  
Dr. Ati Rahadiati, M.Sc  
Dr. Catur Aries Rokhmana, M.T  
Dr. Winhard Tampubolon, M.Sc

**Jabatan:**

Ketua Dewan Editor  
Anggota  
Anggota  
Anggota  
Anggota  
Anggota

**Instansi:**

Badan Informasi Geospasial  
Institut Pertanian Bogor  
Badan Riset Inovasi Nasional  
Badan Riset Inovasi Nasional  
Universitas Gadjah Mada  
Badan Informasi Geospasial



BADAN INFORMASI  
GEOSPASIAL

**Alamat Redaksi:**

Sekretariat Redaksi Geomatika  
Gedung S, Lt. 1 Badan Informasi Geospasial (BIG)  
Jl. Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong 16911  
Telp/fax: +62-21- 87906041, E-mail: jurnal.geomatika@big.go.id  
Web Jurnal: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM>





## DAFTAR ISI

<b>SUSUNAN DEWAN REDAKSI</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>LEMBAR ABSTRAK (ID)</b> .....	v
<b>LEMBAR ABSTRAK (EN)</b> .....	vii
<b>PENGANTAR REDAKSI</b> .....	ix
<b>DISTRIBUSI VS30 SECARA MIKROZONASI BERDASARKAN DATA INVERSI SEISMIK PASIF DI SEPANJANG JALAN PROVINSI ALTERNATIF KABUPATEN BENGKULU TENGAH-KEPAHIANG</b> <i>(Vs30 Distribution in Microzonation Based on Passive Seismic Inversion Data Along The Alternative Provincial Road of Central Bengkulu-Kepahiang Regency)</i> <b>Arif Ismul Hadi, Muhammad Afif Nabhan, Darmawan Ikhlas Fadli, Budi Harlianto, Refrizon, Rama Ramdani</b> Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu.....	67-76
<b>ANALISIS SKENARIO DAMPAK BENCANA ERUPSI GUNUNGAPI ROKATENDA DENGAN MENGGUNAKAN PLUGIN INASAFE</b> <i>(Scenario Impact Analysis of the Rokatenda Volcano Eruption by Using the InaSAFE Plugin)</i> <b>Syafrudin Fathoni, Sobar Sutisna, Makmur Supriyatno</b> Program Studi Manajemen Bencana, Universitas Pertahanan Republik Indonesia.....	77-88
<b>ANALISIS DAERAH RAWAN BANJIR DENGAN METODE COMPOSITE MAPPING ANALYSIS (CMA) DI KOTA PADANG</b> <i>(Flood Vulnerability Analysis using Composite Mapping Analysis (CMA) in Padang City)</i> Yahya Darmawan, Imawan Mashuri, Muhamad Arif Jumansa, Fadhil Muhammad Aslam, Anindya Azzahra Climatology Department, State College of Meteorology, Climatology and Geophysics (STMKG).....	89-98
<b>ESTIMASI MAGNITUDO GEMPA BUMI ALOR 4 NOVEMBER 2015 DENGAN DATA GNSS CORS 1 HZ</b> <i>(4<sup>th</sup> November 2015 Alor Earthquake Magnitude Estimation using GNSS CORS 1 Hz Data)</i> <b>Muhammad Al Kautsar, Oktadi Prayoga, Sidik Tri Wibowo, Ajat Sudrajat</b> Badan Informasi Geospasial (BIG), Indonesia.....	99-106
<b>ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN METODE SENTINEL-1 DUAL-POLARIZED WATER INDEX (SDWI) BERBASIS DATA MULTITEMPORAL PADA GOOGLE EARTH ENGINE</b> <i>(Shoreline Change Analysis with Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI) Method based on Multitemporal Data using Google Earth Engine)</i> <b>Nirmawana Simarmata, Zulfikar Adlan Nadzir, Dewi Nawang Sari</b> Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia.....	107-120
<b>ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN CITRA SATELIT MULTI TEMPORAL STUDI KASUS: KABUPATEN PESISIR BARAT, LAMPUNG</b> <i>(Analysis Of Shoreline Changes Use Multi Temporal Satellite Images, Case Study: Pesisir Barat Regency, Lampung)</i> <b>Maulana Prabandaru, Dessy Apriyanti, Ediyanto</b> Program Studi Teknik Geomatika, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.....	121-132

## LEMBAR ABSTRAK (ID)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2023
<p>Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya</p>	
<p>DDC 551.22 Hadi (Universitas Bengkulu)</p> <p>Distribusi Vs30 Secara Mikrozonasi Berdasarkan Data Inversi Seismik Pasif di Sepanjang Jalan Provinsi Alternatif Kabupaten Bengkulu Tengah-Kepahiang <i>Geomatika, Vol 29 No 2, Hal 67-76</i></p> <p>Tujuan penelitian ini adalah mengestimasi profil VS 30 di bawah 19 stasiun mikroseismik di jalan lintas Provinsi Bengkulu Tengah dengan menggunakan inversi Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr). Stasiun pengukuran mikrotremor disebarakan merata di sepanjang jalan lintas Provinsi Bengkulu Tengah. Data mikrotremor diproses menggunakan perangkat lunak Geopsy untuk mendapatkan kurva H/V yang kemudian diinversikan menggunakan perangkat lunak HV-Inv.</p> <p style="text-align: right;">(Hadi)</p> <p><b>Kata Kunci:</b> HVSr inversion, kecepatan gelombang geser, Vs30</p>	<p>DDC 551.21 Fathoni (Universitas Pertahanan Republik Indonesia)</p> <p>Analisis Skenario Dampak Bencana Erupsi Gunungapi Rokatenda dengan Menggunakan Plugin Inasafe <i>Geomatika, Vol 29 No 2, Hal 77-88</i></p> <p>Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui luasan potensi sebaran bahaya erupsi Gunungapi Rokatenda dan menganalisis dampak erupsi terhadap bangunan, luas wilayah, dan panjang jalan dengan menggunakan plugin Indonesia Scenario Assessment for Emergencies (InaSAFE). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis data sekunder. Data yang digunakan meliputi data bahaya (sebaran awan panas dan aliran lahar), data keterpaparan (data bangunan dan jalan), serta data agregasi (peta administrasi Pulau Palue).</p> <p style="text-align: right;">(Fathoni)</p> <p><b>Kata Kunci:</b> bencana, erupsi, Gunungapi Rokatenda, InaSAFE, SIG</p>
<p>DDC 551.489 Darmawan (STMKG)</p> <p>Analisis Daerah Rawan Banjir dengan Metode Composite Mapping Analysis (CMA) di Kota Padang <i>Geomatika, Vol 29 No 2, Hal 89-98</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis kerawanan terhadap banjir di Kota Padang dengan menggunakan metode Composite Mapping Analysis (CMA) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi curah hujan, kemiringan lereng (<i>slope</i>), tutupan lahan, dan jenis tanah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode multi-kriteria berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG), yang melibatkan pembobotan (<i>scoring</i>) dan <i>overlay</i> dari keempat parameter tersebut untuk menghasilkan peta kerawanan banjir di wilayah Kota Padang.</p> <p style="text-align: right;">(Darmawan)</p> <p><b>Kata Kunci:</b> banjir, CMA, Kota Padang, <i>overlay</i></p>	<p>DDC 384.51 Al Kautsar (Badan Informasi Geospasial)</p> <p>Estimasi Magnitudo Gempa Bumi Alor 4 November 2015 dengan Data GNSS Cors 1 Hz <i>Geomatika, Vol 28 No 2, Hal 91-100</i></p> <p>Penelitian ini menggunakan data GNSS CORS dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan interval 1 Hz. Stasiun GNSS CORS yang digunakan adalah CORS Kalabahi (CKAL), CORS Lewoleba (CLWB), dan CORS Kupang (CKUP) dengan jarak ke episenter gempa bumi masing-masing 47,04 km, 169,74 km, dan 264,82 km. Metode perhitungan pergeseran GNSS CORS memakai metode <i>Precise Point Positioning</i> (PPP) dan perhitungan estimasi magnitudo gempa bumi menggunakan metode <i>Peak Ground Displacement</i> (PGD) <i>Scaling</i>. Dari metode tersebut menghasilkan estimasi magnitudo gempa bumi Alor sebesar Mw6,58.</p> <p style="text-align: right;">(Al Kautsar)</p> <p><b>Kata Kunci:</b> Gempa bumi, GNSS CORS, PPP</p>



BADAN INFORMASI  
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

# GEOMATIKA

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 29 No. 2, November 2023

<p>DDC 551.41 <i>Simarmata</i> (Institut Teknologi Sumatera)</p> <p>Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Metode Sentinel-1 <i>Dual-Polarized Water Index</i> (SDWI) Berbasis Data Multitemporal pada Google Earth Engine <i>Geomatika, Vol 29 No 2, Hal. 107-120</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola perubahan garis pantai secara temporal, mengidentifikasi daerah-daerah yang rentan terhadap perubahan garis pantai, dan memberikan kontribusi terhadap pengelolaan pesisir yang berkelanjutan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Sentinel-1 tahun 2018 sampai 2023. Metode yang digunakan untuk mengekstrak garis pantai adalah <i>Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index</i> (SDWI).</p> <p>(<i>Simarmata</i>)</p> <p><b>Kata Kunci:</b> akresi, dinamika pesisir, erosi, radar</p>	<p>DDC 551.419 Prabandaru (Universitas Pembangunan Nasional)</p> <p>Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Multi Temporal Studi Kasus: Kabupaten Pesisir Barat, Lampung <i>Geomatika, Vol 29 No 2, Hal. 121-138</i></p> <p>Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis perubahan garis pantai dengan menggunakan citra satelit multi sensor. Peristiwa abrasi dan akresi dapat diketahui jarak perubahan garis pantai dengan menggunakan perangkat lunak <i>Digital Shoreline Analysis System</i> (DSAS) yang mampu menghitung jarak statistik perubahan garis pantai untuk serangkaian waktu dengan metode perhitungan statistik <i>Net Shoreline Movement</i> (NSM).</p> <p>(Prabandaru)</p> <p><b>Kata kunci:</b> Abrasi, Akresi, <i>Digital Shoreline Analysis System</i></p>
---	--



## LEMBAR ABSTRAK (EN)

<b>GEOMATIKA</b>	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2023
<p><i>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</i></p>	
<p>DDC 551.22 Hadi (Universitas Bengkulu)</p> <p><i>Vs30 Distribution in Microzonation Based on Passive Seismic Inversion Data Along The Alternative Provincial Road of Central Bengkulu-Kepahiang Regency</i> <i>Geomatika, Vol 29 No 2, pp. 67-76</i></p> <p><i>The goal of this study is to use Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) inversion to figure out the VS30 profile under 19 microseismic stations on the Central Bengkulu Province causeway. Microtremor measurement stations were evenly distributed along the Central Bengkulu Province causeway. Microtremor data were processed using Geopsy software to obtain H/V curves, which were then inversed using HV-Inv software.</i></p> <p style="text-align: right;">(Hadi)</p> <p><b>Keywords:</b> HVSr inversion, shear wave velocity, Vs30</p>	<p>DDC 551.21 Fathoni (Universitas Pertahanan Republik Indonesia)</p> <p><i>Scenario Impact Analysis of the Rokatenda Volcano Eruption by Using the InaSAFE Plugin</i> <i>Geomatika, Vol 29 No 2, pp. 77-88</i></p> <p><i>The purpose of this study was to determine the potential distribution area of the eruption hazard of the Rokatenda Volcano and to analyze the impact of the eruption on buildings, area, and roads length using the Indonesia Scenario Assessment for Emergencies (InaSAFE) plugin. The method used in this research was the secondary data analysis method. The data used include hazard data (distribution of hot clouds and lava flows), exposure data (data on buildings and roads), and aggregation data (administrative map of Palue Island).</i></p> <p style="text-align: right;">(Fathoni)</p> <p><b>Keywords:</b> disaster, eruption, Rokatenda Volcano, InaSAFE, GIS</p>
<p>DDC 551.489 Darmawan (STMKG)</p> <p><i>Flood Vulnerability Analysis using Composite Mapping Analysis (CMA) in Padang City</i> <i>Geomatika, Vol 29 No 2, pp. 89-98</i></p> <p><i>This research aims to analyze Padang City's flood vulnerability map using a Geographic Information System (GIS) based Composite Mapping Analysis (CMA). Several parameters used in this study include rainfall, slope, land cover, and soil type. The method employed in this research is a multi-criteria GIS-based approach involving weighting (scoring) and overlaying these four parameters to generate a flood vulnerability map for the Padang City area.</i></p> <p style="text-align: right;">(Darmawan)</p> <p><b>Keywords:</b> flooding, CMA, Padang City, overlay</p>	<p>DDC 384.51 Al Kautsar (Badan Informasi Geospasial)</p> <p><i>4th November 2015 Alor Earthquake Magnitude Estimation using GNSS CORS 1 Hz Data</i> <i>Geomatika, Vol 28 No 2, pp. 91-100</i></p> <p><i>This research uses GNSS CORS data from the Geospatial Information Agency (BIG) with 1 Hz intervals. The GNSS CORS stations used are CORS Kalabahi (CKAL), CORS Lewoleba (CLWB), and CORS Kupang (CKUP) with distances to the earthquake epicenter of 47.04 km, 169.74 km, and 264.82 km, respectively. The GNSS CORS displacement calculation method uses the Precise Point Positioning (PPP) method and the estimated earthquake magnitude calculation uses the Peak Ground Displacement (PGD) Scaling.</i></p> <p style="text-align: right;">(Al Kautsar)</p> <p><b>Keywords:</b> Earthquake, GNSS CORS, PPP</p>



BADAN INFORMASI  
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

# GEOMATIKA

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 29 No. 2, November 2023

<p>DDC 551.41 Simarmata (Institut Teknologi Sumatera)</p> <p><i>Shoreline Change Analysis with Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI) Method based on Multitemporal Data using Google Earth Engine</i> <i>Geomatika, Vol 29 No 2, pp. 107-120</i></p> <p><i>This research aims to analyze temporal patterns of shoreline change, identify areas vulnerable to shoreline change, and contribute to sustainable coastal management. The data used in this study are Sentinel-1 images from 2018 to 2023. The Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI) was used to extract the coastline. The results show that during 2018–2023, the length of the coastline experienced significant fluctuations. Starting from 2018, the length of the coastline decreased successively until it reached its lowest point in 2021 with 391.816 km.</i></p> <p>(Simarmata)</p> <p><b>Keywords:</b> accretion, coastal dynamics, erosion, radar</p>	<p>DDC 551.419 Prabandaru (Universitas Pembangunan Nasional)</p> <p><i>Analysis Of Shoreline Changes Use Multi Temporal Satellite Images, Case Study: Pesisir Barat Regency, Lampung</i> <i>Geomatika, Vol 29 No 2, pp. 121-138</i></p> <p><i>The purpose of this study was to analyze changes in coastlines using multi-sensor satellite images. Abrasion and accretion events can be determined by the distance of shoreline changes using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) software which is capable of calculating the statistical distance of shoreline changes over time using the Net Shoreline Movement (NSM) statistical calculation method.</i></p> <p>(Prabandaru)</p> <p><b>Keywords:</b> abrasion, accretion, digital shoreline analysis system</p>
---	--



## PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Jurnal Geomatika Volume 29 No. 2 November 2023 dapat kembali terbit. Dengan semangat untuk selalu memberikan yang terbaik, redaksi berharap agar setiap edisinya semakin berkualitas dengan memuat hasil penelitian yang berguna dan sesuai perkembangan di bidang Informasi Geospasial Dasar, melalui riset dan teknologi survei pemetaan dalam bidang-bidang Ilmu Kebumihan (Geodesi, Geologi, Geografi, Geografi Fisik, Ilmu Atmosfer, Oseanografi), Teknologi Informasi Spasial, termasuk juga Penginderaan Jauh, Sistem Informasi Geografis, Kartografi dan Batas Wilayah.

Jurnal Geomatika Volume 29 No. 2 November 2023 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari lima karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Universitas Bengkulu, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, STMKG, Badan Informasi Geospasial, Institut Teknologi Sumatera, dan Universitas Pembangunan Nasional. Penelitian pertama bertujuan untuk mengestimasi profil VS 30 di bawah 19 stasiun mikroseismik di jalan lintas Provinsi Bengkulu Tengah dengan menggunakan inversi Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr). Penelitian kedua untuk mengetahui luasan potensi sebaran bahaya erupsi Gunungapi Roketenda dan menganalisis dampak erupsi terhadap bangunan, luas wilayah, dan panjang jalan dengan menggunakan *plugin Indonesia Scenario Assessment for Emergencies* (InaSAFE). Selanjutnya, penelitian ketiga bertujuan untuk melakukan analisis kerawanan terhadap banjir di Kota Padang dengan menggunakan metode Composite Mapping Analysis (CMA) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Pada penelitian keempat menggunakan data GNSS CORS dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan interval 1 Hz untuk menganalisis kejadian gempa di Alor, yang sebelumnya terdapat selisih rilis gempa dari pihak BMKG dan dari United States Geological Survey (USGS), GeoForschungsZentrum (GFZ), dan Global Centroid-Moment-Tensor (CMT). Penelitian kelima bertujuan untuk menganalisis pola perubahan garis pantai secara temporal, mengidentifikasi daerah-daerah yang rentan terhadap perubahan garis pantai, dan memberikan kontribusi terhadap pengelolaan pesisir yang berkelanjutan. Penelitian keenam bertujuan untuk melakukan analisis perubahan garis pantai dengan menggunakan citra satelit multi sensor.

Redaksi mengucapkan terima kasih atas kontribusi para penulis, editor, mitra bestari, dan berbagai pihak sehingga edisi ini dapat diterbitkan. Juga kepada pembaca yang budiman, kami harapkan saran dan kritik serta sumbangan pemikiran untuk perbaikan dan kemajuan Jurnal Geomatika ke depan. Semoga terbitan ini bermanfaat bagi pembaca.

Cibinong, November 2023

Redaksi

# **DISTRIBUSI VS30 SECARA MIKROZONASI BERDASARKAN DATA INVERSI SEISMIK PASIF DI SEPANJANG JALAN PROVINSI ALTERNATIF KABUPATEN BENGKULU TENGAH-KEPAHIANG**

*(Vs30 Distribution in Microzonation Based on Passive Seismic Inversion Data Along The Alternative Provincial Road of Central Bengkulu-Kepahiang Regency)*

**Arif Ismul Hadi<sup>1</sup>, Muhammad Afif Nabhan<sup>1</sup>, Darmawan Ikhlas Fadli<sup>1</sup>, Budi Harlianto<sup>1</sup>, Refrizon<sup>1</sup>, Rama Ramdani<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu

<sup>2</sup> Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu  
Jalan WR Supratman Kandang Limun Kota/Kabupaten Kec. Muara Bangkahulu Kota Bengkulu Prov. Bengkulu  
E-mail: [ismulhadi@unib.ac.id](mailto:ismulhadi@unib.ac.id)

*Diterima: 12 Juni 2023; Direvisi: 9 November 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 14 November 2023*

## **ABSTRAK**

Kabupaten Bengkulu Tengah, merupakan salah satu daerah rawan gempa di Pulau Sumatera yang mana lokasinya berdekatan dengan Patahan Sumatera segmen Musi. Penilaian bahaya diperlukan untuk membuat peta risiko gempa bumi di daerah tersebut. Model kecepatan gelombang S pada kedalaman 30 meter (Vs30) dapat digunakan untuk mengetahui jenis tanah sebagai tindakan preventif untuk bahaya gempabumi. Tujuan penelitian ini adalah mengestimasi profil VS 30 di bawah 19 stasiun mikroseismik di jalan lintas Provinsi Bengkulu Tengah dengan menggunakan inversi *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Stasiun pengukuran mikrotremor disebarkan merata di sepanjang jalan lintas Provinsi Bengkulu Tengah. Data mikrotremor diproses menggunakan perangkat lunak Geopsy untuk mendapatkan kurva H/V yang kemudian diinversikan menggunakan perangkat lunak HV-Inv. Hasil disajikan dalam bentuk peta distribusi spasial Vs30 dan klasifikasi situs pada area penelitian. Peta tersebut menunjukkan bahwa nilai Vs30 sebagian besar tinggi, dengan kisaran 364 – 1320 m/s. Klasifikasi situs berada pada tanah yang sangat padat atau batuan lunak (SC) hingga batuan (SB). Nilai Vs30 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan data *United States Geological Survey* (USGS), yaitu klasifikasi situsnya adalah tanah sedang (SD) hingga batuan (SB). Sebaliknya Nilai Vs30 Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) cenderung memiliki kesamaan nilai. Perbedaan terletak pada sebaran wilayah nilai Vs30 dengan klasifikasi situs berupa batuan lunak hingga batuan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi lokal secara signifikan mempengaruhi nilai Vs30. Hasil dari studi ini dapat bermanfaat untuk mitigasi bencana dan menjadi dasar pengembangan wilayah berdasarkan pengurangan risiko gempabumi di jalan lintas Provinsi Bengkulu Tengah.

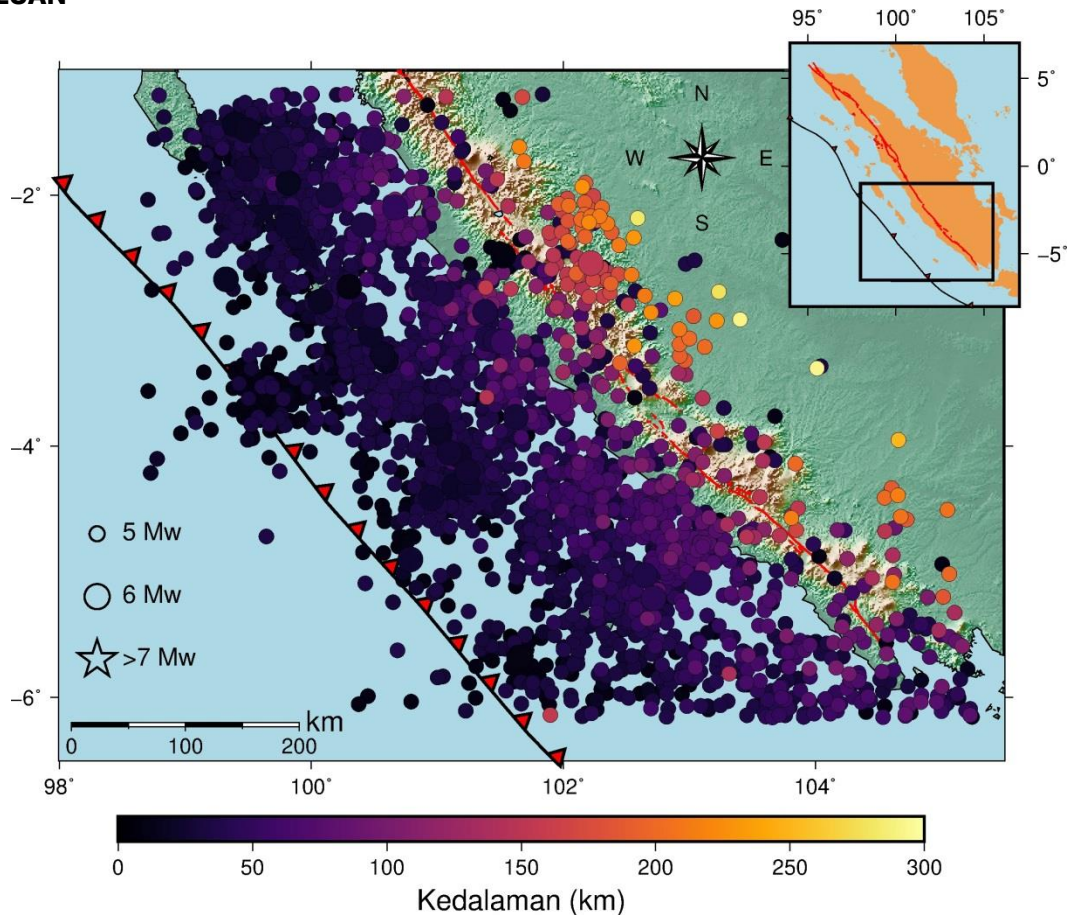
**Kata kunci:** *HVSr inversion*, kecepatan gelombang geser, Vs30

## **ABSTRACT**

The Central Bengkulu Regency is one of the earthquake-prone areas on the island of Sumatra, which is located adjacent to the Musi segment of the Sumatra Fault. A hazard assessment is required to create an earthquake risk map for the area. The S-wave velocity model at a depth of 30 meters (Vs30) can be used to determine the type of soil as a preventive measure for earthquake hazards. The goal of this study is to use Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) inversion to figure out the VS30 profile under 19 microseismic stations on the Central Bengkulu Province causeway. Microtremor measurement stations were evenly distributed along the Central Bengkulu Province causeway. Microtremor data were processed using Geopsy software to obtain H/V curves, which were then inverted using HV-Inv software. The results are presented in the form of a Vs30 spatial distribution map and site classification in the study area. The map shows that the Vs30 values are mostly high, with a range of 364–1320 m/s. The site classification is from very dense soil or soft rock (SC) to rock (SB). Vs30 values tend to be higher than the United States Geological Survey (USGS) data, where the site classification is medium soil (SD) to rock (SB). Meanwhile, the Vs30 value of the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) tends to have similar values. The difference lies in the regional distribution of Vs30 values with site classifications of soft rock (SC) and rock (SB). This shows that local conditions significantly affect the Vs30 value. The results of this study can be useful for disaster mitigation and become the basis for regional development based on earthquake risk reduction on the Central Bengkulu Province road.

**Keywords:** *HVSr inversion*, shear wave velocity, Vs30

**PENDAHULUAN**



**Sumber:** USGS (2022)

**Gambar 1.** Peta seismisitas Bengkulu dan sekitarnya, periode tahun 2002- 2022.

Jalan alternatif Provinsi Bengkulu Tengah – Kepahiang terletak pada 40 km sebelah timur laut Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu, Indonesia. Pada bagian barat lokasi riset berdekatan dengan zona subduksi, dan dengan Patahan Sumatra segmen Musi di bagian timur. Berdasarkan peta seismisitas Bengkulu dan sekitarnya untuk tahun 2002-2022 menunjukkan bahwa aktivitas seismik di daerah tersebut sangat tinggi (USGS, 2022) (**Gambar 1**). Berdasarkan sejarah gempabumi Bengkulu, beberapa gempabumi yang merusak telah menyebabkan kerusakan dan korban jiwa.

Salah satu tujuan utama survei geofisika adalah untuk memperkirakan sifat fisik struktur bawah permukaan dari data pengukuran sinyal yang diukur dengan menggunakan berbagai metode geofisika. Salah satunya menggunakan metode mikrotremor (seismometer), yang didasarkan pada perekaman *ambient noise* seismik dengan menggunakan seismometer tiga komponen, merupakan sebuah teknik geofisika yang banyak diaplikasikan dalam beberapa tahun terakhir. Mikrotremor *single station* (Nakamura 1989), mikrotremor *two station* (Borcherdt, 1970) dan mikrotremor *array* (Okada & Suto, 2003) adalah teknik pengukuran utama yang digunakan untuk merekam *ambient noise* seismik. Teknik pengukuran mikrotremor *single station* adalah yang

paling praktis dan metode yang paling murah di antara teknik-teknik yang disebutkan dan telah umum digunakan dalam penilaian situs lokal akhir-akhir ini.

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) merupakan salah satu pendekatan yang paling populer digunakan untuk menganalisis kebisingan ambien seismik dan didasarkan pada perhitungan rasio antara spektrum horisontal dan vertikal dari kebisingan ambien seismik (Nakamura, 2000; Acerra et al., 2004; Nakamura, 2008; Nakamura, 2009; Lunedei & Malischewsky, 2015). Amplitudo dan frekuensi puncak HVSr masing-masing terkait dengan faktor amplifikasi dan frekuensi resonansi lokasi setempat. Baru-baru ini, sejumlah sistem perangkat keras-perangkat lunak berbiaya rendah juga telah dikembangkan untuk memantau, merekam dan menganalisis sinyal seismik (Kafadar, 2020; Jornet-Monteverde et al., 2021).

Baru-baru ini, banyak penelitian menerapkan metode inversi linier dan nonlinier untuk memperkirakan profil kecepatan gelombang geser dari HVSr. Sebagai contoh Karagoz et al., (2015) menggunakan algoritma *simulated annealing* untuk mengestimasi gelombang geser struktur kecepatan. Garcia-Jerez et al., (2016) mengembangkan perangkat lunak HV-Inv untuk inversi dan

perhitungan maju dari HVSR di bawah asumsi medan difus. Bignardi et al., (2016) mengembangkan program komputer yang disebut OpenHVSR untuk untuk inversi dataset HVSR menggunakan metode Monte Carlo. Shi & Asimaki, (2017) mengembangkan perangkat lunak Seismosoil untuk analisis dan pemrosesan sinyal dari masalah respons lokasi 1D. Kemudian, Bignardi et al., (2018) memperkenalkan versi perbaikan dari OpenHVSR yang dikembangkan oleh Bignardi et al., (2016) untuk melakukan pemrosesan HVSR pada set data mikrotremor.

Selama ini belum ada ilmu sains yang dapat memprediksi gempa bumi secara tepat. Ketika upaya prediksi gempa bumi belum berhasil, maka mitigasi gempa bumi adalah upaya terbaik untuk mengantisipasi bencana gempa bumi. Langkah pertama dalam upaya mitigasi gempa bumi adalah mengembangkan peta risiko gempa bumi. Salah satu variabel untuk menyusun peta risiko gempa bumi adalah penilaian bahaya gempa. Penilaian bahaya gempa bumi dapat dilakukan dengan menganalisis intensitas guncangan permukaan tanah. Getaran permukaan tanah diperoleh dari intensitas guncangan batuan dasar dan faktor amplifikasi gerakan tanah. Potensi amplifikasi gerakan tanah dapat diestimasi dengan mengidentifikasi karakteristik *local site*. Nilai rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ) dapat digunakan untuk menentukan karakteristik klasifikasi situs lokal (Thamarux et al., 2019; Verdugo, 2019).  $V_{s30}$  adalah pengukur yang bagus untuk kekakuan dan kekuatan tanah (Park et al., 1999). Penggunaan  $V_{s30}$  sebagai variabel *site effect* telah banyak diperdebatkan (Alan et al., 2019), namun, telah disepakati dan diakui bahwa nilai  $V_{s30}$  akan terus digunakan di masa mendatang (Rahayu et al., 2019).

Pengukuran  $V_{s30}$  menggunakan metode pengeboran memberikan profil bawah permukaan yang baik, tetapi memakan waktu dan mahal. Untuk profil kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter ( $V_{s30}$ ), metode geofisika telah sering digunakan (Sunardi, 2018). Penelitian ini menggunakan metode inversi mikrotremor yang cukup populer karena kemudahannya. Situs  $V_{s30}$  hasil survei mewakili lapisan bawah permukaan di bawah di bawah lokasi pengukuran. Nilai-nilai ini kemudian kemudian ditransformasikan ke dalam distribusi spasial  $V_{s30}$ .

Tujuan riset ini adalah untuk mengevaluasi distribusi spasial  $V_{s30}$  untuk area jalan alternatif Provinsi dengan menggunakan inversi pengukuran mikrotremor. Dalam penelitian ini, berfokus pada estimasi sifat fisik lapisan tanah dari metode HVSR, dan mendapatkan model kecepatan gelombang geser. Antarmuka grafis yang mudah digunakan yakni HV-Inv Beta (García-Jerez et al., 2016) digunakan dalam riset ini untuk mengestimasi sifat-

sifat fisik (kecepatan gelombang geser, ketebalan, dan densitas) lapisan tanah dari metode HVSR.

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan karena masih terbatasnya literatur terkait  $V_{s30}$ . Selain itu, distribusi spasial  $V_{s30}$  dapat digunakan sebagai dasar pengembangan wilayah di Kabupaten Bengkulu Tengah terutama jalan alternatif provinsi yang berbasis pada pengurangan risiko gempa bumi dan sebagai bahan pertimbangan dalam perancangan awal infrastruktur tahan gempa bumi.

## METODE

Penelitian ini Pengukuran pada 19 lokasi menggunakan metode mikrotremor dilakukan untuk mengestimasi nilai  $V_{s30}$  di jalan alternatif Provinsi, Bengkulu Tengah, Indonesia. Data tersebut berasal dari survei langsung di lapangan. Peta sebaran lokasi pengukuran disajikan pada **Gambar 2**. Pengambilan sampel frekuensi adalah 200 detik. Durasi perekaman berkisar antara 20 sampai 30 menit untuk setiap lokasi, sedangkan interval antar stasiun pengukuran berjarak 200 - 400 m. Kualitas data yang diperoleh diperiksa secara langsung selama pengukuran data di lapangan di setiap lokasi untuk memilih data berkualitas tinggi. Pedoman proyek SESAME (Acerra et al., 2004) menjadi panduan untuk memastikan kondisi eksperimental yang dapat diandalkan.

## HVSR Inversion

Untuk memproses data mikrotremor, metode *Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio* (HVSR) digunakan. *Short period* Seismograf PASI Mod. GEMINI 2 s.n 14065 dengan tiga komponen, komponen horizontal (N dan E), dan vertikal (V), digunakan untuk merekam data mikrotremor. Sesuai dengan hasil yang diharapkan, waktu perekaman minimum adalah 30 menit untuk mendapatkan frekuensi fundamental terendah sebesar 0,5 Hz (Acerra et al., 2004). Spektrum amplitudo HVSR diperoleh dengan perangkat lunak Geopsy (Wathelet et al., 2020). Spektrum dihitung setiap 15 detik dari seluruh sinyal yang dibagi menjadi beberapa jendela. Data yang direkam dari urutan waktu diubah menjadi urutan frekuensi dengan proses *Fast Fourier Transform* (FFT). Proses ini mengubah sinyal yang direkam menjadi spektrum amplitudo. Selanjutnya, menggunakan algoritma *smoothing* Konno & Ohmachi (1998), dengan *smoothing* konstanta 40, diterapkan pada spektrum amplitudo Fourier. HVSR rata-rata di setiap jendela dapat ditentukan dengan **Persamaan 1** (Nakamura, 2000), sebagai berikut :

$$HVSR = \sqrt{[F_{NS}^2 + F_{EW}^2] / 2F_V^2} \dots\dots\dots(1)$$



dengan  $F_{NS}$ ,  $F_{EW}$ , dan  $F_V$  adalah amplitudo Fourier spektrum di utara-selatan, timur-barat, dan vertikal komponen.

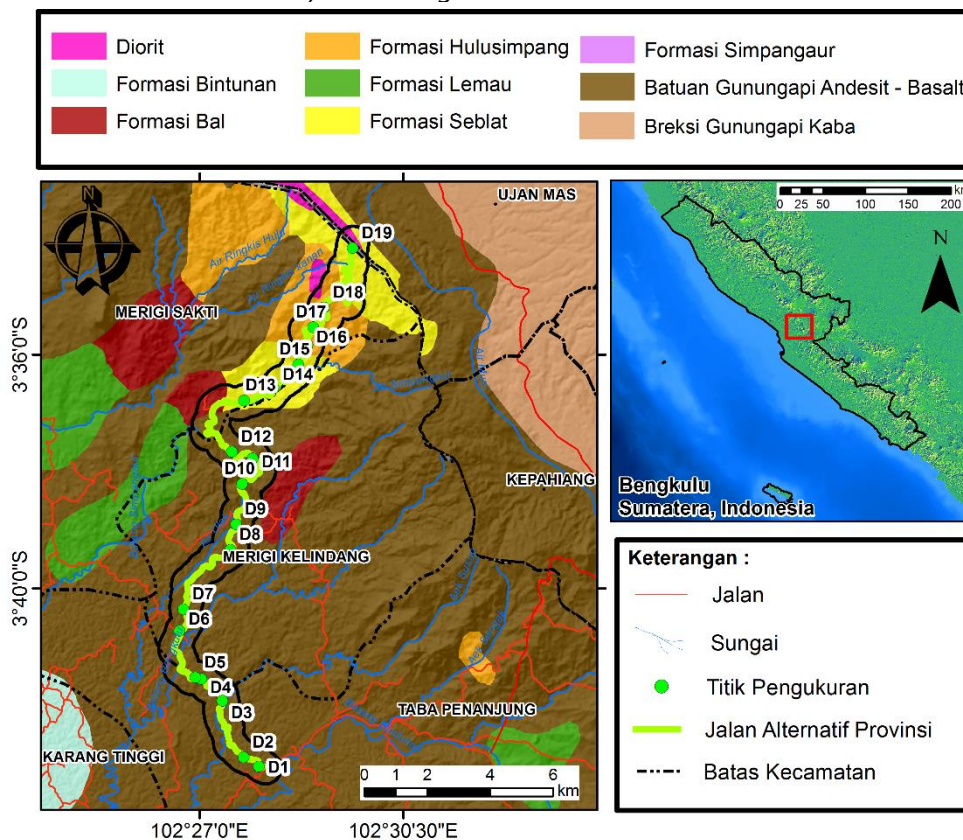
Perangkat lunak *HV-Inv* (García-Jerez et al., 2016) digunakan untuk inversi kurva HVSR eksperimen dan perhitungan *forward* dan prosedur inversi kurva HVSR dilakukan berdasarkan Teori *diffuse field assumption* (DFA). Kontribusi medan gelombang *noise* terhadap gelombang badan dan permukaan dihitung secara terpisah. Untuk inversi HVSR yang terbaik untuk mendapatkan struktur yang kompleks dan lebih dalam., Selain itu, asumsi Asumsi HVSR berdasarkan eliptisitas gelombang *Rayleigh* atau gelombang SH fungsi transfer cocok untuk inversi HVSR penuh, tetapi hanya di sekitar puncak yang dominan (Manea et al., 2020). Secara teoritis, lapisan viskoelastik yang menumpuk di atas setengah ruang dianggap sebagai lapisan bawah permukaan. Hal ini ditunjukkan dari faktor Ketebalan ( $H$ ), densitas ( $\rho$ ), dan kecepatan gelombang kompresi dan geser ( $V_p$ ,  $V_s$ ).

Model bawah permukaan 1D ditentukan untuk setiap lokasi. Berdasarkan kurva HVSR, *forwarding*

*modeling* (FWD) digunakan untuk menghitung spektrum amplifikasi gelombang badan dan gelombang permukaan. Untuk mendapatkan nilai  $V_s$  yang tepat, ada batasan yang diperlukan selama proses inversi kurva HVSR (Wijayanto et al., 2022).

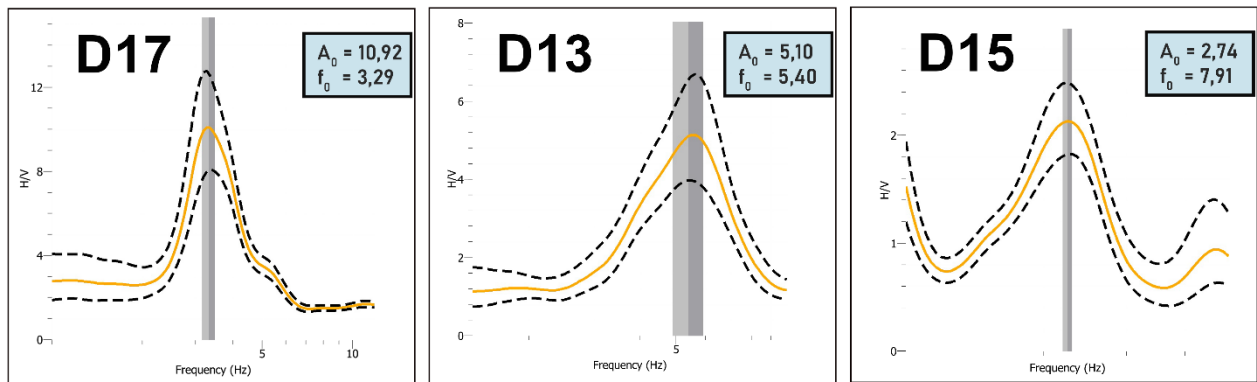
### **$V_s$ dan Klasifikasi Situs**

Nilai kecepatan gelombang geser mewakili sifat geser dari struktur tanah dan merupakan parameter penting untuk menentukan dinamika karakteristik tanah. Gelombang geser menganalisis dan mengevaluasi efek situs lokal, terutama pada sedimen lapisan di atas batuan dasar. *National Earthquake Hazard Reduction Provisions* (NEHRP, 1998) telah memasukkan kriteria untuk menentukan kondisi lokal berdasarkan  $V_s30$ , sedangkan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019, Badan Standarisasi Nasional mengeluarkan aturan untuk memperkirakan nilai  $V_s30$  dengan menghitung berdasarkan **Persamaan 2** (BSN, 2019).



Sumber: diadaptasi dari Gafoer et al. (2007)

**Gambar 2.** Geologi di daerah studi beserta titik pengukuran HVSR.



**Gambar 3.** Kurva HVSR pada titik pengukuran D17, D13, dan D15.

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \dots\dots\dots(1)$$

di mana:

$d_i$  adalah ketebalan lapisan pada kedalaman 0 sampai 30 m.  $V_{si}$  adalah kecepatan gelombang geser lapisan ke- $i$  (m/s).

Berdasarkan SNI 1726:2019, tentang tata cara perencanaan bangunan tahan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung, terdapat klasifikasi tanah kedalam lima jenis, yakni batuan keras, batuan, tanah keras, sangat padat atau batuan lunak, tanah sedang, dan tanah lunak. **Tabel 1** menunjukkan klasifikasi kelas situs berdasarkan SNI 1796:2019. (BSN, 2019).

