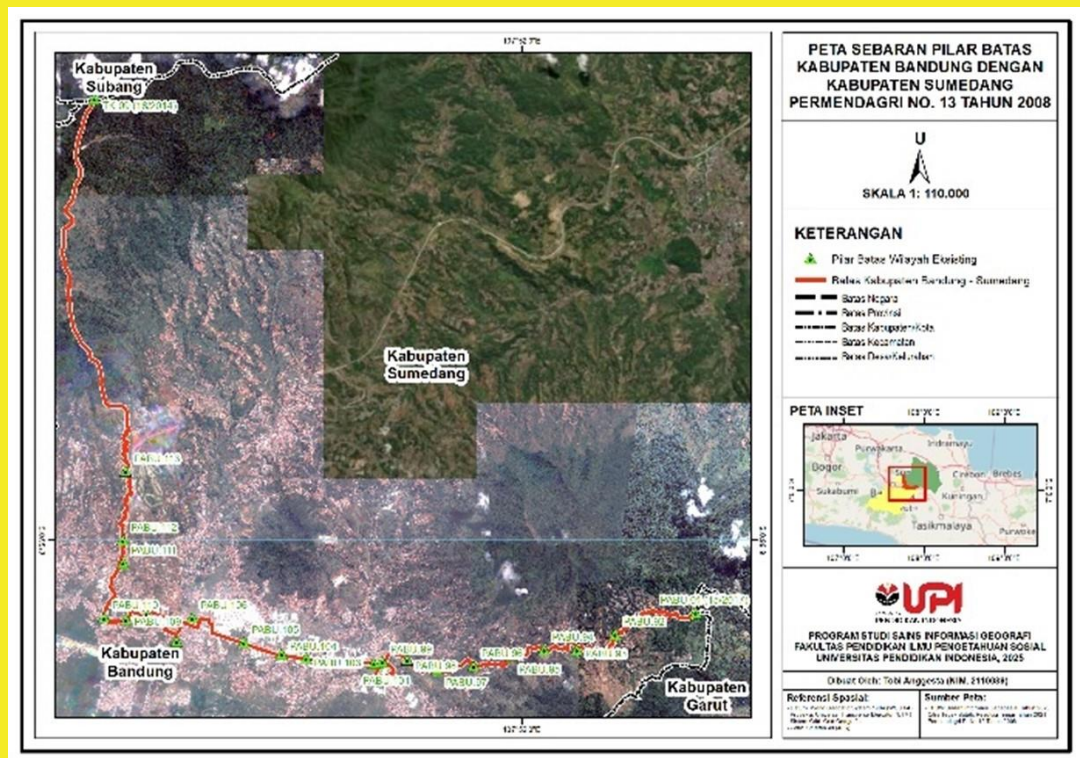


GEOMATIKA

Volume 31 No 2 November 2025



Geomatika | Volume 31 Nomor 2 | November 2025 | Hal 71-116



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 31 No. 2, November 2025

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 Biro Hukum, Hubungan Masyarakat Dan Kerja Sama

Mitra Bestari:

Nama:

Dr. Ing Khafid

I Made Andi Arsana, S.T., M.E., Ph.D

Prof. Dr. Ir. Sobar Sutisna,

Prof. Dr. Ir. Eka Djunarsah, S.T., M.T.

Heri Sutanta, S.T., M.Sc., Ph.D

Dr. Ir. Bambang Riadi, S.T., M.Tech

Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar

Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi., M.Sc

Dr. Wiwin Ambarwulan, M.Sc.

Prof. Dr. Ir. Harintaka, S.T., M.T.,
IPU, ASEAN Eng.

Kepakaran:

Penginderaan Jauh, Kelautan,
Kepesisiran, Mangrove, SIG

Batas Wilayah, Geodesi

Batas Wilayah, Geodesi

Survey Hidrografi, Batas Maritim,
Marine Cadaster

NSDI, GIS, Spatial Planning,
DRR/Disaster Risk

Reduction/Pengurangan Risiko Bencana

Lingkungan, Pemetaan Batas, Geografi,
SIG, Banjir, Pembangunan Desa

aplikasi teknologi geospasial dan
geoinformatika, Fotogrametri,
Geospatial Multidisiplin (pemetaan
topografi, bencana, perencanaan
spasial), Geoinformation
(GeoDatabase), System of Spatial
Information (NSDI, Geo-Standards,
Geo-Law, Geo-HRD, Geo-
Communication)

Survey Hidrografi dan Oceanografi,
Penginderaan Jauh Kelautan

Pengelolaan SDA dan Lingkungan,
Konservasi Air, DAS, Penginderaan Jauh
Kelautan, SIG

Fotogrametri, Remote Sensing,
Geomatika, Geodesi

Instansi:

Badan Informasi Geospasial

Universitas Gadjah Mada

Universitas Pertahanan

Institute Teknologi Bandung

Universitas Gadjah Mada

Universitas Pakuan

Badan Riset dan Inovasi
Nasional

Badan Informasi Geospasial

Badan Riset dan Inovasi
Nasional

Universitas Gadjah Mada

Dewan Editor:

Nama:

Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi.,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

Redaktur Pelaksana:

Nama :

Lalitya Narieswari, M.Sc
Dr. Sri Lestari, M.Agr
Hanik Nurdiana Sabita, SIP
Muchamad Wildan Burhani, SIP
Prayudha Hartanto, S.t., M.T
Nadya Oktaviani, S.T.,M.T
Mira Harimurti, S.Si., M.URP
Intan Pujawati, S.Si
Tia Rizka Nuzula Rachma, S.T., M.Si
Ellen Suryanegara, S.Sos., M.Si
Achmad Faisal Nurghani, S.Ikom.,
M.StratComm
Fahrul Hidayat, S.T., M.P.W.K
Prayudha Hartanto, S.T., M.T
Bondan Vitorini, S.Kom
Hibatur Rahman, S.Kom
Huswantoro Anggit PM, S.T
Arik Sukaryanti, A.Md
Provina Pasha Hutami, S.E

Jabatan

Managing Editor
Editor
Editor
Editor
Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Proof Reader/Editor
Proof Reader/Editor
Proof Reader/Editor
Proof Reader/Editor
Pendukung TI
Pendukung TI
Pendukung TI
Sirkulasi
Sirkulasi

Instansi

Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial

Alamat Redaksi:

Sekretariat Redaksi Geomatika
Gedung C, 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>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 31 No. 2, November 2025