**Tabel 1.** Klasifikasi situs berdasarkan data  $V_{s30}$ .

Situs Kelas	$V_{s30}$ (m/s)
SA (batuan keras)	>1500
SB (batuan)	750 - 1500
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 – 750
SD (tanah sedang)	175 -350
SE (tanah lunak)	> 175

Sumber: (BSN, 2019)

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

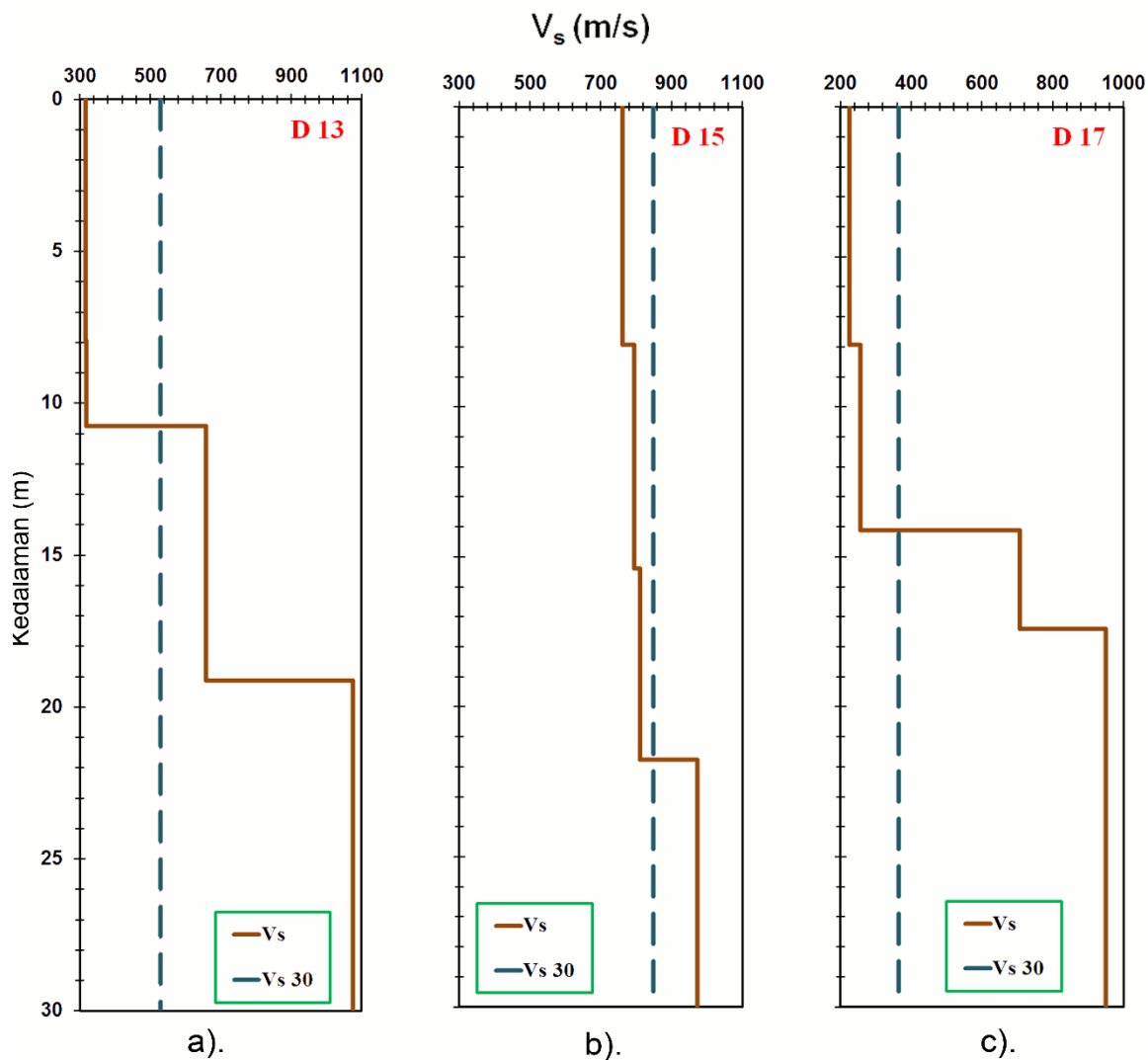
Distribusi spasial  $V_{s30}$  di daerah jalan alternatif Provinsi Kabupaten Bengkulu Tengah dilakukan setelah dilakukan inversi data mikrotremor. Hasil dari proses inversi berupa kurva 1D  $V_s$  yang berisi informasi kecepatan gelombang geser pada setiap kedalaman. **Gambar 3** menunjukkan hasil kurva HVSR di beberapa lokasi titik pengukuran mikrotremor. HasilHasil dari kurva HVsr ini kemudian diberlakukandilakukan proses inversi sehingga diperoleh kurva kecepatan gelombang

geser ( $V_s$ ) secara 1D (lihat **Gambar 4**). Potensi estimasi  $V_{s30}$  diperiksa langsung dengan HVSR Inverison berdasarkan data lapangan. Sebaran 19 titik lokasi pengukuran mikrotremor ditampilkan dalam **Gambar 5**.

**Persamaan 2** berdasarkan hasil pengolahan data di 19 lokasi pengukuran, menunjukkan bahwa nilai  $V_{s30}$  berada pada kisaran 426 - 2781 m/s. Secara umum, nilai  $V_{s30}$  di daerah penelitian relatif tinggi, dengan nilai rata-rata 1093,809 m/s. Mengacu pada klasifikasi situs SNI 1796:2019 pada **Tabel 1**, nilai kelas situs untuk daerah penelitian berada pada rentang SC (Tanah Keras, Sangat Padat, dan Batuan Lunak), (Batuan) SB, dan SA (Batuan Keras). Rincian dari 19 lokasi pengukuran menunjukkan bahwa 8 titik lokasi termasuk dalam kelas situs SC, 7 titik lokasi kelas situs SB dan 4 titik lokasi termasuk dalam kelas situs SA. Kelas situs SC memiliki nilai  $V_{s30}$  antara 350 -750 m/s, SB antara 750 -1500m/s, dan SA > 1500 m/s (BSN, 2019).

Secara umum, distribusi spasial  $V_{s30}$  yang kami usulkan memiliki nilai yang lebih tinggi daripada model USGS, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5a**. Nilai  $V_{s30}$  dari model USGS merupakan proksi dari model kemiringan topografi yang dikembangkan oleh Allen & Wald (2009). Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara nilai  $V_{s30}$  hasil penelitian ini dengan nilai  $V_{s30}$  yang diprediksi dari proksi kemiringan lereng topografi, terutama pada daerah dataran tinggi yang memiliki kemiringan lereng landai. Nilai  $V_{s30}$  hasil penelitian ini berada pada kisaran 426 - 2781 m/s tergolong kedalam kelas situs SC, SB, dan SA (**Gambar 5a**) sedangkan model USGS memberikan nilai 279 – 892 m/s serta tergolong dalam kelas situs SD, SC, dan SB (**Gambar 5b**). Perbandingan hasil penelitian ini dengan model USGS menunjukkan bahwa nilai estimasi  $V_{s30}$  berdasarkan model USGS tidak sesuai untuk wilayah penelitian.





**Gambar 4.** Kurva model 1D dari  $V_s$  hasil inversi HVSR pada titik a) D13, b) D15, dan c) D17.

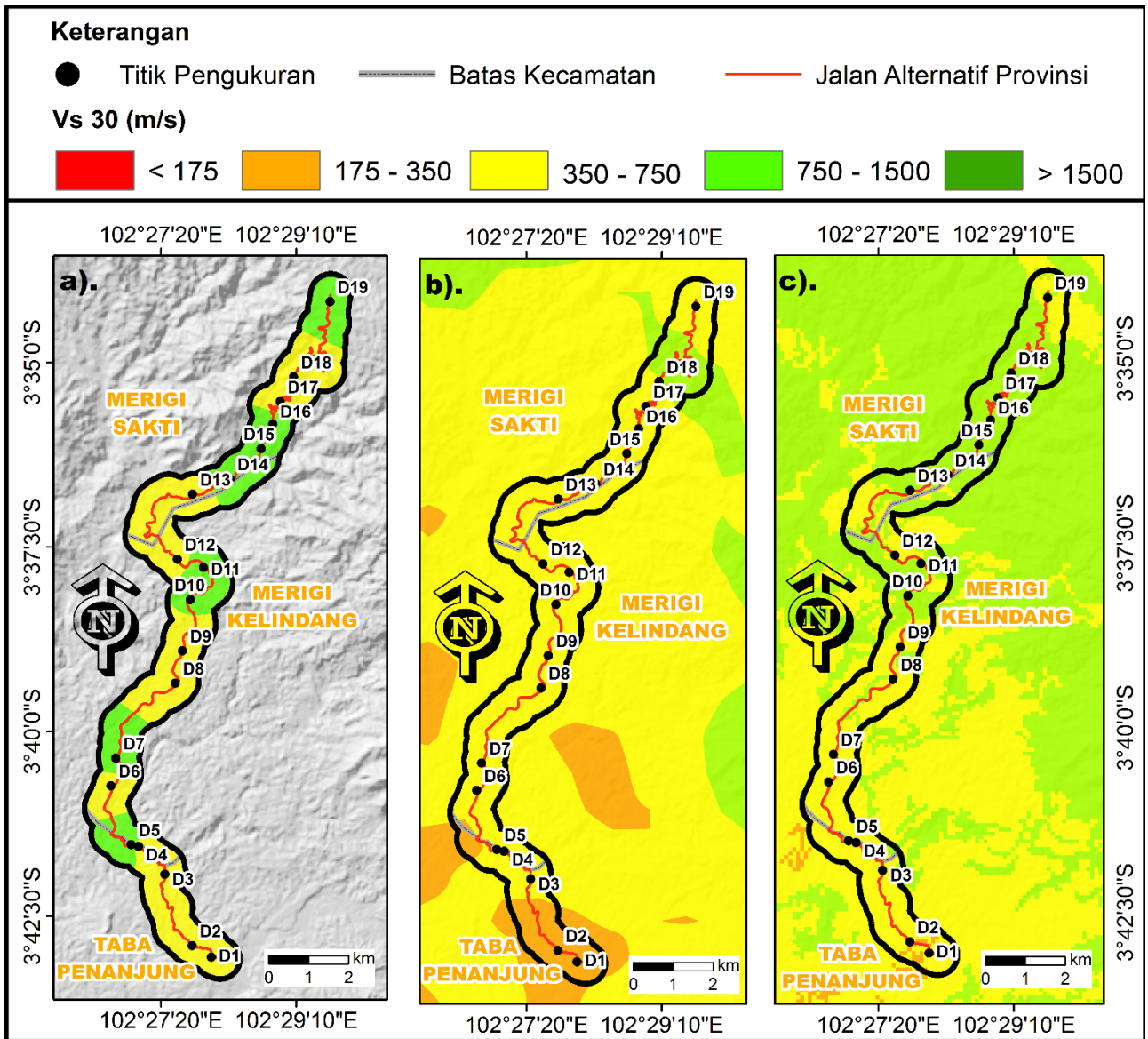
Distribusi spasial  $V_{s30}$  model BMKG memiliki nilai yang mendekati model yang diusulkan daripada model USGS, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5c**. Nilai  $V_{s30}$  dari model BMKG memiliki resolusi 30 m (InaRisk BNPB, 2023). Nilai  $V_{s30}$  dari model BMKG juga sudah dilakukan kalibrasi dan penyesuaian korelasi antara kelas topografi dan  $V_{s30}$  untuk wilayah Indonesia. Secara keseluruhan, terdapat 136 data  $V_{s30}$  dari pengukuran lapangan menggunakan metode *Standard Penetration Test* (SPT) yang dilakukan oleh BMKG yang tersebar di seluruh Indonesia (Irsyam et al., 2017).

Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara nilai  $V_{s30}$  hasil penelitian ini dengan nilai  $V_{s30}$  yang diprediksi dari proksi kemiringan lereng topografi, terutama pada daerah dataran tinggi yang memiliki kemiringan lereng landai. Nilai  $V_{s30}$  BMKG ini berada pada kisaran 260 – 875 m/s termasuk kedalam kelas situs SD, SC, dan SB.

Wilayah penelitian dikenal sebagai daerah yang rawan longsor. Sairam et al., (2019) dan Pudi

et al., (2021) mengindikasikan bahwa daerah perbukitan yang lebih tinggi biasanya ditandai dengan  $V_s$  yang lebih tinggi, namun kondisi pelapukan dapat menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap variasi  $V_s$ . Investigasi lebih lanjut dengan metode geofisika lain seperti *Multi Channel Surface Wave* (MASW) dan *array* mikroseismik dapat digunakan mengkonfirmasi hasil analisis. Hasil tersebut juga dapat divalidasi dengan menggunakan data lubang bor dari daerah penelitian.

Nilai  $V_{s30}$  yang diperoleh dalam penelitian ini memberikan penilaian yang berharga, terutama untuk daerah penelitian yang terkena dampak situs lokal. Distribusi spasial  $V_{s30}$  yang kami usulkan merupakan langkah penting dalam program mitigasi bencana dan menjadi dasar pengembangan wilayah berbasis pengurangan risiko gempa. Untuk perencanaan wilayah di masa mendatang, distribusi spasial  $V_{s30}$  harus dipertimbangkan dalam perencanaan awal infrastruktur tahan gempa.



Sumber : Allen & Wald (2009); InaRisk BNPB, (2023)  
**Gambar 5.** Peta distribusi spasial Vs30 (a) Hasil inversi HVSR, (b) USGS (), dan (c) BMKG.

**KESIMPULAN**

Penilaian distribusi spasial Vs30 merupakan hal yang mendasar dalam memahami karakteristik lokasi lokal dan memperkirakan potensi amplifikasi gerakan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Vs30 secara umum tinggi, dengan kisaran 511-1422 m/s dan rata-rata 1004 m/s. Nilai Vs30 berada pada kelas situs Tanah Keras, Sangat Padat, dan Batuan Lunak (SC) hingga Batuan (SB).

Nilai Vs30 hasil inversi HVSR cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan data USGS yaitu klasifikasi situsnya adalah tanah sedang (SD). Nilai Vs30 Badan Meteorolgi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) cenderung memiliki kesamaan nilai, yang membedakan hanya sebaran wilayah nilai Vs 30nya. Klasifikasi situsnya adalah batuan lunak (SC) hingga batuan (SB).

Formasi geologi berkorelasi dengan nilai Vs30 dan kerentanan seismik. Formasi geologi Hulusimpang memiliki nilai Vs30 yang rendah

sebesar 511 m/s. Namun, formasi geologi Seblat dan Batuan Gununapi Andesit-Basal memiliki nilai Vs30 yang tinggi yaitu 1422 m/s. Perbedaan nilai ini mengindikasikan bahwa kondisi geologi lokal sangat mempengaruhi nilai Vs30 secara signifikan. Oleh karena itu, penilaian terhadap distribusi spasial Vs30 berdasarkan unit geologi lokal sangat diperlukan, guna keperluan mitigasi bencana alam seperti gempa bumi.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu karena telah memberikan fasilitas dan peralatan yang kami butuhkan untuk melakukan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Predator Research Group (PRG) karena telah membantu mereka membuat makalah ini lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Acerra, C., Aguacil, G., Anastasiadis, A., Atakan, K., Azzara, R., Bard, P. Y., ... & Zacharopoulos, S. (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. *European Commission–EVG1-CT-2000-00026 SESAME*.
- Alan, Y., Antony, M., & John, B. (2019). Precision of VS30 values derived from noninvasive surface wave methods at 31 sites in California. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 127*, 105802. Doi: 10.1016/j.soildyn.2019.105802.
- Allen, T. I., & Wald, D. J. (2009). On the use of high-resolution topographic data as a proxy for seismic site conditions (VS 30). *Bulletin of the Seismological Society of America, 99*(2A), 935-943. Doi: 10.1785/0120080255.
- Bignardi, S., Mantovani, A., & Zeid, N. A. (2016). OpenHVSr: imaging the subsurface 2D/3D elastic properties through multiple HVSr modeling and inversion. *Computers & Geosciences, 93*, 103-113. Doi: 10.1016/j.cageo.2016.05.009.
- Bignardi, S., Yezzi, A. J., Fiussello, S., & Comelli, A. (2018). OpenHVSr-Processing toolkit: Enhanced HVSr processing of distributed microtremor measurements and spatial variation of their informative content. *Computers & geosciences, 120*, 10-20. Doi: 10.1016/j.cageo.2018.07.006.
- Borcherdt, R. D. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America, 60*(1), 29-61. Doi: <https://doi.org/10.1785/BSSA0600010029>.
- BSN. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. SNI 1726:2019. Indonesia.
- Gafoer, S., Amin, T. C., & R. Pardede. (1992). *Peta Geologi Lembar Bengkulu, Sumatra*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- García-Jerez, A., Piña-Flores, J., Sánchez-Sesma, F. J., Luzón, F., & Perton, M. (2016). A computer code for forward calculation and inversion of the H/V spectral ratio under the diffuse field assumption. *Computers & geosciences, 97*, 67-78. Doi: 10.1016/j.cageo.2016.06.016.
- InaRisk BNPB. (2023). Vs 30 BMKG. *InaRisk BNPB*. Retrieved February 10, 2023 ([http://inarisk.bnpb.go.id:6080/arcgis/rest/services/TEMATIK/avs30\\_BMKG/ImageServer](http://inarisk.bnpb.go.id:6080/arcgis/rest/services/TEMATIK/avs30_BMKG/ImageServer)).
- Irsyam, M., Asrurifak, M., Mikhail, R., Wahdiny, I. I., & Rustiani, S. (2017). Development of Nationwide Vs30 Map and Calibrated Conversion Table for Indonesia using Automated Topographical Classification. *Journal of Engineering & Technological Sciences, 49*(4). Doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.4.3.
- Jornet-Monteverde, J. A., Galiana-Merino, J. J., & Soler-Llorens, J. L. (2021). Design and implementation of a wireless sensor network for seismic monitoring of buildings. *Sensors, 21*(11), 3875. Doi: 10.3390/s21113875.
- Kafadar, Ö. (2020). RaspMI: Raspberry pi assisted embedded system for monitoring and recording of seismic ambient noise. *IEEE Sensors Journal, 21*(5), 6306-6313. Doi: 10.1109/JSEN.2020.3043753.
- Karagoz, O., Chimoto, K., Citak, S., Ozel, O., Yamanaka, H., & Hatayama, K. (2015). Estimation of shallow S-wave velocity structure and site response characteristics by microtremor array measurements in Tekirdag region, NW Turkey. *Earth, Planets and Space, 67*, 1-17. Doi: 10.1186/s40623-015-0320-1.
- Konno, K., & Ohmachi, T. (1998). Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America, 88*(1), 228-241. Doi: <https://doi.org/10.1785/BSSA0880010228>.
- Lunedei, E., & Malischewsky, P. (2015). A review and some new issues on the theory of the H/V technique for ambient vibrations. *Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology: Volume 2*, 371-394.
- Manea, E. F., Cioflan, C. O., Coman, A., Michel, C., Poggi, V., & Fäh, D. (2020). Estimating geophysical bedrock depth using single station analysis and geophysical data in the extra-Carpathian area of Romania. *Pure and Applied Geophysics, 177*, 4829-4844. Doi: 10.1007/s00024-020-02548-3.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports, 30*(1).
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. In *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering* (Vol. 2656, pp. 1-8).
- Nakamura, Y. (2008). On The H/V Spectrum. In *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Beijing, China, October 12-17, 2008.
- Nakamura, Y. (2009). Basic structure of QTS (HVSr) and examples of applications. In *Increasing seismic safety by combining engineering technologies and seismological data* (pp. 33-51). Springer Netherlands.
- NEHRP. (1998). *Recommended Provisions for Seismic Regulation for New Buildings and Other Structures: Part 1-Provisions and Part 2-Commentary*. FEMA 302, Texas, USA.
- Okada, H., & Suto, K. (2003). *The microtremor survey method*. Society of Exploration Geophysicists.
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics, 64*(3), 800-808. Doi: 10.1190/1.1444590.
- Pudi, R., Roy, P., Martha, T. R., & Kumar, K. V. (2021). Estimation of earthquake local site effects using microtremor observations for the Garhwal-Kumaun Himalaya, India. *Near Surface Geophysics, 19*(1), 73-93. Doi: 10.1002/nsg.12128.
- Rahayu, A., Prakoso, W. A., & Sadisun, I. A. (2019). Modeling Estimated V S30 Based on Topography and Geomorphology for Padang, Indonesia. *International Journal of Civil Engineering and Technology, 10*(06), 103-111.
- Sairam, B., Singh, A. P., Patel, V., Chopra, S., & Kumar, M. R. (2019). VS30 mapping and site characterization in the seismically active intraplate region of Western India: implications for risk mitigation. *Near Surface Geophysics, 17*(5), 533-546. Doi: 10.1002/nsg.12066.
- Shi, J., & Asimaki, D. (2017). From stiffness to strength: Formulation and validation of a hybrid hyperbolic nonlinear soil model for site-response analyses.

- Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(3), 1336-1355. Doi: 10.1785/0120150287.
- Sunardi, B. (2018). Vs30 mapping and soil classification in the southern part of Kulon Progo using Rayleigh wave ellipticity inversion. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 1(2):58-64. Doi: 10.22146/jgise.39780.
- Thamarux, P., Matsuoka, M., Poovarodom, N., & Iwahashi, J. (2019). VS30 seismic microzoning based on a geomorphology map: Experimental case study of Chiang Mai, Chiang Rai, and Lamphun, Thailand. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(7), 309. Doi: 10.3390/ijgi8070309.
- USGS. (2022). United States Geological Survey, Historical Earthquakes in The World Since 1900. *United States Geological Survey*. Retrieved March 1, 2023.
- Verdugo, R. (2019). Seismic site classification. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 124, 317-329. Doi: 10.1016/j.soildyn.2018.04.045.
- Wathelet, M., Chatelain, J. L., Cornou, C., Giulio, G. D., Guillier, B., Ohrnberger, M., & Savvaidis, A. (2020). Geopsy: A user-friendly open-source tool set for ambient vibration processing. *Seismological Research Letters*, 91(3), 1878-1889. Doi: 10.1785/0220190360.
- Wijayanto, W., Mardiatno, D., Nehren, U., Marfai, M. A., & Pramono, S. (2022). Spatial Distribution of Vs30 Based on Masw and HVSR Inversion In Gunungkidul, Yogyakarta. *Geomate Journal*, 22(94), 29-38. Doi: <https://doi.org/10.21660/2022.94.2463>.

*Halaman ini sengaja kami kosongkan*

# ANALISIS SKENARIO DAMPAK BENCANA ERUPSI GUNUNGAPI ROKATENDA DENGAN MENGGUNAKAN *PLUGIN INASAFE*

(*Scenario Impact Analysis of the Rokatenda Volcano Eruption by Using the InaSAFE Plugin*)

**Syafrudin Fathoni, Sobar Sutisna, Makmur Supriyatno**

Program Studi Manajemen Bencana, Universitas Pertahanan Republik Indonesia  
Jalan Bougenville 2 no. 24 Cikarang Barat, Kabupaten Bekasi  
Email: [sfthoni93@gmail.com](mailto:sfthoni93@gmail.com)

Diterima: 24 April 2022; Direvisi: 9 November 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 27 November 2023

## ABSTRAK

Bencana akibat letusan Gunungapi Rokatenda di Pulau Palue, Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur (NTT) masih menjadi ancaman masyarakat di sana karena status gunungapi yang masih aktif. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui luasan potensi sebaran bahaya erupsi Gunungapi Rokatenda dan menganalisis dampak erupsi terhadap bangunan, luas wilayah, dan panjang jalan dengan menggunakan *plugin Indonesia Scenario Assessment for Emergencies (InaSAFE)*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis data sekunder. Data yang digunakan meliputi data bahaya (sebaran awan panas dan aliran lahar), data keterpaparan (data bangunan dan jalan), serta data agregasi (peta administrasi Pulau Palue). Analisis data tersebut dilakukan dengan menggunakan *plugin InaSAFE* yang terdapat pada aplikasi QGIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas potensi bahaya erupsi akibat letusan Gunungapi Rokatenda yakni 16,35 km<sup>2</sup> yang terbagi menjadi tiga kawasan rawan bencana mulai dari tingkat rendah hingga tinggi. Total bangunan yang terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda berjumlah 547 bangunan. Jalan yang terdampak oleh erupsi gunungapi mencapai 18 km. Wilayah desa yang paling terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda adalah Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Bahaya sebaran awan panas tersebut dipengaruhi oleh angin, sedangkan bahaya aliran lahar disebabkan oleh kemiringan lereng dan tutupan lahan karena dapat mempengaruhi jalur persebaran lahar. Melalui hasil analisis *plugin InaSAFE*, diharapkan dapat menjadi acuan dalam pembuatan kebijakan oleh pihak-pihak yang terlibat dalam upaya mitigasi bencana erupsi gunungapi atau bencana lainnya guna meminimalkan risiko yang berpotensi mengancam kehidupan dan penghidupan masyarakat Indonesia.

**Kata kunci:** bencana, erupsi, Gunungapi Rokatenda, InaSAFE, SIG

## ABSTRACT

*The disaster caused by the eruption of the Rokatenda Volcano on Palue Island, Sikka Regency, East Nusa Tenggara (NTT) is still a threat to the local community because of the active status of the volcano. The purpose of this study was to determine the potential distribution area of the eruption hazard of the Rokatenda Volcano and to analyze the impact of the eruption on buildings, area, and roads length using the Indonesia Scenario Assessment for Emergencies (InaSAFE) plugin. The method used in this research was the secondary data analysis method. The data used include hazard data (distribution of hot clouds and lava flows), exposure data (data on buildings and roads), and aggregation data (administrative map of Palue Island). The data analysed using the InaSAFE plugin in the QGIS application. The results showed that the potential hazard area due to the eruption of the Rokatenda Volcano was 16.35 km<sup>2</sup> which divided into three disaster-prone areas ranging from low to high levels. The total number of buildings affected by the eruption of the Rokatenda Volcano is 547 buildings. The road affected by the volcanic eruption reaches 18 km. The village areas most affected by the Rokatenda Volcano eruption were Nitunglea Village, Rokirole Village, and Pourgeo Village. The danger of hot cloud distribution is influenced by the wind, while the hazard of lava flow is driven by slope and land cover because it can affect the path of lava distribution. Through the analysis of the InaSAFE plugin, hopefully it can be a reference in policy-making by parties involved in mitigating volcanic eruptions or other disasters to minimize risks that have the potential to threaten the lives and livelihoods of Indonesian people.*

**Keywords:** disaster, eruption, Rokatenda Volcano, InaSAFE, GIS

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang memiliki bentang alam luas dan kondisi geografis yang sangat unik. Memiliki beragam bentuk

keanekaragaman hayati serta sumberdaya alam yang melimpah, namun masih banyak pula menyimpan berbagai misteri yang belum diketahui. Indonesia



tidak hanya kaya akan potensi sumberdaya namun juga kaya akan potensi bencana. Ancaman bencana di Indonesia meliputi bencana alam, bencana nonalam, dan bencana sosial sehingga Indonesia juga dikenal sebagai laboratorium bencana. Salah satu potensi ancaman bencana alam di Indonesia adalah bencana akibat letusan gunungapi. Indonesia memiliki banyak gunungapi yang masih aktif karena wilayah Indonesia terletak di sepanjang busur Cincin Api Pasifik (*Pacific Ring of Fire*). Menurut data Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) (2015), Indonesia memiliki 129 gunung berapi aktif dan 271 titik erupsi. Sementara itu, terdapat 69 gunungapi yang saat ini masih dilakukan pemantauan secara terus menerus. Berdasarkan laporan di laman Magma Indonesia milik Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2022), gunungapi di Indonesia yang masuk ke dalam kategori level 1 (normal) sejumlah 47 gunungapi termasuk Roketenda. Sementara itu, sebanyak 17 gunungapi berada di level 2 (Waspada) dan 4 gunungapi berada pada level 3 (Waspada) yakni Anak Krakatau, Ili Lewotolok, Merapi, dan Semeru. Selebihnya belum ada gunungapi yang masuk kategori level 4 (Awas).

Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana mengartikan bencana sebagai rangkaian peristiwa yang bersifat mengancam dan mengganggu kehidupan maupun penghidupan masyarakat yang biasanya disebabkan oleh faktor alam, nonalam, maupun manusia (R.I, 2007). Bencana merupakan hasil dari munculnya kejadian luar biasa (*hazard*) pada komunitas yang rentan (*vulnerable*) sehingga masyarakat tidak dapat mengatasi berbagai implikasi dari kejadian luar biasa tersebut (Purnama, 2017). Meletusnya gunungapi merupakan salah satu bencana yang disebabkan oleh peristiwa alami. Akibat dari peristiwa bencana cenderung menyebabkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, serta dampak psikologis kepada para korban (Husein & Onasis, 2017).

Berdasarkan mekanismenya, bahaya yang disebabkan oleh gunungapi dibedakan menjadi bahaya primer dan bahaya sekunder. Bahaya primer merupakan bahaya yang diakibatkan secara langsung oleh produk letusan gunungapi, yaitu aliran lava, aliran piroklastik, jatuhnya piroklastik berupa lontaran batu pijar dan hujan abu, gas beracun, serta lahar letusan (Edmonds, Grattan, & Michnowiez, 2018). Bahaya sekunder merupakan bahaya yang diakibatkan secara tidak langsung oleh produk letusan gunungapi, yaitu lahar dan longsoran gunungapi (Priatna & Primulyana, 2020).

Salah satu upaya mitigasi bencana yang diakibatkan oleh letusan gunungapi, selain membuat peta kawasan rawan bencana juga melakukan pemantauan aktivitas atau gejala peningkatan aktivitas gunungapi. Teknologi pemantauan gunungapi sekarang sudah semakin berkembang

karena kini teknologinya sudah berbasis digital (Gunawan & Haerani, 2020).

Pembuatan peta kawasan rawan bencana dapat menggunakan bantuan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). SIG memiliki kemudahan dalam penggunaan serta pengelolannya. SIG juga mempunyai kemampuan yang cukup handal dalam mengorganisasi data-data geografis yang sesuai dengan zamannya (*up to date*) terutama bila diperlukan dalam hal pengambilan keputusan yang cepat dan tepat (Setiyawidi, Setiawan, & Somantri, 2016). Beberapa aplikasi SIG telah dipakai dalam berbagai kajian seputar kebencanaan seperti pemetaan kawasan bahaya rawan bencana, pembuatan jalur evakuasi dan pertolongan akibat bencana, serta pemetaan risiko bencana (banjir, letusan gunungapi, longsor, gempa, tsunami, dan likuifaksi) (Rahayu et.al., 2018).

SIG dapat digunakan dalam upaya mengurangi risiko bencana yang diakibatkan oleh alam ataupun nonalam. SIG adalah suatu sistem yang cukup lengkap untuk menganalisis, memodelkan, dan menampilkan kerentanan pada suatu komunitas tertentu. Sehingga pemanfaatan SIG sangat berguna dalam mengantisipasi berbagai ancaman bencana di masa depan. Melalui SIG dapat memberikan kerangka bagi pegiat penanggulangan bencana untuk dapat menggunakan peta berbasis komputer dalam mengenali konteks spasial daerah yang rawan bencana (Peiris, 2020). Selain mudah dalam penggunaan dan pengelolannya, pemanfaatan aplikasi SIG juga mempunyai kemampuan yang cukup handal dalam mengolah data geografis yang sesuai dengan zamannya terutama bila dibutuhkan dalam pengambilan keputusan ketika terjadi suatu bencana (Ihsan et.al., 2018).

Wilayah Kabupaten Sikka memiliki kerawanan bencana, baik yang disebabkan oleh faktor alam, nonalam maupun oleh akibat kegiatan manusia. Ancaman bencana meletusnya Gunungapi Roketenda di Pulau Palue, sampai detik ini masih menjadi ancaman masyarakat sekitar karena status gunung tersebut yang masih aktif. Gunungapi Roketenda mengalami letusan cukup hebat sekitar 200 tahun silam yang kemudian membentuk lima buah kawah dan satu kubah lava (*lava dome*). Erupsi tahun 2012 – 2013 diawali pembentukan kubah lava pada 8 Oktober 2012 dan diikuti dengan erupsi abu dan lontaran batu (>6 cm) hingga jarak 3.000 m dari pusat erupsi. Tinggi asap/abu erupsi antara 800–4.000 m di atas puncak kubah lava (Asriningrum, 2015).

Melalui pemanfaatan SIG diharapkan dapat membantu pemerintah Kabupaten Sikka dalam upaya pembuatan rencana mitigasi bencana letusan Gunungapi Roketenda di masa yang akan datang. Pembuatan peta kawasan rawan bencana dapat menggunakan bantuan aplikasi SIG salah satunya dengan menggunakan *plugin* InaSAFE (*Indonesia Scenario Assessment for Emergencies*).

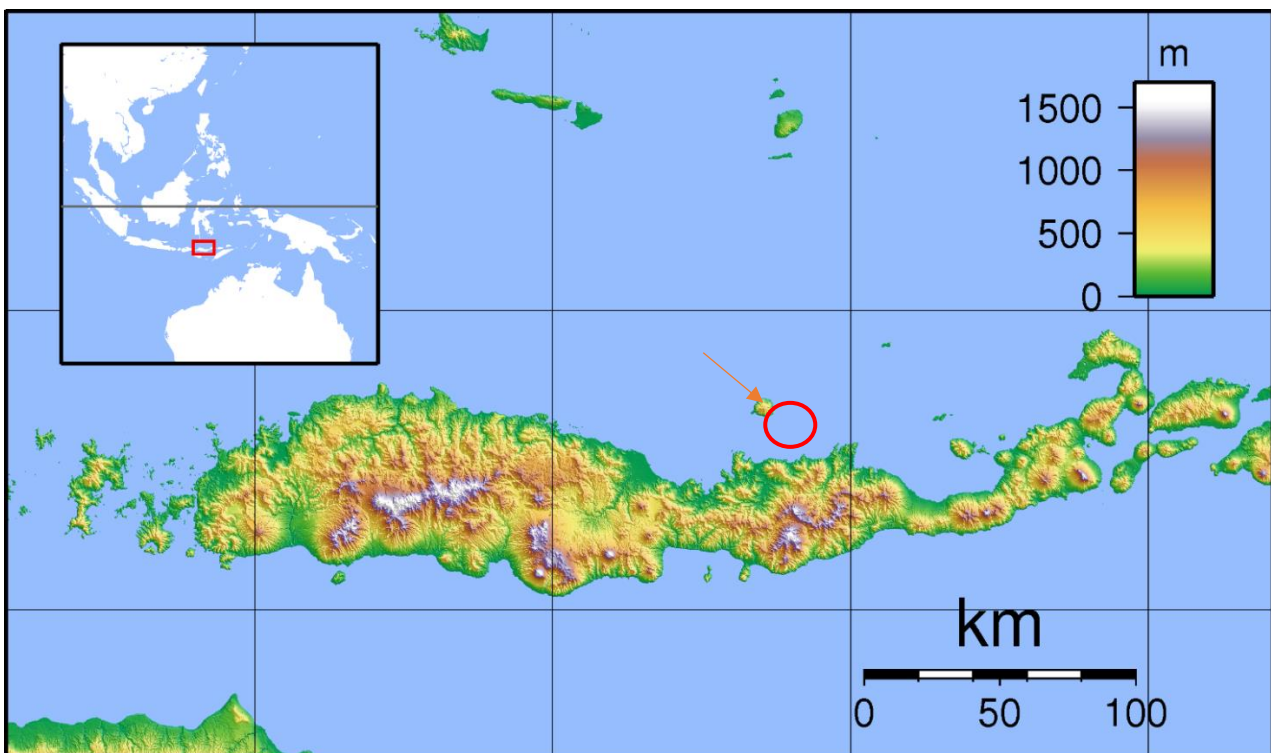
InaSAFE merupakan sebuah *plugin* untuk perangkat lunak *Quantum GIS* (QGIS) yang bertujuan untuk menghasilkan skenario dampak ancaman bencana alam (HOT, 2015). Tujuannya untuk perencanaan mitigasi bencana yang lebih baik, kesiapsiagaan, dan kegiatan tanggap bencana, dengan menggunakan data geografis untuk berbagai ancaman bencana dan keterpaparannya (Fitri & Priyana, 2017). *Plugin* ini mampu memetakan daerah-daerah yang terdampak letusan, bangunan terpapar, serta dapat menghitung kerugian berdasarkan pada zona kawasan rawan bencana gunungapi. InaSAFE memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mengestimasi jumlah kebutuhan dasar minimum yang diperlukan selama masa pengungsian akibat bencana letusan gunungapi yang terjadi. Estimasi kebutuhan dasar minimum ini didasarkan pada jumlah penduduk terdampak (Jacob, Kumaat, & Tewal, 2020). Aplikasi ini terbuka dan gratis sehingga siapapun dapat menggunakannya. InaSAFE mula-mula dimanfaatkan dan dikembangkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) Indonesia bersama dengan *Australian Agency for International Development*, melalui *Australia-Indonesia Facility for Disaster Reduction (AIFDR)*, *World Bank - Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (World Bank- GFDRR)*. Cara kerja InaSAFE adalah dengan menggabungkan data-data yang berasal dari para ilmuwan/akademisi, pemerintah daerah, dan masyarakat untuk memberikan wawasan kemungkinan dampak dari peristiwa bencana di waktu mendatang.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui luasan potensi bahaya erupsi yang meliputi sebaran awan panas dan aliran lahar dan

menganalisis dampak yang meliputi jumlah bangunan, luas bangunan, dan panjang jalan yang terdampak Gunungapi Rokatenda menggunakan *plugin* InaSAFE. Berdasarkan hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui desa yang memiliki tingkat kerawanan tinggi, sedang, dan rendah terhadap ancaman letusan gunungapi. Melalui hasil ini, dapat ditentukan lokasi pengungsian serta jalur evakuasi yang dapat menjadi acuan Pemerintah Daerah Kecamatan Palue ketika peristiwa tersebut kembali terjadi di masa yang akan datang.

## METODE

Lokasi penelitian berada di wilayah Kecamatan Palue, Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Gunungapi Rokatenda berada di tengah-tengah Pulau Palue yang memiliki delapan desa yakni Desa Nitunglea, Desa Lidi, Desa Reruwairere, Desa Maluriwu, Desa Kesokoja, Desa Ladolaka, Desa Tuanggeo, dan Desa Rokirole. Penelitian ini dilakukan dengan cara analisis data sekunder. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa Citra Landsat 8 OLI/TIRS yang diambil pada tahun 2013. Kemudian data citra satelit diolah menjadi data *shapefile* (.shp) yang terdiri dari data potensi bahaya erupsi, data jumlah dan luasan bangunan, dan data jalan. Dibutuhkan pula data peta administrasi Pulau Palue yang didapatkan langsung dari laman: <http://data.inasafe.org> secara gratis. Dibutuhkan juga data dari instansi BPS Kabupaten Sikka sebagai data sekunder. Beberapa tambahan data lainnya terdiri dari jurnal, buku, dan berbagai literatur terkait bencana yang pernah terjadi di wilayah Gunungapi Rokatenda.



**Gambar 1.** Peta lokasi Pulau Palue, Kab. Sikka, Provinsi NTT

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat komputer/laptop yang telah terpasang aplikasi QGIS Desktop v3.20 dengan bantuan *plugin* dari InaSAFE v5.30. Aplikasi QGIS dapat diunduh pada laman <https://qgis.org/en/site/> secara gratis. Sementara *plugin* InaSAFE dapat langsung diunduh melalui menu tambahan yang terdapat di dalam aplikasi QGIS. Hasil pengolahan data citra satelit sebelumnya didapatkan data potensi sebaran awan panas dan lahar yang dikategorikan sebagai data bahaya (*hazard*). Selanjutnya data mengenai panjang jalan, jumlah, dan luasan bangunan yang memiliki kemungkinan terpapar dikategorikan sebagai data keterpaparan (*exposure*). Data administrasi Pulau Palue digunakan sebagai batasan/ruang lingkup kajian (*aggregation*) untuk mengetahui jumlah bangunan dan jalan yang terpapar. Ketiga data tersebut nantinya akan dilakukan analisis spasial dengan menggunakan teknik tumpang tindih (*overlay*) melalui *plugin* InaSAFE. Analisis statistik pada penelitian ini menggunakan metode statistik deskriptif.

Berdasarkan hasil pengolahan tersebut kemudian dilakukan analisis dan interpretasi data mengenai jumlah wilayah yang memiliki keterpaparan paling tinggi maupun rendah. Kemudian akan didapatkan hasil berupa luas potensi bahaya erupsi. Selanjutnya akan diketahui lokasi yang dapat disarankan sebagai tempat pengungsian penduduk beserta jalur evakuasi yang dapat disarankan. Hasil analisis data pada penelitian ini juga akan dibandingkan dengan dokumen rencana kontigensi yang telah dibuat oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Sikka pada tahun 2013 lalu serta literatur pendukung.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Peta Potensi Bahaya Letusan Gunungapi Rokatenda

Gunungapi Rokatenda atau juga disebut Gunungapi Palue, merupakan sebuah gunung berapi yang terletak di Pulau Palue dan terletak di sebelah utara Pulau Flores. Secara administratif Pulau Palue termasuk wilayah Kecamatan Awa, Kabupaten Sikka, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Gunungapi yang bertipe strato ini sebenarnya merupakan pulau gunungapi soliter yang merupakan lokasi tertinggi di Pulau Palue dengan ketinggian daratan mencapai 875 mdpl dan memiliki diameter pulau kurang lebih 7,2 km atau luas daratan sekitar 41 km<sup>2</sup>. Gunungapi ini secara geografis terletak di koordinat 121° 42' bujur timur and 8° 19' lintang selatan dan koordinat UTM berada pada kordinat 51S (BPS, 2021).

Estimasi bangunan dan jalan yang terdampak pada setiap kelas bahaya sebaran erupsi akibat letusan gunungapi dilakukan dengan menggunakan *plugin* InaSAFE. Data diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya pada tahun 2013 menggunakan citra

satelit Landsat 8 OLI/TIRS yang diolah dengan algoritma pendekatan penginderaan jauh multispektral yang terdapat di QGIS. Kelas bahaya sebaran erupsi pada *plugin* InaSAFE dikelompokkan berdasarkan pada tiga klasifikasi bahaya, yaitu kelas tinggi, kelas menengah/sedang, dan kelas rendah. Kelas tinggi mewakili wilayah dengan tingkat keterpaparan erupsi dengan kategori sangat rawan dan rawan. Kelas menengah/sedang mewakili wilayah dengan tingkat keterpaparan berkategori potensial dan agak rawan. Sedangkan kelas rendah mewakili wilayah dengan tingkat keterpaparan penyebaran bahaya dari erupsi yang termasuk ke dalam kategori tidak rawan.

Karakteristik topografi wilayah Pulau Palue didominasi oleh wilayah dengan ketinggian 100–500 mdpl yaitu seluas 2.731,27 ha atau 27,31 km<sup>2</sup> yakni sekitar 66,62% dari total luas wilayah di Kecamatan Palue. Pada ketinggian tersebut merupakan wilayah lereng dan atau perbukitan yang berada cukup dekat dengan puncak Gunung Rokatenda. Kondisi kemiringan tanah (kelerengan) di wilayah Kecamatan Palue cukup bervariasi dan didominasi oleh kemiringan tanah/lahan yang lebih besar dari 40% dengan luas 3.705,26 ha atau 37,05 km<sup>2</sup> yakni sekitar 90,37% dari total luas wilayah di Kecamatan Palue seperti yang tertulis di dalam **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

**Tabel 1.** Klasifikasi luasan ketinggian Pulau Palue.

Ketinggian (mdpl)	Pulau Palue	
	Luas (km <sup>2</sup> )	Persentase
0–25	4,12	10,06%
25–100	5,94	14,48%
100–500	27,31	66,62%
500–1000	3,63	8,85%
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>100%</b>

**Tabel 2.** Klasifikasi luasan kemiringan Pulau Palue.

Tingkat Kemiringan	Pulau Palue	
	Luas (km <sup>2</sup> )	Persentase
0–2 %	0,07	0,18%
2–15 %	0,05	0,11%
15–40 %	3,83	9,34%
>40 %	37,05	90,37%
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>100%</b>

Berdasarkan data BNPB (2013), masyarakat di Pulau Palue sebagian besar tinggal di kawasan pesisir dan berprofesi sebagai nelayan. Sementara, masyarakat yang tinggal di dataran 100–500 mdpl memiliki profesi sebagai petani. Hal ini disebabkan karena kondisi tanah vulkanik pada sekitar wilayah gunungapi memiliki tingkat kesuburan yang bagus. Jika dinilai dari segi kawasan, menurut Sukarman, Dariah, & Suratman (2020) menerangkan bahwa tanah vulkanik dengan kondisi paling bagus terdapat pada lahan di daerah pergunungan dengan kemiringan lereng >30% dan daerah perbukitan dengan kemiringan lereng sekitar 15-30%. Berdasarkan karakteristik biofisik terutama lereng, minimal terdapat 2,05 juta ha (38%) tanah vulkanik

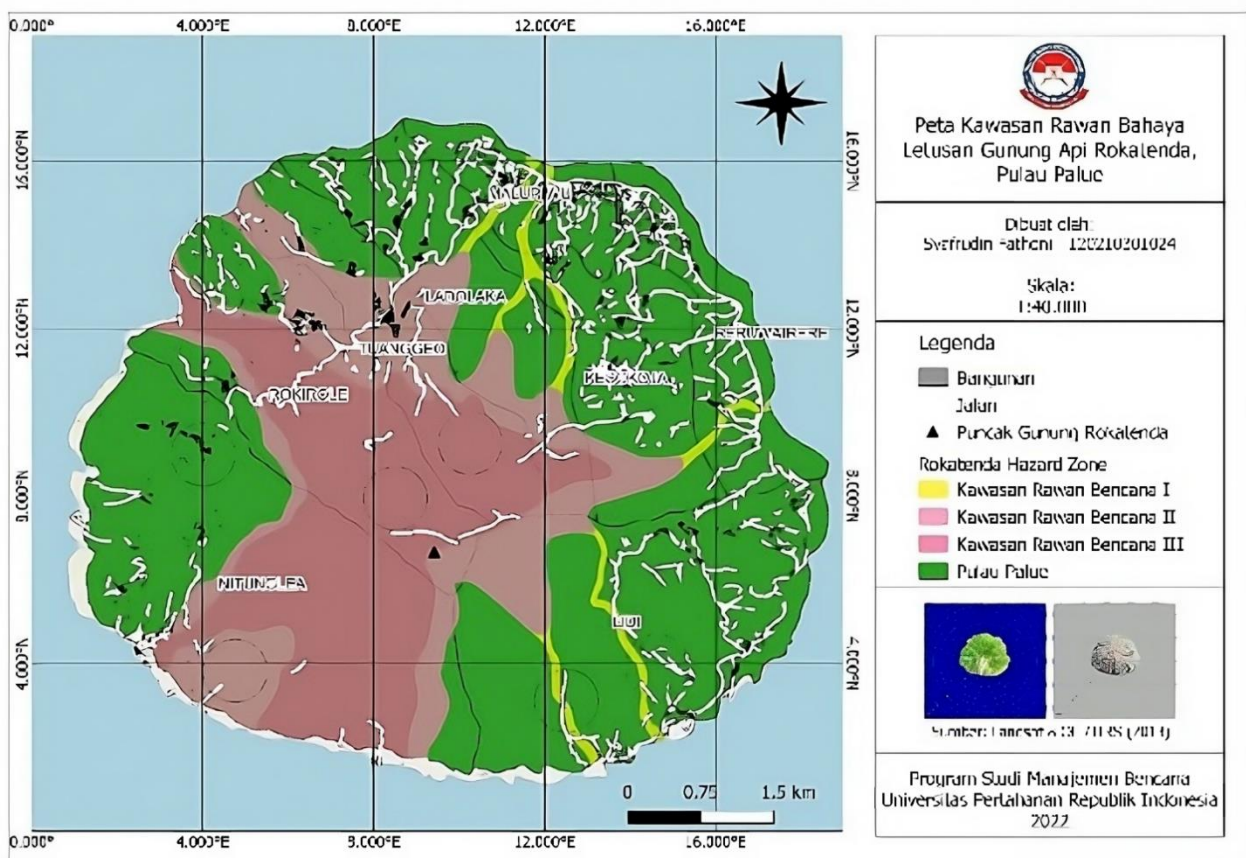
yang potensial untuk pertanian di Indonesia. Lahan potensial tersebut mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Jika lahan tersebut dikelola dengan baik maka tidak akan mengganggu kelestarian sumber daya dan lingkungan. Namun, masyarakat yang bermukim di dataran tinggi yang dekat dengan puncak Gunung Rokatenda setidaknya perlu meningkatkan kewaspadaannya karena status Gunung Rokatenda yang sampai saat ini masih dalam kondisi aktif dan kemungkinan besar dapat meletus sewaktu-waktu.

PVMBG telah membuat Peta Kawasan Rawan Bencana (KRB) yang identik dengan peta daerah bahaya gunungapi. Peta tersebut merupakan peta petunjuk yang dapat menggambarkan tingkat kerawanan bencana suatu daerah bila terjadi letusan gunungapi. Peta KRB biasanya disusun berdasarkan sejarah erupsi, kondisi geologi, demografi, dan perkiraan/model kejadian erupsi yang akan datang, sehingga dalam peta ini kita dapat memperoleh informasi mengenai jenis dan tipe bahaya gunungapi, kawasan rawan bencana, arah pengungsian, lokasi pengungsian, dan pos-pos penanggulangan bencana (Gunawan & Haerani, 2020). Peta KRB kemudian dapat diklasifikasikan menjadi tiga kawasan yakni KRB tingkat 3, KRB tingkat 2, dan KRB tingkat 1.

KRB tingkat 3 merupakan kawasan yang paling sering dilanda awan panas, aliran lava, lontaran atau

guguran batu pijar, dan gas beracun dengan radius lontaran sekitar 2 km dari puncak. Wilayah ini memiliki tingkat kerawanan yang sangat tinggi. Selanjutnya KRB tingkat 2 adalah kawasan yang berpotensi dilanda aliran lava, lontaran batu pijar, termasuk hasil letusan freatik, hujan abu lebat, kemungkinan gas racun, awan panas/aliran piroklastik, dan longoran puing vulkanik dengan radius sekitar 5 km dari puncak. Wilayah ini memiliki tingkat kerawanan yang cenderung sedang/menengah. Sementara untuk KRB tingkat 1 merupakan kawasan yang berpotensi dilanda aliran massa berupa lahar dan lontaran berupa hujan abu serta kemungkinan terkenal lontaran batu pijar dengan radius sekitar 8 km dari puncak. Pada wilayah ini memiliki tingkat kerawanan yang dapat dikatakan rendah.

Hasil pengolahan data potensi bahaya sebaran erupsi letusan Gunungapi Rokatenda didapatkan luasan dari hasil digitasi letusan Gunungapi Rokatenda pada tahun 2013 lalu. Luas potensi sebaran bahaya diklasifikasikan menjadi tiga tingkatan yakni tingkat tinggi, sedang, dan rendah. Hasil visualisasi dalam bentuk peta dapat dilihat pada **Gambar 2**. Hasil perhitungan luasan bahaya juga dapat dilihat pada **Tabel 3**.



**Gambar 2.** Peta potensi sebaran bahaya erupsi Gunungapi Rokatenda.

**Tabel 3.** Luas potensi bahaya erupsi Gunungapi Rokatenda.

Kawasan Rawan Bencana	Luas (km <sup>2</sup> )
Tingkat 1 (Rendah)	0,88
Tingkat 2 (Sedang)	6,82
Tingkat 3 (Tinggi)	8,65
<b>Total</b>	<b>16,35</b>

Hasil pemetaan wilayah potensi kerawanan bahaya akibat letusan Gunungapi Rokatenda menunjukkan bahwa wilayah yang kemungkinan akan terdampak seluas 16,35 km<sup>2</sup>. Hasil erupsi cenderung bergerak ke arah barat daya dan barat laut. Hal ini tentunya berkaitan dengan kondisi kemiringan lereng yang cenderung lebih curam sehingga kemungkinan besar potensi aliran lahar bergerak ke arah tersebut. KRB tingkat 1 (rendah) hanya sekitar 0,88 km<sup>2</sup> dengan potensi desa yang terdampak adalah Desa Kesokoja, Desa Lidi, Desa Maluriwu, dan Desa Reruwairere. Sementara untuk KRB tingkat 2 (sedang) seluas 6,82 km<sup>2</sup> berpotensi melanda wilayah Desa Tuanggeo, Desa Ladolaka, Desa Lidi, Desa Kesokoja, Desa Rokirole, dan Desa Nitunglea. Sedangkan untuk KRB tingkat 3 (tinggi) sebesar 8,65 km<sup>2</sup> yang sebagian besar melanda Desa Rokirole, Desa Nitunglea, dan Desa Tuanggeo. Potensi bahaya erupsi meliputi sebaran awan panas dan serpihan debu vulkanik disebabkan oleh kondisi cuaca dan angin. Sementara untuk potensi bahaya aliran lahar disebabkan oleh kemiringan lereng serta kondisi tutupan lahan.

*National Earthquake Hazards Reduction Program* (NEHRP) menjelaskan terkait kemiringan lereng dapat mempengaruhi kecepatan aliran lahar dan kemungkinan terjadinya aliran lahar. Lereng yang sangat curam dapat meningkatkan kecepatan aliran lahar karena gravitasi, sehingga memperbesar potensi bahaya yang ditimbulkan untuk masyarakat sekitar wilayah terdampak. Ketika gunungapi meletus, material vulkanik yang dilepaskan dapat merosot ke bawah melalui aliran lahar. Kemiringan lereng yang curam memungkinkan material tersebut bergerak dengan lebih cepat dan merusak segala yang ada di jalurnya. Kondisi tersebut membuat aliran lahar sulit untuk diredakan atau dikendalikan (NEHRP, 2005).

Jenis tutupan lahan juga berpengaruh terhadap aliran lahar. Menurut Pierson, Wood, & Driedger (2014) menjelaskan bahwa jenis tutupan lahan, seperti vegetasi atau tanah yang padat, dapat mempengaruhi resistensi aliran lahar. Tanah yang ditutupi oleh vegetasi yang rapat dapat mengurangi laju erosi dan menahan material vulkanik, serta mengurangi potensi bahaya aliran lahar. Sebaliknya, lahan yang terdiri dari batuan kasar atau tanah yang

longsor dan tidak memiliki tutupan vegetasi dapat memfasilitasi pergerakan material vulkanik secara bebas dan meningkatkan potensi bahaya akibat aliran lahar. Vegetasi juga dapat berfungsi sebagai penghalang fisik terhadap aliran lahar untuk mengurangi kecepatan dan dampaknya terhadap lingkungan sekitar.

### Estimasi Dampak Keterpaparan Bangunan dan Wilayah Permukiman

Hasil analisis data didapatkan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak QGIS dan *plugin* InaSAFE. Data yang digunakan meliputi data bahaya yang disebabkan oleh letusan Gunungapi Rokatenda dengan data titik bangunan yang terdapat di Kawasan Gunungapi Rokatenda, Pulau Palue. Total bangunan yang kemungkinan besar dapat terdampak akibat bencana letusan gunungapi berjumlah 547 dengan jumlah bangunan yang aman dari ancaman sebanyak 2.700 bangunan. Sekitar 10 bangunan berada pada tingkat bahaya yang tinggi. Kemudian sebagian besar bangunan berada dalam tingkat bahaya menengah yaitu sebanyak 442 bangunan. Kondisi tingkat bahaya yang tinggi dan menengah cenderung memberikan efek yang sangat mempengaruhi lingkungan di sekitarnya. Tipe bangunan yang terdampak didominasi oleh tanah permukaan yang biasa digunakan masyarakat untuk membangun rumah dan kini menjadi kawasan permukiman. Hasil analisis InaSAFE dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Menurut Asriningrum, Noviar, & Suwarsono (2004), berdasarkan tingkat bahayanya, klasifikasi gunungapi terbagi menjadi 3 zona, yaitu zona 1 (tinggi), zona 2 (menengah), dan zona 3 (rendah). Bagi masyarakat berisiko rendah atau di zona 3, terdapat 95 titik bangunan yang kondisinya cenderung tidak berpengaruh. Dari 8 desa yang terdapat di Pulau Palue, hanya 5 desa yang berpotensi terkena langsung dampak dari letusan Gunungapi Rokatenda di antaranya Desa Kesokoja, Desa Ladolaka, Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo.

**Tabel 5.** Dampak bangunan yang terdampak erupsi di tingkat desa.

Aggregation Area	Permukiman	Total
Kesokoja	1	1
Ladolaka	2	2
Nitunglea	36	36
Rokirole	159	159
Tuanggeo	254	254
<b>Total</b>	<b>452</b>	<b>452</b>

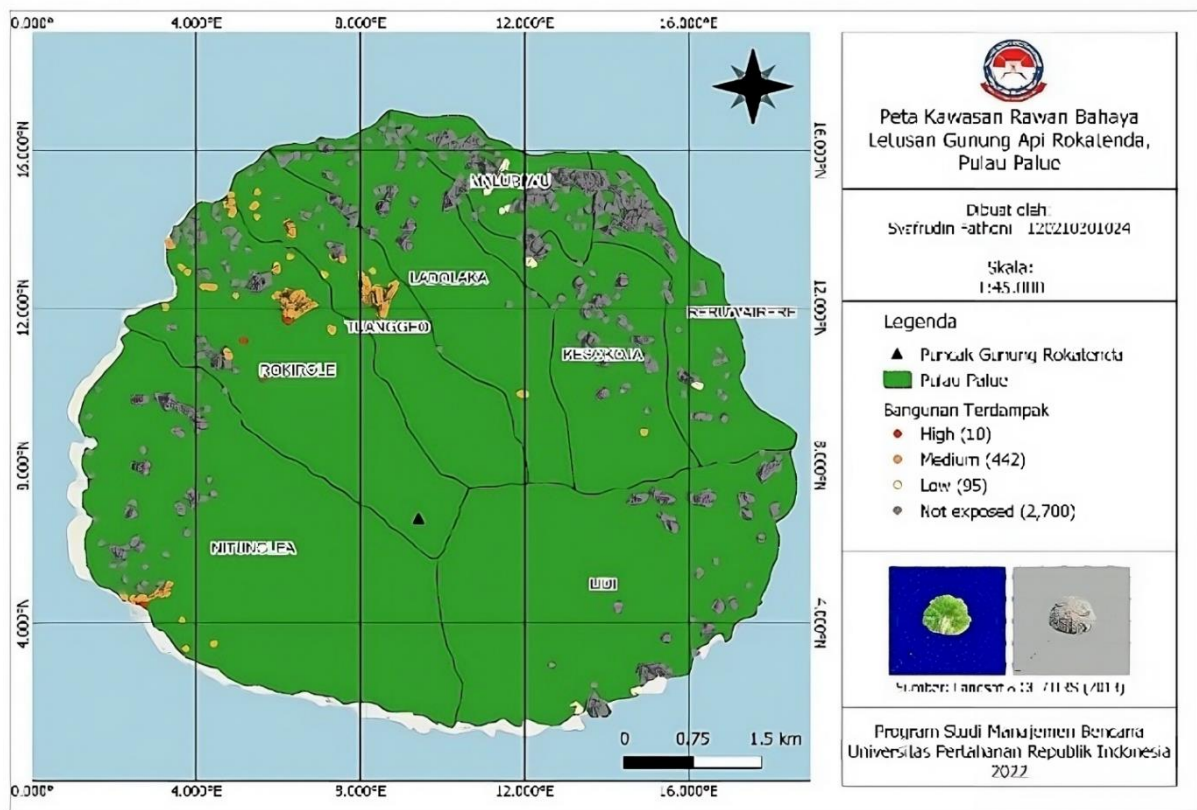
**Tabel 4.** Hasil analisis InaSAFE bangunan yang terdampak erupsi.

Tipe Bangunan	Terdampak			Tidak Terdampak		Tidak Terekspos	Total
	Tinggi	Sedang	Total	Rendah	Total		
Permukiman	10	442	452	95	95	2.700	3.300
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>442</b>	<b>452</b>	<b>95</b>	<b>95</b>	<b>2.700</b>	<b>3.300</b>



Pada data analisis InaSAFE tersebut, wilayah Desa Tuanggeo menjadi desa yang paling terdampak oleh bencana erupsi Gunungapi Rokatenda dengan sejumlah 254 bangunan permukiman masyarakat yang terdampak. Permukiman terdampak sisanya di Desa Rokirole sebanyak 159 titik bangunan dan Desa Nitunglea sebanyak 36 titik bangunan. Sementara itu, Desa Kesokoja dan Desa Ladolaka memiliki jumlah bangunan yang paling sedikit terdampak. Namun, ketiga bangunan di dua desa tersebut berada pada KRB tingkat 2 atau berada di zona dengan potensi bahaya sedang/menengah. Hal ini disebabkan oleh posisi bangunan yang berada cukup dekat dengan puncak Gunungapi Rokatenda. Faktor lain berupa sebaran angin dan kondisi kemiringan lereng sehingga aliran lahar dan awan panas berpotensi mengarah ke bangunan-bangunan tersebut. Hasil analisis InaSAFE dalam bentuk peta dapat dilihat pada peta bangunan yang terdampak erupsi di **Gambar 3**.

Hanya ada tiga desa yang mengalami dampak dari letusan Gunungapi Rokatenda yaitu Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Desa Rokirole dan Desa Tuanggeo memiliki nilai luasan dampak yang paling besar dibandingkan wilayah desa lainnya yaitu sebesar 2 ha bangunan permukiman yang terdampak oleh bencana letusan Gunungapi Rokatenda. Berdasarkan data yang dihimpun oleh Badan Pusat Statistik Kabupaten Sikka, total penduduk yang ada di Kecamatan Palue pada data terakhir 2018 yaitu sekitar 10.333 jiwa. Satu bangunan rumah biasanya ditempati oleh sekitar 3-4 orang. Maka dapat diperkirakan apabila jumlah bangunan yang memiliki kerawanan tinggi/ sedang totalnya adalah 452 bangunan, maka jumlah penduduk yang harus siap untuk diungsikan sekitar 1.808 jiwa. Tim evakuasi tentunya dapat menyiapkan jalur dan lokasi yang menjadi prioritas dalam melaksanakan evakuasi apabila Gunungapi Rokatenda kembali erupsi.



**Gambar 3.** Peta bangunan terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda.

**Tabel 6.** Hasil analisa InaSAFE jalan yang terdampak erupsi.

Tipe Jalan	Terdampak			Tidak Terdampak		Tidak Terekspos	Total (m)
	Tinggi	Sedang	Total	Rendah	Total		
Jalan Utama	0	0	0	0	0	563	563
Jalan Sekunder	0	0	0	0	0	670	670
Lokal	552	3.200	3.752	906	906	30.800	35.456
Jalur Setapak	5.300	6.900	12.200	1.900	1.900	36.900	51.000
Lainnya	0	303	303	399	399	3.200	3.902
<b>Total</b>	<b>5.852</b>	<b>10.403</b>	<b>16.255</b>	<b>3.205</b>	<b>3.205</b>	<b>72.133</b>	<b>91.638</b>



**Tabel 7.** Dampak jalan yang terdampak erupsi di tingkat desa.

Aggregation Area	Lokal	Jalur Setapak	Lainnya	Total (m)
Ladolaka	1.100	590	0	1.690
Lidi	0	233	0	233
Nitunglea	716	1.800	0	2.516
Rokirole	700	6.400	113	7.213
Tuanggeo	1.300	3.200	190	4.690
<b>Total</b>	<b>3.816</b>	<b>12.223</b>	<b>303</b>	<b>16.342</b>

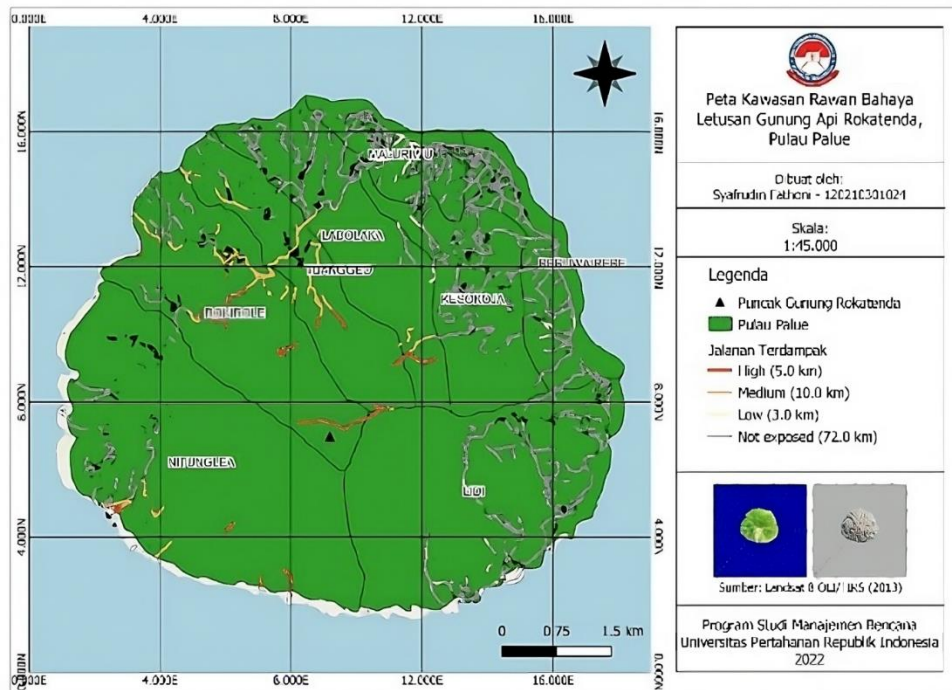
**Estimasi Dampak Keterpaparan Jalan dan Jalur Evakuasi**

Data yang sudah didapatkan kemudian diolah dengan menggunakan bantuan perangkat lunak QGIS dan *plugin* InaSAFE. Data yang digunakan meliputi data bahaya yang disebabkan oleh letusan Gunungapi Rokatenda dengan data jalan yang terdapat di Pulau Palue. Hasilnya menunjukkan bahwa dari total panjang jalan yang ada di Pulau Palue yaitu 91,6 km hanya 19,3 km jalan di wilayah Pulau Palue yang terkena dampak oleh bahaya dari letusan Gunungapi Rokatenda. Tipe jalan yang paling terdampak adalah jalan lokal dan jalur setapak.

Hasil perhitungan analisis jalan yang terdampak yakni sepanjang 5,9 km berada di tingkat bahaya tinggi (tingkat 1), 10 km berada di tingkat bahaya menengah (tingkat 2), 3 km di tingkat bahaya rendah (tingkat 3), dan 72 km di wilayah yang tidak terdampak. Hasil analisa jalan yang terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda menggunakan *plugin* InaSAFE dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**.

Infrastruktur jalan yang terdampak oleh erupsi Gunungapi Rokatenda meliputi Desa Ladolaka, Desa Lidi, Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Desa Rokirole merupakan wilayah yang infrastruktur jalannya paling banyak terdampak

kurang lebih 7,2 km. Tipe jalan yang terdampak merupakan jalur setapak yang biasanya digunakan oleh masyarakat sekitar untuk beraktivitas masyarakat sehari-hari dengan total panjang 6,4 km. Berdasarkan penentuan KRB Desa Rokirole berada di tingkat 3 dan tingkat 2. Kemudian jalan yang terdampak di wilayah Desa Tuanggeo sepanjang 4,6 km, dengan 1,3 km adalah jalan lokal. Desa Tuanggeo merupakan wilayah yang memiliki potensi dampak paling tinggi pada jalan lokal dibandingkan dengan desa lainnya. Hal ini tidak mengherankan karena wilayah Desa Tuanggeo merupakan kawasan permukiman, sehingga banyak terdapat bangunan di sekitar jalan permukiman dan jumlah bangunan yang terkena dampak merupakan yang tertinggi dibandingkan desa lainnya. Untuk wilayah Desa Lidi jalan yang terdampak hanya sepanjang 233 m, namun itu hanya pada jalan yang dekat dengan puncak gunung dan bukan pada wilayah permukimannya. Berdasarkan hasil analisis, terdapat empat desa yang memiliki jalur evakuasi yang aman, yaitu Desa Kesokoja, Desa Maluriwu, Desa Reruwairere, dan Desa Lidi. Hasil analisis InaSAFE perihal jalan yang terdampak oleh erupsi Gunungapi Rokatenda dalam bentuk peta dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Peta jalan yang terdampak erupsi Gunungapi Rokatenda.

Berdasarkan dokumen rencana kontijensi yang telah dibuat oleh BNPB (2013), ketiga desa yang termasuk ke dalam tingkat kerawanan tinggi yakni Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Penduduk yang tinggal di ketiga desa tersebut termasuk ke dalam KRB tingkat 3. Karena posisi Gunungapi Rokatenda yang berada di sebuah pulau, maka cara evakuasi paling tepat adalah dengan meninggalkan Pulau Palue. Masyarakat yang tinggal di Desa Nitunglea dapat menuju ke lokasi evakuasi yang terletak di Pantai Oka Cere atau Pantai Cua. Sementara penduduk di Desa Rokirole dapat menuju ke Pantai Punge. Kemudian penduduk di Desa Tuanggeo dapat melakukan evakuasi menuju pantai Tepetetu.

Jarak Pulau Palue dari lokasi Dermaga Kerica dengan Pelabuhan Sikka memiliki jarak sejauh 64,3 km dengan waktu tempuh sekitar 3 sampai 4 jam menggunakan kapal laut. Sementara jarak dari Pulau Palue dengan pelabuhan terdekat yaitu Pelabuhan Maurole hanya sekitar 23,4 km dengan waktu tempuh sekitar 2 sampai 3 jam. Kondisi tersebut tentunya membutuhkan waktu yang cukup lama untuk kapal evakuasi dari Pelabuhan Sikka atau Pelabuhan Maurole mencapai Pulau Palue, belum lagi kondisi lautan yang sangat dinamis menyebabkan banyak faktor yang menjadi kendala dalam proses evakuasi masyarakat yang terdampak di Pulau Palue. Maka dari itu perlu adanya koordinasi yang baik antara petugas pemantau gunungapi dengan petugas PVMBG sehingga apabila terjadi erupsi, tim evakuasi dapat bergerak cepat sebelum timbul adanya korban jiwa.

Apabila dilihat dari data BNPB (2013) pada letusan Gunungapi Rokatenda tahun 2013, perkiraan korban akibat letusan Gunungapi Rokatenda mencapai 1.665 orang dengan korban meninggal sebanyak 11 orang, luka berat 39 orang, dan sisanya luka ringan. Selain itu, sarana dan prasarana di Pulau Palue juga mengalami kerusakan. Selain jalan yang tertutup material vulkanik, beberapa bangunan lain juga mengalami kerusakan, antara lain sekolah, kantor pemerintahan, lembaga keagamaan, puskesmas, hingga rumah warga yang semuanya mengalami kerusakan sedang hingga berat akibat erupsi. Perkebunan yang berada di lereng gunung juga mengalami kerusakan akibat terjangan aliran lahar vulkanik. Kerusakan berat terdapat di Desa Nitunglea, Desa Kesokoja, dan Desa Lidi. Sementara kerusakan kebun ringan terletak di Desa Tuanggeo, Desa Rokirole, dan Desa Ladolaka.

Wilayah Pulau Palue didominasi oleh wilayah dataran tinggi, oleh sebab itu upaya evakuasi yang disarankan adalah penduduk dapat segera menuju kawasan pesisir dan sedapat mungkin menjauh dari pulau menggunakan perahu/kapal laut untuk menghindari lontaran material atau terjangan lahar hasil erupsi Gunungapi Rokatenda. Selain dari ketiga desa yang memiliki tingkat kerawanan tinggi, untuk para penduduk di Desa Ladolaka, Desa Lidi, Desa

Kesokoja, Desa Maluriwu, dan Desa Reruwairere juga diharapkan juga dapat bergerak menuju wilayah pesisir (Pelabuhan Kerica) meskipun kelima desa tersebut memiliki tingkat kerawanan sedang hingga rendah. Pelabuhan Kerica merupakan Pelabuhan utama di Pulau Palue dan di sana terdapat kapal-kapal penumpang yang dapat membantu proses evakuasi penduduk.

Aktivitas Gunungapi Rokatenda masih terus berlangsung hingga saat ini, dan belum ada tanda-tanda erupsi akan berhenti. Desa yang berada dalam radius 3 km dari pusat erupsi dan dapat segera menuju pantai Rokatenda dan mengungsi ke luar pulau. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, penggunaan *plugin* InaSAFE cukup mempermudah analisis spasial dalam menentukan potensi dampak yang ditimbulkan oleh erupsi.

Hasil dari pengoperasian *plugin* INASAFE menggambarkan dampak yang kemungkinan akan terjadi berdasarkan data yang sudah didapatkan dari peristiwa sebelumnya. Kelebihan analisis skenario dampak menggunakan InaSAFE memungkinkan integrasi data geografis yang kompleks, termasuk data peta dan informasi spasial lainnya. Hal ini memungkinkan analisis dampak yang lebih akurat dan relevan secara spasial. Melalui analisis *real-time* dan pemodelan skenario, InaSAFE dapat memberikan peringatan dini yang cepat terkait dengan potensi bahaya dan dampak bencana. Hal ini memungkinkan tindakan tanggap darurat yang lebih cepat. InaSAFE menyediakan visualisasi data yang mudah dipahami, baik dalam bentuk peta, grafik, atau tabel. Hal ini dapat membantu pengambil keputusan untuk dengan cepat memahami kompleksitas situasi sehingga mampu memfasilitasi kolaborasi dan koordinasi antara berbagai pemangku kepentingan dan instansi terkait dalam manajemen bencana.

Meskipun demikian, terdapat kekurangan pada analisis InaSAFE yang sangat bergantung pada data *input*. Keterbatasan atau ketidakakuratan data dapat menghasilkan hasil yang kurang representatif. Analisis dengan InaSAFE mungkin tidak menyertakan semua variabel atau faktor yang relevan dalam memahami dampak bencana secara menyeluruh. Hasil analisis InaSAFE perlu divalidasi dengan data lapangan dan pengamatan langsung untuk memastikan ketepatan hasil dan memperbaiki model jika diperlukan.

Para pemangku kepentingan dapat membuat berbagai kebijakan dalam rangka mengurangi dampak risiko bencana akibat erupsi Gunungapi Rokatenda di masa yang akan datang. Tentunya apabila dengan data yang lebih banyak, maka hasil analisis diharapkan akan lebih akurat. Perlu ada verifikasi estimasi keterpaparan itu dengan data bencana historisnya, sehingga akurasi sistem InaSAFE ini dapat diperkirakan.

## KESIMPULAN

Bencana letusan Gunungapi Rokatenda yang terjadi di Pulau Palue tahun 2013 lalu memberikan dampak yang cukup besar bagi kawasan permukiman warga dan infrastruktur jalan desa. Sebanyak 452 rumah warga yang berada di zona KRB tingkat 1 dan tingkat 2. Paling banyak berasal dari Desa Tuanggeo dengan total 254 bangunan terdampak. Sementara untuk luasan bangunan atau permukiman warga yang terdampak kurang lebih sebanyak 5 ha. Sedangkan pada infrastruktur jalan, sekitar 16,1 km berada di zona KRB tingkat 1 dan tingkat 2. Tipe jalanan yang terdampak berupa jalan lokal dan jalan setapak yang berada di Desa Rokirole (7,2 km), Desa Tuanggeo (4,7 km), dan Desa Nitunglea (2,5 km). Berdasarkan ketiga parameter tersebut wilayah desa yang paling terdampak oleh bencana letusan Gunungapi Rokatenda adalah Desa Nitunglea, Desa Rokirole, dan Desa Tuanggeo. Disarankan apabila erupsi kembali terjadi, maka para warga diharapkan untuk segera meninggalkan dan menjauhi Pulau Palue dan mengungsi di pelabuhan terdekat (Pelabuhan Maurole) hingga kondisi Gunungapi Rokatenda kembali normal.

Pemanfaatan sistem informasi geografis melalui *plugin* InaSAFE sangat membantu pemerintah dalam menganalisis skenario dampak yang disebabkan oleh bencana. Namun untuk memaksimalkan analisis dari *plugin* InaSAFE, diperlukan data yang lengkap terutama data keterpaparan. Bencana merupakan sebuah peristiwa yang membahayakan dan mengancam manusia. Pada kasus erupsi gunungapi, InaSAFE dapat membantu mengidentifikasi zona-zona yang mungkin terkena dampak aliran lahar atau abu vulkanik, serta jumlah penduduk yang berpotensi terdampak. InaSAFE juga dapat membantu pihak berwenang menentukan rute evakuasi yang aman dari zona bahaya dan mengevaluasi kemampuan tempat pengungsian di berbagai lokasi. Pusat manajemen bencana dapat menggunakan program InaSAFE untuk berkoordinasi dengan pihak terkait dalam menyusun rencana tanggap darurat yang terkoordinasi. Nantinya pihak berwenang dapat melihat dampak yang mungkin terjadi pada wilayah tertentu dan membuat keputusan tentang alokasi sumber daya dan upaya penanggulangan bencana.

Melalui kontribusinya dalam menyediakan analisis dan informasi yang terintegrasi, InaSAFE membantu dalam menyusun kebijakan manajemen bencana yang lebih efektif dan responsif. InaSAFE juga telah digunakan dalam situasi nyata bencana di Indonesia, seperti erupsi Gunung Merapi dan gempa bumi di Lombok, membuktikan kegunaannya dalam mendukung pengambilan keputusan dan tindakan tanggap darurat *top of form*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak-pihak yang telah banyak memberikan saran, dukungan, motivasi, serta bimbingan dalam pembuatan artikel ilmiah ini. Terima kasih juga kepada Fakultas Keamanan Nasional Universitas Pertahanan RI atas fasilitas yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan artikel ini. Tidak lupa pula penulis mengucapkan terimakasih kepada para instansi terkait yaitu Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), dan Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sikka atas ketersediaan data yang dibutuhkan peneliti dalam pembuatan artikel ilmiah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asriningrum, W. (2015). Analisis Daerah Terdampak Letusan Gunungapi Rokatenda. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX dan Kongres VI Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN)*, 801-807.
- Asriningrum, W., & Noviar, H. (2010). Pengembangan Metode Zonasi Daerah Bahaya Letusan Gunung Api Studi Kasus Gunung Merapi. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 1(1).
- BNPB. (2013). *Rencana Kontinjensi Menghadapi Ancaman Bencana Letusan Gunungapi Rokatenda Kabupaten Sikka Dan Kabupaten Ende Provinsi Nusa Tenggara Timur*. Ntt: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- BPS. (2021). *Kecamatan Palue Dalam Angka 2021*. Sikka: Badan Pusat Statistik Kabupaten Sikka.
- Edmonds, M., Grattan, J., & Michnowicz, S. (2018). Volcanic gases: silent killers. *Observing the Volcano World: Volcano Crisis Communication*, 65-83.
- Fitri, A. N. A., & Priyana, Y. (2017). Analisis Skenario Dampak Keterpaparan Dan Mitigasi Bencana Banjir Genangan Di Provinsi DKI Jakarta. *Publikasi Ilmiah UMS* 1(1):1-25.
- Gunawan, H., & Haerani, N. (2020). *Gunungapi Indonesia Dan Karakteristik Bahayanya*. Cetakan Pertama. Bandung: Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- HOT. (2015). *Modul Panduan Menganalisis Data Dengan Quantum GIS Dan INASAFE*. Jakarta: Humanitarian Openstreetmap Team.
- Husein, A., & Onasis, A. (2017). *Manajemen Bencana*. 1st Ed. Jakarta: Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan, Kementerian Kesehatan Ri.
- Ihsan, M. H., Lutfiananda, H., Rhosadi, I., & Fariz, T. R. (2018). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Risiko Bencana Gunungapi Dari Aspek Sosial di Kabupaten Sleman. *Prosiding Seminar Nasional Geografi Ugm* 1(1):598-607.
- Jacob, D., Kumaat, J.C., & Tewal, S.T.R. (2020). Peta Digital Berbasis Komunitas Dengan Inasafe. *Jurnal Episentrum* 1(1):7. Doi: 10.36412/Jepst.V1i1.1804.
- NEHRP. (2005). Lahar Hazards Mitigation: The Role of Engineering and Land-Use Planning.
- Peiris, P. S. H. 2020. Geographical Information System (GIS) For Disaster Management. *University Of Moratuwa* 1(1):1-10.

- Pierson, T. C., Wood, N. J., & Driedger, C. L. (2014). Reducing risk from lahar hazards: concepts, case studies, and roles for scientists. *Journal of Applied Volcanology* 3(16): 1-25.
- Priatna, P., & Primulyana, S. (2020). *Memahami Gas Gunungapi*. Cetakan Pertama. Bandung: Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi Bencana Geologi, Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Purnama, S. G. (2017). *Modul Manajemen Bencana*. Bali: Universitas Udayana.
- PVMBG (Ed). (2015). *Booklet Gunungapi*. Bandung: Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- Rahayu, R., Ariyanto, D.P., Komariah,K., Hartati, S., Syamsiyah, J., & Widyatmani S. D. (2014). Dampak Erupsi Gunung Merapi Terhadap Lahan dan Upaya-upaya Pemulihannya. *Caraka Tani: Journal Of Sustainable Agriculture* 29(1):61. Doi: 10.20961/Carakatani.V29i1.13320.
- R.I. (2007). Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana
- Setiyawidi, S., Setiawan, I., & Somantri, L. (2011). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk Zonasi Tingkat Kerawanan Bencana Letusan Gunung Api Tangkubanparahu. *Jurnal Geografi Gea*, 11(2). Doi: 10.17509/Gea.V11i2.1635.
- Sukarman, S., Dariah, A., & Suratman, S. (2020). Tanah Vulkanik Di Lahan Kering Berlereng Dan Potensinya Untuk Pertanian Di Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian* 39(1):21-34. Doi: 10.21082/Jp3.V39n1.2020.P21-34.

*Halaman ini sengaja kami kosongkan*

# Analisis Daerah Rawan Banjir dengan Metode *Composite Mapping Analysis* (CMA) di Kota Padang

*(Flood Vulnerability Analysis using Composite Mapping Analysis (CMA) in Padang City)*

**Yahya Darmawan, Imawan Mashuri, Muhamad Arif Jumansa, Fadhil Muhammad Aslam, Anindya Azzahra**

Climatology Department, State College of Meteorology, Climatology and Geophysics (STMKG)  
Jl. Perhubungan I No. 5, Pondok Betung, Pondok Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221 Indonesia  
E-mail: yahya.darmawan@bmkkg.go.id

*Diterima: 11 September 2023; Direvisi: 9 Oktober 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 28 November 2023*

## ABSTRAK

Kota Padang merupakan ibu kota Provinsi Sumatera Barat dan terletak di dalam wilayah yang padat penduduk. Kota ini memiliki Indeks Resiko Bencana (IRBI) yang tinggi untuk banjir. Meskipun Badan Penanggulangan Bencana Nasional (BNPB) telah membuat peta Indeks Resiko Bencana banjir untuk seluruh Indonesia, namun peta tersebut bersifat global dan belum mencerminkan kondisi fisik sebenarnya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis kerawanan terhadap banjir di Kota Padang dengan menggunakan metode *Composite Mapping Analysis* (CMA) berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi curah hujan, kemiringan lereng (*slope*), tutupan lahan, dan jenis tanah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode multi-kriteria berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG), yang melibatkan pembobotan (*scoring*) dan *overlay* dari keempat parameter tersebut untuk menghasilkan peta kerawanan banjir di wilayah Kota Padang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kota Padang, yang terdiri dari 11 kecamatan, memiliki tingkat kerawanan yang beragam terhadap banjir. Peta kerawanan banjir menunjukkan bahwa wilayah utara Kota Padang, termasuk wilayah Kecamatan Koto Tengah, Nanggalo, dan Padang Utara, memiliki tingkat kerawanan banjir yang sangat tinggi. Di sisi lain, wilayah Kecamatan Kuranji memiliki potensi banjir yang bervariasi dari tingkat rawan menengah hingga sangat rawan.

**Kata kunci:** banjir, CMA, Kota Padang, *overlay*

## ABSTRACT

*Padang City is the capital of West Sumatra Province and is located in a densely populated area. The city has a high Disaster Risk Index (IRBI) for floods. Although the National Disaster Management Agency (BNPB) has created a Disaster Risk Index map for floods covering all of Indonesia, this map has a global scope. It does not accurately reflect the actual physical conditions. This research aims to analyze Padang City's flood vulnerability map using a Geographic Information System (GIS) based Composite Mapping Analysis (CMA). Several parameters used in this study include rainfall, slope, land cover, and soil type. The method employed in this research is a multi-criteria GIS-based approach involving weighting (scoring) and overlaying these four parameters to generate a flood vulnerability map for the Padang City area. The research results show that Padang City, consisting of 11 districts, has varying vulnerability to floods. The flood vulnerability map indicates that the northern part of Padang City, including Koto Tengah, Nanggalo, and Padang Utara, has a very high vulnerability for floods. On the other hand, the Kuranji district exhibits flood potential ranging from moderate to very high vulnerability.*

**Keywords:** flooding, CMA, Padang City, *overlay*

## PENDAHULUAN

Banjir adalah salah satu bencana alam yang sering terjadi di beberapa wilayah Indonesia. Banjir terjadi ketika air tidak dapat tertampung dalam saluran pembuangan atau aliran air terhambat dalam saluran pembuangan, sehingga meluap dan membanjiri daerah sekitarnya (Suripin, 2004). Banjir dapat disebabkan oleh kondisi dan fenomena alam seperti topografi dan curah hujan, serta oleh kondisi geografis daerah dan aktivitas

manusia yang memengaruhi perubahan tata ruang atau tata guna lahan di suatu wilayah (Rosyidie, 2013).

Kota Padang adalah kota terbesar di pantai barat Pulau Sumatra sekaligus ibu kota Provinsi Sumatera Barat, Indonesia. Berdasarkan letak astronomisnya, Kota Padang berada di antara 0°44' dan 01°08' Lintang Selatan serta antara 100°05' dan 100°34' Bujur Timur. Sebagai daerah yang berada di daerah pesisir, Kota Padang termasuk wilayah yang tak luput dari bencana



banjir (Putri et al., 2023). Banyak faktor yang menjadi penyebab banjir di Kota Padang. Beberapa diantaranya ialah dikarenakan hujan dengan intensitas tinggi, semakin sedikitnya lahan terbuka hijau sebagai daerah resapan air, jenis tanah yang sulit menyerap air, dan bentangan alam yang landai yang menyebabkan air mengalir ke daerah sasaran banjir (Angelina, Wiguna, & Sedana, 2022; Findayani, 2015; Putra & Mandala, 2021; Sugestiadi & Basuki, 2019). Meskipun Badan Penanggulangan Bencana Nasional (BNPB) telah mengeluarkan peta Indeks Risiko Bencana Banjir untuk wilayah Kota Padang, namun informasi tersebut masih bersifat regional dan belum secara spesifik mewakili kondisi fisis di kota Padang (**Gambar 1**).