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
LEMBAR ABSTRAK (ID)	v
LEMBAR ABSTRAK (EN)	vii
PENGANTAR REDAKSI	ix
DATA GEOSPASIAL UNTUK MENDUKUNG DIPLOMASI KEAMANAN MARITIM MENUJU INDONESIA EMAS 2045 <i>(Geospatial Data to Support Maritime Security Diplomacy in Advancing Indonesia Emas 2045)</i> Bagus Satrio Wicaksono, Asep Adang Supriyadi, Syachrul Arief Program Studi Keamanan Maritim, Fakultas Keamanan Nasional, Universitas Pertahanan Republik Indonesia.....	71-80
ANALISIS SPASIAL METODE KARTOMETRIK UNTUK SINKRONISASI BATAS DESA DENGAN BATAS ADMINISTRASI DI SEGMENT BATAS KABUPATEN BANDUNG DENGAN KABUPATEN SUMEDANG <i>(Spatial Analysis of Cartometric Methods for Synchronizing Village Boundaries with Administrative Boundaries in the Boundary Segment of Bandung Regency with Sumedang Regency)</i> Tobi Anggesta, Lili Somantri, Haikal Muhammad Ihsan Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung Indonesia.....	81-94
UTILIZATION OF NEURAL RADIANCE FIELDS (NERF) FOR THREE-DIMENSIONAL MODELING <i>(Pemanfaatan Neural Radiance Fields (NeRF) untuk Pemodelan Tiga Dimensi)</i> Ade Rio Saputra, Muhammad Ulin Nuha, Rizqi Aulia Department of Geomatics Engineering, Faculty of Regional and Infrastructure Technology, Institut Teknologi Sumatera.....	95-104
AKURASI PEMETAAN BATIMETRI PERAIRAN DANGKAL BERBASIS CITRA LANDSAT 8 DI TELUK PRIGI, KABUPATEN TRENGGALEK <i>(Accuracy Of Shallow Water Bathymetry Mapping Based On Landsat 8 Imagery In Prigi Bay, Trenggalek Regency)</i> Bagus Satrio Wicaksono, Danar Guruh Pratomo, Aida Sartimbul, Widodo Setiyo Pranowo, Ade Yamindago, Tangguh Perwira Hutomo Departemen S2 Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.....	105-116

LEMBAR ABSTRAK (ID)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2025
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya	
DDC 327.17028 Wicaksono (Universitas Pertahanan) Data Geospasial Untuk Mendukung Diplomasi Keamanan Maritim Menuju Indonesia Emas 2045 <i>Geomatika, Vol 31 No 2, Hal 71-80</i> Penelitian ini mengkaji peran strategis data geospasial dalam mendukung diplomasi keamanan maritim untuk mengatasi berbagai ancaman non-tradisional seperti penangkapan ikan ilegal, perompakan, dan sengketa batas wilayah. (Wicaksono) Kata Kunci: Data Geospasial, Diplomasi Keamanan Maritim, Indonesia Emas 2045, Keamanan Maritim	DDC 526.9 Anggesta (Universitas Pendidikan Indonesia) Analisis Spasial Metode Kartometrik Untuk Sinkronisasi Batas Desa Dengan Batas Administrasi Di Segmen Batas Kabupaten Bandung Dengan Kabupaten Sumedang <i>Geomatika, Vol 31 No 2, Hal 81-94</i> Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi eksisting pilar batas desa antara Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang, serta menganalisis pergeseran segmen yang berdampak pada perubahan luas wilayah berdasarkan Permendagri Nomor 13 Tahun 2008 dan hasil pendetailan batas wilayah tahun 2023. (Anggesta) Kata Kunci: Analisis Spasial Hasil Penegasan Batas Wilayah, Segmen Batas Wilayah, Batas Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang
DDC 006.6 Saputra (Institute Teknologi Sumatera) Pemanfaatan Neural Radiance Fields (NeRF) untuk Pemodelan Tiga Dimensi <i>Geomatika, Vol 31 No 2, Hal 95-104</i> Penelitian ini memanfaatkan penggunaan Neural Radiance Fields (NeRF) dalam pemodelan 3D. Point cloud yang dihasilkan dari NeRF diuji dengan data TLS menggunakan parameter seperti surface variation, volume density, dan point discrepancy. Selain itu, keakuratan geometrik model 3D yang dihasilkan dari NeRF dievaluasi dengan menghitung nilai RMSE antara model dan objek penelitian. (Saputra) Kata Kunci: Pemodelan 3D, Fotogrametri, Neural Radiance Fields (NeRF), Point Cloud	DDC 526.9 Wicaksono (Institute Teknologi Sepuluh Nopember) Akurasi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Berbasis Citra Landsat 8 Di Teluk Prigi, Kabupaten Trenggalek <i>Geomatika, Vol 31 No 2, Hal 105-116</i> Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kedalaman perairan dangkal dan topografi dasar laut di Teluk Prigi dengan menggunakan Satellite Derived Bathymetry (SDB) berbasis citra Landsat 8. Metode ini memanfaatkan uji akurasi estimasi kedalaman dengan menerapkan algoritma Stumtp dan membandingkan terhadap data kedalaman in-situ (Wicaksono) Kata Kunci: Algoritma Stumtp, Batimetri, Landsat 8, Perairan Dangkal, SDB



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 31 No. 2, November 2025

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2025
<i>The keywords given are free terms.</i> <i>This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</i>	
DDC 327.17028 Wicaksono (Universitas Pertahanan) <i>Geospatial Data to Support Maritime Security Diplomacy in Advancing Indonesia Emas 2045</i> <i>Geomatika, Vol 31 No 2, pp. 71-80</i> <i>This study explores the strategic role of geospatial data in supporting maritime security diplomacy to address non-traditional threats, including illegal fishing, piracy, and maritime boundary disputes. Ensuring maritime security in such contexts requires international cooperation, primarily through diplomatic engagement.</i> (Haris) Keywords: <i>Geospatial Data, Maritime Security Diplomacy, 2045 Golden Indonesia vision, Maritime Security</i>	DDC 526.9 Anggasta (Universitas Pendidikan Indonesia) <i>Spatial Analysis of Cartometric Methods for Synchronizing Village Boundaries with Administrative Boundaries in the Boundary Segment of Bandung Regency with Sumedang Regency</i> <i>Geomatika, Vol 31 No 2, pp. 81-94</i> <i>This research aims to analyze the existing condition of the village boundary pillars between Bandung Regency and Sumedang Regency, as well as to analyze segment shifts that have an impact on changes in area based on Permendagri Number 13 of 2008 and the results of the 2023 detailed boundaries.</i> (ANGgasta) Keywords: <i>Spatial Analysis of the Results of Regional Boundary Demarcation, Regional Boundary Segments, Bandung Regency Boundary with Sumedang Regency</i>
DDC 006.6 Saputra (Institute Teknologi Sumatera) <i>UTILIZATION OF NEURAL RADIANCE FIELDS (NeRF) FOR THREE-DIMENSIONAL MODELING</i> <i>Geomatika, Vol 31 No 2, pp. 95-104</i> <i>This research utilizes the use of Neural Radiance Fields (NeRF) in 3D modeling. The point cloud generated from NeRF was tested with TLS data using parameters such as surface variation, volume density, and point discrepancy. In addition, the geometric accuracy of the 3D model generated from NeRF was evaluated by calculating the RMSE value between the model and the research object.</i> (Saputra) Keywords: <i>3D Modeling; Photogrammetry; Neural Radiance Fields (NeRF); Point cloud</i>	DDC 526.9 Wicaksono (Institut Teknologi Sepuluh Nopember) <i>Accuracy Of Shallow Water Bathymetry Mapping Based On Landsat 8 Imagery In Prigi Bay, Trenggalek Regency</i> <i>Geomatika, Vol 31 No 2, pp. 105-116</i> <i>This study employs Landsat 8 imagery to map seafloor depth and topography using the Stumpf algorithm. The analysis involves comparing band ratio outputs from the Landsat 8 imagery with in-situ depth measurements to evaluate the accuracy of depth estimation</i> (Wicaksono) Keywords: <i>Stumpt Algorithm, Bathymetry, Landsat 8, Shallow Waters, SDB</i>