Mengingat frekuensi terjadinya banjir yang sering melanda Kota Padang dan dampak kerugian yang ditimbulkannya, sangat penting untuk melakukan analisis masalah serta mengumpulkan informasi tentang wilayah yang berpotensi mengalami banjir. Langkah ini diharapkan akan membuka peluang untuk perencanaan dan tindakan penanganan yang lebih efektif guna mengurangi risiko banjir di Kota Padang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan potensi daerah rawan banjir dengan memanfaatkan data seperti curah hujan, jenis tanah, tutupan lahan, dan kemiringan lereng, sebagaimana dijelaskan dalam studi sebelumnya (Utama & Naumar, 2015). Selanjutnya, analisis akan dilakukan dengan melakukan pembobotan dan overlay data-data tersebut untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang wilayah-wilayah yang mungkin rawan terhadap bencana banjir di Kota Padang. Harapannya, hasil dari penelitian ini akan memberikan kontribusi penting dalam mendukung upaya mitigasi bencana banjir serta memberikan panduan bagi masyarakat dalam menghadapi potensi risiko ini di Kota Padang.

**METODE**

*Lokasi Penelitian*

Lokasi penelitian terletak di wilayah Kota Padang yang merupakan ibukota Provinsi Sumatera Barat dan merupakan kota terbesar di pantai barat Pulau Sumatera. Kota Padang yang terletak pada 00' 44" – 01' 05" LS dan 100' 05" – 100' 34" BT. Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah curah hujan tahunan periode 2017-2021, kemiringan lereng (*slope*), tutupan lahan, dan jenis tanah untuk digunakan sebagai parameter dalam pemetaan wilayah potensi banjir (Ramadhan, Handayani, & Darminto, 2022; Sitorus, Bioresita, & Hayati, 2021).

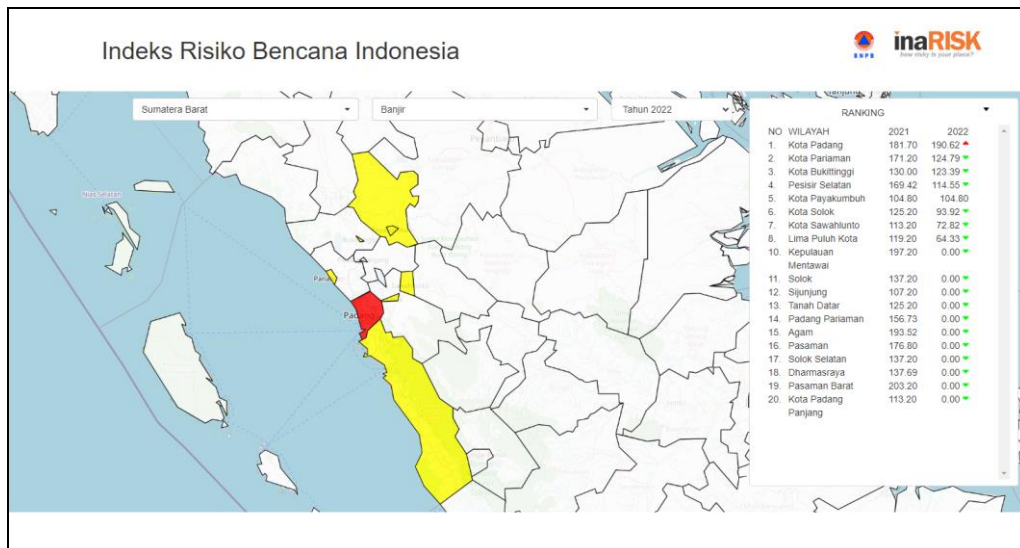
*Data yang digunakan*

Data sekunder yang dipergunakan dalam penelitian ini dapat terlihat di **Tabel 1**. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Composite Mapping Analysis (CMA)* berbasis SIG. Metode ini biasa digunakan sebagai metode manipulasi data raster, dengan melakukan *overlay* dalam bentuk polygon dari data raster dalam aplikasinya terhadap bidang lingkungan (Mataburu, Handawati, & Hijrawadi, 2022; Sukowati & Kusratmoko, 2019). CMA mampu mengidentifikasi hubungan yang kompleks dan nonlinier antara variabel-variabel yang terlibat, menghasilkan visualisasi grafis yang memudahkan pemahaman pola dan hubungan antar variabel dan CMA dirancang untuk menangani data multivariabel. Ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam daripada metode analisis data yang lebih sederhana. Dalam CMA, proses pembobotan (*weighting*) dan *overlay* akan diterapkan untuk beberapa variabel yang digunakan dalam model (**Gambar 2**). Berikut adalah langkah-langkah untuk melakukan CMA dalam pemodelan banjir menggunakan ArcGIS 10.8.

**Tabel 1.** Parameter banjir

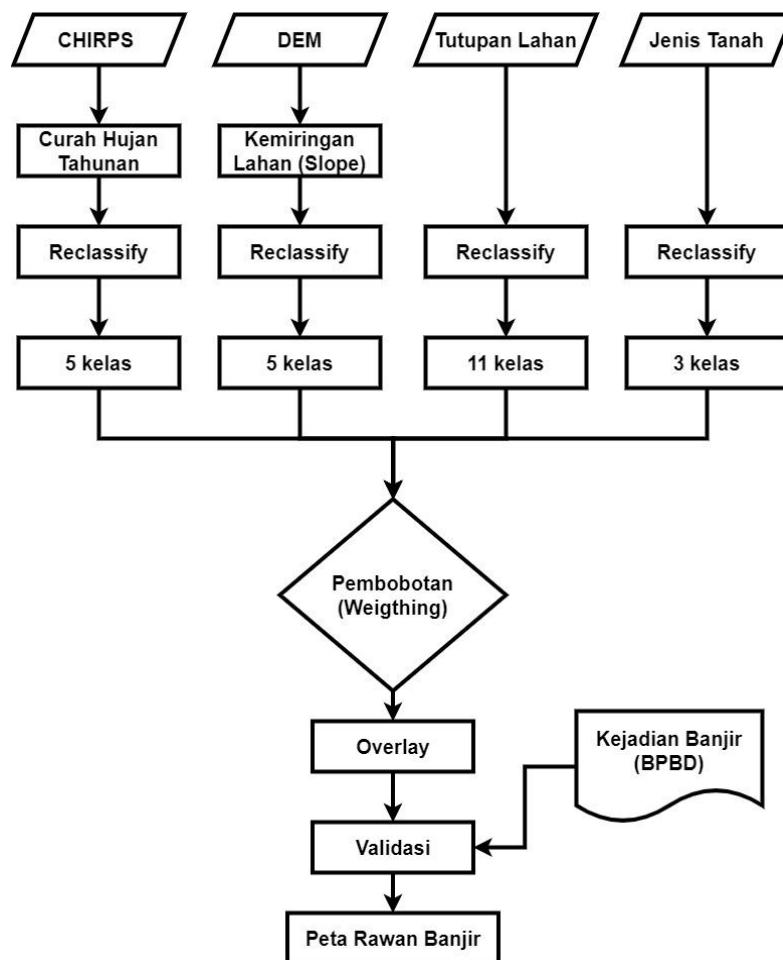
Data	Resolusi Spasial	Periode data	Sumber
Curah Hujan	5.5 km	2017-2021	CHIRPS
DEM	30 m	-	SRTM
Tutupan Lahan	-	2019	KLHK
Jenis Tanah	-	2019	Kementan

Pertama, langkah awal dalam proses ini adalah persiapan data. Langkah ini melibatkan pengumpulan dan persiapan kumpulan data spasial yang diperlukan untuk analisis. Selanjutnya, dilakukan standarisasi data. Kemudian, dilakukan pemberian bobot untuk tiap variabel dan kategori. Bobot diberikan kepada masing-masing parameter berdasarkan tingkat kepentingan variabel tersebut dalam mempengaruhi kerawanan banjir. Bobot ini mencerminkan signifikansi relatif dari setiap parameter dalam analisis keseluruhan. Setelah itu, dilakukan proses overlay data dan perhitungan bobot. Setelah perhitungan bobot tersebut, maka dilakukan pengolahan dan interpretasi data. Langkah terakhir adalah melakukan validasi peta kerawanan banjir dengan menggunakan data kejadian banjir dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD).



sumber: <https://inarisk.bnpb.go.id/irbi>

**Gambar 1.** Indeks risiko bencana banjir di Kota Padang oleh BPNB.



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta daerah rawan banjir di Kota Padang dibuat berdasarkan 4 parameter penyebab bencana banjir yang meliputi curah hujan, kemiringan lereng, tutupan lahan, dan jenis tanah.

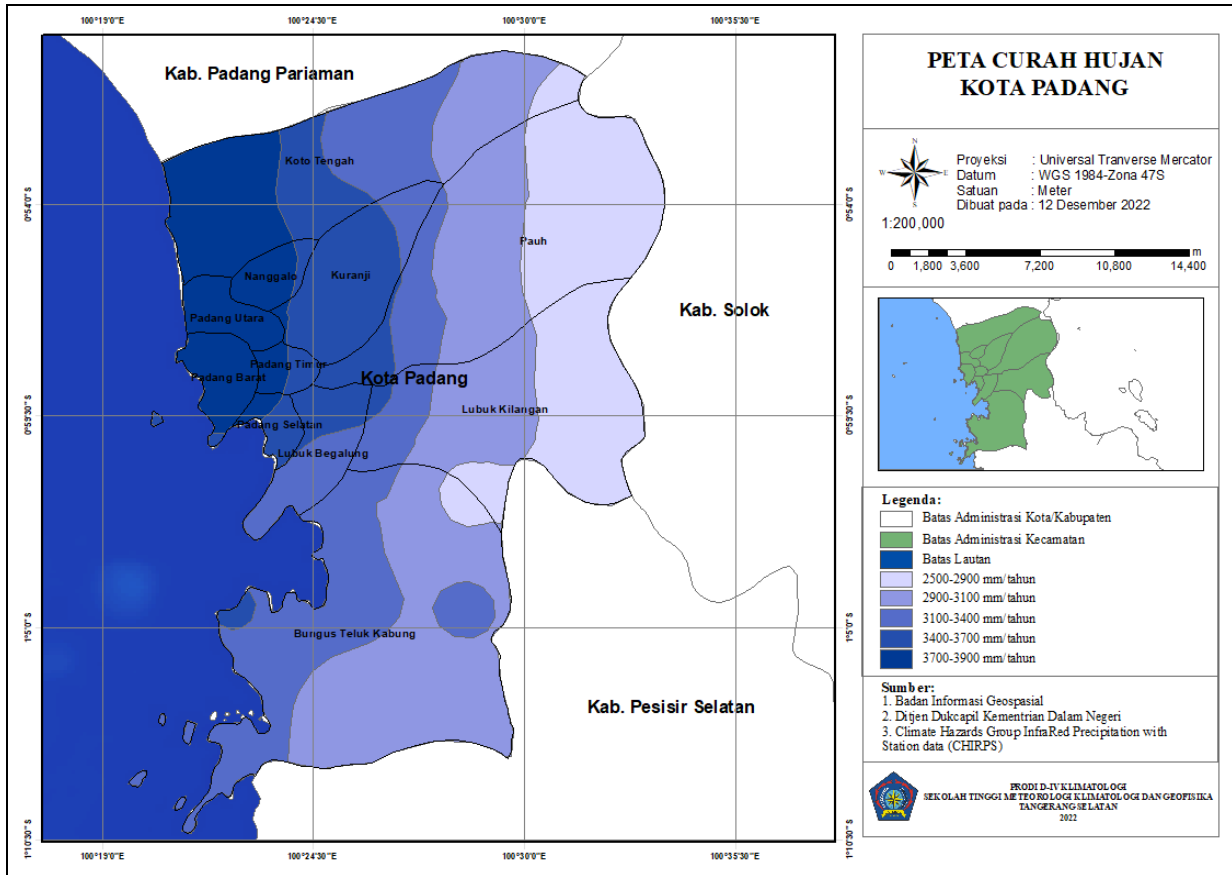
### Curah Hujan

Peta curah hujan (**Gambar 3**) diperoleh dari citra satelit *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) untuk wilayah Indonesia periode tahun 2017-2021. Pemilihan periode tersebut mewakili rata-rata hujan terkini agar hasil pengolahan data lebih relevan. Metode interpolasi curah hujan yang digunakan adalah *Inverse Distance Weight* (IDW)

untuk menaksir suatu nilai pada lokasi yang tidak tersampel berdasarkan data di sekitarnya (Purnomo, 2018; Yudanegara, Astutik, Hernandi, Soedarmodjo, & Alexander, 2021).

Berdasarkan **Gambar 3** menunjukkan bahwa curah hujan selama 5 tahun di Kota Padang didominasi curah hujan yang bernilai 2900-3100

mm/tahun dengan luas wilayah sebesar 17359 ha. Curah hujan tersebut mencakup kecamatan Koto Tengah, Pauh. Daerah yang bercurah hujan tinggi akan lebih rawan terhadap bencana banjir (Sitorus, Bioresita, & Hayati, 2021). Untuk selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 2**.



**Gambar 3.** Peta curah hujan Kota Padang.

**Tabel 2.** Parameter curah hujan

Curah Hujan (mm/tahun)	Skor	Bobot (%)	Luas (Ha)
2500-2900	1		10779
2900-3100	3		17359
3100-3400	5	25	13203
3400-3700	7		7160
3700-3900	9		6831

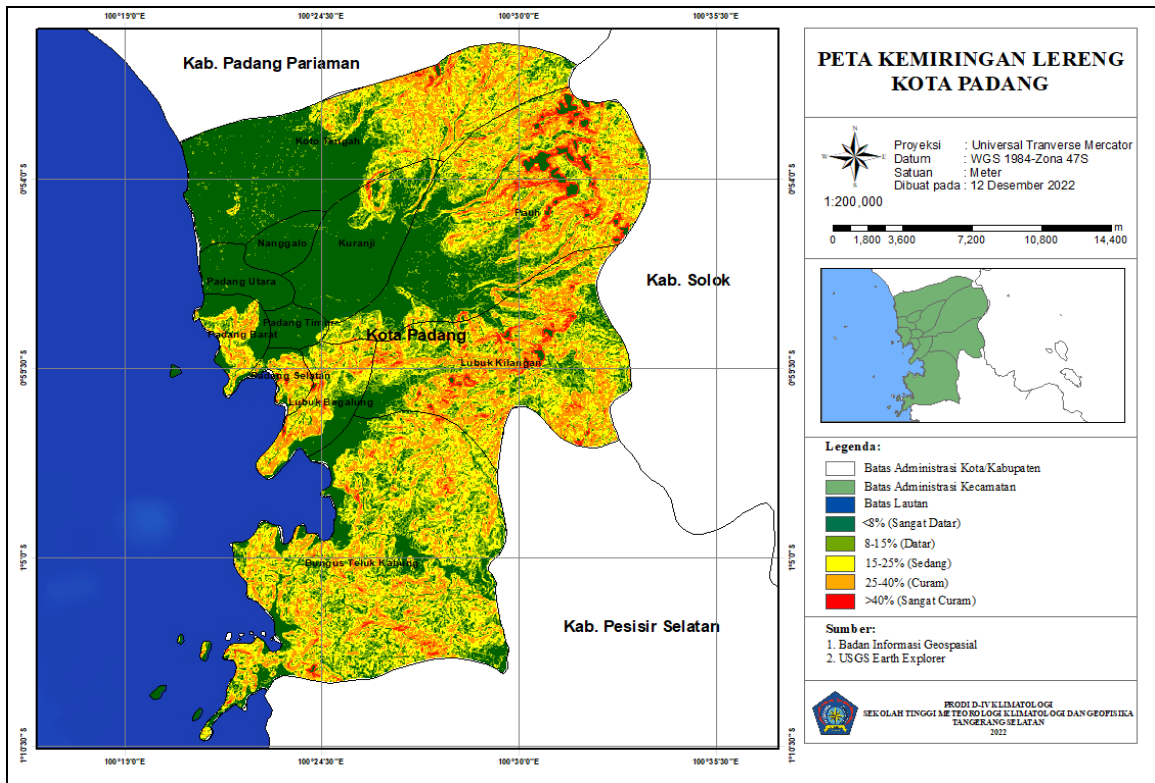
Sumber: Sitorus et al., (2021)

**Kemiringan Lereng (Slope)**

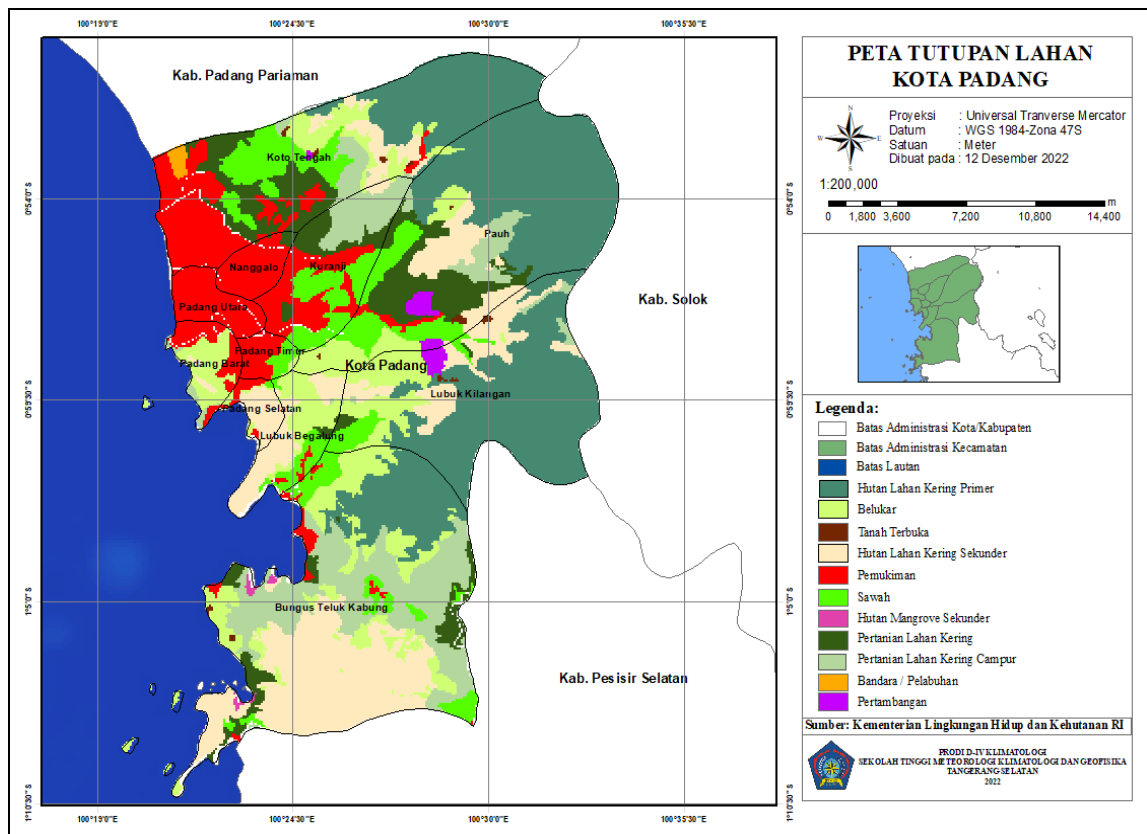
Peta kemiringan lereng diperoleh pengolahan data *United States Geological Survey* atau USGS. Fitur atau *toolbox* pengolahan data yang

digunakan adalah *slope* untuk menganalisis secara spasial dimana mengubah dari ketinggian menjadi kemiringan. Kemiringan lereng berpengaruh terhadap kecepatan limpasan air (Pratomo, 2008). Semakin rendah kemiringan lereng maka semakin rawan terjadi banjir.

Pada **Gambar 4** menunjukkan bahwa kemiringan lereng di Kota Padang didominasi kemiringan <8 % atau masuk kategori sangat datar dengan luas wilayah sebesar 19470 Ha. Kemiringan lereng yang sangat datar mencakup sebagian besar kecamatan Padang Utara, Padang Timur, Padang Timur, Naggalo, Kuranji, dan Koto Tengah karena dekat dengan pantai barat Sumatera. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 3**.



Gambar 4. Peta kemiringan lereng Kota Padang.



Gambar 5. Peta tutupan lahan Kota Padang

**Tabel 3.** Parameter kemiringan lereng.

Kemiringan Lereng	Skor	Bobot (%)	Luas (Ha)
Sangat Curam	1		552
Curam	3		6280
Sedang	5	25	13717
Datar	7		14842
Sangat Datar	9		19470

Sumber: Sitorus et al., (2021)

*Tutupan Lahan (Land Cover)*

Peta tutupan lahan diperoleh dari pengolahan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia. Peta tutupan lahan terbagi menjadi 11 (sebelas) kelas tutupan lahan sebagai berikut: Hutan Lahan Kering Primer, Hutan Lahan Kering Sekunder, Hutan Mangrove Sekunder, Belukar, Pemukiman, Pertanian Lahan Kering, Pertanian Lahan Kering Campur, Tanah Terbuka, Sawah, Bandara / Pelabuhan, dan Pertambangan. Peta tutupan lahan ini merupakan hasil fitur atau *toolbox clip* dari peta tutupan lahan Sumatera Barat pada tahun 2019. Tutupan lahan berperan terhadap terjadinya banjir (Wardhana, Astuti, & kurnia, 2018). Semakin banyak tutupan lahan seperti sawah, pemukiman, dan pertambangan, maka semakin cepat terjadinya banjir karena area resapan air menjadi berkurang. Sebaliknya, jika tutupan lahan berupa vegetasi semakin banyak, maka akan mengurangi potensi terjadinya banjir.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa tutupan lahan di Kota Padang didominasi hutan lahan kering primer dengan luas wilayah sebesar 15548 Ha. Tutupan lahan berupa hutan lahan

kering primer mencangkup sebagian wilayah kecamatan Koto Tengah, Pauh, Lubuk Kilangan, dan Bungus Teluk Kabung. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 4** sebagai berikut.

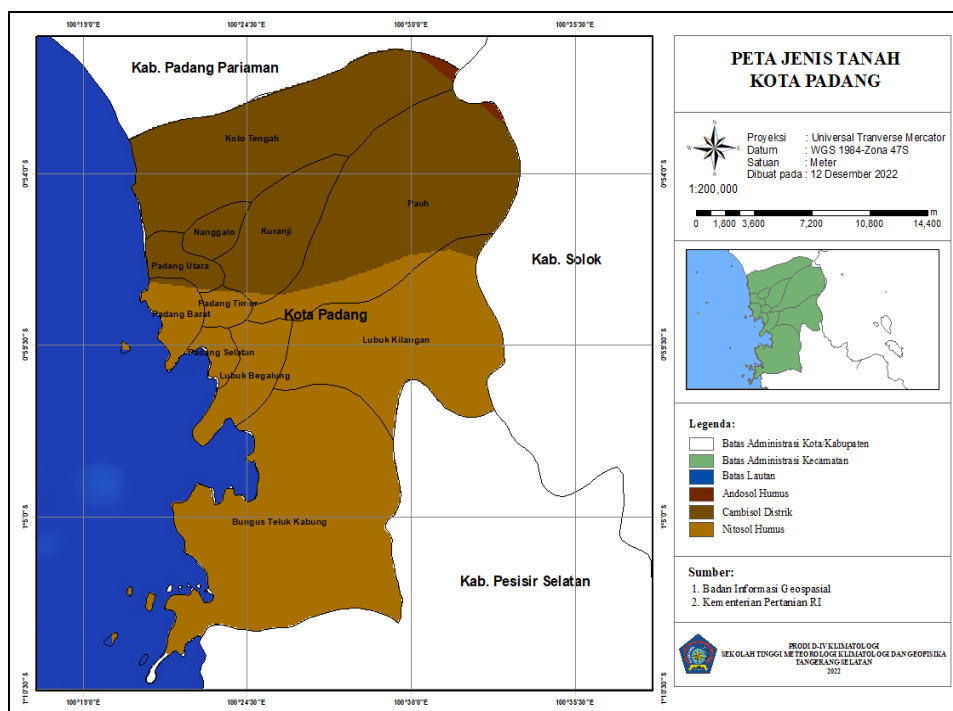
**Tabel 4.** Parameter tutupan lahan.

Tutupan Lahan	Skor	Bobot (%)	Luas (Ha)
Hutan Lahan Kering Primer	1		15548
Hutan Lahan Kering Sekunder	1		8426
Hutan Mangrove Sekunder	3		72
Belukar	5		6200
Pemukiman	7	25	6079
Pertanian Lahan Kering	7		4226
Pertanian Lahan Kering Campur	7		5773
Tanah Terbuka	9		118
Sawah	9		4621
Bandara / Pelabuhan	9		115
Pertambangan	9		339

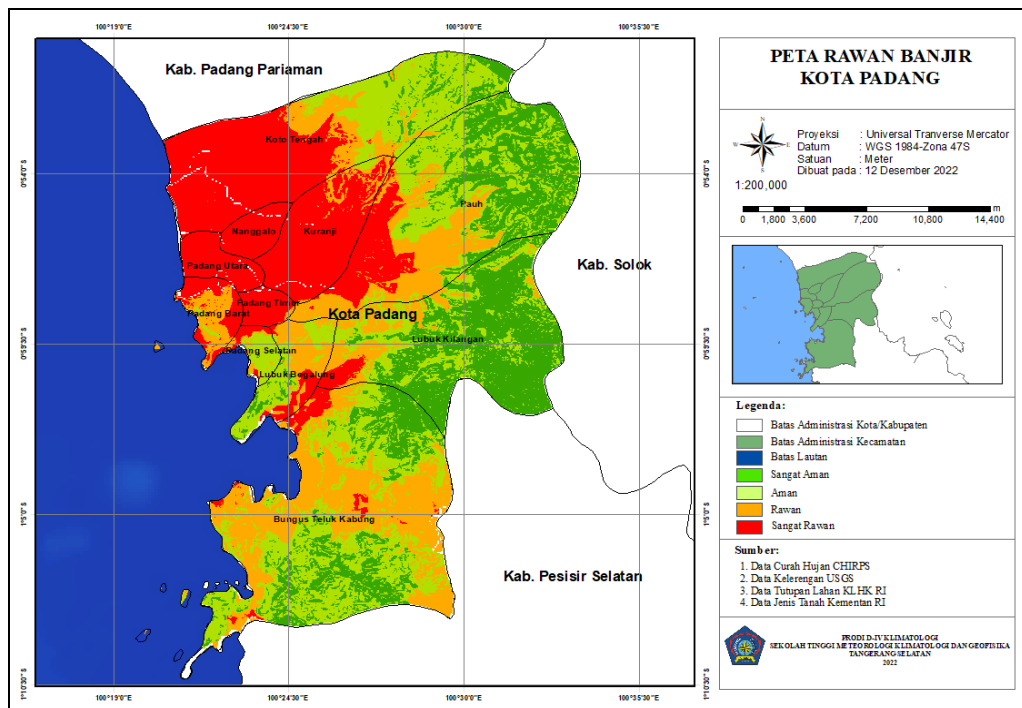
Sumber: Ramadhan et al., (2022)

*Jenis Tanah (Soil Type)*

Peta Jenis tanah diperoleh dari pengolahan data Kementerian Pertanian (Kementan) Republik Indonesia. Fitur atau *toolbox* pengolahan data yang digunakan adalah *clip* untuk memotong peta jenis tanah seluruh Indonesia menjadi spesifik untuk wilayah Kota Padang. Jenis tanah berpengaruh terhadap terjadinya banjir karena sifat infiltrasi air dan permeabilitas yang berbeda-beda (Arianto, Suryadi, & Perwitasari, 2021).



**Gambar 6.** Peta jenis tanah Kota Padang.



**Gambar 7.** Peta rawan banjir Kota Padang.

Berdasarkan **Gambar 6** menunjukkan bahwa jenis tanah di Kota Padang didominasi oleh tanah nitosol humus dengan luas wilayah sebesar 29929 Ha. Jenis tanah nitosol humus mencakup sebagian besar wilayah kecamatan Padang Barat, Padang Timur, Padang Selatan, Lubuk Begalung, Lubuk Kilangan, dan Bungus Teluk Kabung. Karakteristik dari tanah nitosol humus yaitu bertekstur halus dan dalam, berdrainase baik serta bersifat sedikit asam sampai kuat (UNESCO, 1979a). Pemberian skor pada jenis tanah didasarkan pada kemampuan tanah untuk menyerap air. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5** sebagai berikut.

**Tabel 5.** Parameter jenis tanah.

Jenis Tanah	Skor	Bobot (%)	Luas (Ha)
Andosol Humus	1		221
Nitosol Humus	3	25	29929
Kambisol Distrik	5		25055

Sumber: UNESCO, (1979b)

#### Peta Rawan Banjir

Peta rawan banjir diperoleh dari total skoring empat parameter sebelumnya yaitu curah hujan, kemiringan lereng, tutupan lahan, dan jenis tanah dengan pembobotan yang sama besar. Fitur atau *toolbox* yang digunakan dalam pengolahan peta rawan banjir yaitu *intersect* dan *dissolve* untuk menggabungkan total nilai serta menganalisis secara spasial parameter yang dipilih. Peta zona rawan banjir dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode yang sama, mengklasifikasikan wilayah rawan banjir kedalam

tiga kelas yaitu Rawan Tinggi, Rawan Sedang, dan Rawan Rendah, memberikan hasil bahwa di kota padang 9.513 ha wilayahnya merupakan wilayah dengan kategori rawan tinggi banjir, 10.220 ha adalah wilayah rawan sedang, dan 49.745 adalah wilayah rawan rendah banjir (Iswandi, 2017). Berdasarkan gambar 7 dengan membagi tingkat kerawanan kedalam 4 kategori yaitu Sangat Aman, Aman, Rawan, dan Sangat Rawan, menunjukkan bahwa tingkat kerawanan banjir di Kota Padang didominasi oleh tingkat aman dengan luas wilayah sebesar 15654.4 ha. Semakin tinggi total nilai skoring dan pembobotan, maka semakin tinggi pula tingkat kerawanan banjir. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Tingkat kerawanan banjir.

Tingkat Kerawanan	Total Nilai	Luas (Ha)
Sangat Aman	1,00-3,00	12886
Aman	3,01-4,50	15654
Rawan	4,51-6,00	12059
Sangat Rawan	6,00-8,00	13374

Sebaran tingkat kerawanan banjir dapat dilakukan dengan menghitung luas wilayah banjir per kecamatan untuk memetakan daerah rawan banjir maupun daerah sangat rawan banjir. Berdasarkan **Tabel 7** menunjukkan bahwa seluruh kecamatan di Kota Padang sangat rawan terhadap banjir dengan luas sebaran yang bermacam-macam. Kecamatan Naggalo menjadi daerah yang memiliki luas sebaran sangat rawan banjir paling besar dengan nilai 884 Ha atau sama dengan luas kecamatan itu sendiri. Kemiringan lereng yang sangat rendah serta curah hujan yang sangat



tinggi menjadi faktor utama kecamatan Padang Utara dan Naggalo menjadi daerah yang sangat rawan banjir. Di sisi lain, Kecamatan Bungus Teluk Kabung menjadi daerah dengan luas sebaran sangat rawan banjir yang paling kecil.

**Tabel 7.** Sebaran wilayah kategori "Sangat Rawan" Banjir.

Kecamatan	Luas Kecamatan (Ha)	Luas Sebaran (Ha)
Bungus Teluk Kabung	15311	443
Lubuk Kilangan	8951	266
Lubuk Begalung	2073	297
Padang Selatan	621	130
Padang Timur	599	571
Padang Barat	1284	584
Padang Utara	1043	794
Naggalo	884	884
Kuranji	3471	3075
Pauh	11310	1522
Koto Tengah	9774	5001

Luas sebaran sangat rawan banjir di Kecamatan Bungus Teluk Kabung sebesar 443 Ha dari total luas kecamatan sebesar 15331 Ha. Faktor utama luas sebaran sangat rawan banjir yang kecil pada kecamatan Bungus Teluk Kabung yaitu kemiringan lereng yang curam serta tutupan lahan masih didominasi oleh hutan lahan kering primer dan hutan lahan kering sekunder. Berdasarkan **Tabel 8** menunjukkan bahwa beberapa kecamatan di Kota Padang rawan terhadap banjir dengan luas sebaran yang bervariasi.

**Tabel 8.** Sebaran Wilayah Kategori "Rawan" Banjir

Kecamatan	Luas Kecamatan (Ha)	Luas Sebaran (Ha)
Bungus Teluk Kabung	15311	5567
Lubuk Kilangan	8951	1010
Lubuk Begalung	2073	734
Padang Selatan	621	91
Padang Timur	599	28
Padang Barat	1284	585
Padang Utara	1043	300
Naggalo	884	0
Kuranji	3471	321
Pauh	11310	2593
Koto Tengah	9774	1137

Kecamatan Padang barat menjadi daerah yang memiliki luas sebaran rawan banjir terbesar dengan nilai 585 Ha atau hampir setengah dari total kecamatannya sebesar 1284 Ha. Curah hujan yang sangat tinggi serta tutupan lahan didominasi pemukiman dan belukar menjadi penyebab utama Kecamatan Padang Barat termasuk daerah yang rawan banjir. Disamping itu, Kecamatan Lubuk Kilangan menjadi daerah dengan luas sebaran rawan banjir terkecil dengan nilai 1010 Ha dari

total luas kecamatan sebesar 8951 Ha. Curah hujan yang rendah, kemiringan lereng yang sangat curam, serta tutupan lahan didominasi oleh hutan lahan kering primer dan hutan lahan kering sekunder masih menjadi faktor utama luas sebaran rawan banjir di Kecamatan Lubuk Kilangan bernilai kecil.

*Validasi Data*

Sebagai bahan validasi data, penelitian ini menggunakan data kejadian banjir di kota padang berdasarkan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD). Dari data tersebut terlihat bahwa hasil pemetaan daerah rawan banjir yang dihasilkan memiliki kesesuaian dengan data kejadian banjir BPBD (BPBD, 2021). BPBD Kota Padang mencatat sejumlah kelurahan di delapan kecamatan di Kota Padang yang sering terdampak banjir yaitu sebagai berikut : Kecamatan Koto Tengah: Kelurahan Lubuk Buaya, Air Pacah, Batipuh Panjang, Dadok Tunggul Hitam dan Padang Sarai; Kecamatan Lubuk Begalung: Kelurahan Koto Baru Nan XX, Pengambiran dan Tanjung Aur Nan XX; Kecamatan Padang Timur: Kelurahan Gantiang Parak Gadang, Sawahan, Batang Arau dan Jati; Kecamatan Padang Selatan: Kelurahan Rawang dan Seberang Padang. Selain itu wilayah terdampak lainnya yakni Kelurahan Indarung di Kecamatan Lubuk Kilangan; Kelurahan Gunung Sarik di Kuranji; Kelurahan Batang Arau di Padang Selatan; dan Kelurahan Tabiang Banda Gadang di Naggalo.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan peta hasil CMA untuk menentukan daerah rawan banjir di kota padang, menunjukkan bahwa sebagian wilayah utara Kota Padang diantaranya Koto Tengah, Naggalo, Padang Utara, Padang Timur, Padang Barat, dan Sebagian besar wilayah Kuranji memiliki indikator warna merah yang menyatakan tingkat kerawanan yang sangat rawan untuk terdampak bencana banjir. Nilai tersebut diperoleh dari pembobotan pada setiap parameter yang menjadi acuan. Pada wilayah dengan curah hujan yang tinggi, kemiringan lereng yang datar, tutupan lahan yang didominasi oleh pemukiman menandakan vegetasi yang sangat tidak rapat, dan jenis tanah Kambisol Distrik dengan porositas yang rendah mengakibatkan daerah tersebut memiliki kerawanan yang tinggi terhadap bencana banjir. Fenomena tersebut bisa terjadi karena air dari curah hujan yang tinggi berkumpul pada tempat dengan kemiringan yang datar, lalu air tersebut tidak dapat diserap oleh dataran karena jenis tanahnya yang memiliki porositas rendah dan vegetasinya yang kurang rapat sehingga air akan menggenang ketika terjadi hujan yang tinggi.



Contohnya wilayah Padang Utara, selatan Koto Tengah, dan Nanggalo.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih Kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian berlangsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Angelina, D. A. C., Wiguna, P. P. K., & Sedana, I. W. (2022). *Analisis Spasial Faktor Prioritas Daerah Rawan Banjir di Kota Denpasar Provinsi Bali*. 11(2).
- Arianto, W., Suryadi, E., & Perwitasari, S. D. N. (2021). Analisis Laju Infiltrasi dengan Metode Horton Pada Sub DAS Cikeruh. *Jurnal Keteknikian Pertanian Tropis dan Biosistem*, 9(1), 8–19. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2021.009.01.02>
- BPBD. (2021). <https://news.detik.com/berita/d-5748140/8-kecamatan-di-kota-padang-terendam-banjir-418-warga-dieвакуasi>.
- Findayani, A. (2015). Kesiap Siagaan Masyarakat Dalam Penanggulangan Banjir di Kota Semarang. *JURNAL GEOGRAFI: Media Infomasi Pengembangan Ilmu dan Profesi Kegeografian*, 12(1), 103–114.
- Iswandi, U. (2017). Prioritas pengembangan kawasan permukiman pada wilayah rawan banjir di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. *Majalah Ilmiah Globe*, 19(1), 83-94.
- Pratomo, A. (2008). *Analisis Kerentanan Banjir Di Daerah Aliran Sungai Sengkarang Kabupaten Pekalongan Provinsi Jawa Tengah Dengan Bantuan Sistem Informasi Geografis*. UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA, FAKULTAS GEOGRAFI.
- Purnomo, H. (2018). Aplikasi Metode Interpolasi Inverse Distance Weighting Dalam Penaksiran Sumberdaya Laterit Nikel (Studi Kasus Di Blok R, Kabupaten Konawe-Sulawesi Tenggara). *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 10(1), 49. <https://doi.org/10.28989/angkasa.v10i1.221>
- Putra, I. G. N. A. W., & Mandala, I. G. N. P. (2021). Upaya Cepat Dalam Mengatasi Banjir Akibat Penumpukan Sampah Di Sungai Saba Desa Pengastulan, Seririt. *PARTA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 29–35.
- Putri, S. E., Lanin, D., Umar, G., & Gusman, M. (2023). Kota Padang: Identifikasi Potensi Bencana Banjir dan Upaya Mitigasi. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Nusantara (JIMNU)*, 1(3), 116-122. <https://doi.org/10.59435/jimnu.v1i3.56>
- Ramadhan, A. G., Handayani, H. H., & Darminto, M. R. (2022). Analisis Peta Rawan Banjir Metode Pembobotan dan Peta Genangan Banjir Metode NDWI terhadap Kejadian Banjir (Studi Kasus: Kabupaten Sidoarjo). *Geoid*, 17(2), 232-244.
- Rosyidie, A. (2013). Banjir: Fakta dan Dampaknya, Serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan. *Journal of Regional and City Planning*, 24(3), 241. <https://doi.org/10.5614/jpww.2013.24.3.1>
- Sitorus, I. H. O., Bioresita, F., & Hayati, N. (2021). Analisa Tingkat Rawan Banjir di Daerah Kabupaten Bandung Menggunakan Metode Pembobotan dan Scoring. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1), C14–C19. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.60082>
- Sugestiadi, M. I., & Basuki, Y. (2019). Dinamika Pertumbuhan Perkotaan Di Kawasan Perkotaan Surakarta. *Seminar Nasional Geomatika*, 3, 609. <https://doi.org/10.24895/SNG.2018.3-0.1019>
- Sukowati, K. A. D., & Kusratmoko, E. (2019). Analysis of the distribution of flood area in Karawang Regency using SAR Sentinel 1A image. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan / Suripin*. Yogyakarta: Andi.
- UNESCO. (1979a). FAO-Unesco Soil map of the world 1: 5 000 000 (23101363-7). Retrieved from Place de Fontenoy, 75700, Paris: UNESCO.
- UNESCO. (1979b). *Soil map of the world. 9: Southeast Asia: [Erläuterungen]*. (1979). Paris: UNESCO.
- Utama, L., & Naumar, A. (2015). Kajian Kerentanan Kawasan Berpotensi Banjir Bandang Dan Mitigasi Bencana Pada Daerah Aliran Sungai (Das) Batang Kuranji Kota Padang. *JURNAL REKAYASA SIPIL*, 9.
- Wardhana, P. N., Astuti, S. A. Y., & Kurnia, D. (2018). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Banjir Di Das Winongo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Program Studi Teknik Sipil · Fakultas Teknik*, 22(2), 157–164.
- Yudanegara, R. A., Astutik, D., Hernandi, A., Soedarmodjo, T. P., & Alexander, E. (2021). Penggunaan Metode Inverse Distance Weighted (Idw) Untuk Pemetaan Zona Nilai Tanah (Studi Kasus: Kelurahan Gedong Meneng, Bandar Lampung). *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 4(2), 85–90. <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2021.12534>

*Halaman ini sengaja kami kosongkan*

# ESTIMASI MAGNITUDO GEMPA BUMI ALOR 4 NOVEMBER 2015 DENGAN DATA GNSS CORS 1 HZ

(4<sup>th</sup> November 2015 Alor Earthquake Magnitude Estimation using GNSS CORS 1 Hz Data)

**Muhammad Al Kautsar<sup>1</sup>, Oktadi Prayoga<sup>1</sup>, Sidik Tri Wibowo<sup>1</sup>, Ajat Sudrajat<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Badan Informasi Geospasial (BIG), Indonesia

<sup>2</sup>Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Indonesia

Jl. Raya Jakarta-Bogor Km 46 Cibinong 16911 Jawa Barat

Email: [muhammad.al@big.go.id](mailto:muhammad.al@big.go.id)

Diterima: 30 September 2023; Direvisi: 9 Oktober 2023; Ditetujui untuk Dipublikasikan: 29 November 2023

## ABSTRAK

Parameter estimasi magnitudo gempa bumi berfungsi sebagai peringatan bahaya bagi masyarakat yang terkena dampak dan sebagai parameter respon terhadap bahaya bencana bagi pemerintah. Instansi yang berwenang mengumumkan parameter gempa bumi di Indonesia adalah Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Akan tetapi, terdapat perbedaan rilis saat gempa Alor 4 November 2015 terjadi. BMKG merilis gempa berkekuatan Mw6,2, sedangkan United States Geological Survey (USGS), GeoForschungsZentrum (GFZ), dan Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) merilis Mw6,5. Perbedaan hasil analisis magnitudo gempa bumi dapat menyebabkan perbedaan respon saat terjadi bencana. Pada sistem peringatan gempa di BMKG, sensor yang digunakan adalah seismometer dan akselerometer. Sensor seismometer jika terjadi gempa besar akan mengalami saturasi karena amplitudonya melebihi rentang dinamis alat. Pada berbagai penelitian terkini, sensor *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) digunakan untuk memperkirakan besaran gempa bumi, karena mempunyai perkiraan slip yang akurat jika terjadi gempa besar. Penelitian ini menggunakan data GNSS CORS dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan interval 1 Hz. Stasiun GNSS CORS yang digunakan adalah CORS Kalabahi (CKAL), CORS Lewoleba (CLWB), dan CORS Kupang (CKUP) dengan jarak ke episenter gempa bumi masing-masing 47,04 km, 169,74 km, dan 264,82 km. Metode perhitungan pergeseran GNSS CORS memakai metode *Precise Point Positioning* (PPP) dan perhitungan estimasi magnitudo gempa bumi menggunakan metode *Peak Ground Displacement* (PGD) *Scaling*. Dari metode tersebut menghasilkan estimasi magnitudo gempa bumi Alor sebesar Mw6,58. *Root Mean Square Error* (RMSE) penelitian ini terhadap hasil rilis BMKG adalah 0,38 sedangkan RMSE terhadap hasil rilis USGS, GFZ dan Global CMT adalah 0,08.

**Kata kunci:** Gempa bumi, GNSS CORS, PPP

## ABSTRACT

*Earthquake magnitude parameter functions as a danger warning for affected communities and as a response parameter to disaster hazards for the government. The agency authorized to announce earthquake parameters in Indonesia is the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG). There were differences in earthquake releases when the November 4 2015 Alor Earthquake occurred. BMKG released an earthquake magnitude Mw6.2. Meanwhile United States Geological Survey (USGS), GeoForschungsZentrum (GFZ), and Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) released Mw6.5, differences in the results of earthquake magnitude can cause differences in responses when a disaster occurs. In the earthquake warning system at BMKG, the sensors used are seismometers and accelerometers. If a large earthquake occurs, the seismometer sensor will experience saturation because the amplitude exceeds the dynamic range of the instrument. In various recent studies, Global Navigation Satellite Systems (GNSS) sensors are used to estimate the magnitude of earthquakes because they have accurate slip estimates if a large earthquake occurs. This research uses GNSS CORS data from the Geospatial Information Agency (BIG) with 1 Hz intervals. The GNSS CORS stations used are CORS Kalabahi (CKAL), CORS Lewoleba (CLWB), and CORS Kupang (CKUP) with distances to the earthquake epicenter of 47.04 km, 169.74 km, and 264.82 km, respectively. The GNSS CORS displacement calculation method uses the Precise Point Positioning (PPP) method and the estimated earthquake magnitude calculation uses the Peak Ground Displacement (PGD) Scaling. From that methods, estimated earthquake magnitude of Alor Earthquake was Mw6.58. The Root Mean Square Error (RMSE) of this research with BMKG release is 0.38, while the RMSE with USGS, GFZ and Global CMT release is 0.08.*

**Keywords:** Earthquake, GNSS CORS, PPP

## PENDAHULUAN

Tren global dalam penanganan suatu bencana menunjukkan bahwa terjadi tren: bertambahnya penduduk terdampak, bertambahnya kematian, dan bertambahnya kerugian ekonomi yang terjadi (Wallemacq & Below, 2018). Sedangkan bencana paling merugikan, yaitu akibat bencana geofisik (gempa bumi dan tsunami), jika dibandingkan dengan jenis-jenis bencana yang lain, seperti: bencana hidrologi, meteorologi, maupun klimatologi (UNDRR & CRED, 2020). Dalam beberapa tahun terakhir bencana gempa bumi dan tsunami terjadi di wilayah perkotaan yang menyebabkan korban jiwa dan kerugian fisik. Bencana tersebut seperti gempa bumi Mw7,5 yang terjadi di Palu tahun 2018, menyebabkan 2045 orang meninggal dan 68,451 rumah rusak, kemudian gempa bumi Mw6,5 di Alor tahun 2015 yang menyebabkan 1098 rumah rusak dan tidak ada korban jiwa, dan gempa bumi Mw5,6 yang terjadi di Cianjur tahun 2021 menyebabkan 602 orang meninggal dan 56,311 rumah rusak (BNPB, 2015).

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) membuat sebuah resolusi yang disebut sebagai *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction* untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian fisik. Salah satu isi dalam piagam tersebut yaitu dorongan untuk membangun *Early Warning System* di setiap negara untuk setiap tipe bencana. Mitigasi bahaya gempa bumi melalui kehadiran *Early Warning System* gempa bumi sangat penting untuk melindungi infrastruktur, kepentingan ekonomi, dan kehidupan manusia di daerah yang aktif secara seismik, karena Indonesia dikelilingi oleh zona subduksi yang menjadi penyebab intensnya kegempaan dan aktivitas vulkanik.

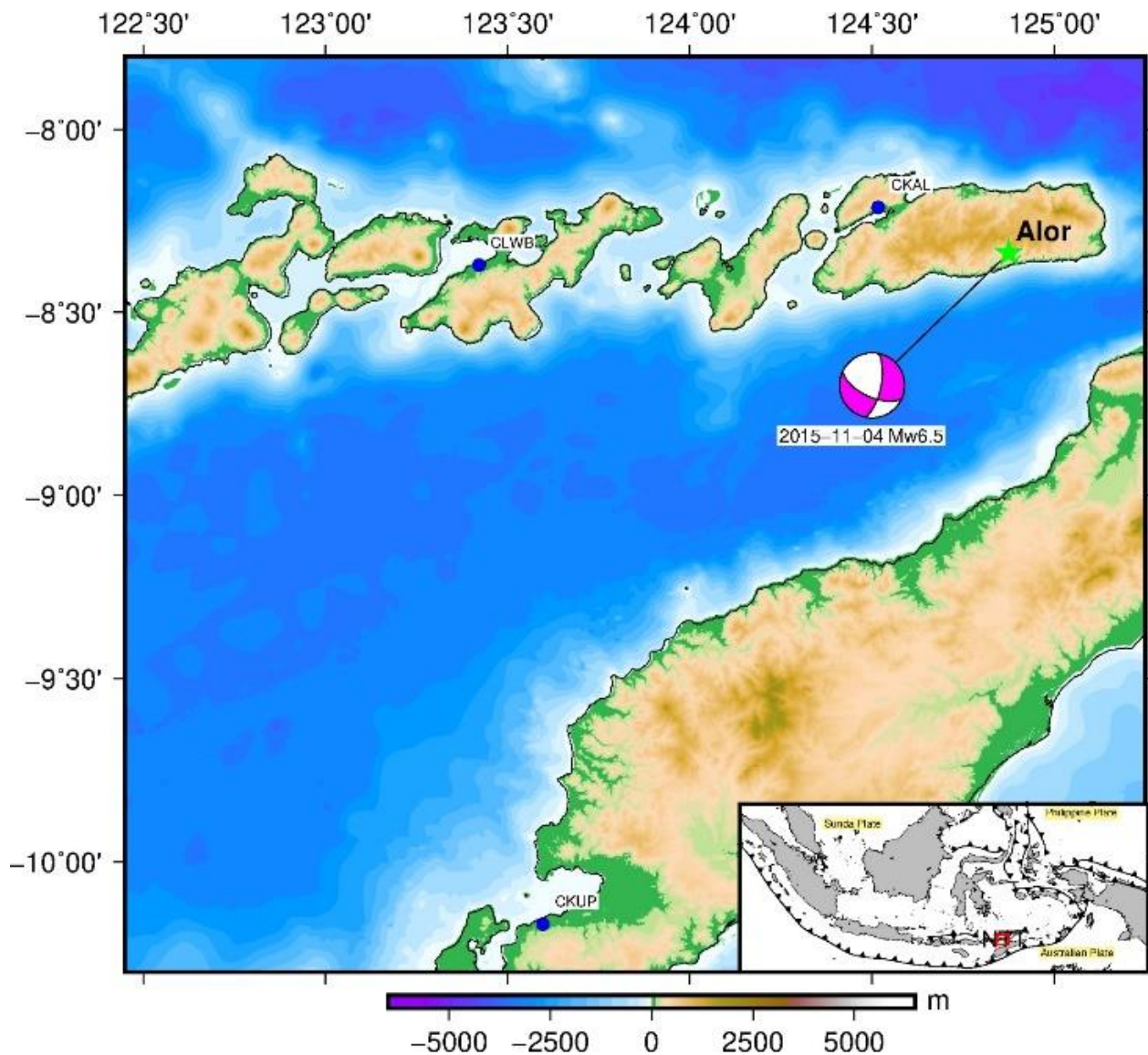
Menurut Lauterjung & Letz (2017), Indonesia sudah memiliki *Indonesia Tsunami Early Warning System* (InaTEWS) sejak tahun 2008 untuk bencana gempa bumi dan tsunami. InaTEWS dalam operasionalisasinya belum terdapat sensor *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), untuk mengkarakterisasi suatu gempa bumi. Sedangkan saat ini sensor utama dalam sistem InaTEWS adalah sensor seismometer dan akselerometer. Sensor stasiun pasang surut digunakan sebagai pemantau tinggi air laut untuk monitoring tsunami.

Seismometer mampu untuk mendeteksi kedatangan gelombang seismik awal yang kecil, memberikan kontribusi *timeline* peringatan gempa bumi, dan memungkinkan identifikasi gempa bumi kecil atau jauh sekalipun. Namun, seismometer

mengalami tantangan dalam mengkarakterisasi gempa besar dengan jarak yang dekat. Seismometer memiliki jangkauan dinamis yang terbatas, membuatnya tidak dapat sepenuhnya merekam guncangan tanah dengan amplitudo besar (Bock & Melgar, 2016; Melgar et al., 2015). Hal tersebut terjadi karena amplitudo getaran melebihi *dynamic range* dari seismometer, sehingga magnitudo gempa bumi yang dihasilkan tidak akurat. Sedangkan sensor GNSS menghasilkan estimasi slip yang akurat saat terjadi gempa bumi sehingga dapat menghasilkan estimasi magnitudo yang akurat (Blewitt et al., 2009; Bock et al., 2011; Crowell et al., 2013; Hardy et al., 2023; Meilano et al., 2022; Melgar et al., 2013, Melgar et al., 2015).

Magnitudo gempa bumi merupakan parameter terpenting untuk mengantisipasi tingkat keparahan dampak gempa bumi terhadap keselamatan publik. Untuk gempa bumi lepas pantai, magnitudo merupakan variabel prediktor utama untuk memperkirakan potensi tsunamigenik dari suatu gempa bumi (Tatehata, 1997). Gempa bumi zona subduksi *megathrust* berkekuatan besar dapat menyebabkan kerugian ekonomi dan manusia yang signifikan melalui kejadian tsunami. Jika gempa terjadi di darat, pengetahuan besarnya magnitudo ditambah dengan pemahaman rinci tentang geologi regional, akan memberikan perkiraan intensitas guncangan tanah. Sebagai akibat dari keterbatasan instrumentasi seismometer, magnitudo gempa besar biasanya *underestimate* secara *real-time* (Hoshiba & Ozaki, 2014).

Gempa bumi Alor, Nusa Tenggara Timur terjadi pada tanggal 4 November 2015 dengan pusat gempa bumi 8,20 LS 124,94 BT dan kedalaman 89 km yang terjadi pada pukul 03:44:19 UTC memiliki perbedaan magnitudo gempa bumi saat rilis. BMKG merilis kekuatan gempa sebesar Mw6,2 sedangkan United States Geological Survey (USGS), GeoForschungsZentrum (GFZ), dan Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) merilis kekuatan gempa sebesar Mw6,5. Perbedaan estimasi magnitudo gempa bumi tersebut dapat menyebabkan respon negatif terhadap masyarakat dan pemerintah, terkait dengan bahaya. Perbedaan rilis magnitudo gempa bumi Alor 2015 menarik untuk dianalisis lebih lanjut, karena terjadi perbedaan selisih yang begitu signifikan. Kekuatan gempa bumi tercermin dari dampak yang terjadi, akibat gempa tersebut terjadi kerugian fisik yaitu 1.098 unit rumah rusak berat dan 64 bangunan fasilitas publik rusak ringan (BNPB, 2015).



**Gambar 1.** Mekanisme gempa bumi Alor dan lokasi GNSS CORS.

**METODE**

Pada penelitian ini metode penentuan posisi GNSS menggunakan *Precise Point Positioning* (PPP) melalui *software PRIDE Precise Point Positioning - Ambiguity Resolution* (PPP-AR) (Geng et al., 2019). PPP pertama kali diperkenalkan pada tahun 1997, yang sejatinya tidak berbeda dengan pengamatan *pseudorange* dan pengamatan data fase (Zumberge et al., 1997). Tidak seperti teknik penentuan posisi secara relatif pada umumnya, PPP tidak membutuhkan pengukuran atau observasi simultan pada dua *receiver*. PPP adalah pengembangan teknik penentuan posisi satu titik memakai data *pseudorange*, yang mengganti *broadcast satellite clock* dan orbit dengan estimasi yang presisi (Héroux & Kouba, 2001). Penggunaan pengamatan data fase, memperkenalkan fase awal ambiguitas yang tidak diketahui, menyebabkan beberapa puluh menit waktu konvergensi untuk solusi PPP. Konvergensi awal tergantung dari beberapa faktor, seperti geometri satelit, jumlah satelit terlihat,

kualitas pengamatan, dan lingkungan titik pengamatan. PPP dipertimbangkan sebagai teknik penentuan posisi GNSS yang efisien secara biaya yang memiliki akurasi horisontal dalam sub-sentimeter dengan hanya memakai satu *receiver* GNSS. Sedangkan kelemahan PPP dalam pengaplikasian secara *real time* yaitu membutuhkan waktu ~15 menit untuk mencapai *convergence time* (Alcay & Turgut, 2021), sehingga performa aliran data melalui sistem komunikasi data yang handal, mutlak diperlukan dalam pengaplikasian sistem *real time* PPP. Aplikasi penggunaan PPP sudah diaplikasikan pada sektor komersil, seperti: industri pertanian untuk pertanian yang presisi, kendaraan tanpa awak, dan aplikasi pemetaan (Bisnath & Gao, 2009).

Data GNSS CORS 1 Hz diolah secara *post processing* PPP dengan menyertakan *data satellite orbit*, *data satellite clock*, *data Earth Rotation Parameter* (ERP), *data Signal Bias*, dan *data Attitude Quaternions* (ORBEX). Data-data tersebut

dapat diperoleh dari GNSS *analysis center*. Daftar *analysis center* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Penyedia data *post processing* PPP.

Institusi	Singkatan	Negara
Natural Resources Canada	EMR	Kanada
Wuhan University	WHU	China
Geodetic Observatory Pecny	GOP-RIGTC	Ceko
Space geodesy team of the CNES	GRG	Perancis
European Space Agency	ESA/ESOC	Jerman
Geo Forschungs Zentrum	GFZ	Jerman
Center for Orbit Determination in Europe	CODE	Swiss
Jet Propulsion Laboratory	JPL	Amerika Serikat
Massachusetts Institute of Technology	MIT	Amerika Serikat
National Geodetic Survey	NGS	Amerika Serikat
Scripps Institution of Oceanography	SIO	Amerika Serikat
U.S. Naval Observatory	USNO	Amerika Serikat

Untuk menghitung magnitudo gempa bumi menggunakan metode *Peak Ground Displacement* (PGD) yang diperoleh dari nilai pergeseran dinamis maksimum dari GNSS pada saat terjadi gempa bumi (*coseismic*). Nilai PGD didapatkan dari nilai pergeseran dari tiga komponen GNSS menggunakan **Persamaan 1**.

$$PGD = \max \sqrt{N_d(t)^2 + E_d(t)^2 + U_d(t)^2} \dots\dots\dots(1)$$

di mana  $N_d(t)$ ,  $E_d(t)$ , dan  $U_d(t)$  adalah pergeseran komponen utara-selatan, timur-barat, dan naik-turun dari GNSS. Pada penelitian ini menggunakan koefisien regresi dari Ruhl et al. (2019) untuk menghitung magnitudo gempa bumi karena penelitian dari Ruhl et al. (2019) menggunakan data gempa bumi lebih banyak jika dibandingkan dengan penelitian dari Melgar et al. (2015) dan penelitian Crowell et al. (2016).

$$\log(PGD) = A + B \times Mw + C \times Mw \times \log(R) \dots\dots(2)$$

**Persamaan 2** yaitu: persamaan untuk menghitung magnitudo gempa bumi.  $R$  merupakan jarak dari stasiun ke *epicenter* gempa bumi, sedangkan  $A$ ,  $B$ , dan  $C$  adalah koefisien regresi. Terdapat tiga koefisien regresi untuk menghitung nilai  $Mw$ , ketiga koefisien regresi tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gempa bumi di Pulau Alor menyebabkan guncangan dengan variasi skala guncangan V-VI MMI. Daerah yang mengalami guncangan paling besar berada di Pulau Alor bagian timur dengan skala guncangan VI MMI. Skala MMI tersebut dapat menggambarkan wilayah yang paling terdampak akibat gempa bumi dan sangat berguna untuk keperluan tahapan *response* dalam manajemen kebencanaan.

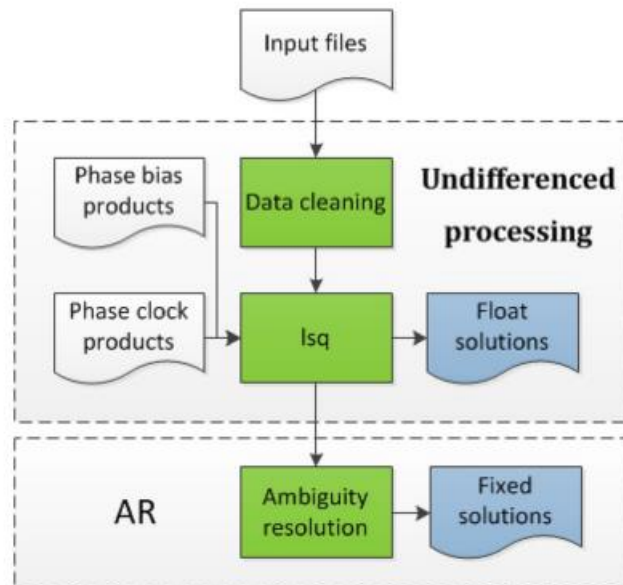
Berdasarkan laporan Tim Reaksi Cepat Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada 5 November 2015, satu orang mengalami luka ringan di Desa Maritang, Kecamatan Alor dan 2 luka berat masing-masing di Desa Maritang dan Subo. Sementara itu, data rumah rusak ringan antara lain 612 unit di Kecamatan Alor Timur, 3 unit di Alor Selatan, 33 unit di Alor Timur Laut, 1 unit di Lembur, 10 unit di Teluk Mutiara, dan 8 unit di Alor Tengah Utara. Rumah rusak berat mencakup 259 unit di Kecamatan Alor Timur, 1 unit di Alor Selatan, 20 unit di Alor Timur Laut, dan 3 unit di Lembur. Selain rumah rusak, 10 unit bangunan fasilitas pendidikan di Kecamatan Alor Timur rusak berat dan 1 unit di Alor Selatan rusak ringan. Demikian juga fasilitas kesehatan tercatat 10 unit bangunan di Alor Timur rusak berat. Pemerintah setempat mencatat fasilitas ibadah 19 unit di Alor Timur dan 1 unit di Alor Timur Laut rusak berat. Fasilitas ibadah yang mengalami rusak ringan antara lain 1 unit di Alor Timur, 4 di Alor Timur Laut, dan 2 di Alor Tengah Utara (BNPB, 2015).

Stasiun GNSS CORS yang digunakan adalah CORS Kalabahi (CKAL), CORS Lewoleba (CLWB), dan CORS Kupang (CKUP) dengan jarak ke *epicenter* gempa bumi masing-masing 47,04 km, 169,74 km, dan 264,82 km. Pergeseran dari ketiga stasiun GNSS CORS tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4**. Setelah mendapatkan nilai pergeseran, maka estimasi magnitudo gempa bumi dapat dihitung dengan metode PGD *Scaling*. Hasil perhitungan magnitudo gempa bumi dapat dilihat pada **Gambar 5**.





**Gambar 2.** Stasiun GNSS CORS CKAL (A), CLWB (B), dan CKUP (C).



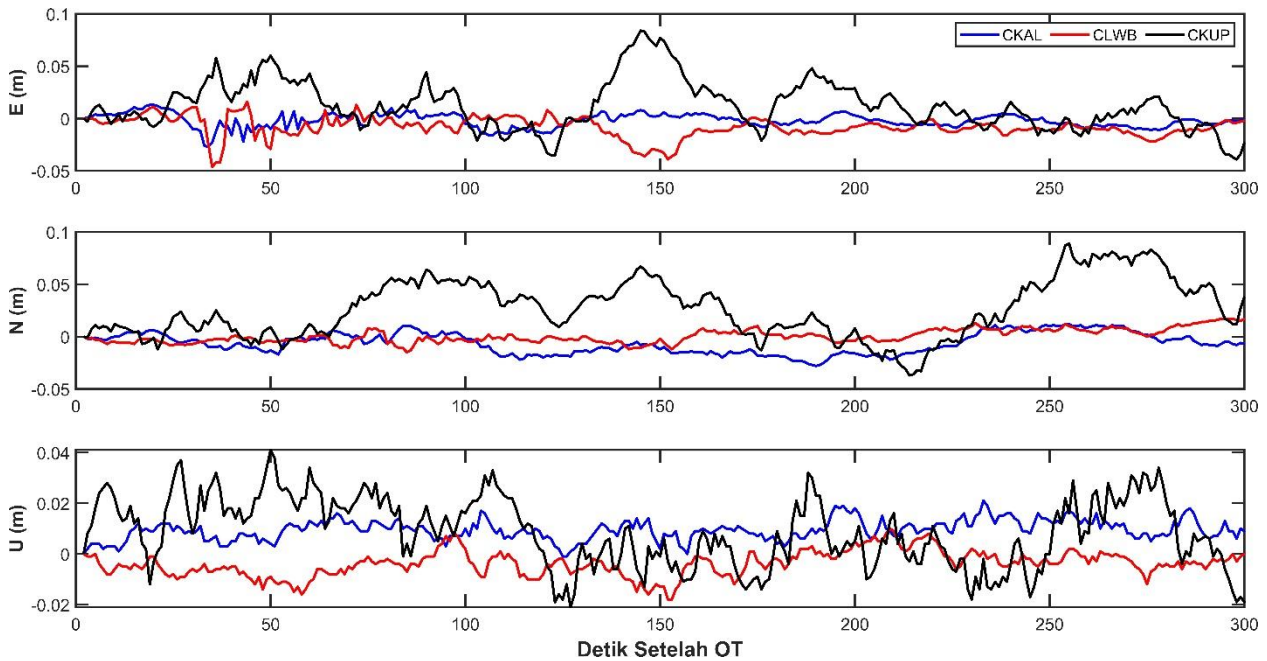
Sumber: Geng et al., (2019)

**Gambar 3.** Struktur PRIDE PPP-AR.

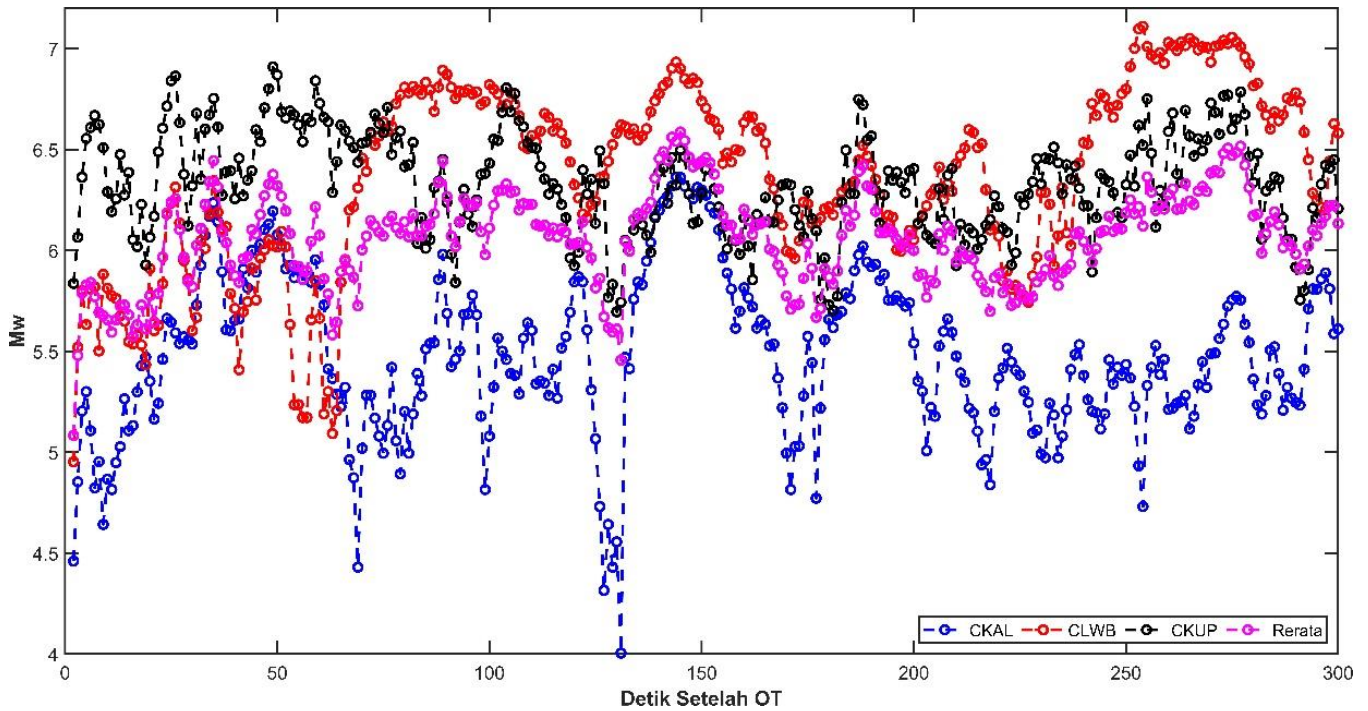
**Tabel 2.** Nilai koefisien regresi.

A	B	C	Penelitian	Satuan PGD
-5,919	1,009	-0,145	Ruhl et al. (2019)	m
-4,434	1,047	-0,138	Melgar et al. (2015)	cm
-6,687	1,500	-0,214	Crowell et al. (2016)	cm





Gambar 4. Pergeseran ketiga stasiun GNSS CORS.



Gambar 5. Nilai magnitudo gempa bumi.

Tabel 3. Perbandingan nilai magnitudo gempa bumi Alor (Mw).

BMKG	USGS	GFZ	Global CMT	Penelitian Ini
6,2	6,5	6,5	6,5	6,58

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa magnitudo gempa bumi rerata maksimal yaitu sebesar Mw6,58 pada detik ke-145 setelah gempa bumi terjadi. Tabel perbandingan rilis magnitudo gempa bumi Alor dari berbagai *analysis center* dapat dilihat pada **Tabel 3**. *Root Mean Square Error* (RMSE) penelitian ini terhadap hasil BMKG adalah 0,38. Sedangkan RMSE terhadap hasil USGS, GFZ dan Global CMT adalah 0,08. Sensor seismik yang

berada di dekat episenter gempa bumi kemungkinan terjadi saturasi akibat guncangan gempa bumi yang kuat, sehingga menyebabkan *underestimate* nilai magnitudo gempa bumi yang dirilis oleh BMKG.

### KESIMPULAN

Perhitungan magnitudo gempa bumi Alor yang terjadi pada tanggal 4 November 2015 berdasarkan data GNSS CORS 1 Hz menghasilkan magnitudo gempa bumi sebesar Mw6,58. Hasil magnitudo gempa bumi tersebut dihasilkan pada detik ke-145 dari waktu gempa bumi. Dengan hasil tersebut dapat menunjukkan bahwa data GNSS CORS 1 Hz

dapat meningkatkan akurasi estimasi magnitudo gempa bumi. Pemanfaatan data pergeseran akibat gempa bumi melalui data GNSS CORS 1 Hz secara *real time* harus segera diintegrasikan ke sistem peringatan dini gempa bumi BMKG untuk menghasilkan magnitudo gempa bumi yang akurat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika BIG yang telah memberikan data GNSS CORS 1 Hz.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alcay, S., & Turgut, M. (2021). Evaluation of the positioning performance of multi-GNSS RT-PPP method. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06534-4>
- Bisnath, S., & Gao, Y. (2009). Current State of Precise Point Positioning and Future Prospects and Limitations. *International Association of Geodesy Symposia*, 133. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-85426-5\\_71](https://doi.org/10.1007/978-3-540-85426-5_71)
- BNPB. (2015). Data Bencana Indonesia. *Jakarta: BNPB*.
- Bock, Y., & Melgar, D. (2016). Physical applications of GPS geodesy: A review. In *Reports on Progress in Physics* (Vol. 79, Issue 10). <https://doi.org/10.1088/0034-4885/79/10/106801>
- Crowell, B. W., Schmidt, D. A., Bodin, P., Vidale, J. E., Gombert, J., Hartog, J. R., Kress, V. C., Melbourne, T. I., Santillan, M., Minson, S. E., & Jamison, D. G. (2016). Demonstration of the cascadia G-FAST geodetic earthquake early warning system for the Nisqually, Washington, Earthquake. *Seismological Research Letters*, 87(4). <https://doi.org/10.1785/0220150255>
- Geng, J., Chen, X., Pan, Y., Mao, S., Li, C., Zhou, J., & Zhang, K. (2019). PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. *GPS Solutions*, 23(4). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0888-1>
- Hardy, T., Susilo, Meilano, I., Abidin, H. Z., Rohadi, S., Sudrajat, A., Agung, R. K., Manurung, A. S., Susilanto, P., & Karnawati, D. (2023). Detection of Surface Displacement of Mentawai Earthquake Mw7.8, October 25, 2010, using High Rate (HR) 1Hz GNSS Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1127(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012015>
- Héroux, P., & Kouba, J. (2001). GPS precise point positioning using IGS orbit products. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26(6–8). [https://doi.org/10.1016/S1464-1895\(01\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1895(01)00103-X)
- Hoshiaba, M., & Ozaki, T. (2014). *Earthquake Early Warning and Tsunami Warning of the Japan Meteorological Agency, and Their Performance in the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-12233-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12233-0_1)
- Lauterjung, J., & Letz, H. (2017). 10 Years Indonesian Tsunami Early Warning System: Experiences, Lessons Learned and Outlook. *Potsdam: GFZ German Research Centre for Geosciences*.
- Melgar, D., Crowell, B. W., Geng, J., Allen, R. M., Bock, Y., Riquelme, S., Hill, E. M., Protti, M., & Ganas, A. (2015). Earthquake magnitude calculation without saturation from the scaling of peak ground displacement. *Geophysical Research Letters*, 42(13). <https://doi.org/10.1002/2015GL064278>
- Ruhl, C. J., Melgar, D., Allen, R. M., Geng, J., Goldberg, D. E., Bock, Y., Crowell, B. W., Barrientos, S., Riquelme, S., Baez, J. C., Cabral-Cano, E., Pérez-Campos, X., Hill, E. M., Protti, M., Ganas, A., Ruiz, M., Mothes, P., Jarrin, P., Nocquet, J. M., ... D'Anastasio, E. (2019). A global database of strong-motion displacement GNSS recordings and an example application to PGD scaling. *Seismological Research Letters*, 90(1). <https://doi.org/10.1785/0220180177>
- Tatehata, H. (1997). *The New Tsunami Warning System of the Japan Meteorological Agency*. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-8859-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-015-8859-1_12)
- UNDRR and CRED. (2020). Human cost of disasters (2000-2019). *Human Cost of Disasters*, 61.
- Wallemacq, P., & Below, R. (2018). Natural disasters in 2017: Lower mortality, higher cost. *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*, 50.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., & Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B3). <https://doi.org/10.1029/96jb03860>

*Halaman ini sengaja kami kosongkan*

# **ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN METODE SENTINEL-1 DUAL-POLARIZED WATER INDEX (SDWI) BERBASIS DATA MULTITEMPORAL PADA GOOGLE EARTH ENGINE**

*(Shoreline Change Analysis with Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI) Method based on Multitemporal Data using Google Earth Engine)*

**Nirmawana Simarmata<sup>1,2</sup> Zulfikar Adlan Nadzir<sup>1,3</sup> Dewi Nawang Sari<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

<sup>2</sup>Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

<sup>3</sup>Institute of Geodesy and Geoinformation, University of Bonn, Germany

Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365 Indonesia

E-mail: [nirmawana.simarmata@gt.itera.ac.id](mailto:nirmawana.simarmata@gt.itera.ac.id)

*Diterima: 15 September 2023; Direvisi: 28 Oktober 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 29 November 2023*

## **ABSTRAK**

Analisis dinamika garis pantai di Provinsi Lampung sangat penting karena pengaruhnya yang besar terhadap ekosistem pesisir dan pemukiman manusia. Dinamika ini, yang merupakan hasil dari fenomena alam yang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk erosi, sedimentasi, dan aktivitas manusia, menyoroti perlunya pemahaman yang komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola perubahan garis pantai secara temporal, mengidentifikasi daerah-daerah yang rentan terhadap perubahan garis pantai, dan memberikan kontribusi terhadap pengelolaan pesisir yang berkelanjutan. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Sentinel-1 tahun 2018 sampai 2023. Metode yang digunakan untuk mengekstrak garis pantai adalah *Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI)*. Hasil penelitian yang diperoleh adalah selama periode 2018 hingga 2023, panjang garis pantai mengalami fluktuasi yang signifikan. Mulai dari tahun 2018, panjang garis pantai mengalami penurunan berturut-turut hingga mencapai titik terendah pada tahun 2021 dengan 391,816 km. Namun, pada tahun 2022 terjadi peningkatan sebesar 8,583 km sedangkan pada tahun 2023 mengalami penurunan kembali yang menyebabkan panjang garis pantai berkurang sebesar 18,816 km, atau 4,70%. Perubahan ini dapat diatributkan oleh adanya akresi dan erosi, dimana di wilayah penelitian pada tahun 2022 terjadi akresi dengan peningkatan luas sebesar 118,383 ha. Sementara itu, pada tahun 2023, terjadi erosi yang signifikan, mengakibatkan pengurangan luas sebesar 116,496 Ha. Berdasarkan uji akurasi diatas didapatkan nilai  $Pr(a)$  sebesar 0,9375 dan nilai  $Pr(e)$  sebesar 0,5625. Nilai koefisien kappa Cohen sebesar 0,85714 dengan klasifikasi hasil uji akurasi kuat. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat reliabilitas data berkisar antara 64-81%.

**Kata kunci:** akresi, dinamika pesisir, erosi, radar

## **ABSTRACT**

*Shoreline dynamics analysis in Lampung Province is vital due to its profound influence on coastal ecosystems and human settlements. These dynamics, which result from natural phenomena that can be influenced by various factors, including erosion, sedimentation, and human activities, highlight the need for a comprehensive understanding. This research aims to analyze temporal patterns of shoreline change, identify areas vulnerable to shoreline change, and contribute to sustainable coastal management. The data used in this study are Sentinel-1 images from 2018 to 2023. The Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI) was used to extract the coastline. The results show that during 2018–2023, the length of the coastline experienced significant fluctuations. Starting from 2018, the length of the coastline decreased successively until it reached its lowest point in 2021 with 391.816 km. However, it increased in 2022 by 8.583 km, while in 2023, there again was a decrease, causing the length of the coastline to decrease by 18.816 km or 4.70%. This change can be caused by erosion and accretion; in this region, in 2022, accretion occurred with an increase in the area of 118.383 ha. Meanwhile, in 2023, significant erosion occurred, resulting in a reduction in the area of 116.496 hectares. Based on the accuracy test above, the  $Pr(a)$  value is 0.9375 and the  $Pr(e)$  value is 0.5625. Cohen's kappa coefficient value is 0.85714, with a classification of strong accuracy test results. This shows that the data reliability value ranges from 64 to 81%.*

**Keywords:** accretion, coastal dynamics, erosion, radar

## PENDAHULUAN

Perubahan iklim memiliki konsekuensi penting terhadap tinggi muka laut dan garis pantai, yang mana menjadi ancaman yang signifikan bagi wilayah pesisir, seperti terindikasi dalam (Chang et al., 2022). Lokasi garis pantai terus berubah seiring dengan waktu, dipengaruhi oleh beberapa elemen seperti pasang surut, gelombang, dan angin, serta faktor-faktor geomorfologi pantai seperti erosi dan akresi. Selain itu, aktivitas sosial dan ekonomi manusia juga memengaruhi perubahan garis pantai, contohnya adalah reklamasi untuk permukiman ataupun pembuatan tambak (Yen & Kim, 2020). Pengelolaan kawasan pesisir yang efektif membutuhkan data yang detail dan terbaru akan garis pantai dan perubahannya. Hal ini menyebabkan diperlukannya pemantauan garis pantai secara kontinu dan berkelanjutan (Markiewicz et al., 2016; Bioresita & Isya, 2016).

Lampung merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki garis pantai yang panjang dan penting bagi aktivitas perekonomian dan sosial masyarakat. Beberapa aktivitas yang jamak dilakukan adalah sebagai tambak udang, tempat rekreasi dan sebagai pelabuhan antar pulau. Namun, garis pantai di Lampung rentan mengalami perubahan akibat berbagai faktor alami seperti erosi, sedimentasi, maupun faktor antropogenik, seperti aktivitas manusia (Tarigan et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang komprehensif untuk memantau dan mengukur perubahan garis pantai secara akurat dan efisien sebagai usaha memahami dinamika garis pantai lebih jauh.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh dan SIG saat ini terbukti menjadi alat yang paling baik dan dapat diandalkan untuk mengidentifikasi perubahan garis pantai dan pemetaan (Suthakar, 2019; Wu et al., 2019; Sui et al., 2020). Karakteristik yang menonjol dari data penginderaan jauh adalah tersedianya data dalam lingkup global sejak era 1970an dan berulang hampir setiap bulan. Hal ini dapat menutupi kekurangan dari sebagian ketidakterediaan data lapangan yang dapat diandalkan (Refice et al., 2020). Salah satu jenis citra satelit yang dapat digunakan adalah citra radar. Salah satu sensor dari jenis citra radar adalah Sentinel-1 yang mengorbit dengan melintasi kutub Bumi sejak tahun 2014, dalam segala cuaca, siang dan malam, baik di darat dan lautan pada C-band (Markiewicz et al., 2016; Bioresita & Isya, 2016). Penggunaan C-band ini yang memberikan perbedaan khas akan Sentinel-1 dibandingkan satelit penginderaan jauh lainnya.

Teknologi radar *Synthetic Aperture Radar* (SAR) dari satelit Sentinel-1 berpotensi besar dalam pemantauan garis pantai dengan menggunakan citra multi-temporal yang menggambarkan kondisi permukaan bumi dari waktu ke waktu. Deteksi

perubahan garis pantai dapat dilakukan dengan memilih parameter yang dapat diekstrak serta paling sesuai dari Sentinel-1, juga dengan menetapkan ambang batas pemisahan daratan dan perairan (Markiewicz et al., 2016; Suthakar, 2019). Beberapa penelitian lain menunjukkan bahwa citra SAR band-X lebih banyak digunakan untuk deteksi garis pantai (Wu et al., 2019).

Algoritma yang digunakan adalah *Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index* (SDWI) dimana indeks SDWI memiliki akurasi yang tinggi ketika digunakan untuk ekstraksi badan air (Guo et al., 2021). Penelitian lainnya dengan data pada polarisasi vertikal-horizontal (VH) secara temporal selama satu tahun dan transformasi indeks air SDWI menggunakan Sentinel-1 dapat membedakan objek tambak dengan objek lainnya (Haris et al., 2022). Pemanfaatan data SAR dengan menggabungkan data *Light Detection and Ranging* (LIDAR) dapat digunakan untuk mendeteksi air permukaan dengan mengurangi efek bayangan (Irwin et al., 2017). Selain itu, penelitian lain menunjukkan kapabilitas citra radar untuk menghitung tinggi gelombang di laut (Nadzir et al., 2016), yang mana secara umum, semuanya menunjukkan bahwa Sentinel-1 memiliki potensi yang baik untuk topik-topik di area pesisir.

Analisis multi-frekuensi, multi-temporal, dan multi-polarisasi yang terintegrasi memungkinkan pemantauan dinamika objek yang berbeda untuk air di berbagai kelas tutupan lahan, seperti vegetasi herba, lahan basah, dan hutan (Refice et al., 2020). Metode analisis menggunakan teknik interferometri (InSAR) dan pengolahan citra radar untuk memperoleh informasi yang akurat (Sunu et al., 2019) tentang perubahan garis pantai dari waktu ke waktu dapat dilakukan menggunakan data mengenai perubahan garis pengamatan (*observation baseline*).

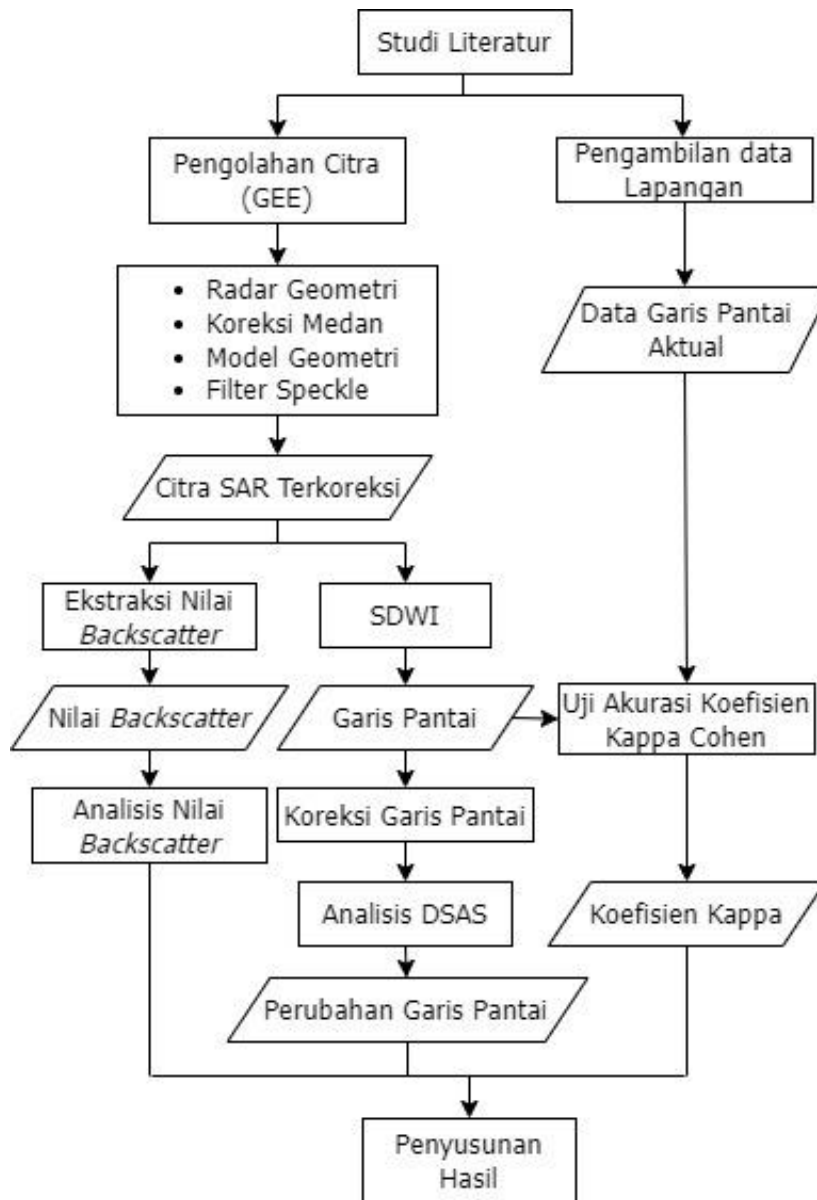
Pengolahan citra yang dilakukan berbasis *cloud computing*, menggunakan platform Google Earth Engine (GEE). GEE berfungsi untuk melakukan analisis geospasial berskala besar berbasis awan (*cloud*) dengan bantuan komputasi dari Google yang masif. GEE dapat digunakan untuk mengatasi berbagai masalah yang berdampak besar tanpa harus melakukan pengunduhan data terlebih dahulu. Katalog data GEE tersedia untuk umum dengan berbagai data citra satelit, tutupan lahan, topografi, variabel lingkungan, cuaca, iklim dan masih banyak lainnya. Semua data yang tersedia sudah siap digunakan agar meminimalisir hambatan dalam manajemen data (Gorelick et al., 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan mengkuantifikasi perubahan garis pantai di Provinsi Lampung secara lebih mendalam dan akurat serta menganalisis seberapa besar terjadinya erosi dan akresi di pesisir pantai. Penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) dengan menggunakan data dari satelit Sentinel-1 dalam pendekatan berbasis SDWI untuk mengukur perubahan garis pantai di Provinsi

Lampung selama beberapa periode waktu. Pendekatan ini memberikan pemahaman yang komprehensif tentang dinamika pesisir, termasuk erosi dan akresi, serta pola perubahan garis pantai. Data multi-temporal dari Sentinel-1 memungkinkan analisis yang akurat dan konsisten, dengan potensi untuk memberikan wawasan penting bagi manajemen pesisir dan perencanaan lingkungan di wilayah tersebut. Salah satu kegunaan praktis dari hasil penelitian ini adalah sebagai dasar awal skema pencegahan abrasi di area pesisir pantai.