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Jurnal Geomatika Volume 31 No. 2 November 2025 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 31 No. 2 November 2025 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari lima karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Universitas Pendidikan Indonesia, Institute Teknologi Bandung, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian pertama mengkaji peran strategis data geospasial dalam mendukung diplomasi keamanan maritim untuk mengatasi berbagai ancaman non-tradisional seperti penangkapan ikan ilegal, perompakan, dan sengketa batas wilayah. Keamanan maritim dalam menghadapi ancaman tidak dapat dilakukan tanpa adanya kerjasama antarnegara. Penelitian kedua ini bertujuan untuk menganalisis kondisi eksisting pilar batas desa antara Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang, serta menganalisis pergeseran segmen yang berdampak pada perubahan luas wilayah berdasarkan Permendagri Nomor 13 Tahun 2008 dan hasil pendetailan batas wilayah tahun 2023. Penelitian ketiga memanfaatkan penggunaan Neural Radiance Fields (NeRF) dalam pemodelan 3D. Point cloud yang dihasilkan dari NeRF diuji dengan data TLS menggunakan parameter seperti surface variation, volume density, dan point discrepancy. Penelitian keempat bertujuan untuk memetakan kedalaman perairan dangkal dan topografi dasar laut di Teluk Prigi dengan menggunakan Satellite Derived Bathymetry (SDB) berbasis citra Landsat 8. Metode ini memanfaatkan uji akurasi estimasi kedalaman dengan menerapkan algoritma Stump dan membandingkan terhadap data kedalaman in-situ

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 2025

Redaksi

DATA GEOSPASIAL UNTUK MENDUKUNG DIPLOMASI KEAMANAN MARITIM MENUJU INDONESIA EMAS 2045

(Geospatial Data to Support Maritime Security Diplomacy in Advancing Indonesia Emas 2045)

Bagus Satrio Wicaksono¹, Asep Adang Supriyadi ², Syachrul Arief³

^{1,2}Program Studi Keamanan Maritim, Fakultas Keamanan Nasional, Universitas Pertahanan Republik Indonesia

³Badan Informasi Geospasial, Indonesia

Jln. Dwijaya IV No.24 RT005/RW015, Gandaria Utara, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 12140

E-mail: bagussatriowckn@gmail.com

Diterima: 18 April 2025; Direvisi: 12 Juni 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan: 1 November 2025

ABSTRAK

Pencapaian visi Indonesia Emas 2045 mensyaratkan adanya kedaulatan negara dan pertahanan yang tangguh, di mana keamanan maritim menjadi pilar utamanya. Penelitian ini mengkaji peran strategis data geospasial dalam mendukung diplomasi keamanan maritim untuk mengatasi berbagai ancaman non-tradisional seperti penangkapan ikan ilegal, perompakan, dan sengketa batas wilayah. Keamanan maritim dalam menghadapi ancaman tidak dapat dilakukan tanpa adanya kerjasama antarnegara. Salah satu cara kerjasama tersebut adalah dengan melakukan hubungan internasional. Diplomasi keamanan maritim yang efektif tidak dapat terwujud tanpa didasari oleh bukti yang kuat, di mana data geospasial, melalui teknologi seperti *Geospatial Information System* (GIS) dan *Automatic Identification System* (AIS), mampu menyediakan bukti yang akurat dan sulit disangkal. Pencegahan dan penanggulangan ancaman non-tradisional perairan memiliki dampak yang serius pada keamanan dan stabilitas wilayah maritim. Melalui pendekatan studi literatur, ditemukan bahwa pemanfaatan data geospasial secara signifikan meningkatkan kapasitas Indonesia dalam melakukan pemantauan, analisis, dan penegakan hukum di laut, yang pada gilirannya memperkuat posisi tawar Indonesia dalam forum diplomasi bilateral dan multilateral. Integrasi data geospasial dalam diplomasi keamanan maritim bukan hanya menjadi solusi teknis, melainkan sebuah instrumen strategis yang esensial untuk menjaga kedaulatan dan stabilitas kawasan, sekaligus menjadi fondasi kokoh untuk mewujudkan Indonesia Emas 2045.

Kata kunci: Data Geospasial, Diplomasi Keamanan Maritim, Indonesia Emas 2045, Keamanan Maritim

ABSTRACT

Achieving the 2045 Golden Indonesia vision necessitates robust national sovereignty and a resilient defense posture, with maritime security as a fundamental pillar. This study explores the strategic role of geospatial data in supporting maritime security diplomacy to address non-traditional threats, including illegal fishing, piracy, and maritime boundary disputes. Ensuring maritime security in such contexts requires international cooperation, primarily through diplomatic engagement. Effective maritime security diplomacy must be grounded in verifiable evidence, in which geospatial data—facilitated by technologies such as Geographic Information Systems (GIS) and the Automatic Identification System (AIS)—provide accurate and robust datasets that are difficult to dispute. The prevention and mitigation of non-traditional maritime threats have significant implications for national security and regional stability. Through a literature-based analysis, this research finds that the integration of geospatial data significantly enhances Indonesia's capabilities in maritime surveillance, threat assessment, and law enforcement, thereby reinforcing its position in both bilateral and multilateral diplomatic forums. The use of geospatial information in maritime diplomacy thus functions not only as a technical solution, but as a critical strategic instrument for safeguarding sovereignty and maintaining regional stability, ultimately contributing to the realization of 2045 Golden Indonesia vision.

Keywords: Geospatial Data, Maritime Security Diplomacy, 2045 Golden Indonesia vision, Maritime Security

PENDAHULUAN

Visi Indonesia Emas 2045 merupakan cita-cita besar bangsa untuk menjadi negara maju yang

berdaulat, adil, dan makmur. Salah satu prasyarat mutlak untuk mewujudkan visi tersebut adalah terjaminnya keamanan nasional dan keutuhan wilayah, terutama di domain maritim yang menjadi

halaman depan dan urat nadi perekonomian Indonesia (Sally & Orwela, 2024). Keamanan maritim, yang mencakup perlindungan terhadap sumber daya laut, keselamatan pelayaran, dan penegakan kedaulatan di laut, menjadi fondasi strategis yang tidak bisa ditawar.