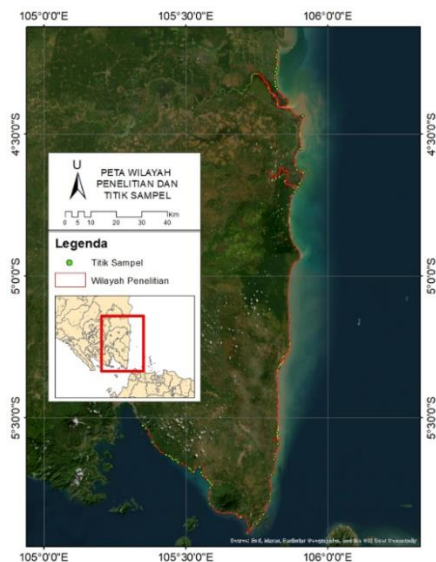
**METODE**

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang ditunjukkan oleh diagram alir penelitian pada **Gambar 1**. Penelitian ini dilakukan di daerah pesisir timur dan selatan Provinsi Lampung, Indonesia, tepatnya di kabupaten Lampung Timur dan Lampung Selatan (**Gambar 2**). Kabupaten tersebut dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki karakteristik pesisir yang sangat dinamis dan beragam. Wilayah ini dikenal karena memiliki garis pantai yang rentan terhadap erosi akibat kombinasi pasang surut, pola angin yang kuat, dan aktivitas manusia yang signifikan di sekitar garis pantai.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian.





**Gambar 2.** Lokasi penelitian.

Penelitian ini melibatkan serangkaian tahapan yang terstruktur yang meliputi pengumpulan data, pengolahan cita, analisis multitemporal, validasi dan verifikasi. Data Sentinel-1 yang bersifat multi-temporal harus dikumpulkan untuk wilayah pesisir Lampung selama periode tersebut. Data ini meliputi citra radar SAR yang dapat digunakan untuk memantau perubahan garis pantai dan data *ground truth* (Tabel 1).

**Tabel 1.** Data yang digunakan.

Date	Polarisasi	Kebutuhan
1/1/2018	VV/VH	
7/1/2019	VV/VH	
2/1/2020	VV/VH	Pemetaan garis pantai tahun 2018 - 2023
1/1/2021	VV/VH	
3/1/2022	VV/VH	
3/1/2023	VV/VH	
<b>1/8/2023</b>	-	Garis pantai aktual tahun 2023

Citra Sentinel 1 dengan mode polarisasi VV/VH diambil untuk melakukan pemetaan garis pantai pada periode tahun 2018 hingga 2023. Citra ini digunakan untuk memantau perubahan garis pantai dari waktu ke waktu.

**Analisis nilai backscatter**

Metode analisis nilai *backscatter* ini dapat memberikan informasi yang berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk pemetaan permukaan bumi, identifikasi dan klasifikasi objek, pemantauan perubahan, dan analisis lingkungan. Parameter yang mencerminkan nilai *backscatter* ini adalah sigma nol (*sigma-nought*  $\sigma_0$ ) ataupun gamma nol (*gamma-nought*  $\gamma_0$ ) yang bernilai rendah ketika dipantulkan oleh permukaan air. Analisis ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan memetakan berbagai fitur permukaan seperti garis pantai, genangan air maupun penutup lahan lainnya. Secara fundamental, nilai *backscatter* inilah yang

akan menjadi parameter utama dalam membedakan permukaan air dan permukaan tanah.

**Geometri dari Radar**

Tahapan *radar geometri* mencakup perhitungan sudut pandang (*look angle*) dan sudut elevasi (*elevation angle*) yang berkaitan dengan orientasi antena radar dan objek di permukaan Bumi. Selain itu, terdapat perhitungan resolusi jarak (*range resolution*) yang menggambarkan kemampuan sistem radar dalam memisahkan objek yang berdekatan dalam arah sejajar dengan jalur gerak radar. Demikian juga, perhitungan resolusi sudut (*azimuth resolution*) mengukur kemampuan sistem radar untuk memisahkan objek yang berdekatan dalam arah tegak lurus dengan jalur gerak radar. Jarak (*range*) antara sistem radar dengan objek atau target juga dihitung berdasarkan waktu tempuh gelombang radar dari radar ke objek dan kembali (Mansourpour & Blais, 2006; Mansourpour et al., 2008).

**Koreksi Medan**

Data radar Sentinel-1, walau terbebas dari pengaruh siang-malam dan awan, masih memiliki kelemahan terhadap efek atmosfer dan topografi. Oleh karena itu, tahap koreksi atmosfer dan topografi diperlukan untuk menghilangkan atau mengurangi pengaruh dari kedua efek tersebut.

**Model Geometri**

Tahapannya mencakup model pengiriman pulsa yang menjelaskan bagaimana pulsa radar dipancarkan dari antena radar ke permukaan Bumi, model perambatan gelombang yang menghitung perjalanan gelombang radar dari radar ke permukaan Bumi dan kembali, serta model interaksi dengan permukaan yang menjelaskan bagaimana pulsa radar berinteraksi dengan permukaan Bumi atau objek target. Selain itu, terdapat model resolusi dan pengolahan data yang mencakup perhitungan resolusi jarak dan sudut, serta menjelaskan bagaimana data radar diproses menjadi citra radar yang akhir (Mansourpour et al., 2008).

**Speckle Filter**

*Speckle Filter* merupakan salah satu tahap penting dalam pengolahan data Sentinel-1 untuk mengurangi noise speckle yang umumnya terjadi pada citra radar SAR (Synthetic Aperture Radar) (Mansourpour et al., 2008; Yu et al., 2018). Filter yang digunakan merupakan *Gamma filter* yang menggunakan histogram untuk menghitung parameter gamma yang akan digunakan dalam proses filtering (Mansourpour & Blais, 2006). Rumus

Gamma filter disajikan pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** berikut:

$$\gamma(x, y) = \frac{1}{\alpha} \ln + \left( \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} (x_i) / I_i \right)^\alpha \dots\dots\dots (1)$$

$$I_i(x, y) = I(x, y) \left( \frac{I(x,y)}{I_b} \right)^{\gamma(x,y)} \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

$I_i(x,y)$  adalah intensitas piksel yang telah difilter pada posisi  $(x, y)$ ,

$I(x,y)$  adalah intensitas piksel pada posisi  $(x, y)$ ,

$I_i$  adalah intensitas dari piksel dengan indeks  $i$  dalam citra,

$\alpha$  adalah parameter yang dapat diatur,

$L$  adalah jumlah piksel dalam citra,

$I_b$  adalah intensitas median dari citra.

**Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index (SDWI)**

SDWI merupakan indeks yang digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi perairan atau daerah yang tergenang air dalam citra radar Sentinel-1 yang memiliki dua polarisasi (*Dual-Polarized*) (Guo et al, 2021). Citra radar Sentinel-1 menyediakan dua mode polarisasi yang umumnya digunakan, yaitu VV (vertikal-vertikal) dan VH (vertikal-horizontal). Perbedaan antara dua polarisasi ini memungkinkan untuk mendapatkan informasi yang berbeda tentang permukaan bumi dan objek di atasnya. Mode polarisasi VV cenderung lebih sensitif terhadap permukaan yang kasar seperti air, sedangkan mode polarisasi VH lebih sensitif terhadap struktur vertikal atau objek yang tegak lurus dengan gelombang radar. SDWI merupakan salah satu cara untuk menggabungkan informasi dari dua mode polarisasi tersebut dan menghasilkan indeks yang dapat membedakan antara air dan daratan dalam citra radar. Indeks ini memanfaatkan perbedaan respons radar antara air dan daratan berdasarkan karakteristik polarisasi yang berbeda. Secara matematis (Guo et al, 2021), SDWI dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3**.

$$SDWI = \frac{(VV-VH)}{(VV+VH)} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana VV adalah nilai intensitas dari mode polarisasi VV pada citra radar dan VH adalah nilai intensitas dari mode polarisasi VH pada citra radar. Hasil SDWI memiliki rentang nilai dari -1 hingga 1, di mana nilai positif menunjukkan adanya perairan, nilai negatif menunjukkan daratan, dan nilai mendekati nol menunjukkan area campuran antara air dan daratan atau area yang ambigu. Indeks SDWI digunakan untuk membangun fungsi biner (ya dan tidak) untuk mengekstrak informasi badan air.

**Analisis Perubahan Garis Pantai Multi-Temporal**

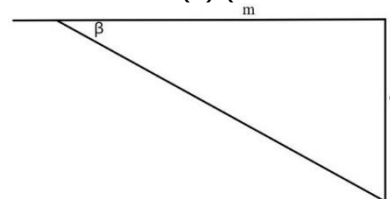
Data yang telah diolah akan digunakan untuk melakukan analisis multi-temporal guna mengidentifikasi dan mengukur perubahan garis pantai selama lima tahun. Proses analisis menggunakan bantuan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Metode pemrosesan data seperti interferometri diferensial atau perbandingan citra akan digunakan untuk mengekstrak perubahan garis pantai. Metode ini melibatkan perbandingan visual atau analisis numerik antara citra yang diambil pada waktu yang berbeda. Citra-citra tersebut dapat berupa citra radar atau citra optik dengan mode polarisasi yang sama (misalnya VV/VV atau VH/VH) atau berbeda (VV/VH atau VH/VV). Dengan membandingkan citra-citra ini, kita dapat mengidentifikasi perbedaan dalam penampilan garis pantai dari waktu ke waktu, termasuk pemanjangan atau pendekatan garis pantai (**Persamaan 4**).

$$\% = ((V_2 - V_1) / V_1) \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

di mana  $V_1$  adalah nilai atau panjang garis pantai pada waktu sebelumnya dan  $V_2$  adalah nilai atau panjang garis pantai pada waktu sekarang (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2014).

**Koreksi Garis Pantai**

Koreksi pasang surut dilakukan untuk menghilangkan pengaruh pasang surut air laut pada saat perekaman citra. Proses koreksi pasang surut menggunakan dua data utama yaitu data kedalaman laut dan data pasang surut. Kedua data tersebut digunakan untuk menentukan nilai kemiringan pantai sebagai dasar penentuan nilai koreksi. Nilai kemiringan pantai diperoleh dengan cara menghitung besar sudut antara jarak mendatar (m) dan kedalaman (d) (**Persamaan 5**).



**Gambar 3.** Skema perhitungan kemiringan pantai.

$$\tan \beta = \frac{d}{m} \dots\dots\dots (5)$$

di mana:

$d$  = Kedalaman

$m$  = Jarak mendatar

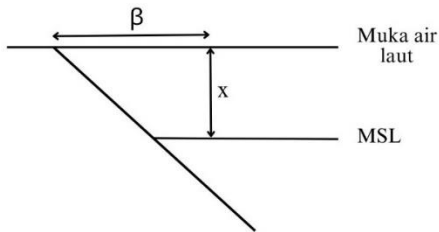
Nilai koreksi pasang surut dihitung berdasarkan selisih antara ketinggian muka air laut (x) saat perekaman citra terhadap nilai MSL. Nilai ketinggian muka air laut dan nilai MSL berdasarkan

nilai prediksi pasang surut dan konstanta harmonik pasang surut.

$$r = \frac{x}{\beta} \dots\dots\dots(6)$$

di mana:

- r = Jarak koreksi
- x = Selisih nilai pasut
- β = Kemiringan pantai



**Gambar 4.** Ilustrasi perhitungan jarak koreksi.

Berdasarkan **Gambar 4** apabila laut pasang maka koreksi dilakukan dengan pergeseran garis pantai sejauh nilai jarak koreksi (r). Jika saat perekaman sedang surut maka berlaku sebaliknya. Proses koreksi yang telah selesai dilanjutkan dengan proses analisis secara otomatis. Analisis perubahan garis pantai dilakukan untuk tahun 2018-2023 menggunakan metode *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). DSAS menganalisis perubahan garis pantai dengan cara membentuk transeksi-transeksi dan menghasilkan data berupa jarak perubahan garis pantai.

**Uji Akurasi Hasil Ekstraksi Garis Pantai**

Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan dua data yaitu data garis pantai hasil ekstraksi dan data garis pantai hasil pengukuran langsung di lapangan. Uji akurasi dilakukan dengan metode perhitungan koefisien kappa Cohen.

$$\kappa = \frac{Pr(a) - Pr(e)}{1 - Pr(e)} \dots\dots\dots(7)$$

di mana:

- κ = Koefisien kappa Cohen
- Pr(a) = Persentase jumlah pengukuran konsisten
- Pr(e) = Persentase jumlah perubahan pengukuran

Hasil koefisien kappa Cohen diklasifikasikan sebagai berikut: nilai ≤ 0 menunjukkan tidak ada hubungan, 0.01-0.20 sedikit berhubungan, 0.21-0.40 sebagai buruk, 0.41-0.60 sebagai sedang, 0.61-0.80 sebagai berhubungan kuat, dan 0.81-1.00 sebagai sempurna (Cohen, 1960).

**Analisis Erosi dan Akresi**

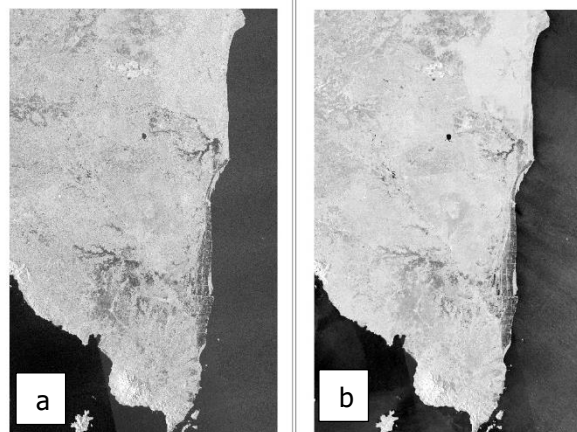
Metode analisis erosi dan akresi menggunakan citra Sentinel-1 sangat efektif karena citra radar SAR dapat menembus awan dan memberikan gambaran yang konsisten dari wilayah pesisir di berbagai kondisi cuaca. Hal ini memungkinkan pemantauan garis pantai secara berkala dan akurat, yang

menjadi landasan penting untuk pengelolaan wilayah pesisir dan mitigasi risiko erosi. Kondisi erosi didefinisikan sebagai perubahan garis pantai yang negatif (menjorok ke daratan). Sebaliknya, kondisi akresi adalah saat perubahan garis Pantai bernilai positif (mendekat ke laut).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Koreksi pada Citra Sentinel-1**

Citra Sentinel-1 yang digunakan adalah citra sentinel yang diunduh pada platform GEE. Citra melalui beberapa proses koreksi sebelum dilakukan proses SDWI. Berikut merupakan gambar citra Sentinel-1 sebelum dan sesudah dikoreksi (**Gambar 5**). Citra Sentinel-1 dikoreksi dengan radar geometri, koreksi medan, model geometri dan *speckle filter*. Radar geometri berfungsi untuk menghitung sudut pandang dan sudut elevasi antara antenna radar dan objek di permukaan bumi (Mansourpour & Blais, 2006). Koreksi medan menghilangkan pengaruh topografi dan atmosfer bumi. Model geometri berfungsi untuk memodelkan pengiriman pulsa radar (Mansourpour et al., 2008). Proses koreksi yang terakhir adalah *speckle filter* untuk mengurangi *noise*.



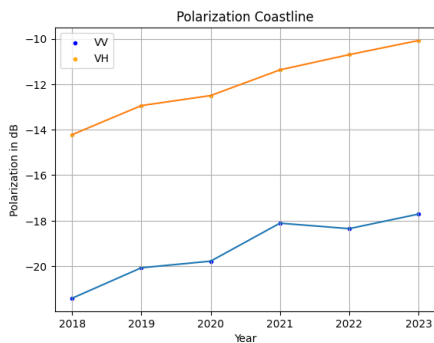
**Gambar 5.** Citra (a) sebelum dan (b) sesudah dikoreksi.

**Perubahan hamburan balik dan deteksi garis pantai**

Pada analisis *backscatter*, data citra radar SAR diolah untuk mengukur dan menggambarkan intensitas *backscatter* dari berbagai fitur atau objek dalam citra. Intensitas ini mencerminkan sifat permukaan atau material dari objek yang dipantau, termasuk tekstur, kemiringan, dan komposisi. Selain itu, analisis ini juga membantu dalam memahami perubahan morfologi pesisir dan dinamika garis pantai. Perubahan intensitas *backscatter* pada garis pantai dapat mengindikasikan proses erosi atau akresi, serta perubahan bentuk garis pantai dari waktu ke waktu (Liu, 2016). Dalam penelitian ini dengan membandingkan data citra radar multi-temporal,

analisis *backscatter* dapat mengungkapkan perubahan objek yang terjadi dari waktu ke waktu.

Hasil analisis menunjukkan bahwa Polarisasi VV memiliki nilai *backscatter* yang lebih rendah dibandingkan dengan polarisasi VH sepanjang tahun 2018 hingga 2023. Ini bisa menunjukkan bahwa objek atau permukaan bumi di wilayah yang diamati mungkin lebih menghasilkan pantulan yang lebih rendah terhadap polarisasi VV dibandingkan dengan VH. Lebih jelasnya, perubahan nilai *backscatter* disajikan secara visual pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Perbandingan nilai *backscatter*.

Nilai *backscatter* dalam polarisasi VV memiliki tren penurunan (semakin mendekati nol) dari tahun 2018 hingga 2023. Ini menunjukkan bahwa objek atau permukaan yang diukur dalam polarisasi VV cenderung semakin sedikit memantulkan energi radar dari waktu ke waktu (Simarmata & Murti, 2018). Demikian juga, nilai *backscatter* dalam polarisasi VH juga menunjukkan tren penurunan dari tahun 2018 hingga 2023. Ini mengindikasikan bahwa objek atau permukaan yang diukur dalam polarisasi VH juga cenderung semakin sedikit memantulkan energi radar dari waktu ke waktu. Nilai rata – rata *backscatter* garis pantai disajikan pada **Tabel 2**. Nilai *backscatter* VV dan VH bervariasi, terlihat pada perubahan signifikan dari tahun 2018 hingga 2020 dalam kedua parameter tersebut. Selain itu, perubahan dari 2021 ke 2022 lebih besar dari kombinasi tahun berurutan lainnya.

**Tabel 2.** Nilai rata – rata *backscatter*.

Tahun	Min (dB)		Max (dB)	
	VV	VH	VV	VH
<b>2018</b>	-24,29	-14,99	-14,12	-5,56
<b>2019</b>	-22,36	-14,10	-14,12	-5,56
<b>2020</b>	-27,59	-21,38	-15,35	-9,28
<b>2021</b>	-27,65	-21,60	-15,31	-9,10
<b>2022</b>	-22,9	-15,15	-14,09	-8,00
<b>2023</b>	-26,89	-20,09	-14,53	-8,39

**Perubahan Garis Pantai**

Berdasarkan hasil analisis garis pantai menggunakan transformasi indeks SDWI menunjukkan bahwa Nilai SDWI yang positif atau

mendekati 1 dapat mengindikasikan keberadaan air pada permukaan tanah. Semakin besar nilai SDWI positif, semakin besar kemungkinan ada air di area tersebut. Nilai positif SDWI sering digunakan untuk mendeteksi area air atau perubahan kondisi air, seperti banjir atau perairan (Haris et al., 2022). Nilai SDWI yang mendekati nol atau negatif cenderung menunjukkan permukaan yang lebih kering atau tidak memiliki air yang cukup banyak. Sementara nilai negatif SDWI dapat terjadi pada permukaan yang sangat kering atau terdiri dari bahan yang cenderung memantulkan radar secara berbeda pada dua polarisasi yang digunakan.

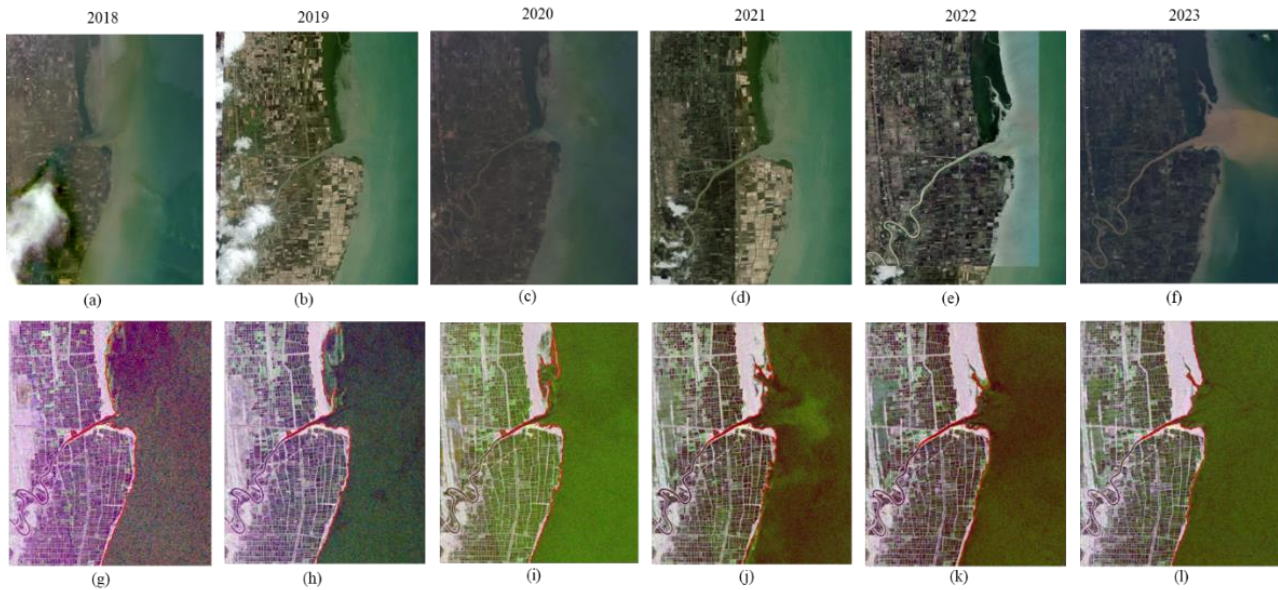
Hasil penelitian yang diperoleh merupakan perubahan garis pantai di berbagai lokasi selama 6 tahun terakhir. Analisis berfokus pada perubahan panjang garis pantai dan mengevaluasi dampaknya dengan memperhitungkan persentase perubahan terhadap panjang garis pantai awal. Berikut ini merupakan perbandingan perubahan garis pantai tahun 2018 – 2023 (**Gambar 7**).

**Tabel 3.** Persentase perubahan garis pantai.

Tahun	Panjang Garis Pantai (km)	Perubahan Panjang Pantai (km)	Persentase Perubahan tahun-per-tahun
<b>2018</b>	401,110		
<b>2019</b>	399,381	-1,729	0,43%
<b>2020</b>	396,267	-3,115	0,78%
<b>2021</b>	391,816	-4,451	1,12%
<b>2022</b>	400,399	8,583	2,19%
<b>2023</b>	381,583	-18,816	4,70%

**Tabel 3** menampilkan data panjang garis Pantai dari tahun 2018 hingga 2023, perubahan panjang garis pantai serta persentase perubahan untuk setiap tahunnya. Pada tahun 2018, panjang garis pantai adalah 401,110 Km. Tahun berikutnya, pada tahun 2019, terjadi penurunan sebesar 1,729 Km, atau sekitar 0,43% dari panjang garis pantai pada tahun 2018. Artinya, garis pantai mengalami penurunan panjang pada tahun tersebut. Pada tahun 2020, terjadi penurunan sebesar 3,115 Km, atau sekitar 0,78% dari panjang garis pantai pada tahun 2019. Ini menandakan berlanjutnya kontraksi atau penyusutan pada garis pantai pada tahun tersebut.

Tren penurunan berlanjut di tahun 2021, dengan terjadinya penurunan sebesar 4,451 Km, atau sekitar 1,12% dari garis pantai pada tahun sebelumnya. Ini menunjukkan adanya proses erosi yang signifikan di wilayah pesisir sejak tahun 2018 sampai tahun 2021. Namun, di tahun 2022, tren sebaliknya terjadi, yaitu ada peningkatan yang cukup besar, sebesar 8,583 Km atau sekitar 2,19% dari panjang garis pantai pada tahun 2021. Peningkatan ini dapat disebabkan oleh proses akresi, yaitu penambahan material sedimen ke wilayah pesisir.



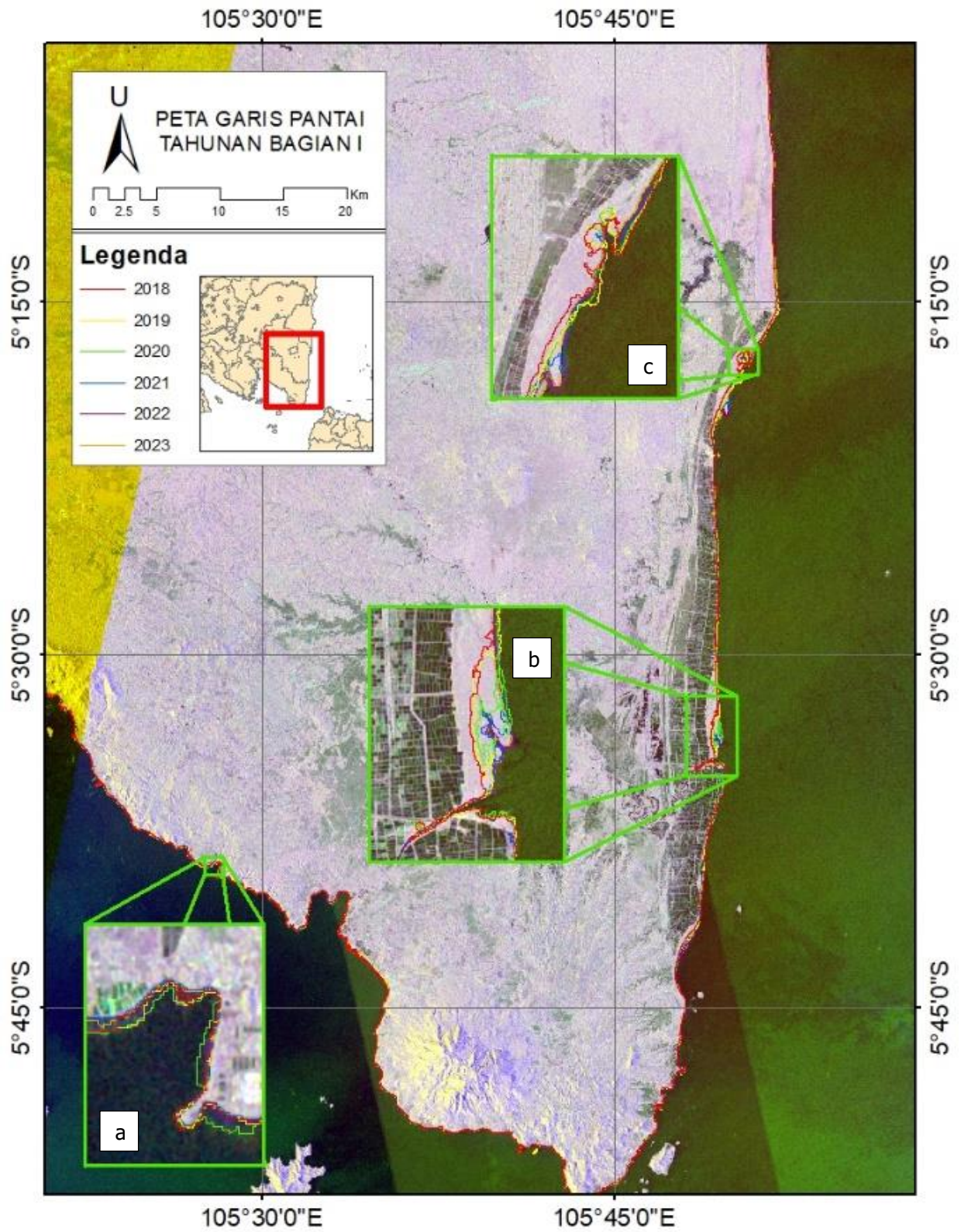
**Gambar 7.** Perubahan garis pantai di Lampung dari tahun 2018 hingga 2023. Batas merah menunjukkan hasil deteksi. (a) Citra optik tahun 2018; (b) Citra optik tahun 2019; (c) Citra optik tahun 2020; (d) Citra optik tahun 2021; (e) Citra optik tahun 2022; (f) Citra optik tahun 2023; (g) Citra SAR tahun 2018; (h) Citra SAR tahun 2019; (i) Citra SAR tahun 2020; (j) Citra SAR tahun 2021; (k) Citra SAR tahun 2022; (l) Citra SAR tahun 2023.

Tahun 2023 kembali menunjukkan penurunan yang signifikan, dengan terjadinya penurunan sebesar 18,816 Km, atau sekitar 4,70% dari panjang garis pantai pada tahun sebelumnya (**Gambar 8**). Ini menandakan adanya proses erosi kuat yang menyebabkan penurunan drastis pada panjang garis pantai. Data tersebut menunjukkan bahwa wilayah pesisir tersebut mengalami perubahan dinamis selama periode lima tahun. Proses erosi dan akresi adalah fenomena alami yang dapat terjadi di wilayah pesisir karena pengaruh gelombang, arus, dan proses geologis lainnya (Suthakar, 2019). Informasi ini dapat menjadi penting untuk pengelolaan wilayah pesisir dan perlindungan lingkungan di masa depan, khususnya dalam menghadapi ancaman perubahan iklim dan meningkatnya tingkat kenaikan permukaan laut.

Perubahan garis pantai pada bagian 1 (**Gambar 8**), menunjukkan terdapat 3 lokasi yang

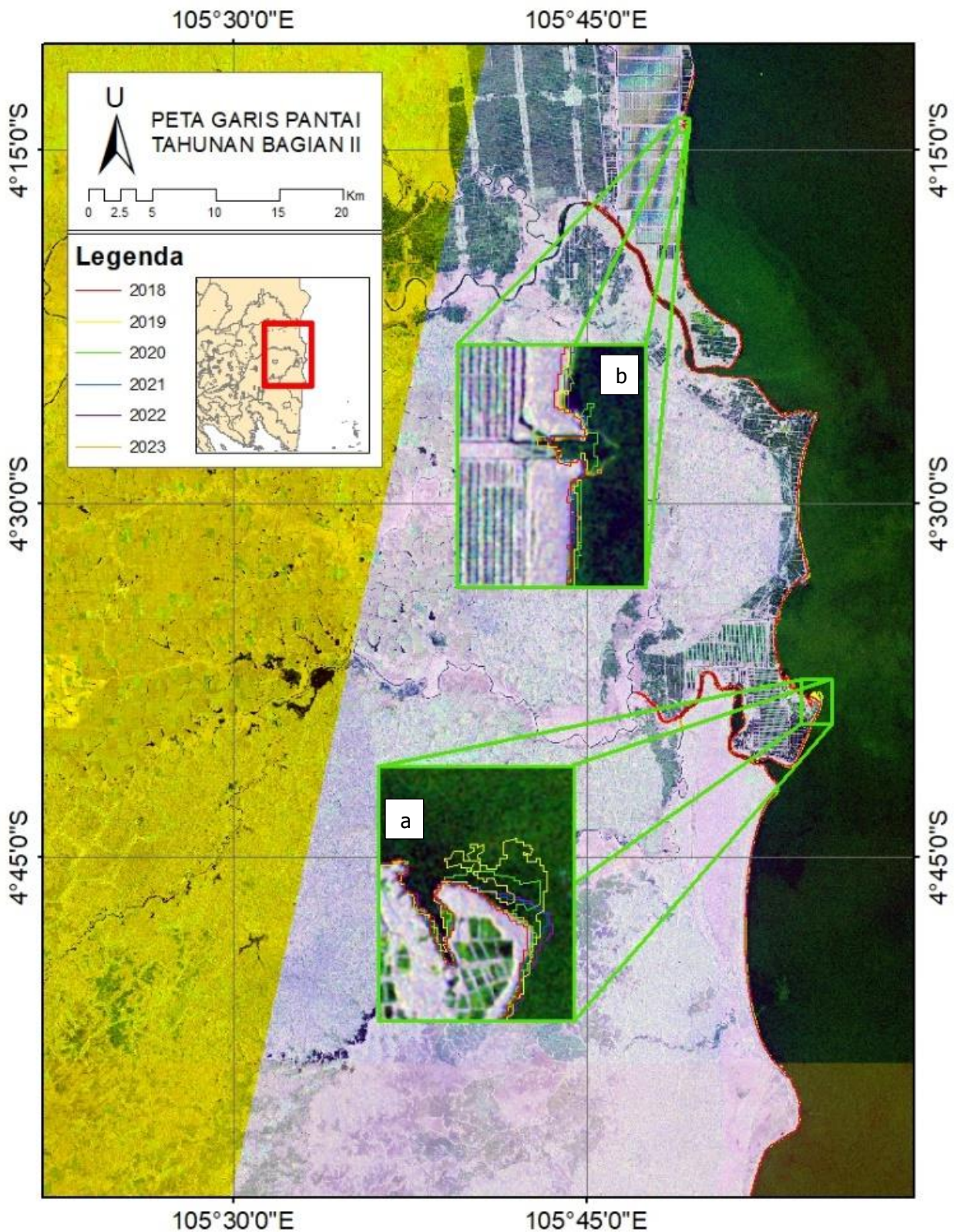
menjadi *highlight* pada peta. Wilayah b dan c pada **Gambar 8** merupakan wilayah dengan tutupan lahan berupa ekosistem mangrove. Wilayah b secara lebih jelas ditunjukkan pada **Gambar 7**. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa dari tahun 2018 hingga tahun 2023 terjadi perubahan tutupan lahan mangrove sehingga menyebabkan berubahnya garis pantai. Perubahan luas area mangrove terjadi karena adanya pengaruh dari laju sedimentasi yang terjadi di sepanjang garis pantai. Sedimentasi yang terjadi menjadi tutupan lahan mangrove (Ghazali, 2020). Selain itu, perubahan garis pantai yang berasal dari akresi dan abrasi merupakan efek dari proses pasang surut yang berkelanjutan. Ditambah lagi dengan adanya kenaikan muka air laut secara global yang bernilai kecil tetapi konsisten selama 100 tahun terakhir. Kombinasi dari faktor-faktor di atas mengakibatkan dinamika dari garis pantai.





**Gambar 8.** Perubahan garis pantai Lampung bagian Selatan. (a) Desa Suak, Lampung Selatan; (b) Pasir Sakti, Lampung Timur; (c) Labuhan Maringgai, Lampung Timur





**Gambar 9.** Perubahan garis pantai Lampung Timur. (a) Dente Teladas, Tulang Bawang; (b) Rawa Jitu Timur, Tulang Bawang.

**Analisis Pasang Surut**

Pasang surut mempengaruhi proses erosi dan akresi dimana pada saat pasang tinggi, gelombang memiliki energi lebih besar, dan proses erosi cenderung lebih intens karena gelombang yang kuat dapat mengikis pantai dengan lebih efektif.

Namun, pasang tinggi juga dapat membawa material sedimen ke daratan, memfasilitasi proses akresi. Sebaliknya, selama pasang rendah, energi gelombang lebih rendah, dan biasanya terjadi lebih sedikit erosi pantai karena gelombang tidak memiliki energi yang cukup untuk mengikis material dari garis pantai. Pada saat yang sama proses akresi

cenderung lebih dominan karena gelombang membawa lebih banyak sedimen ke daratan. Selain itu, perbedaan waktu pengambilan citra satelit mengakibatkan perbedaan garis Pantai yang terekam karena pasang surut tersebut. Sehingga, perlu adanya koreksi/pengurangan efek pasang surut terhadap garis Pantai yang terekam di setiap citra satelit agar perubahan yang terekam dapat diatributkan secara penuh kepada dinamika yang sekular, bukan siklik. Berikut merupakan data rata – rata pasang surut di lokasi penelitian.

**Tabel 4.** Rata – rata tinggi pasang surut.

Tanggal	Tahun	Rata-rata (Timur) [m]	Rata – rata (Selatan) [m]
20180101	2018	0,030118	-0,013302
20190107	2019	-0,040792	0,026003
20200102	2020	0,034581	-0,309719
20210101	2021	-0,077109	0,1314198
20220103	2022	-0,034065	0,0105617
20230103	2023	0,011775	-0,060621

**Tabel 4** menggambarkan data analisis mengenai perubahan tinggi air laut atau fluktuasi pasang surut dalam dua wilayah berbeda, yaitu wilayah Pantai Timur (**Gambar 9**) dan Pantai Selatan (**Gambar 8**), selama periode enam tahun dari 2018 hingga 2023. Pada tahun 2018, terlihat bahwa wilayah Timur mengalami rata-rata peningkatan sekitar 0,0301 m dalam tinggi air laut, sementara wilayah Selatan mengalami penurunan rata-rata sekitar 0,0133 m. Ini mengindikasikan bahwa pada tahun tersebut, wilayah Timur mengalami peningkatan pasang surut sedangkan wilayah Selatan mengalami penurunan.

Pada tahun 2019, tren berbalik. Wilayah Timur mencatatkan rata-rata penurunan sekitar 0,0408, sedangkan wilayah Selatan mengalami peningkatan sekitar 0,0260. Pola ini berlanjut hingga tahun 2020, dengan wilayah Timur mengalami kenaikan rata-rata 0,0346 dan wilayah Selatan mengalami penurunan rata-rata sekitar 0,3097. Namun, perubahan signifikan terjadi pada tahun 2021. Wilayah Timur mencatatkan penurunan tajam sekitar 0,0771, sementara wilayah Selatan mengalami peningkatan signifikan sekitar 0,1314. Tren ini mengindikasikan adanya fluktuasi yang kuat dalam pola pasang surut pada tahun tersebut. Pada tahun 2022, kedua wilayah mengalami penurunan pasang surut, meskipun dengan tingkat yang berbeda. Wilayah Timur mengalami penurunan rata-rata 0,0341 sementara wilayah Selatan mengalami peningkatan ringan sekitar 0,0106. Pada tahun terakhir, 2023, wilayah Timur mengalami peningkatan rata-rata 0,0118, sementara wilayah Selatan mengalami penurunan rata-rata sekitar 0,0606.

Secara keseluruhan, data dalam tabel ini mencerminkan fluktuasi yang dinamis dalam tinggi

air laut di kedua wilayah selama enam tahun terakhir. Variabilitas dalam pola pasang surut dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk perubahan cuaca, perubahan iklim, dan dinamika lingkungan pesisir. Pasang surut berperan penting dalam proses erosi dan akresi pantai. Selama pasang besar, gelombang yang lebih tinggi mencapai pantai, yang dapat menyebabkan erosi pantai. Selama surut besar, air laut mundur, dan proses akresi (penumpukan endapan) dapat terjadi (Setyawan et al., 2021). Pada proses perhitungan erosi dan akresi serta dalam perbandingan hasil perhitungan garis pantai tiap tahun, sudah dikurangi dengan efek pasang surut. Selain itu, untuk meminimalisir lebih jauh efek dari pasang surut di hasil, data yang diambil di setiap tahun diusahakan memiliki tanggal yang berdekatan (pekan pertama bulan Januari dari tahun 2018 sampai 2023).

**Akurasi pemetaan**

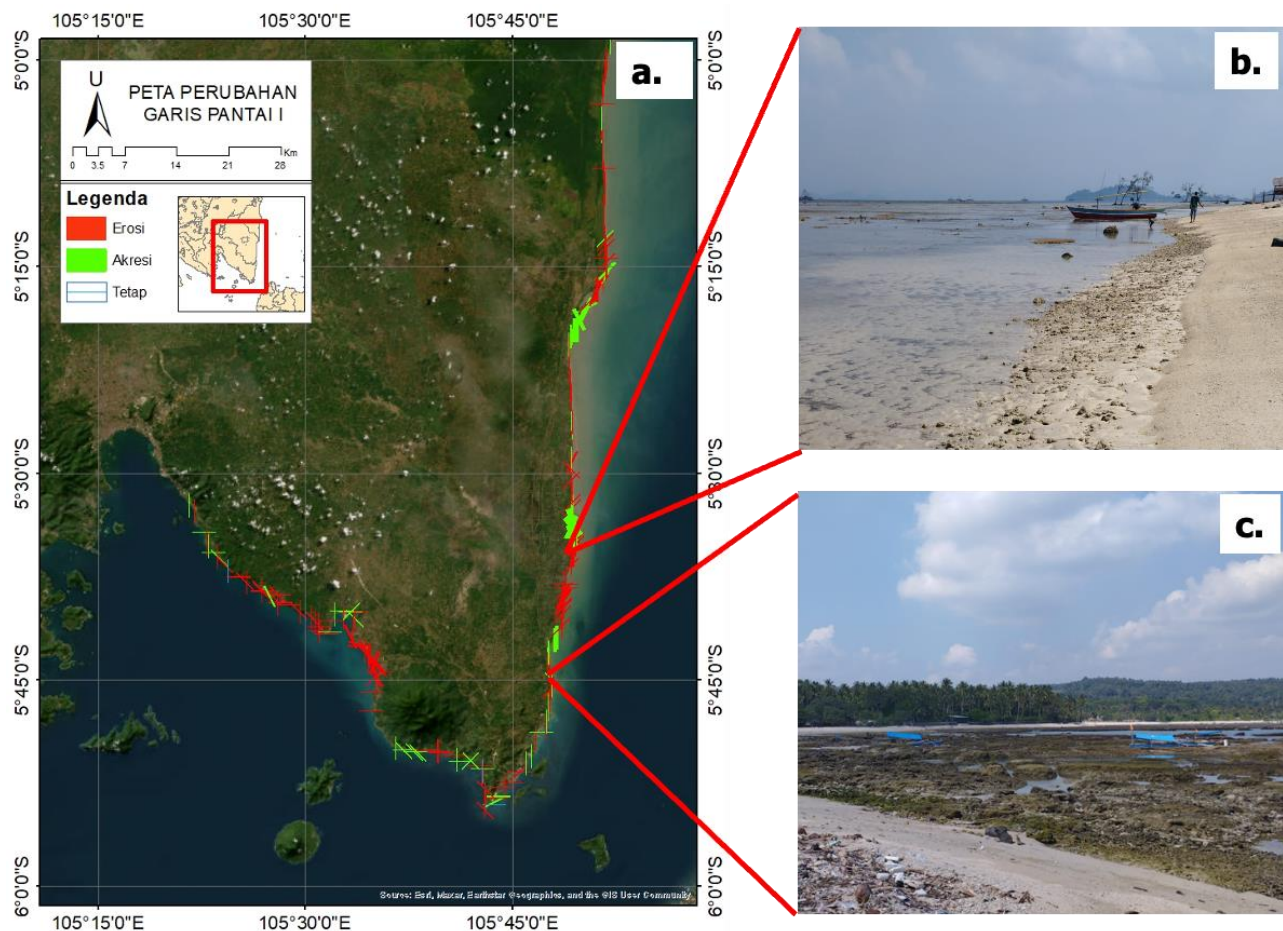
Data perubahan garis pantai yang diperoleh dari analisis yang diukur berdasarkan data garis pantai terkoreksi yang diekstrak dari citra SAR tahun 2023 harus dibandingkan dengan data garis pantai *ground truth* tahun 2023. Perbandingan ini akan memberikan informasi tentang tingkat akurasi dari pemantauan garis pantai yang telah dilakukan. Proses uji akurasi menggunakan metode koefisien kappa cohen (**Tabel 5**).

**Tabel 5.** Koefisien kappa cohen.

Prediksi	Aktual		Total
	Ya	Tidak	
Ya	12	0	12
Tidak	1	3	4
Total	13	3	16

Berdasarkan hasil analisis **Tabel 5** yang menunjukkan prediksi dan aktual, dimana nilai Pr(a) adalah 0,9375, yang menggambarkan tingkat kesepakatan yang tinggi antara prediksi dan aktual. Di sisi lain, Pr(e) adalah 0,5625, yang mengindikasikan tingkat kesepakatan yang dapat diharapkan jika prediksi dilakukan secara acak. Berdasarkan analisis koefisien Kappa Cohen, diperoleh nilai 0,85714. Nilai ini dianggap menunjukkan hasil uji akurasi yang kuat. Hal ini menunjukkan bahwa prediksi memiliki tingkat kesepakatan yang tinggi dengan data aktual. Dengan kata lain, data yang dianalisis memiliki tingkat reliabilitas yang baik, dengan tingkat kesepakatan berkisar antara 64% hingga 81%. Oleh karena itu, hasil analisis menunjukkan bahwa data dapat diandalkan dan dapat digunakan dengan keyakinan tinggi dalam konteks yang relevan. Validasi lapangan dilakukan untuk membandingkan hasil pengolahan citra dengan kondisi di lapangan (**Gambar 10**).





**Gambar 10.** (a) Perubahan garis pantai, (b) lokasi pengamatan di Ketapang (c) lokasi pengamatan di Bakauheni.

**Perubahan Erosi dan Akresi**

Penelitian ini memberikan pemahaman tentang dinamika alami garis pantai dan bagaimana proses erosi dan akresi berinteraksi dengan faktor-faktor lingkungan seperti gelombang, arus, dan bentuk topografi pesisir. Hasil penelitian menunjukkan perubahan bentuk dan ukuran garis pantai dari waktu ke waktu. Data ini penting untuk memahami tingkat perubahan dan tingkat kerentanan wilayah pesisir terhadap perubahan iklim dan aktivitas manusia.

**Tabel 6.** Panjang perubahan garis pantai.

Jumlah Transek	Panjang Perubahan (Km)	Keterangan
481	24,425	Erosi
163	12,891	Akresi
15	0	Tidak Berubah

Analisis dari **Tabel 6** yang mewakili perubahan garis pantai dari tahun 2018 sampai 2023 menunjukkan bahwa sebanyak 481 transek di wilayah ini mengalami erosi, hal ini berarti terjadi penurunan atau kerusakan pada lapisan tanah atau lingkungan yang menyebabkan perubahan sekitar 24,425 kilometer panjang wilayah. Sementara perubahan garis pantai yang dianalisis sebanyak

163 transek yang mengalami akresi, yang berarti wilayah ini mengalami penambahan atau pertumbuhan sekitar 12,891 kilometer panjang wilayahnya, mungkin karena sedimentasi atau peningkatan lapisan tanah. Di wilayah ini, sebanyak 15 transek tidak mengalami perubahan dalam panjangnya, yang berarti wilayah ini tetap stabil tanpa perubahan yang signifikan dalam karakteristik geografis atau lingkungan.

Nilai erosi dan akresi berkaitan dengan perubahan panjang garis pantai yang terjadi. Berdasarkan **Tabel 3**, pada tahun 2022 pertambahan panjang garis pantai mencapai 8,583 Km. Hal tersebut berkaitan dengan pertambahan luas sebesar 118,383 ha yang menandakan bahwa terjadi akresi pada tahun 2022. Perubahan garis pantai yang signifikan juga ditunjukkan pada tahun 2023 terjadi pengurangan panjang garis pantai sepanjang 18,816 km. Berdasarkan analisis, terjadi perubahan luasan garis pantai pada tahun 2023 seluas 116,496 ha dikarenakan erosi. Perubahan besar terjadi pada rentang waktu 2018-2023 dengan luasan perubahan 262,746 ha. Perubahan terjadi akibat akresi yang terjadi pada tahun 2020. Hasil analisis ini memiliki kecenderungan yang sama dengan studi sebelumnya (Tarigan et al., 2021), menunjukkan bahwa di erosi dan akresi terjadi secara berdampingan di lokasi penelitian. Dari kedua proses tersebut, erosi lebih dominan

(merubah garis pantai dua kali lipat) dari akresi. Faktor yang mempengaruhi hal ini secara antropogenik adalah dikarenakan kurangnya upaya pengurangan efek erosi seperti penanaman mangrove dan menjaga tata guna lahan dari pantai menjadi lahan tambak. Selain itu, tentunya faktor lingkungan dan perubahan iklim berpengaruh dalam proses erosi dan akresi.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa citra Sentinel 1 dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan garis pantai menggunakan nilai *backscatter* dari polarisasi VV dan VH di sebagian pantai timur Provinsi Lampung. Analisis perubahan panjang garis pantai dalam kurun waktu 2018 hingga 2023 menunjukkan variasi yang signifikan yang dapat diatribusikan kepada proses erosi dan akresi. Pada tahun 2022, terjadi pertambahan panjang garis pantai sebesar 8,583 km, yang menunjukkan terjadinya akresi dengan pertambahan luas sebesar 118,383 Ha. Namun, pada tahun 2023, terjadi pengurangan panjang garis pantai sebesar 18,816 km, mencerminkan erosi pantai yang parah dengan pengurangan luas sebesar 116,496 Ha.

Analisis selama periode 2018-2023 terjadi perubahan luas pantai secara keseluruhan sebesar 262,746 Ha, yang terutama dipengaruhi oleh proses akresi yang signifikan pada tahun 2020. Hasil analisis ini memberikan wawasan penting tentang dinamika pesisir dan perubahan lingkungan yang berkaitan dengan erosi dan akresi, yang merupakan informasi yang sangat berharga dalam pengelolaan dan pemeliharaan ekosistem pesisir yang rentan. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengembangan model numerik atau analisis spasial dapat membantu dalam memprediksi perubahan garis pantai di masa depan yang akan membantu dalam perencanaan dan mitigasi risiko erosi di daerah pesisir.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim surveyor yang luar biasa berperan penting dalam mengumpulkan data yang menjadi landasan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2014). SNI 8033:2014: Metode penghitungan perubahan tutupan hutan berdasarkan hasil penafsiran citra penginderaan jauh optik secara visual (in Bahasa). Jakarta.

Bioresita, F., & Isya, N. (2016). Coastline Changes Detection Using Sentinel-1 Satellite Imagery In Surabaya, East Java, Indonesia. *Geoid*, 11, 190. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v11i2.1265>

Chang, L., Chen, Y. T., Wu, M. C., Alkhaleefah, M., & Chang, Y. L. (2022). U-Net for Taiwan Shoreline Detection from SAR Images. *Remote Sensing*, 14(20), 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs14205135>

Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>

Ghazali, M. F. (2020). Spektral Analisis Untuk Pengamatan Keragaman Vegetasi Mangrove di Labuhan Maringgai, Lampung Timur. (Studi Pendahuluan). *Seminal Nasional Konservasi*. Lampung: LPPM UNILA.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Guo, J., Luan, Y., Li, Z., Liu, X., Li, C., & Chang, X. (2021). Mozambique Flood (2019) Caused by Tropical Cyclone Idai Monitored From Sentinel-1 and Sentinel-2 Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, PP, 1. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3107279>

Haris, N. A., Jatmiko, R. H., & Farda, N. M. (2022). Pemanfaatan Citra Optik dan Citra Radar dalam Identifikasi Tambak di Pesisir Kabupaten Pati Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Environmental Science*, 4(2). <https://doi.org/10.35580/jes.v4i2.29832>

Irwin, K., Beaulne, D., Braun, A., & Fotopoulos, G. (2017). Fusion of SAR, Optical Imagery and Airborne LiDAR for Surface Water Detection. *Remote Sensing*, Vol. 9. <https://doi.org/10.3390/rs9090890>

Liu, C. (2016). Analysis of Sentinel-1 SAR data for mapping standing water in the Twente region. *University of Twente - ITC*, 47.

Mansourpour, M., Rajabi, M. a, & Rezaee, Z. (2008). *Radiometric and Geometric Correction Methods for Active Radar and SAR Imageries*.

Mansourpour, M., & Blais, R. (2006). Effects and performance of speckle noise reduction filters on active radar and SAR images. *Proc. ISPRS*.

Markiewicz, Ł., Mazurek, P., & Chybicki, A. (2016). Coastline change-detection method using remote sensing satellite observation data. *Hydroacoustics*, 19, 277–284.

Nadzir, Z. A., Jaelani, L. M., & Sulaiman, A. (2016). Estimasi Tinggi Gelombang Laut menggunakan Citra Satelit ALOS-PALSAR, Studi Kasus Perairan Pulau Poteran, Sumenep. *Jurnal Geosaintek*, 3(3), 173–184.

Refice, A., Zingaro, M., D'Addabbo, A., & Chini, M. (2020). Integrating C- and L-Band SAR Imagery for Detailed Flood Monitoring of Remote Vegetated Areas. *Water*, 12, 27. <https://doi.org/10.3390/w12102745>

Setyawan, F. O., Sari, W. K., & Aliviyantri, D. (2021). Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System Di Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Aceh. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.22>

Simarmata, N., & Heru Murti, S. (2018). *Karakteristik Backscatter Citra Alos Palsar Polarisasi HH Dan HV Terhadap Parameter Biofisik Hutan Di Sebagian Taman Nasional Kerinci Seblat*.

- Sui, L., Wang, J., Yang, X., & Wang, Z. (2020). Spatial-Temporal Characteristics of Coastline Changes in Indonesia from 1990 to 2018. *Sustainability*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/su12083242>
- Sunu, H. A., Yuwono, B. D., & Suprayogi, A. (2019). Analisis Ketelitian DSM Kota Semarang Dengan Metode Insar Menggunakan Citra Sentinel-1. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(3), 17–26.
- Suthakar, K. (2019). *Detection of Coastline Change in Koddigar Bay of Trincomalee District using Remotely Sensed Imageries and GIS Technology*.
- Tarigan, T., Nurisman, N., & Simarmata, N. (2021). *Identification of Coastal Problem along the East Coast of Lampung Indonesia*. (Isoceen 2019), 138–142. <https://doi.org/10.5220/0010059201380142>
- Wu, L., Tajima, Y., Yamanaka, Y., Shimozone, T., & Sato, S. (2019). Study on characteristics of SAR imagery around the coast for shoreline detection. *Coastal Engineering Journal*, 61(2), 152–170. <https://doi.org/10.1080/21664250.2018.1560685>
- Yen, N. H., & Kim, T. L. T. (2020). Coastline changes detection from Sentinel – 1 satellite imagery using spatial fuzzy clustering and interactive thresholding method in Phan Thiet , Binh Thuan. *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, 2020(6), 1–10. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020\(6\).1](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020(6).1)
- Yu, Z., Wang, W., Li, C., Liu, W., & Yang, J. (2018). Speckle Noise Suppression in SAR Images Using a Three-Step Algorithm. *Sensors*, Vol. 18. <https://doi.org/10.3390/s18113643>

# **ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI MENGGUNAKAN CITRA SATELIT MULTI TEMPORAL**

## **STUDI KASUS: KABUPATEN PESISIR BARAT, LAMPUNG**

*(Analysis Of Shoreline Changes Use Multi Temporal Satellite Images  
Case Study: Pesisir Barat Regency, Lampung)*

**Maulana Prabandaru<sup>1</sup>, Dessy Apriyanti<sup>1</sup>, Ediyanto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geomatika, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta  
Jalan Babarsari Nomor 2, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

E-mail: [maulanaprabandaru99@gmail.com](mailto:maulanaprabandaru99@gmail.com)

*Diterima: 26 September 2023; Direvisi: 9 November 2023; Disetujui untuk Dipublikasikan: 29 November 2023*

### **ABSTRAK**

Wilayah pesisir Provinsi Lampung diketahui telah terjadi erosi dan abrasi serta sedimentasi. Wilayah pesisir sering terjadi abrasi dan akresi dikarenakan daerah tersebut berhadapan langsung dengan laut lepas (Samudera Hindia). Peristiwa abrasi dan akresi dapat berpengaruh terhadap perubahan garis pantai. Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis perubahan garis pantai dengan menggunakan citra satelit multi sensor. Peristiwa abrasi dan akresi dapat diketahui jarak perubahan garis pantai dengan menggunakan perangkat lunak *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* yang mampu menghitung jarak statistik perubahan garis pantai untuk serangkaian waktu dengan metode perhitungan statistik *Net Shoreline Movement (NSM)*. Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan luas terhadap perubahan garis pantai akibat peristiwa abrasi dan akresi. Berdasarkan hasil penelitian ini perubahan garis pantai dengan menggunakan DSAS dapat diketahui jarak perubahan garis pantai pada daerah pesisir barat pada tahun 2015-2021. Berdasarkan hasil penelitian ini, pada tahun 2016 mengalami abrasi tertinggi sebesar 15,62 meter dan mengalami akresi tertinggi sebesar 29,98 meter di Kecamatan Pesisir Selatan. Selanjutnya perubahan luas garis pantai terbesar, akibat abrasi terjadi pada tahun 2015-2016, yaitu sebesar 31,1181 hektar. Perubahan luas garis pantai terbesar, akibat akresi terjadi pada tahun 2016-2017, yaitu seluas 32,0585 hektar. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan bahan pertimbangan bagi Pemerintah Provinsi Lampung dalam melakukan pemantauan dan penentuan kebijakan yang diambil berdasarkan informasi akibat perubahan garis pantai di Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung.

**Kata kunci:** abrasi, akresi, *digital shoreline analysis system*

### **ABSTRACT**

*The coastal areas of Lampung Province are known to have experienced erosion and abrasion as well as sedimentation. Coastal areas often experience abrasion and accretion because the area is directly facing the open seas (Indian Ocean). Abrasion and accretion events can affect shoreline changes. The purpose of this study was to analyze changes in coastlines using multi-sensor satellite images. Abrasion and accretion events can be determined by the distance of shoreline changes using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) software which is capable of calculating the statistical distance of shoreline changes over time using the Net Shoreline Movement (NSM) statistical calculation method. In this study, the calculation of the area of shoreline changes due to abrasion and accretion events was also carried out. Based on the results of this research, changes in the coastline using DSAS can be known as the distance to changes in the coastline on the west coast in 2015-2021. Based on the results of this research, in 2016 the highest abrasion was 15.62 meters and the highest accretion was 29.98 meters in Pesisir Selatan District. Furthermore, the largest change in coastline area due to abrasion occurred in 2015-2016, namely 31.1181 hectares. The largest change in coastline area due to accretion occurred in 2016-2017, namely 32.0585 hectares. It is hoped that the results of this research can provide consideration for the Lampung Province government in monitoring and determining policies based on information resulting from changes in coastlines in Pesisir Barat Regency, Lampung Province.*

**Keywords:** *abrasion, accretion, digital shoreline analysis system*



**PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki wilayah pantai sepanjang kurang lebih 80.000 kilometer. Daerah pantai sangat sering dimanfaatkan untuk kegiatan manusia seperti: pusat pemerintahan, permukiman, industri, pelabuhan, pertambangan, pertanian dan pariwisata. Hal ini akan berakibat pada peningkatan kebutuhan akan lahan dan prasarana lainnya, sehingga akan timbul masalah-masalah baru di kawasan pantai seperti abrasi dan penambahan sedimentasi (akresi) yang mengakibatkan majunya garis pantai serta pendangkalan muara sungai, dan penurunan tanah serta pencemaran lingkungan (Pranoto, 2008). Berdasarkan dokumen Rencana Strategis Pengelolaan Wilayah Pesisir Provinsi Lampung (2000) diketahui telah terjadi erosi dan abrasi serta sedimentasi di wilayah pesisir Provinsi Lampung. Salah satu wilayah pesisir yang rentan mengalami proses abrasi adalah pantai Krui yang merupakan pantai wisata dan pantai Labuhan Jukung Krui yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia (Nurisman & br Tarigan, 2021). Pantai di Kabupaten Pesisir Barat terjadi abrasi yang mengancam di lokasi wisata pantai Walur dan pantai Mandiri, Kecamatan Krui Selatan, abrasi pantai setiap tahun menggerus daratan di pantai tersebut, Sehingga terjadi perubahan garis pantai setiap tahunnya (Kupastuntas, 2020).

Menurut Arief, et al. (2011), perubahan garis pantai adalah suatu peristiwa yang terjadi terus-menerus setiap waktunya melalui berbagai proses alami di pantai yang meliputi pergerakan sedimen, arus sejajar pantai (*longshore current*), aksi gelombang permukaan laut dan penggunaan lahan. Posisi garis pantai mengalami perubahan yang berlangsung secara terus menerus. Perubahan tersebut terjadi akibat pengikisan daratan yang disebut abrasi maupun penambahan daratan yang disebut akresi. Faktor terjadinya abrasi dan akresi di pantai diantaranya adalah sedimentasi, pasang surut, gelombang, arus, aktivitas manusia dan penggunaan lahan. Perubahan garis pantai disebabkan oleh terjadinya abrasi dan akresi yang ada, dimana penyebab utama dari hal tersebut adalah gelombang, angin, dan pasang surut. Perubahan pada garis pantai yang diakibatkan oleh faktor-faktor tersebut di atas dapat menunjukkan kecenderungan perubahan garis pantai tersebut mengarah ke daratan (terkikis) atau mengarah ke laut (bertambah).

Perhitungan jarak perubahan garis pantai dilakukan dengan program *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) yang mampu menghitung jarak statistik perubahan garis pantai untuk serangkaian waktu dengan perhitungan menggunakan data vektor yang berbentuk sebuah garis (*polyline*) (Sasmito & Amarrohman, 2016). DSAS memiliki metode perhitungan statistik *Net*

*Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR). Metode NSM dapat menghitung jarak perubahan garis pantai antara tahun awal dan akhir, adapun satuan yang dihasilkan yaitu meter dan metode EPR merupakan metode yang menghitung laju perubahan garis pantai dengan membagi garis pantai tahun awal dan tahun akhir, metode ini membutuhkan minimal dua garis pantai dan satu garis bantu (*baseline*). NSM memiliki Kelebihan yaitu perhitungan yang mudah untuk mengetahui jarak perubahan garis pantai (Himmelstoss, Henderson, Kratzmann, & Farris, 2018).

Maksud dari Penelitian ini adalah untuk menganalisis perubahan garis pantai di wilayah Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung pada tahun 2015 hingga tahun 2021. Sedangkan tujuan dari penelitian ini yaitu, untuk mengetahui jarak dan luas perubahan garis pantai di Kabupaten Pesisir Barat, Lampung pada tahun 2015 hingga tahun 2021. Tidak hanya itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui besar abrasi dan akresi yang terjadi di wilayah pantai Kabupaten Pesisir Barat, Lampung pada tahun 2015 hingga tahun 2021.

**METODE**

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder yang terdiri dari citra satelit, data pasang surut, batimetri dan batas administrasi (**Tabel 1**). Citra satelit merupakan salah satu hasil dari penginderaan jarak jauh yang bisa dimanfaatkan manusia untuk menganalisa permukaan bumi dengan berbagai cara tertentu (Putro & Handayani, 2015) Bahan yang dibutuhkan adalah: Data primer, yaitu data citra Sentinel-1 dan Sentinel-2 yang di unduh melalui *platform European Space Agency* (ESA); Data sekunder, yaitu data pasang surut diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG); Data batimetri diperoleh dari BIG; dan data batas administrasi yang diperoleh dari BIG untuk menentukan lokasi penelitian.

**Tabel 1.** Data primer dan data sekunder

parameter	Sumber data
Sentinel-1 dan Sentinel-2	ESA
Pasang surut	BIG
Batimetri	BIG
Batas administrasi	BIG

Lokasi penelitian ini berada di Kabupaten Pesisir Barat Kota dan dipilih 4 kecamatan diantaranya adalah Kecamatan Waykrui, Pesisir Tengah, Krui Selatan, dan Pesisir Selatan. Kabupaten Pesisir Barat berada pada rentang koordinat antara 105048'01" sampai 105048'30" Bujur Timur dan 05021'37" sampai 05028'03" Lintang Selatan. Luas area penelitian berdasarkan *area of interest* mencapai 80.140 hektar. Lokasi penelitian ini dipilih karena daerah tersebut berhadapan langsung dengan laut lepas yang mengakibatkan terjadinya

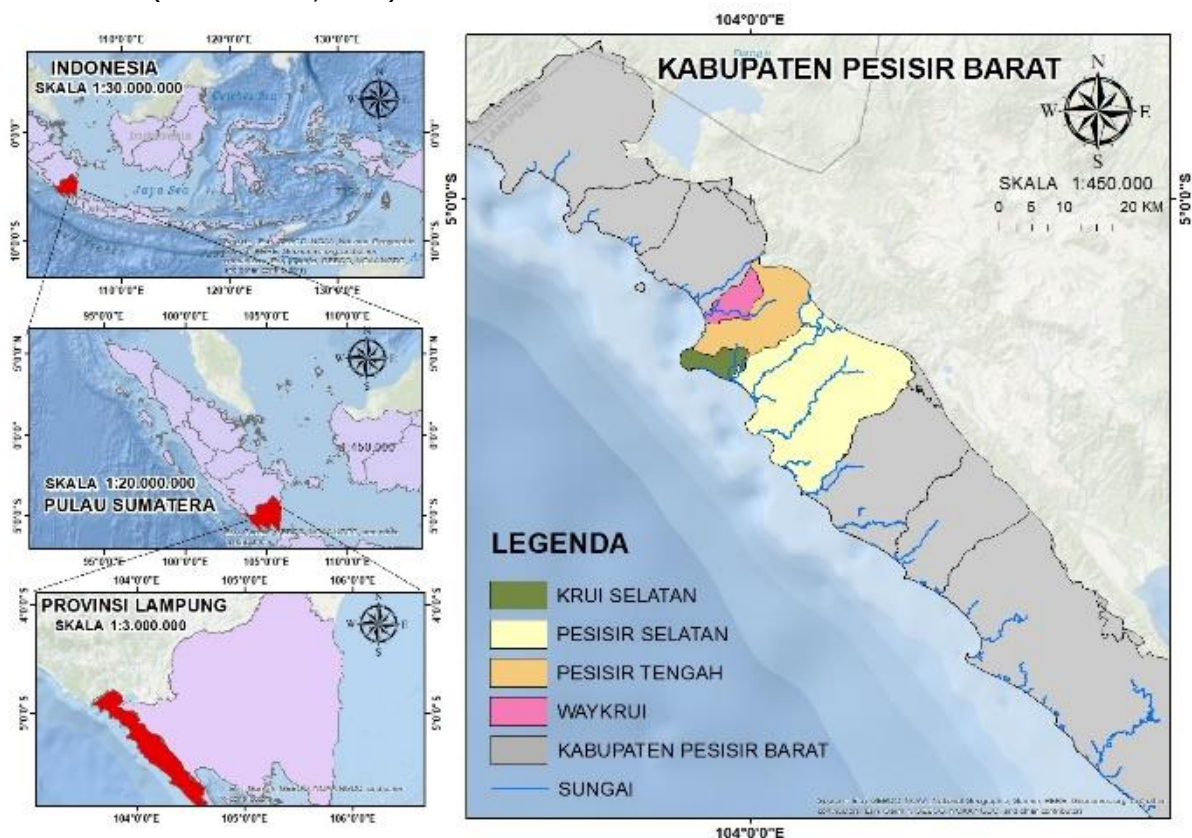
abrasi maupun akresi pada daerah tersebut. Lokasi penelitian terletak pada gambar dengan pembatas berwarna merah yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Tahap diagram alir pelaksanaan merupakan alur kegiatan yang dilaksanakan dalam penelitian ini. Alur kegiatan dalam penelitian ini diawali dengan kegiatan persiapan dan berakhir pada kegiatan hasil analisis. Proses penelitian ini digambarkan dalam bagan diagram alir yang terlihat pada **Gambar 2**. Pelaksanaan penelitian terdiri dari beberapa tahapan. Adapun tahap pelaksanaan penelitian terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, menghasilkan peta perubahan garis pantai, dan analisis. Selanjutnya pengumpulan data Citra Sentinel-1 dan Citra Sentinel-2 dilakukan dengan mengumpulkan data dari <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>, dengan tanggal perekaman 15 November 2015, 19 November 2016, 15 September 2017, 12 Juni 2018, 17 Juli 2019, 29 Oktober 2020, dan 24 September 2021. Selanjutnya mengumpulkan data pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah diakuisisi dari tahun 2015 sampai 2021. Koreksi atmosferik Citra Sentinel-2 dilakukan dengan menggunakan metode *Sen2Cor* pada SNAP. Koreksi atmosfer *Sen2Cor* ini diluncurkan ESA sebagai metode khusus untuk citra satelit Sentinel-2. Koreksi atmosferik bertujuan menurunkan reflektansi objek radiansi TOA setelah mengalami normalisasi kondisi pencahayaan dan penghapusan efek atmosfer (Attema et al., 2012).

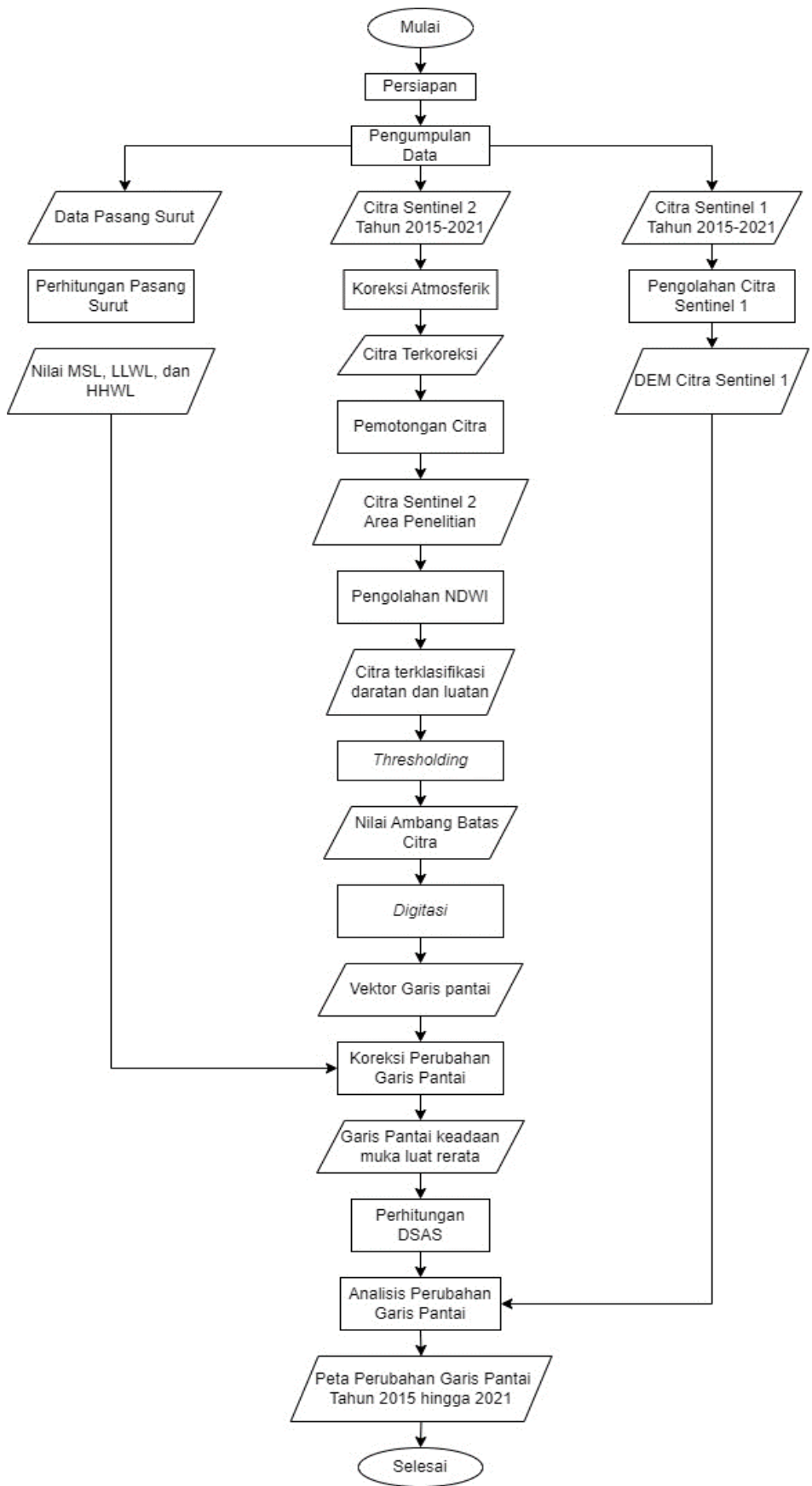
Pemotongan citra dilakukan untuk membatasi dan memfokuskan analisis pada daerah penelitian (Purwadi & Sanjoto, 2008). Citra Sentinel-2 memiliki luas cakupan sebesar 290 km. Citra dalam penelitian ini memiliki cakupan yang sangat luas, oleh karena itu dilakukan pemotongan citra sesuai dengan daerah penelitian. Pemotongan citra dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *ArcMap* dan dibatasi dengan *boundaries* area penelitian menggunakan format *shapefile* (Puntodewo, Dewi, & Tarigan, 2003).

*Normalized Difference Water Index* (NDWI) merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk mendeteksi objek perairan. Algoritma NDWI digunakan untuk memisahkan antara badan air dengan daratan. Proses pengolahan NDWI berfungsi untuk mempermudah ketika melakukan identifikasi pada citra terhadap batas daratan dan lautan (Zaidan et al., 2022). Pengolahan NDWI yang telah berhasil dilakukan akan berlanjut ke proses pengolahan menggunakan metode *thresholding*.

Hasil dari pengolahan NDWI selanjutnya dilakukan *thresholding* untuk menentukan garis pantai. Menurut Santi (2011), *Thresholding* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan segmentasi citra digital. Segmentasi citra digital ini diproses dengan menggunakan nilai ambang otomatis dengan cara mengubah citra *grayscale* menjadi hitam putih. Nilai tersebut berdasarkan dari perbandingan nilai ambang batas dengan nilai warna pada piksel citra digital.



**Gambar 1.** Lokasi penelitian (Citra Sentinel-2).



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian.

*Thresholding* digunakan untuk membagi citra input ke dalam dua kelas piksel yang memiliki nilai

kurang dari *threshold* dan lebih dari *threshold*, citra dari hasil pengolahan ini digunakan untuk analisis

yang lebih detail dari masing-masing kelas secara terpisah. Proses *thresholding* ini digunakan agar seluruh nilai pada daratan hingga lautan pada citra dapat terlihat secara jelas dengan tujuan mempermudah melihat garis pantai yang akan diekstraksi.

Proses digitasi dilakukan dengan menggunakan *software ArcMap* dilakukan secara *on screen* (Setianingrum & Suprayogi, 2014). Delineasi dilakukan pada objek pantai untuk menggubah data raster menjadi data vektor. Hasil data vektor tersebut nantinya dilakukan *overlay* untuk mengetahui perubahan garis pantai pada tahun 2015-2021. Delineasi garis pantai dilakukan dengan 2 cara, yaitu pembuatan garis pantai baru dan melakukan *editing* pada data garis pantai *eksisting* (Zaidan et al., 2022). Berdasarkan petunjuk teknis penentuan garis pantai pasang tertinggi indikatif yang dikeluarkan BIG pada tahun 2021 cara delineasi garis pantai pada karakteristik pantai area Pelabuhan atau dermaga serta bangunan lainnya delineasi dilakukan pada batas terluar bangunan dimana posisi air terhenti sejajar dengan bangunan. Untuk bangunan yang menggunakan tiang pancang dan keadaan air masih bisa mengalir pada bagian bawah bangunan, tidak bisa dianggap sebagai garis pantai.

Koreksi garis pantai merupakan koreksi terhadap pasang surut sangat penting dilakukan untuk menghilangkan genangan air karena pengaruh pasang surut terhadap perekaman citra (Zaidan et al., 2022). Koreksi garis pantai terhadap pasang surut dilakukan dengan beberapa cara yakni menentukan kemiringan dasar pantai dan menentukan koreksi garis pantai citra terhadap *Mean Sea Level* (MSL) Koreksi garis pantai dilakukan dengan menggunakan data pasang surut dan data kemiringan garis pantai yang telah dilakukan perhitungan sebelumnya.

DSAS berfungsi untuk melakukan pembuatan *transek* garis pantai, tujuan dari pembuatan *transek* untuk mengetahui jarak dari perubahan garis pantai. Metode DSAS yang digunakan dalam pengolahan data penelitian menggunakan metode EPR dan NSM (Sasmito & Amarrohman, 2016). NSM menghitung pergerakan dari jarak garis pantai awal dan akhir pada masing-masing garis transek yang telah diolah, satuan yang dihasilkan yaitu meter. Adapun EPR menghitung pergerakan dari jarak garis awal dan akhir dengan membagi pada rentang tahun yang berada pada masing-masing garis pantai.

*Digital Elevation Model* (DEM) pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui nilai ketinggian dari daerah penelitian di sekitar pesisir pantai untuk menganalisis apakah daerah penelitian ini mengalami perubahan yang signifikan dan diketahui bentuk topografi di daerah pesisir. DEM digunakan dalam penelitian ini merupakan DEM yang diperoleh dari pengolahan data citra satelit Sentinel-1 dengan

menggunakan perangkat lunak SNAP. Ketinggian daerah penelitian diketahui dengan menganalisa berdasarkan data DEM yang diperoleh dari citra Sentinel-1.

Uji akurasi dalam penelitian ini dilakukan dengan melakukan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) dimana akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber *independent* yang akurasinya lebih tinggi. Metode estimasi dari RMSE yang memiliki nilai lebih kecil dikatakan lebih akurat dari estimasi RMSE yang memiliki nilai yang lebih besar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengolahan Pasang Surut

Pengolahan data pasang surut pada tahun 2015-2016 dengan waktu (bulan) yang disesuaikan dengan waktu perekaman citra satelit dapat dihasilkan dengan metode *admiralty*. Hasil pengolahan pasang surut tahun 2015-2021 dengan metode *admiralty* diperoleh sembilan nilai konstanta harmonik. Pada pengolahan metode *admiralty* selain diketahui Sembilan nilai konstanta harmonik serta memperoleh nilai *formzahl* untuk menentukan tipe pasang surut perairan. Nilai *formzahl* merupakan pembagian antara amplitudo konstanta pasang surut harian utama dengan amplitudo konstanta pasang surut ganda utama. Hasil perhitungan nilai *formzahl* akan diketahui tipe pasang surut pada suatu perairan. Perhitungan tipe pasang surut menggunakan **Persamaan 1** bilangan *formzahl* (Pugh, 1987; Khatimah, Jaya, & Saleh Atmadipoera, 2016) sebagai berikut:

$$F = \frac{(AK1+A01)}{(AM2+AS2)} \dots \dots \dots (1)$$

di mana:

- F = Bilangan *formzahl*
- AO1 = Amplitudo komponen pasut tunggal utama yang disebabkan gaya tarik bulan.
- AK1 = Amplitudo komponen pasut tunggal utama yang disebabkan gaya tarik surya.
- AM2 = Amplitudo komponen pasut ganda utama yang disebabkan gaya tarik bulan.
- AS2 = Amplitudo komponen pasut ganda utama yang disebabkan gaya tarik surya.

Dengan bilangan *formzahl* dapat diketahui tipe pasang surut pada suatu perairan. Tipe pasang surut berdasarkan bilangan *formzahl* dilihat pada **Table 2.**

**Tabel 2.** Tipe pasang surut berdasarkan bilangan *formzahl*.

No	Nilai Formzahl	Tipe Pasang Surut
1	$0,00 < F \leq 0,25$	Setengah Harian (semidiurnal/ganda)
2	$0,25 < F \leq 1,50$	Campuran dengan tipe ganda lebih menonjol (dominan ganda)
3	$1,50 < F \leq 3,00$	Campuran dengan tipe tunggal lebih menonjol (dominan tunggal)
4	$F > 3,00$	Harian (tunggal)

Nilai *formzahl* pada tahun 2015 yaitu 0,68, tahun 2016 bernilai 0,55, tahun 2017 bernilai 0,55, tahun 2018 bernilai 0,54, tahun 2019 bernilai *formzahl* bernilai 0,49. Bilangan *formzahl* pada daerah perairan laut pesisir barat pada tahun 2015 hingga 2021 bernilai lebih besar dari 0,25 dan lebih kecil dari 1,5 sehingga dapat ditentukan tipe pasang surut daerah pesisir barat merupakan pasang surut campuran dominan ganda. Ketinggian permukaan air rata-rata (MSL) daerah pesisir barat yang diketahui dengan model *admiralty* pada tahun 2015- 2021 memiliki nilai rata-rata mencapai 93,428 centimeter.

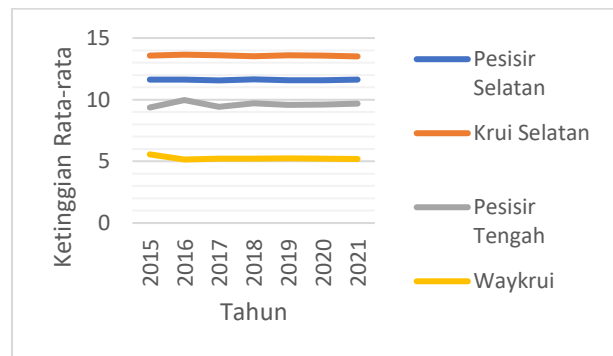
Kondisi pasang surut memiliki pengaruh terhadap posisi garis pantai dikarenakan posisi garis pantai dapat berubah-ubah sesuai kondisi muka air laut. Kondisi muka air laut perlu diperhatikan jika menggunakan data yang berasal dari citra satelit maupun lembar peta. Data garis pantai yang diperoleh dari lembar peta memiliki referensi kondisi muka air laut dalam kedudukan rata-rata atau MSL, Data garis pantai yang berasal dari citra satelit dapat bervariasi bergantung pada waktu akuisi citra saat dilakukan pengamatan pasang surut. Data pasang surut yang dilakukan pengolahan merupakan data dengan waktu yang sama dengan bulan dan tahun saat citra dilakukan akuisisi. Hasil pengamatan terhadap keadaan pasang surut pada citra satelit dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Analisa perubahan garis pantai sebaiknya menggunakan data yang memiliki kondisi kedudukan muka air laut yang seragam sehingga dapat meminimalisir terdeteksinya perubahan yang masih diakibatkan oleh pasang surut. Pada

penelitian ini data masih memiliki kedudukan muka air laut yang bervariasi, sehingga perlu dilakukan koreksi pasang surut. Koreksi pasang surut dilakukan untuk menyamakan posisi garis pantai pada seluruh data yang digunakan ke dalam kondisi kedudukan muka air laut rata-rata atau MSL (Kasim, 2012).

**Ketinggian Daerah Pesisir**

Hasil dari DEM pada citra Sentinel-1 diperoleh nilai ketinggian di empat kecamatan pada daerah penelitaian. Nilai ketinggian dari DEM hasil pengolahan citra Sentinel-1 yang diakuisisi pada tahun 2015-2021 untuk mengetahui nilai ketinggian daerah pantai pada lokasi penelitaian, sehingga dapat mengetahui nilai perubahan ketinggian pertahun pada lokasi penelitaian. Nilai ketinggian dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Nilai ketinggian pertahun.

Nilai ketinggian diperoleh dengan menggunakan titik uji sebanyak 48 yang diletakan pada daerah pantai. Penentuan titik uji berdasarkan SNI, sehingga pada tiap kecamatan dilakukan pengambilan titik uji sebanyak 12 titik. Hasil nilai ketinggian pada kecamatan Pesisir Selatan, Krui Selatan, Pesisir Tengah, dan Waykru yang diamatai pada tahaun 2015 hingga 2021 tidak mengalami perubahan yang sanagat signifikan. Nilai ketinggian rata-rata rentang tahaun 2015 sampai 2021 pada kecamatan Pesisir Selatan sebesar 11,612, kecamatan Krui Selatan sebesar 13,576 meter, kecamatan Pesisir Tengah sebesar 9,616 meter, dan pada kecamatan Waykru sebesar 5,257 meter.