Seiring perkembangan lingkungan strategis global, Indonesia dihadapkan pada spektrum ancaman yang semakin kompleks. Ancaman tidak lagi hanya bersifat tradisional (militer), tetapi telah bergeser ke arah ancaman non-tradisional seperti penangkapan ikan ilegal (*illegal fishing*), perompakan, penyelundupan, hingga sengketa batas wilayah perairan (Dewi, 2024). Ancaman-ancaman ini tidak hanya merugikan secara ekonomi, tetapi juga menggerus kedaulatan dan stabilitas keamanan Kawasan (Agarwala, 2021). Penanganan tantangan ini menuntut respons yang cepat, akurat, dan terkoordinasi, yang tidak mungkin dilakukan hanya satu negara.

Melalui diplomasi, Indonesia dapat membangun kerjasama bilateral dan multilateral untuk pertukaran informasi, teknologi, dan pengalaman guna menjaga keamanan maritim secara kolektif. Akan tetapi, diplomasi yang efektif di era modern memerlukan landasan bukti yang kuat (*evidence-based diplomacy*). Di sinilah data geospasial memegang peranan kunci. Data geospasial, yang mencakup informasi lokasi geografis dari citra satelit, *Geographic Information System* (GIS), dan *Automatic Identification System* (AIS), memiliki karakter objektif, akurat, dan dapat diverifikasi secara ilmiah (Muehling, 2025). Karakteristik ini memberikan bobot argumentasi yang sangat kuat dalam forum diplomasi, mengubah klaim verbal menjadi bukti visual yang sulit dibantah.

Geospasial mengacu pada konsep dan teknologi yang berikatan secara langsung pada pengukuran, analisis, dan pemetaan data yang berkaitan pada lokasi geografis muka bumi. Geospasial melingkupi teknologi berbasis *Geographic Information System* (GIS) pada satelit dan sensor-sensor yang dapat dimanfaatkan sebagai alat pengumpulan informasi secara akurat dan terbaru di permukaan bumi (Scianna, 2013). Definisi geospasial juga meliputi analisis dan interpretasi data dalam memberikan gambaran antara hubungan spasial dengan berbagai peristiwa geografis. Perkembangan dan kemajuan teknologi geospasial memberikan dorongan dalam penyusunan rencana strategis di dalam berbagai bidang, termasuk pemetaan, pertahanan, tata ruang, penentuan koordinat dan sebagainya (Erskine *et al.*, 2015).

Kehadiran teknologi informasi dan komunikasi yang semakin canggih membuka peluang besar untuk memanfaatkan data geospasial guna meningkatkan pemantauan, pengelolaan, dan respons terhadap berbagai tantangan keamanan di wilayah maritim Indonesia. Pada mulanya, pemanfaatan geospasial dengan teknologi satelit

didesain untuk menangkal ancaman tradisional dalam aspek intelejen militer (Latif & Agustan, 2017). Hal tersebut bertujuan untuk memaksimalkan daya dan ruang rusak, meminimalisir sasaran yang kurang tepat, serta menekan jumlah korban saat melaksanakan perang (Lestari *et al.*, 2012). Namun, seiring perkembangan lingkungan strategis, kehadiran ancaman non-tradisional seperti aktivitas ilegal seperti pencurian ikan, perompakan, dan perdagangan ilegal menjadi landasan pemanfaatan geospasial untuk melakukan pemantauan yang efektif serta memberikan respon yang cepat terhadap ancaman tersebut (Arto *et al.*, 2021).

Keamanan maritim dalam menghadapi ancaman bukan hanya tanggung jawab satu negara, tetapi membutuhkan kerjasama antarnegara dan lembaga internasional. Salah satu kerjasama tersebut adalah dengan melakukan hubungan internasional maritim yang merupakan penunjang dalam membangun hubungan baik dan memfasilitasi pertukaran informasi serta teknologi antarnegara (Nurjannah & Mokodompit, 2023). Indonesia menegaskan komitmennya untuk membangun dan memperkuat kerja sama bilateral maupun multilateral yang konkret dalam bentuk pertukaran informasi, teknologi, dan pengalaman, guna meningkatkan kapasitas kolektif dalam menjaga keamanan maritim secara efektif. Indonesia juga terus berinvestasi dalam mengembangkan infrastruktur geospasial dengan cara meningkatkan jaringan sensor, satelit, dan sistem pemantauan laut. Hal tersebut bertujuan untuk melakukan pengumpulan data yang lebih akurat dan real-time, serta memperkuat kapasitas Indonesia dalam melindungi perairannya (Sirait, 2016).

Dalam era globalisasi ini, penggunaan teknologi satelit dan GIS menjadi semakin penting sebagai strategi suatu negara untuk mengamankan wilayah maritimnya. Dengan kata lain, teknologi satelit dan GIS dapat berfungsi sebagai alat diplomasi strategis dalam merumuskan kebijakan keamanan maritim, khususnya untuk memantau aktivitas kapal dan infrastruktur laut (Kanjir, 2019). Data geospasial memiliki karakter objektif, presisi tinggi, dan berbasis bukti, menjadikannya alat yang kredibel dalam diplomasi, terutama saat menghadapi pelanggaran wilayah atau penyusunan klaim maritim. Karakteristik ini memperkuat posisi tawar Indonesia dalam forum internasional berbasis data dan fakta. Maka dari itu, teknologi geospasial dapat dimanfaatkan sebagai sarana pemantauan kolektif yang efektif dalam mendukung keamanan maritim kawasan secara terintegrasi.

Sebagai ilustrasi, kawasan Laut Natuna Utara kerap kali terdeteksi keberadaan kapal penjaga pantai dan kapal ikan asing yang memasuki wilayah Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Indonesia, khususnya yang berasal dari negara-negara yang memiliki klaim tumpang tindih di Laut Cina Selatan. Dalam situasi seperti ini, Indonesia dapat memanfaatkan data

geospasial, seperti citra satelit dan rekaman AIS, untuk mendokumentasikan pelanggaran tersebut secara akurat dan obyektif (Sosnowski et al. 2024). Selanjutnya, data ini dapat dijadikan dasar dalam membangun kerja sama bilateral atau trilateral dengan negara-negara mitra—misalnya melalui mekanisme ASEAN atau Indian Ocean Rim Association (IORA)—untuk mengangkat isu tersebut ke forum internasional (Techera, 2023; Prayoga, 2022)). Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan transparansi dan akuntabilitas, tetapi juga memperkuat posisi diplomatik Indonesia dalam memperjuangkan kepentingan maritimnya di tengah dinamika geopolitik regional.

Dalam rangka mewujudkan visi Indonesia Emas 2045, diplomasi keamanan maritim perlu didukung oleh pemanfaatan data geospasial yang terintegrasi antarnegara. Melalui kerja sama berbasis GIS, pengawasan wilayah maritim dapat diperkuat dan potensi pelanggaran, seperti aktivitas ilegal lintas batas, dapat dideteksi secara lebih akurat. Data geospasial tidak hanya diposisikan sebagai alat bantu teknis, melainkan telah dimanfaatkan sebagai instrumen strategis yang memperkuat diplomasi keamanan dan mendukung terciptanya stabilitas kawasan secara kolektif (Julian, 2021). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam membangun fondasi kuat bagi Indonesia untuk meraih status Indonesia Emas 2045. Data geospasial yang mendukung aktivitas hubungan internasional keamanan maritim akan menjadi instrumen strategis ditengah dinamika perairan yang semakin kompleks.

METODE

Pendekatan penelitian ini menggunakan studi literatur yang mencakup serangkaian kegiatan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai peran data geospasial dalam mendukung diplomasi keamanan maritim. Kajian ini dilakukan melalui telaah terhadap karya-karya ilmiah, literatur, dan dokumen penelitian terkini yang relevan dengan isu tersebut (Sabarguna, 2005). Pendekatan ini bertujuan untuk membangun kerangka konseptual yang kokoh tentang keterkaitan antara pemanfaatan data geospasial dan diplomasi keamanan maritim sebagai bagian dari upaya strategis Indonesia dalam mewujudkan visi Indonesia Emas 2045. Data yang dianalisis merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber seperti penelitian terdahulu, buku, jurnal, artikel, situs daring, dan dokumen relevan lainnya (Putri et al., 2020). Untuk mengetahui lebih jelas alur penelitian tersaji pada

Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Berpikir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkembangan Teknologi Geospasial

Penggunaan teknologi geospasial memberikan peluang baru dalam pencegahan dan penanggulangan ancaman non-tradisional seperti pembajakan, perompakan, illegal fishing, dan overlapping batas wilayah perairan yang kerap kali terjadi pada wilayah dengan teritorial yang luas dan terisolasi. GIS dapat membantu dalam operasional pemantauan dan analisis pergerakan ancaman non-tradisional dengan analisis geospasial satelit. Beberapa kasus, GIS mampu memantau secara lebih cepat dari laporan berwenang guna melacak alur kejahatan dan mengidentifikasi cukup daerah yang rentan (Daxecker & Prins, 2021).

Pengidentifikasian rute jalur kejahatan dapat ditemukan pada potret satelit yang akan lebih efektif dan efisien dengan pengintegrasian teknologi *Automatic Identification System* (AIS) dengan data geospasial. Pelacakan menggunakan AIS diharapkan mampu dilakukan secara real-time dalam memantau aktivitas kapal tradisional dan modern di batas yuridiksi suatu negara. GIS memungkinkan pemantauan lebih efektif terhadap aktivitas nelayan yang melanggar batas-batas teritorial dan zona ekonomi eksklusif. Dengan menggunakan teknologi pemantauan satelit dan sensor, pihak berwenang dapat mendeteksi aktivitas penangkapan ikan ilegal dan mengambil langkah-langkah penegakan hukum yang sesuai (Matwin, 2016).

Geographic Information Systems (GIS) berperan strategis sebagai alat untuk berbagi data

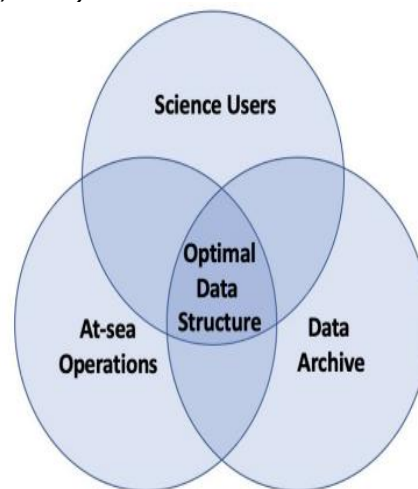
dan informasi lintas batas, yang memungkinkan kerja sama antarnegara dalam memantau serta merespons kejadian di wilayah perairan bersama (Laskey et al., 2010). Kolaborasi transnasional semacam ini dapat memperkuat upaya keberlanjutan dalam pengelolaan sumber daya kelautan sekaligus memitigasi dampak negatif dari ancaman non-tradisional yang terus berkembang. Seiring kemajuan teknologi geospasial, integrasi data yang lebih komprehensif dan kemampuan analisis spasial yang semakin canggih diharapkan mampu meningkatkan efektivitas respons terhadap dinamika perubahan lingkungan laut. Kesadaran kolektif mengenai pentingnya pemanfaatan teknologi geospasial pada keamanan maritim dan keberlanjutan sumber daya menjadi elemen kunci dalam menjaga stabilitas ekosistem laut serta melindungi kepentingan bersama di wilayah perairan teritorial (Lestari et al., 2012).

Pemanfaatan Penginderaan Jauh Pada Lalu Lintas Maritim

Seiring dengan perkembangan kepentingan teknologi geospasial, pelacakan pergerakan ancaman di laut mengalami perubahan yang signifikan. Sebagai negara kepulauan dengan wilayah laut yang sangat luas, Indonesia menghadapi tantangan signifikan dalam melakukan pemantauan jalur pergerakan secara manual, yang tidak hanya memakan waktu tetapi juga kurang efisien. Pemanfaatan teknologi geospasial memungkinkan pemantauan jalur ancaman dilakukan dengan cara yang lebih efisien, efektif, dan akurat. Teknologi ini mampu mendeteksi pola-pola mencurigakan, seperti pergerakan tidak beraturan, kecepatan tinggi, serta keberadaan kapal di wilayah-wilayah yang dikenal rawan aktivitas kriminal (Wang et al., 2013). Selain itu, penggunaan data satelit dalam sistem geospasial dapat secara substansial mengurangi biaya identifikasi dan analisis ancaman, sehingga proses tanggap darurat dan penyelidikan lanjutan dapat dilakukan secara lebih cepat dan tepat. Pemanfaatan teknologi geospasial untuk pelacakan jalur ancaman menawarkan berbagai keuntungan, termasuk kemampuan untuk mengidentifikasi lokasi, menganalisis tingkat risiko, mengoptimalkan pengawasan, mempercepat pengambilan keputusan, serta meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam operasi penyelamatan (Quininez & Lopez, 1997).