**Tabel 3.** Waktu keadaan pasang surut pada citra satelit.

Jenis Citra Satelit	Akuisisi Data (dd/mm/yyyy)	Waktu Aukisisi Data (hh:mm:ss)	MSL (m)	Keadaan Muka Air Laut
Sentinel-2A MSI	15/11/2015	10:21:12	0.800	Surut
Sentinel-2A MSI	19/11/2016	10:10:12	1.050	Surut
Sentinel-2A MSI	15/09/2017	10:05:41	0.870	Surut
Sentinel-2A MSI	12/06/2018	10:05:41	0.940	Pasang
Sentinel-2A MSI	17/07/2019	10:05:51	0.860	Surut
Sentinel-2A MSI	29/10/2020	10:08:41	1.050	Pasang
Sentinel-2A MSI	24/09/2021	10:05:51	0.970	Surut

Titik uji diambil dengan jarak 100 meter dari garis pantai menuju ke daratan, sehingga memiliki nilai ketinggian yang berbeda pada masing-masing kecamatan. Kecamatan krui selatan memiliki nilai ketinggian tertinggi diantara empat kecamatan lainnya dan nilai ketinggian yang rendah terdapat pada kecamatan Waykru. Nilai ketinggian rata-rata pada tahun 2015-2021 pada masing masing kecamatan daerah penelitian dapat dilihat pada **Tabel 4.**

**Tabel 4.** Nilai Ketinggian rata-rata Tahun 2015-2021.

Kecamatan	Ketinggian rata-rata Tahun 2015-2021
Pesisir Selatan	11.612
Krui Selatan	13.576
Pesisir Tengah	9.616
Waykru	5.257

### Analisis Perubahan Garis Pantai

Analisis perubahan garis pantai dilakukan menggunakan perangkat lunak DSAS pada perangkat lunak ArcMap. DSAS dapat digunakan untuk menghitung tingkat perubahan garis pantai pada siklus tahunan. Hasil Garis pantai pada kecamatan Waykru, Pesisir Barat, Krui Selatan, dan Pesisir Selatan daerah Pesisir Barat pada tahun 2015 hingga tahun 2021 dilakukan analisis perubahan garis pantai. Hasil analisis perubahan garis Pantai dapat dilihat pada **Tabel 5.**

Berdasarkan **Tabel 5,** perubahan garis pantai terbesar akibat abrasi dan akresi terjadi pada tahun 2015-2016 di Kecamatan Waykuri, yaitu sebesar -18,98 m dan 29,98 m. Sedangkan perubahan garis Pantai terkecil akibat abrasi terjadi pada tahun 2016-2017 di Kecamatan Pesisir Tengah, sebesar -3,65 m, dan perubahan garis Pantai terkecil terjadi pada tahun 2019-2020 di Kecamatan Waykru, dengan tidak adanya akresi yang terjadi.

**Tabel 5.** Perubahan garis pantai tahun 2015-2021.

Jenjang Tahun	Wilayah Kecamatan			
	Waykru		Pesisir Tengah	
	Abrasi (m)	Akresi (m)	Abrasi (m)	Akresi (m)
2015-2016	-18,98	29,98	-9,96	3,67
2016-2017	-5,12	21,87	-3,65	13,96
2017-2018	-5,47	6,85	-7,73	3,31
2018-2019	-7,98	5,50	-8,57	8,27
2019-2020	-11,89	0,00	-9,58	18,69
2020-2021	-4,46	3,74	-13,07	1,33

Jenjang Tahun	Kruis Selatan			
	Kruis Selatan		Pesisir Selatan	
	Abrasi (m)	Akresi (m)	Abrasi (m)	Akresi (m)
2015-2016	-14,52	8,08	-15,62	11,83
2016-2017	-9,02	11,49	-8,78	15,74
2017-2018	-9,05	12,00	-7,43	11,09
2018-2019	-9,73	7,65	-12,50	10,08
2019-2020	-12,46	10,26	-12,80	14,26
2020-2021	-8,68	12,05	-13,76	9,91

Perubahan garis pantai dapat dianalisis dengan menggunakan DSAS untuk melakukan perhitungan jarak perubahan garis pantai, dimana jarak yang dimaksud yaitu jarak antara digitasi garis pantai tahun awal dan tahun akhir pada transek dengan satuan meter. Perhitungan komputasi pada DSAS menghasilkan nilai negatif (-) dan nilai positif (+). Nilai positif artinya memandakan bahwa terjadi akresi sedangkan nilai negatif yang artinya menandakan bahwa telah mengalami abrasi. Abrasi dan akresi dengan nilai tertinggi pada tahun 2015 sampai tahun 2016 pada daerah penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 6.**

**Tabel 6.** Abrasi dan akresi tertinggi tahun 2015-2021.

Tahun	Wilayah	Abrasi	Akresi
		Max (m)	Max (m)
2015-2016	Pesisir Selatan	-114,95	102,47
2016-2017	Pesisir Selatan	-87,6	71,96
2017-2018	Pesisir Selatan	-85,53	74,24
2018-2019	Pesisir Selatan	-62,1	42,35
2019-2020	Kruis Selatan	-89,75	138,4
2020-2021	Pesisir Selatan	-113,75	85,2



Perubahan garis pantai mengalami abrasi tertinggi pada tahun 2015-2016 dan 2020-2021 dengan nilai perubahan jarak -114,95 meter dan -113,75 meter yang terjadi pada kecamatan Pesisir Selatan. Perubahan garis pantai mengalami akresi tertinggi pada tahun 2019-2020 dan 2015-2016 dengan nilai perubahan jarak 138,4 meter dan 102,47 meter. Berdasarkan analisis tersebut bahwa daerah Pesisir Selatan terus mengalami perubahan garis pantai yang sangat dinamis setiap tahunnya yang disebabkan baik abrasi maupun akresi. Berdasarkan pengolahan DSAS maka diketahui jarak perubahan garis pantai yang dapat dianalisa dengan rentang waktu tertentu. Pada analisis perubahan garis pantai tidak hanya menghitung jarak perubahan garis pantai tetapi juga melakukan perhitungan luas perubahan garis pantai yang mengakibatkan peristiwa abrasi dan akresi pada kecamatan Waykru, Pesisir Tengah, Krui Selatan, dan Pesisir Selatan pada tahun 2015-2021. Luas perubahan garis pantai akibat abrasi maupun akresi pada kecamatan Waykru, Pesisir Tengah, Krui Selatan, dan Pesisir Selatan pada tahun 2015-2021 dapat dilihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Luas perubahan garis pantai tahun 2015-2021.

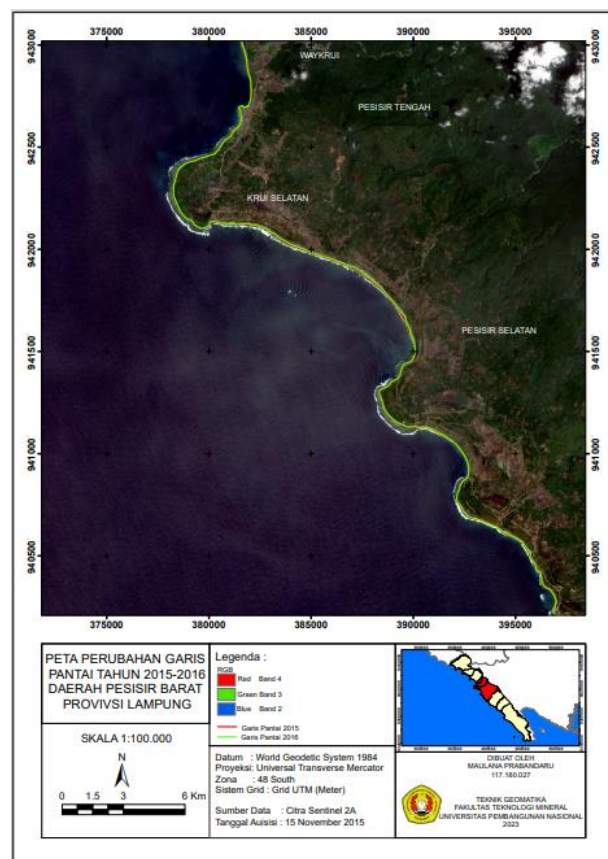
Jenjang Tahun	Wilayah Kecamatan			
	Waykru		Pesisir Tengah	
	Abrasi (ha)	Akresi (ha)	Abrasi (ha)	Akresi (ha)
2015-2016	2,8888	0,6696	4,9093	0,0021
2016-2017	0,0489	3,4266	0,0298	6,7491
2017-2018	0,5635	0,4957	2,2698	0,4339
2018-2019	1,1263	0,1350	2,5029	1,8561
2019-2020	1,9516	0,0000	3,1081	3,0787
2020-2021	0,4212	0,3307	5,7095	0,0563
	Krui Selatan		Pesisir Selatan	
	Abrasi (ha)	Akresi (ha)	Abrasi (ha)	Akresi (ha)
2015-2016	12,7567	2,0890	31,1181	6,4814
2016-2017	3,1746	9,4684	4,4066	32,0585
2017-2018	4,0760	8,9493	9,4902	13,4702
2018-2019	6,3186	4,1698	18,3244	10,8554
2019-2020	9,5981	4,2406	22,2868	10,4244
2020-2021	7,0864	4,5407	26,8361	5,9814

Berdasarkan **Tabel 7**, abrasi terbesar terjadi pada kecamatan pesisir selatan pada tahun 2015-2016 dan 2020-2021 dengan luas mencapai 31,1181 hektar dan 26,8361 hektar. Luas akresi terbesar terjadi pada kecamatan pesisir selatan pada tahun 2016-2017 dengan luas akresi sebesar 32,0585 hektar. Akresi pantai terjadi karena proses transportasi sedimen dari area lain yang terjadi abrasi. Proses akresi juga timbul karena adanya transportasi sedimen sepanjang pantai sebagai akibat proses fisik arus yang bergerak sepanjang pantai. Penyebab perubahan yang sangat dinamis pada perubahan garis pantai yang mengalami abrasi dan akresi adalah karena wilayah pesisir tidak dilakukan pembangunan pemecah ombak (*breakwater*) ataupun *jetty*.

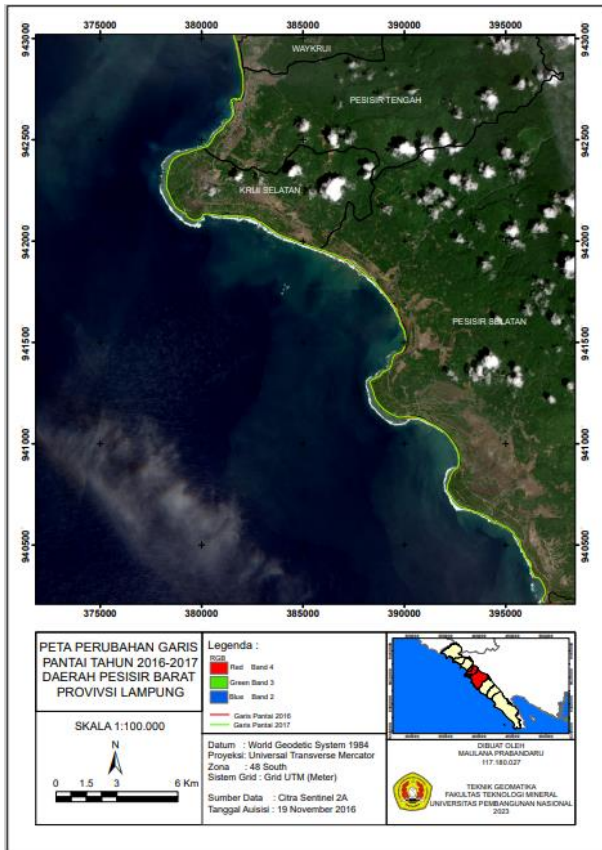
Hasil dari perhitungan jarak perubahan garis pantai dengan rentang waktu 6 tahun pada tahun 2015-2021 Kecamatan Waykru mengalami abrasi dan akresi dengan jarak rata-rata -15,58 meter dan 31,61 meter. Kecamatan Pesisir Tengah mengalami abrasi dan akresi dengan jarak rata-rata -14,27 meter dan 6,09 meter. Pada Kecamatan Krui Selatan mengalami abrasi dan akresi dengan jarak rata-rata -12,98 meter dan 11,73 meter. Sedangkan pada Kecamatan Pesisir Selatan mengalami abrasi tertinggi dengan jarak rata-rata -17,44 meter dan akresi dengan jarak rata-rata 12,41 meter. Hasil jarak perubahan garis pantai pada tahun 2015-2021 tersebut dapat dilihat pada **Tabel 8, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9**.

**Tabel 8.** Jarak perubahan garis pantai tahun 2015-2021.

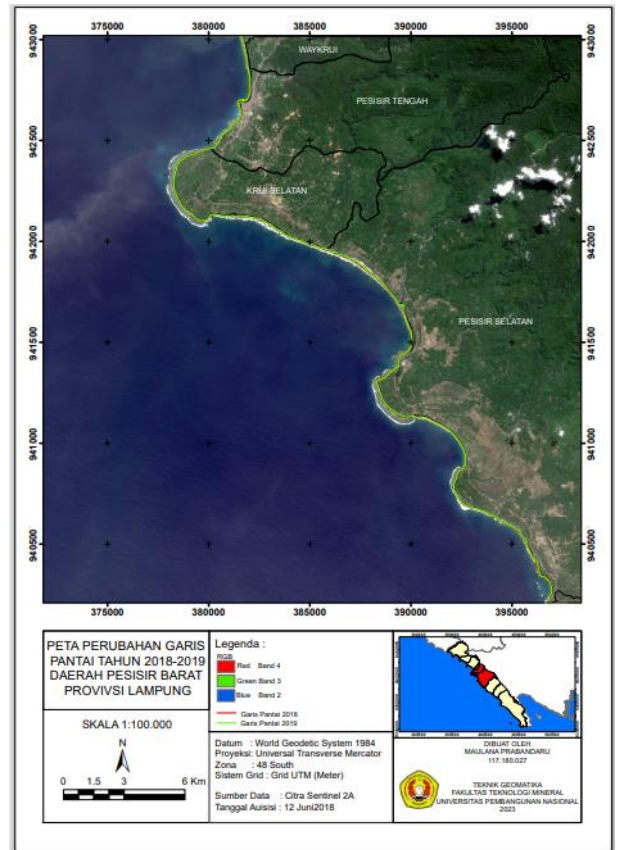
No.	Jarak perubahan garis pantai tahun 2015-2021		
	Wilayah	Abrasi (m)	Akresi (m)
1	Waykru	-15,58	31,61
2	Pesisir Tengah	-14,27	6,09
3	Krui Selatan	-12,98	11,73
4	Pesisir Selatan	-17,44	12,41



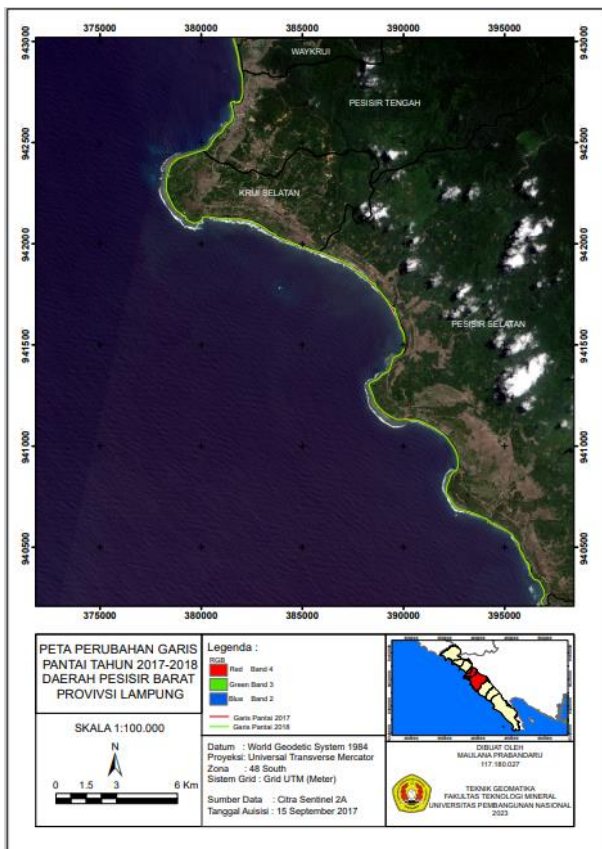
**Gambar 4.** Peta perubahan garis pantai pada tahun 2015-2016.



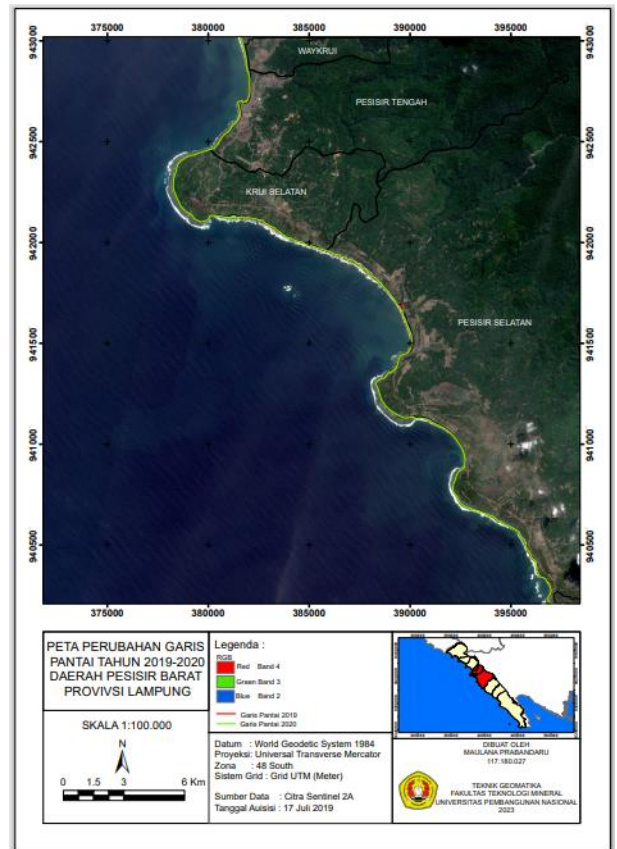
**Gambar 5.** Peta perubahan garis pantai pada tahun 2016-2017.



**Gambar 7.** Peta perubahan garis pantai pada tahun 2018-2019.

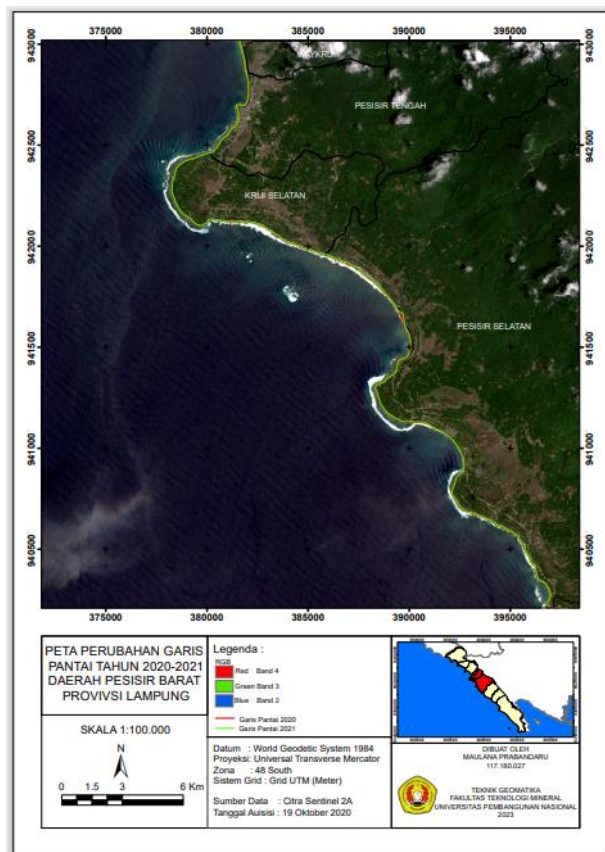


**Gambar 6.** Peta perubahan garis pantai pada tahun 2017-2018.



**Gambar 8.** Peta perubahan garis pantai pada tahun 2019-2020.





**Gambar 9.** Peta perubahan garis pantai pada tahun 2020-2021.

Jarak rata-rata perubahan garis pantai pada tahun 2015-2021 di Kecamatan Waykruui mengalami perubahan akresi yang cukup besar sejauh 31,61 meter. Perubahan tersebut berada pada daerah muara sungai, dimana pada tahun 2021 muara sungai tersebut berpindah ke selatan dari muara pada tahun 2015. Sehingga pada tahun 2021 daerah tersebut mengalami akresi yang cukup besar. Perubahan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 10**.



**Gambar 10.** Tampilan perubahan garis pantai pada tahun 2015-2021 di Kecamatan Waykruui.

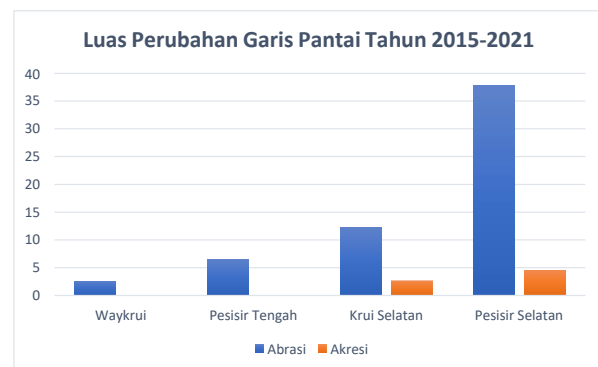
Hasil dari perhitungan luas perubahan garis pantai dengan rentang waktu 6 tahun pada tahun 2015-2021 Kecamatan Waykruui mengalami abrasi

dan akresi dengan luas sebesar 2,5057 hektar dan 0,5752 hektar. Kecamatan Pesisir Tengah mengalami abrasi dan akresi dengan luas sebesar 6,4681 hektar dan 0,1027 hektar. Kecamatan Krui Selatan mengalami abrasi dan akresi dengan luas sebesar 12,2734 hektar dan 2,6150 hektar. Pada Kecamatan Pesisir Selatan mengalami abrasi tertinggi dengan dengan luas sebesar 37,7312 hektar dan akresi dengan luas sebesar 4,5377 hektar. Hasil luas perubahan garis pantai pada tahun 2015-2021 tersebut dapat dilihat pada **Tabel 9**.

**Tabel 9.** Luas perubahan garis pantai tahun 2015-2021.

No.	Wilayah	Abrasi (m)	Akresi(m)
1	Waykruui	2,5057	0,5752
2	Pesisir Tengah	6,4681	0,1027
3	Krui Selatan	12,2734	2,6150
4	Pesisir Selatan	37,7312	4,5377

Perubahan garis pantai yang disebabkan oleh peristiwa abrasi dan akresi pada tahun 2015-2021 dapat diketahui dengan cara menghitung luas perubahan tersebut. Luas perubahan abrasi dan akresi pada Kecamatan Waykruui, Pesisir Tengah, Krui Selatan, dan Pesisir Selatan dapat dianalisis dengan mudah dengan menggunakan gambar grafik. Gambar grafik luas perubahan garis pantai pada tahun 2015-2021 pada 4 (empat) kecamatan dapat dilihat pada **Gambar 11**.



**Gambar 11.** Grafik luas abrasi dan akresi tahun 2015-2021.

Pada **Gambar 11** dapat diketahui bahwa pada Kecamatan Waykruui, Pesisir Tengah, Krui Selatan, dan Pesisir Selatan pada tahun 2015-2021 mengalami abrasi yang cukup tinggi dibandingkan dengan akresi. Abrasi tertinggi terjadi pada Kecamatan Pesisir Selatan dengan luas abrasi sebesar 37,7312 hektar. Hal tersebut dikarenakan garis pantai pada Kecamatan Pesisir Tengah lebih panjang dibandingkan dengan Kecamatan Waykruui, Pesisir Tengah, dan Krui Selatan. Panjang garis pantai pada Kecamatan Pesisir Selatan mencapai 25,893 kilometer.

Selanjutnya, hasil uji akurasi merupakan perhitungan nilai *Circular Error* dengan tingkat kepercayaan 90% (CE90). Perhitungan RMSE tersebut memperoleh nilai sebesar 43,164 meter dan nilai *Circular Error* sebesar 51,844 meter. Berdasarkan SNI 8202:2019 tentang ketelitian peta dasar uji akurasi pada Peta Perubahan Garis Pantai skala 1:100.000 memiliki ketelitian geometri peta kelas 2(dua). Hal tersebut menunjukkan bahwa sedikitnya 90% kesalahan atau pergeseran posisi objek pada Peta Perubahan Garis Pantai Skala 1:100.000 tersebut tidak lebih dari 90 meter untuk posisi horizontal.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan perubahan garis pantai dengan menggunakan DSAS dapat diketahui jarak perubahan garis pantai pada kecamatan Waykru, Pesisir Tengah, Krui Selatan

dan Pesisir Selatan pada tahun 2015-2021. Total jarak perubahan garis pantai pada 4 kecamatan tersebut pada tahun 2015- 2021 yang mengalami abrasi sejauh 60,27 meter dan akresi sejauh 61,84 meter. Perubahan jarak garis pantai yang disebabkan oleh akresi memiliki nilai yang tinggi dibandingkan dengan abrasi dikarenakan pada tahun 2021 terdapat penambahan daratan (sedimentasi) pada muara sungai di Kecamatan Waykru. Sedangkan luas perubahan garis pantai pada tahun 2015-2021 pada Kecamatan Waykru, Pesisir Tengah, Krui Selatan, dan Pesisir Selatan memperoleh total abrasi sebesar 58,9784 hektar dan akresi sebesar 7,8306 hektar. Hasil tersebut dapat diketahui bahwa daerah tersebut pada tahun 2015-2021 mengalami perubahan garis pantai, yang mana perubahan tersebut dominan disebabkan oleh peristiwa abrasi.

Berdasarkan pengolahan pasang surut dan ekstraksi garis dari citra Sentinel-2 serta pengolahan DSAS dapat diketahui perubahan garis pantai di Kecamatan Waykru, Pesisir Tengah, Krui Selatan, dan Pesisir Selatan, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung pada tahun 2015 hingga 2021. Perubahan garis pantai tersebut disebabkan karena terjadinya peristiwa abrasi dan akresi serta tinggi permukaan air laut pada daerah pesisir pantai.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada keluarga, dosen, teman – teman Teknik Geomatika UPNVY, Badan Informasi Geospasial, dan instansi-instansi terkait penyediaan data yang telah mendukung serta membantu dalam kelancaran penelitian ini

## DAFTAR PUSTAKA

- Arief, M., Winarso, G., & Prayogo, T. (2011). Kajian perubahan garis pantai menggunakan data satelit Landsat di Kabupaten Kendal. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 8.
- Attema, E., Bertoni, R., Bibby, D., Carbone, A., Cosimo, G. di, Geudtner, D., ... Ostergaard, A. (2012). Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services. In ESA Communications report ESA SP-1322/1. European Space Agency.
- Himmelstoss, E., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2018). Digital shoreline analysis system (DSAS) version 5.0 user guide. US Geological Survey.
- Kasim, F. (2012). Pendekatan beberapa metode dalam monitoring perubahan garis pantai menggunakan dataset penginderaan jauh Landsat dan SIG. *Jurnal Ilmiah Agropolitan*, 5(1), 620–635.
- Khatimah, H., Jaya, I., & Saleh Atmadipoera, A. (2016). Pengembangan perangkat lunak antar-muka instrumen motiwali (tide gauge) untuk analisis data pasang surut. *Jurnal Kelautan Nasional*, 11(2), 97. <https://doi.org/10.15578/jkn.v11i2.6111>
- Kupastuntas.co. (2020, November 10). Tiap Tahun, Abrasi Ancam Pantai di Pesisir Barat.
- Nurisman, N., & br Tarigan, T. A. (2021). Kajian awal perencanaan bangunan pelindung pantai labuhan jukung, krui, kabupaten pesisir barat, provinsi lampung. *Maspari Journal: Marine Science Research*, 13(1), 25–40.
- Pranoto, S. (2008). Prediksi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Model Genesis. *Prediksi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Model Genesis*, 1–10.
- Puntodewo, A., Dewi, S., & Tarigan, J. (2003). Sistem informasi geografis untuk pengelolaan sumberdaya alam. CIFOR.
- Purwadhi, F. S. H., & Sanjoto, T. B. (2008). Pengantar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh. BAB III: Dasar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh.
- Putro, F. W., & Handayani, T. (2015). Penghilangan awan pada citra satelit dengan citra multi temporal dan inpainting berbasis self organizing map. *Technology Dynamic*, 7(1), 5–21.
- Santi, R. C. N. (2011). Mengubah Citra Berwarna Menjadi Gray-Scale dan Citra Biner. *Dinamik*, 16(1).
- Sasmitho, B., & Amarrohman, F. J. (2016). Pemantauan Perubahan Garis Pantai Menggunakan Aplikasi Digital Shoreline Anaysis System (DSAS) Studi Kasus: Pesisir Kabupaten Demak. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(1), 78–89.
- Setianingrum, D. R., & Suprayogi, A. (2014). Analisis Kesesuaian Lahan Tambak Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kecamatan Brangsong, Kabupaten Kendal, Provinsi Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 3(2), 69–80.
- Zaidan, R. R., Suryono, C. A., Pratikto, I., & Taufiq-Spj, N. (2022). Penggunaan Citra Satelit Sentinel-2A untuk Mengevaluasi Perubahan Garis Pantai Semarang Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 11(2), 105–113.

*Halaman ini sengaja kami kosongkan*

GEOMATIKA  
VOLUME 29 TAHUN 2023

Indeks Penulis

**A**

Abdullah Ali, 1  
Adib Muhammad Shodiq, 9  
Ajat Sudrajat, 99  
Alif Adiyasa, 1  
Anindya Azzahra, 89  
Anindya Putri Tamara, 23  
Arif Eko Wibawanto, 9  
Arif Ismul Hadi, 67

**B**

Basuki Rahmad, 35  
Budi Harlianto, 67

**D**

Darmawan Ikhlas Fadli, 67  
Deni Permana, 1  
Dessy Apriyanti, 121  
Dewi Nawang Sari, 107  
Dinda Pratiwi Dwi Putri, 35  
Dimas Hanityawan Suryopuspito, 45

**E**

Ediyanto, 35,121

**F**

Fadhil Muhammad Aslam, 89  
Fajar Triady Mugiarto, 45

**G**

Gumilang Deranadyan, 1

**H**

Haryadi,1  
Hasriani Muis, 55  
Henrikus Jatining Wahyu Argo,1  
Henyningtyas Suhel, 9

**I**

Ida Arianingsih, 55  
Iddam Hairuly Umam, 1

Imawan Mashuri, 89

**M**

Makmur Supriyatno, 77  
Maulana Prabandaru, 121  
Moh Erkamim,23  
Monica Maharani, 35  
Muhamad Arif Jumansa, 89  
Muhammad Adam Suni, 55  
Muhammad Afif Nabhan, 67  
Muhammad Rizal Fernandita Pamungkas, 23  
Muhammad Al Kautsar, 99

**N**

Nanda Winata, 1  
Nirmawana Simarmata, 107  
Nur Muhammad Ikram, 35

**O**

Oktadi Prayoga, 99  
Oktavia Dewi Alfiani, 35

**R**

Rama Ramdani, 67  
Ratna Sari Dewi, 45  
Refrizon, 67  
Rifqi Muhammad Harrys, 45

**S**

Shabrina Hapsari, 23  
Sidik Tri Wibowo, 99  
Sobar Sutisna, 77  
Syafudin Fathoni, 77

**T**

Teguh Sulistian, 45

**Y**

Yahya Darmawan, 89

**Z**

Zulfikar Adlan Nadzir, 107



GEOMATIKA  
VOLUME 27 TAHUN 2021

Indeks Subjek

- A**
- Abrasi, 109,114,121,122,123,127,128,130,131  
Akresi,  
107,108,109,112,113,114,116,117,118,119,121,122,123,127,128,130,131,132  
Aksesibilitas,  
23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,55,59,62  
Analisis Jaringan, 23,25  
Aplikasi Andoid, 1,2,3,5,6  
As Built Drawing, 35,36,37,38,39,40,41,42,43
- B**
- Bathymetry, 45,46,47,49,53,54  
Banjir, 78,86,89,90,91,92,94,95,96,97,113  
Bencana,  
67,69,72,73,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,89,90,91,92,96,97,99,100,102,105
- C**
- CMA, 89,90,96  
Curah Hujan, 9,10,11,12,14,20,55,56
- D**
- Deforestasi, 55,56,58,59,62,64,65  
DEMNAS, 9,10,11,12,14,21  
*Digital Shoreline Analysis System*,  
111,112,119,121,122,131  
Dinamika Pesisir, 107,109,119
- E**
- Erupsi, 77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87  
Erosi, 82,112,113,114,116,117,118,119,121,122
- G**
- Gempa bumi, 67,69,86,99,100,101,102,104,105  
GNSS CORS, 99,101,102,103,104,105  
Gunungapi Rokatenda,  
77,78,79,80,81,82,83,84,85,86
- H**
- HVSR inversion,67,69,75
- I**
- InaSAFE, 77,78,79,80,82,83,84,85,86
- K**
- K-Nearest Neighbors*, 45,48,54  
Kecepatan Gelombang Geser, 67,68,69,70,71  
Konstruksi, 35,36,37,39,40,42,43,44,58  
Kota Padang, 89,90,91,92,96,97
- M**
- Machine Learning*, 45,46,47,49,53,54  
*Multiple Linear Regression*, 45,54
- O**
- Overlay, 80,89,90,125
- P**
- Pasang Surut, 9,10,11,13,15,17,20,21  
Pemodelan 2D Genangan Banjir, 9,20  
Pemodelan Spasial, 21,55,57  
Perubahan Tutupan Lahan, 55,56,58  
PPP, 99,101,102,103,105
- R**
- Radar, 1,2,3,4,5,6,7,  
107,108,110,111,112,113,119,131  
Radar Cuaca, 1,2,3,4,5,6,7  
*Random Forest*, 45,48,53  
Regresi Logistik, 55,59,60,64
- S**
- Satellite Derived Bathymetry*, 45,53,54  
SIG, 77,78,89,90,108,131  
Sistem Informasi Geografis, 2,23,25  
Sistem Integrasi 1,2,6
- T**
- Terrestrial laser scanner*, 35,37,39,42,43,44
- V**
- Visualisasi 3D, 9,10,18,19  
Vs30,67,69,71,72,73,74,75
- W**
- Web-GIS 1,2,3,4,5,6  
Wilayah Perbatasan Negara, 23,32

UCAPAN TERIMA KASIH  
KEPADA MITRA BESTARI GEOMATIKA  
VOLUME 29 TAHUN 2023

1. Prof. Dr.Ir. Muhamad Buce Saleh, M.S
2. Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
3. Dr. Ir. Atriyon Julzarika, M.Eng
4. Dr. Abdul Basith, S.T., M.Si.
5. Dr. Agustan, S.T., M.Sc
6. Dr. Sri Hartini, S.Si., M.GIS
7. Dr. Ati Rahadiati, S.Si., M.Sc
8. Dr. Ir. Harintaka, S.T.,M,T.,IPU ASEAN Eng
9. Dr. rer. nat. Djati Mardiatno, M.Si
10. Dr. rer. nat. Anang Widhi Nirwansyah, M.Sc
11. Dr. Elyta Widyaningrum, S.T., M.Sc
12. Dr. Yudo Prasetyo, S.T., M.T
13. Dr. Yosef Prihanto, M.Si
14. Dr. Wiwin Ambarwulan, M.Sc.

## PEDOMAN PENULISAN GEOMATIKA

Geomatika adalah publikasi ilmiah melalui proses review yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan jauh Indonesia (MAPIN). Majalah ini berisi tulisan ilmiah dan kajian literatur tentang pengumpulan, pengolahan dan analisis data tentang informasi geospasial tematik serta tema lain yang terkait. Persyaratan umum naskah adalah merupakan naskah asli hasil karya penulis, belum pernah dipublikasikan sebelumnya, tidak sedang dalam proses publikasi di jurnal lain, ditulis sesuai format yang telah ditentukan. Naskah yang masuk akan ditelaah oleh Mitra bestari dan dewan redaksi. Dewan redaksi berhak mengedit tulisan dalam hal gaya penulisan, format dan kejelasan kalimat serta memutuskan apakah naskah dapat diterbitkan atau tidak.

Redaksi menerima naskah yang sesuai dengan scope untuk dipublikasikan dalam jurnal ilmiah ini. Naskah hendaknya dikirim ke:

### Sekretariat Redaksi Geomatika

Pusat Penelitian Promosi dan Kerja Sama, Badan Informasi Geospasial

Jl. Raya Jakarta Bogor Km. 46 Cibinong Jawa Barat 16911

Telp. 021-87906041 Fax 021-87906041

Website: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM/index>

E-mail: [jurnal.geomatika@big.go.id](mailto:jurnal.geomatika@big.go.id), [jurnalgeomatika@gmail.com](mailto:jurnalgeomatika@gmail.com)

### Pengajuan naskah

Penulis harus mengirimkan naskah melalui e-journal dengan terlebih dahulu mendaftarkan diri sebagai Author dan login melalui website <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL/index>

### Penulisan naskah

**Naskah** dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris. Naskah diketik dalam Microsoft Word dengan 1 kolom untuk abstrak dan 2 kolom untuk isi. Ukuran kertas A4. Jenis huruf untuk seluruh ISI tulisan menggunakan Tahoma 10pt dan spasi (line spacing) 1. Panjang naskah terdiri dari 8-12 halaman (halaman harus genap) termasuk tabel dan gambar serta maksimal ukuran file setiap naskah tidak lebih dari 10Mb.

### Sistematika Penulisan

**Template penulisan** naskah secara lengkap dapat diunduh melalui website Jurnal Geomatika.

**Kerangka tulisan** disusun dengan urutan sebagai berikut: Judul, Identitas Penulis, Afiliasi, Abstrak, Kata Kunci, Pendahuluan, Metode, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih, dan Daftar Pustaka.

**Judul** harus akurat, jelas, spesifik. Judul utama ditulis dengan huruf kapital, sedangkan sub judul menggunakan huruf kecil dengan huruf besar di setiap awal kata. Judul dibuat dalam 2 bahasa (Indonesia dan Inggris), apabila tulisan dalam bahasa Indonesia, maka judul dalam Bahasa Inggris ditulis dalam tanda kurung dengan huruf Tahoma 12 point miring.

**Identitas Penulis** ditulis secara lengkap tanpa disingkat, tanpa gelar dan jabatan profesional.

**Afiliasi** penulis meliputi: nama departemen/unit, nama universitas/nama instansi, alamat, kota, kode pos, negara. Penulis korespondensi (termasuk alamat e-mail) ditulis dengan menambahkan tanda superscript setelah nama. Bila penulis memiliki afiliasi yang berbeda, diberikan kode nomor berbeda di akhir nama penulis dengan format superscript. Bila semua penulis memiliki afiliasi/instansi yang sama, kode nomor tidak perlu dituliskan.

**Abstrak** memberikan pengantar singkat disertai masalah, tujuan, metode, ringkasan hasil serta kesimpulan penelitian, ditulis dalam satu paragraf dalam 1 kolom maksimal 250 kata. Abstrak dibuat dalam 2 bahasa. Apabila naskah dalam Bahasa Indonesia, maka abstrak dengan Bahasa Indonesia ditulis terlebih dahulu kemudian abstrak dalam Bahasa Inggris dan sebaliknya.

**Kat Kunci/ Keyword** minimal 3 kata atau frasa dipisahkan dengan tandakoma yang menunjukkan subjek-subjek utama di dalam naskah.

**Isi tulisan** dimulai dari PENDAHULUAN, METODE, HASIL DAN PEMBAHASAN, KESIMPULAN, UCAPAN TERIMA KASIH DAN DAFTAR PUSTAKA. Isi tulisan dibuat dengan 2 kolom dengan huruf Tahoma 10pt.

**Tabel** dibuat ringkas dan diberi judul yang singkat tetapi jelas hanya menyajikan data esensial dan mudah dipahami. Tabel diberi catatan secukupnya, termasuk sumbernya. Setiap tabel diberi nomor secara berurutan dan diulas di dalam naskah. Untuk tabel yang ukurannya melebihi satu kolom, maka dapat menempati area dua kolom.

**Gambar, Grafik dan Foto** harus tajam dan jelas agar cetakan berkualitas baik. Semua simbol di dalamnya harus dijelaskan. Gambar, grafik dan foto

memiliki kedalaman minimal 300 dpi. Gunakan textbox untuk menyisipkan gambar. File gambar asli mohon disertakan pada lampiran terpisah (supplementary file).

**Kesimpulan** simpulan harus menjawab tujuan penelitian dan disusun dalam bentuk narasi dan bukan pointer.

**Ucapan terima kasih** ucapan terima kasih wajib dituliskan penulis, ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan penelitian misalnya pemberi data atau pemberi dana.

**Daftar Pustaka** Referensi hendaknya dari sumber yang jelas dan terpercaya, minimal berjumlah 10 referensi. Setiap referensi yang tercantum dalam daftar pustaka harus dikutip (disitir) pada naskah dan sebaliknya setiap kutipan harus tercantum dalam daftar pustaka. Referensi primer harus lebih dari 80% dan diterbitkan dalam 5 tahun terakhir. Referensi yang dicantumkan dalam naskah mengikuti pola baku dengan disusun menurut abjad berdasarkan nama (keluarga) penulis pertama dan tahun publikasi, dengan sistem sitasi American Physiological Association 6th Edition. Setiap artikel yang dikirimkan ke Geomatika harus menggunakan perangkat lunak pengelolaan referensi (reference management software) yang mendukung Citation Style Languages seperti Mendeley, Zotero, EndNote dan lainnya.

Contoh penulisan di dalam Daftar Pustaka adalah sebagai berikut:

Aziz, N. (2006). Analisis Ekonomi Alternatif Pengelolaan Ekosistem Mangrove di Kecamatan Barru, Kabupaten Barru. Universitas Diponegoro.

(Contoh referensi **Skripsi/Tesis/Disertasi**)

Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. Retrieved September 17, 2007, from <http://cdm.unfccc.int/Panels/ar>.

(Contoh referensi **Naskah Online**)

Danoedoro, P. (2009). Land-use Information from the Satellite Imagery: Versatility and Contents for Local Physical Planning. Queensland: LAP Lambert Acad. Publisher.

(Contoh referensi dalam **Buku**)

Indonesia, R. Undang-undang No. 4 tentang Informasi Geospasial (2011).

(Contoh referensi dalam **Undang-undang**)

Neumeyer, J. (2010). Superconducting Gravimetry. In G. Xu (Ed.), Sciences of Geodesy- I (pp.

340–406). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-11741-1>

(Contoh referensi **bagian dari Buku**)

Othman, A, & Gloaguen, R. (2013). River Courses Affected by Landslides and Implications for Hazard Assessment: A High Resolution Remote Sensing Case Study in NE Iraq–W Iran. Remote Sensing, 5(3), 1024–1044.

(Contoh referensi **Artikel dalam Jurnal**)

Setiawan, I. B. (1999). Studies on environmental change and sustainable development of Cidanau Watershed. In International Workshop on Sustainable Resources Management of Cidanau Watershed (p. 235). Bogor.

(Contoh referensi dalam **Naskah Prosiding**)

**Catatan :**

- **Pustaka berupa diktat kuliah, bahan presentasi, dan dokumentasi perseorangan yang belum dipublikasi resmi tidak diperkenankan untuk digunakan/ dicantumkan**

**Sekretariat**

Badan Informasi Geospasial  
Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong  
Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia  
Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064  
e-mail: [jurnalgeomatika@gmail.com](mailto:jurnalgeomatika@gmail.com)  
Homepage: [jurnal.big.go.id/index.php/GM](http://jurnal.big.go.id/index.php/GM)

p-ISSN 0854-2759