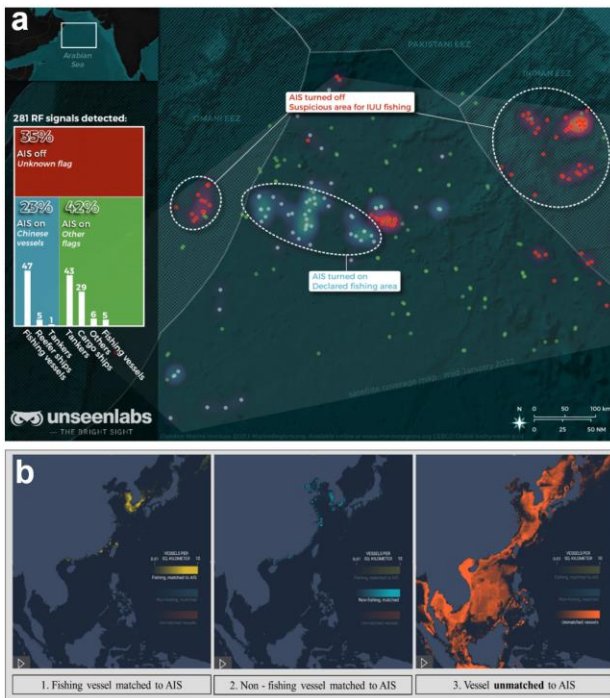
Dalam upaya meningkatkan efisiensi dan konsistensi dalam lalu lintas maritim perlu adanya peningkatan keamanan yang memenuhi kebutuhan tim operasi di laut (Durluk et al., 2023). Pengelolaan

data yang terkoordinasi, bersama dengan pemeliharaan dan pengembangan perangkat lunak pendukung, menjadi kunci untuk memastikan ketersediaan dan aksesibilitas informasi secara *real-time* (Liu et al., 2021). Standarisasi struktur data dan protokol komunikasi antar kendaraan laut juga diperlukan agar proses akuisisi data menjadi lebih efisien dan konsisten. Lebih lanjut, pengelolaan, pembuatan versi, dan pemeliharaan perangkat lunak yang optimal akan memperkuat infrastruktur digital dalam sistem lalu lintas maritim berbasis penginderaan jauh, memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap dinamika laut serta mendukung keputusan operasional yang lebih akurat dan berbasis data seperti pada **Gambar 2** (Progoulakis et al., 2021).



Gambar 2. Manajemen Pemanfaatan Data Geospasial
Sumber: Ferrini & Tika, 2021

Salah satu implementasi nyata dari integrasi sistem informasi geospasial dan teknologi penginderaan jauh dalam mendukung keamanan maritim adalah melalui pemanfaatan citra satelit, seperti NOAA-AVHRR. Satelit ini dilengkapi dengan sensor yang mampu mendeteksi distribusi suhu permukaan laut, sehingga memungkinkan identifikasi dini terhadap aktivitas penangkapan ikan ilegal (Surahman et al., 2015). Kerentanan terhadap praktik *illegal fishing* oleh kapal asing menjadi tantangan serius. Melalui analisis suhu permukaan laut dan *thermal front* menggunakan data citra satelit, otoritas maritim dapat menentukan zona-zona rawan untuk penempatan operasi pemantauan dan penegakan hukum secara lebih terarah (Prathap & Ramesha, 2020). Sebagai contoh, di wilayah perairan Natuna, Kepulauan Riau, yang dikenal sebagai *hotspot* aktivitas *illegal fishing*, teknologi geospasial terbukti efektif dalam mendeteksi dan mendokumentasikan pola pergerakan kapal asing secara visual, pada **Gambar 3** (Muhammad, 2016).



Gambar 3. (a) S-AIS & RF, (b) S-AIS dan VIIRS

Sumber: ciasp.scholasticahq.com

Geospasial dalam Mendukung Operasi Ancaman

Banyaknya pelanggaran dan ancaman di perairan laut Indonesia, mengharuskan penggunaan GIS lebih optimal. Data geospasial dimanfaatkan untuk upaya kontraterorisme maritim dan meningkatkan keamanan Pelabuhan (Teniwut *et al.*, 2022). Terorisme maritim menimbulkan ancaman signifikan terhadap keamanan dan perdagangan global. Pelabuhan berperan sebagai titik strategis dalam sistem transportasi maritim, tidak hanya sebagai pusat logistik dan distribusi, tetapi juga sebagai simpul kritis dalam sistem keamanan maritim, mengingat fungsinya dalam mengawasi arus kapal, mendeteksi potensi ancaman, serta mendukung operasi pengamanan wilayah laut (Wang *et al.*, 2022). SIG dapat mengintegrasikan data dari sistem pengawasan, sensor, dan sumber intelijen untuk memantau area kritis dan mendeteksi potensi ancaman. Risiko keamanan siber maritim dapat menggunakan model 3D dan metode AHP-TOPSIS hibrid, mengidentifikasi kerentanan utama dalam prosedur perusahaan dan sistem kapal (I. N. Putra *et al.*, 2023).

Geofencing dan pemrosesan kejadian kompleks dapat memicu peringatan untuk aktivitas yang tidak sah (**Gambar 4**). Teknologi geospasial meningkatkan kesadaran situasional bagi personel keamanan, memungkinkan respons cepat terhadap potensi serangan teroris dan meningkatkan keamanan pelabuhan secara keseluruhan. Dengan memanfaatkan data geospasial untuk pengawasan dan penilaian ancaman, Indonesia dapat memperkuat kemampuan kontraterorisme

maritimnya dan melindungi infrastruktur vital (**Gambar 5**).



Gambar 4. Aktivitas ilegal kapal Vietnam

Sumber: oceanjusticeinitiative.org



Gambar 5. Peta Kerentanan Keamanan Maritim Indonesia

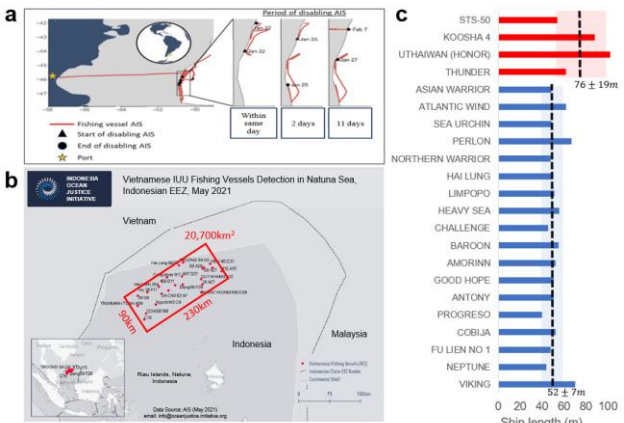
Sumber: bakamla.go.id

Penggunaan GIS mampu memberikan keputusan yang tepat dan menjadi kekuatan dalam melakukan hubungan internasional antarnegara agar tidak terjadi lagi pelanggaran dan kejahatan lainnya (Shalihati, 2014). Keberhasilan operasi batas teritorial di Indonesia yang memanfaatkan teknologi geospasial menjadi kesempatan besar untuk pengelolaan sumberdaya yang lebih baik. Pada tahun 2022, terjadi pembajakan kapal tanker SPOB Graha 21 di Perairan Morose, Sulawesi Tenggara sewaktu labuh jangkar tanpa bergerak, kelompok pembajak bersenjata tajam berhasil membajak kapal tersebut, dan selama proses pembajakan mereka mengambil alih kendali kapal dan barang-berharga milik kapal dan ABK (Darmawan, 2022). Kemudian di tahun 2016, Pangkalan TNI Angkatan Laut (Lanal) Tanjungbalai Karimun mendapati dua kapal Indonesia, yakni kapal tunda Brahma 12 dan kapal tongkang Anand 12 dilakukan perompakan oleh kelompok Abu Sayyaf, kedua kapal membawa 7.000-ton Batubara dan 10 awak kapal (Kompas, 2016; CNN Indonesia, 2016).

Berdasarkan data dari Komando Armada I, setidaknya terdapat pelanggaran yang terdeteksi

oleh AIS di perairan Laut Natuna Utara sebanyak kurang lebih 80 pelanggaran dari tahun 2020-2022. Sebanyak 70% diantaranya adalah kapal kapal nelayan, 20% adalah kapal *costguard*, dan 10% lainnya adalah kapal perang China yang memasuki wilayah yuridiksi laut Indonesia. Selain itu, pada tahun 2022 aparat keamanan Indonesia berhasil menangkap kapal nelayan asing yang mencuri ikan di perairan Natuna dan berhasil menangkap kapal penyelundup yang membawa 90-ton bahan bakar minyak ilegal di perairan Selat Malaka (Wiyoga, 2022). Penangkapan tersebut dilakukan dengan memanfaatkan data satelit navigasi untuk melacak pergerakan kapal secara *real-time* terhadap aktivitas kapal yang mencurigakan (Zhang *et al.*, 2021). Dengan memanfaatkan teknologi geospasial, petugas keamanan dapat lebih mudah untuk mendeteksi dan melacak pelanggaran batas teritorial, sehingga dapat mencegah dan menangani tindak kriminal di wilayah perbatasan secara lebih efektif (Noldus *et al.*, 2001).

Sebagai contoh pemanfaatan AIS pada **Gambar 6** memetakan panjang kapal yang terlibat dalam IUUF di kawasan ASEAN antara tahun 2015 dan 2021 (Sekretariat RPOA-IUU, 2021). Semua kapal ini berbobot 300 GT ke atas, yang berarti harus dilengkapi dengan AIS. Panjang kapal-kapal ini bervariasi dari 40-meter hingga 102-meter. Panjang rata-rata kapal pendingin atau kapal pasokan (merah) adalah 76 ± 19 -meter sedangkan panjang kapal penangkap ikan (biru) adalah 52 ± 7 -meter.



Gambar 6. (a) Kapal menonaktifkan AIS-nya pada durasi waktu yang berbeda untuk mengaburkan aktivitas ilegalnya. (b) Titik panas aktivitas gelap AIS di Indonesia. (c) Panjang kapal IUUF yang terlihat antara tahun 2015–2021 di kawasan ASEAN.

Sumber: Leong, 2025

Geospasial dalam Mendukung Hubungan internasional

Hubungan internasional antarnegara mendorong penguatan sumberdaya maritim menjadi lebih stabil. Kestabilan maritim akan berdampak

pada hubungan geopolitik antarnegara dengan kerjasama pertukaran informasi data geospasial (Wicaksono *et al.*, 2024). Dalam konteks pertahanan dan keamanan, penggunaan satelit dan GIS memiliki hubungan yang signifikan dalam menghadapi dinamika geopolitik di kawasan maritim (Fajri, 2020). Pemanfaatan data geospasial menjadi kunci penting untuk merumuskan strategi pertahanan yang efektif dan adaptif, serta menjadi sarana untuk melakukan hubungan internasional (Palmer, 2020). Hubungan internasional dalam keamanan maritim menjadi semakin esensial dalam mengelola ketegangan keamanan di laut, mengingat pentingnya sumber daya laut dan jalur pelayaran internasional yang melintasi perairan Indonesia (Padmaja, 2015). Melalui pendekatan hubungan internasional, Indonesia dapat membangun kerja sama dengan negara-negara tetangga dan pihak-pihak terkait untuk meningkatkan koordinasi dalam menjaga keamanan maritim (Frost *et al.*, 2021), sebagaimana pada **Table 1**.

Tabel 1. Aplikasi Data Geospasial dalam Hubungan internasional Keamanan Maritim Indonesia

Area Aplikasi		Teknologi Geospasial yang Digunakan	Kontribusi terhadap Indonesia Emas 2045
Kesadaran Situasional Maritim		GEOINT, GIS, Penginderaan Jauh (Citra Satelit, UAV), GNSS-R	Meningkatkan pemahaman dan pemantauan wilayah maritim untuk keamanan dan pengelolaan sumber daya.
	Delimitasi Batas Maritim	GIS, Citra Satelit, Batimetri, Data Geodetik, CARIS LOTS	Menetapkan batas maritim yang jelas dan diakui secara internasional, mendukung kedaulatan.
Negosiasi Pengelolaan Sumber Daya		GIS, Penginderaan Jauh (Citra Satelit)	Memfasilitasi negosiasi berbasis bukti untuk pengelolaan sumber daya laut yang berkelanjutan.
	Kolaborasi Keamanan Internasional	Platform Berbagi Data, IHDC	Meningkatkan kerja sama dan interoperabilitas dengan mitra internasional untuk keamanan maritim.
Identifikasi Ancaman		GIS, Analisis Hotspot, Data AIS, Penginderaan Jauh	Memprediksi, mendeteksi, dan menanggapi aktivitas ilegal secara efektif.
	Kontraterorisme dan Keamanan	GIS, Sistem Pengawasan,	Meningkatkan kesadaran

Area Aplikasi		Teknologi Geospasial yang Digunakan	Kontribusi terhadap Indonesia Emas 2045
Pelabuhan		Sensor	situasional dan respons terhadap ancaman teroris di laut dan pelabuhan.
Tata Kelola Maritim		GIS, MSP	Memfasilitasi perencanaan tata ruang laut yang efektif dan pemantauan aktivitas maritim.
Penegakan Hukum		GEOINT, Sistem Terintegrasi (AIS)	Menyediakan informasi akurat untuk penegakan hukum maritim dan penuntutan kejahatan.

Penguatan hubungan internasional dalam bidang keamanan maritim yang berbasis pada pemanfaatan data geospasial dapat meningkatkan posisi strategis Indonesia dalam berbagai forum global, sekaligus mendorong terciptanya perdamaian, stabilitas, dan keadilan di kawasan maritim internasional. Lebih lanjut, implementasi kebijakan yang inklusif dan berkelanjutan menjadi komponen esensial dalam membangun ekosistem keamanan maritim yang tangguh dan adaptif terhadap dinamika ancaman global (Mitchell, 2020).

Pengembangan Indikator Spasial untuk Mendukung Hubungan internasional Keamanan Maritim Proaktif

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan percepatan pertumbuhan ekonomi nasional, pengembangan sistem deteksi dini (*early warning system*) berbasis data geospasial menjadi semakin mendesak sebagai instrumen strategis dalam mendukung stabilitas dan ketahanan wilayah maritim Indonesia (Zissis et al., 2020). Dengan memanfaatkan citra satelit resolusi tinggi, data AIS, serta data cuaca dan oseanografi, indikator spasial dapat diformulasikan untuk mengidentifikasi potensi konflik atau anomali aktivitas maritim sejak dini (Rawson et al., 2021). Formulasi indikator spasial meliputi, intensitas dan pola lalu lintas kapal berdasarkan kategori (sipil, militer, logistik), frekuensi hilangnya sinyal AIS di wilayah-wilayah rawan, perubahan garis pantai atau zona ekonomi eksklusif (ZEE) yang bersifat anomali, serta *overlay* data aktivitas ekonomi maritim ilegal dengan peta yurisdiksi maritim Indonesia. Kombinasi indikator dapat dimodelkan secara dinamis menggunakan pendekatan geostatistik dan analisis spasial temporal, menghasilkan peta risiko maritim yang informatif dan prediktif (Wolsing et al., 2022). Tidak hanya memperkuat fungsi pertahanan, tetapi juga

mendukung posisi diplomatik Indonesia dalam forum regional seperti ASEAN *Defence Ministers' Meeting* (ADMM) dan *Indian Ocean Rim Association* (IORA).

Penentuan prioritas kebijakan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan dampak ekonomi yang ditimbulkan oleh berbagai ancaman maritim. Pada tahun 2019, total kerugian ekonomi akibat ancaman-ancaman maritim di kawasan ASEAN diperkirakan mencapai sekitar USD\$10,8 miliar. Kerugian ini terbagi ke dalam tiga kelompok utama: (1) sekitar USD\$3,5 miliar (32%) berasal dari kejadian-kejadian seperti insiden laut, aksi terorisme, pencurian, perampokan, serta pembajakan, berdasarkan klaim asuransi terhadap kargo dan lambung kapal (International Union of Marine Insurance, 2021); (2) sekitar USD\$1,3 miliar (12%) diakibatkan oleh isu-isu terkait perlindungan lingkungan laut (Long, 2020); dan (3) sekitar USD\$6,0 miliar (56%) disebabkan oleh praktik penangkapan ikan yang ilegal, tidak dilaporkan, dan tidak diatur (Illegal, Unreported, and Unregulated Fishing/IUUF) (Malik, 2023).

Walaupun estimasi kerugian dari ancaman non-tradisional dapat dihitung secara kasar, menilai dampak ekonomi dari ancaman tradisional secara kuantitatif masih menjadi tantangan. Kendati demikian, penerapan kebijakan yang difokuskan pada penanganan ancaman dengan beban ekonomi besar dapat dijadikan landasan kuat bagi alokasi anggaran negara. Terlebih lagi, karena berbagai bentuk ancaman maritim tersebut saling berkaitan, upaya penanggulangan terhadap satu isu tertentu berpotensi mendukung pengurangan risiko dari ancaman maritim lainnya secara bersamaan.

Pemanfaatan indikator spasial sebagai alat bantu pengambilan keputusan memperkuat paradigma *proactive maritime security diplomacy*, di mana kebijakan luar negeri maritim tidak hanya bersifat reaktif terhadap insiden, tetapi berbasis pada bukti (*evidence-based diplomacy*). Sistem ini dapat dikembangkan dalam bentuk *Maritime Spatial Intelligence Platform* (MSIP) atau *ecosystem-based Marine Spatial Planning* (MSP) yang berfungsi sebagai hub intelijen geospasial (Triana & Wahyudi, 2020). Platform tersebut dapat menyajikan dashboard interaktif yang memvisualisasikan indikator spasial secara tematik dan prediktif untuk mendukung perundingan bilateral maupun penyusunan nota diplomatik dalam menghadapi pelanggaran batas wilayah laut, terutama untuk memahami kegiatan pelayaran dan perikanan (Dupont et al., 2020).

Kebutuhan akan sistem terintegrasi semakin relevan dengan meningkatnya kompleksitas arena maritim global. Sebagai contoh, dalam konflik Laut Natuna Utara, pemetaan spasial atas aktivitas kapal asing berdasarkan data AIS dengan memperkuat kebijakan data satu peta dan citra radar satelit dapat digunakan sebagai bukti diplomatik dalam forum internasional sesuai UU No. 4 tahun 2011.

Integrasi data geospasial ke dalam sistem keamanan dan hubungan internasional menghasilkan peningkatan kapabilitas deteksi dini dan kredibilitas internasional dalam menjaga yurisdiksi maritim (Fasoulis, 2021; Manantan, 2021). Oleh karena itu, pengembangan sistem yang tidak hanya teknologis, tetapi juga *interoperable* secara kelembagaan, menjadi langkah strategis menuju hubungan internasional keamanan maritim yang adaptif dan berbasis pengetahuan. Dengan pendekatan *whole-of-government*, pemerintah Indonesia dapat memastikan bahwa data spasial menjadi landasan utama dalam menyusun kebijakan keamanan maritim yang inklusif, akurat, dan berdaya tawar tinggi. Selain mendukung klaim kedaulatan, sistem ini akan memperkuat posisi Indonesia sebagai kekuatan maritim yang aktif dalam membentuk tatanan keamanan kawasan Indo-Pasifik yang damai dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Studi ini menegaskan bahwa pemanfaatan teknologi geospasial telah mengalami pergeseran paradigma dari sekadar alat pemetaan statis menuju peran strategis sebagai platform intelijen maritim yang adaptif dan responsif. Integrasi antara data *Automatic Identification System* (AIS), citra satelit resolusi tinggi, serta sensor oseanografi dalam sistem pengawasan wilayah laut terbukti mampu meningkatkan efektivitas deteksi, pemantauan, dan penindakan terhadap ancaman non-tradisional di perairan Indonesia, seperti pembajakan, perompakan, *illegal fishing*, dan pelanggaran batas yurisdiksi.

Temuan utama dalam penelitian ini adalah munculnya peran baru geospasial sebagai fondasi diplomasi keamanan maritim berbasis bukti (*evidence-based maritime security diplomacy*). Pendekatan ini dapat menguatkan posisi Indonesia dalam forum internasional melalui penyajian data spasial yang kredibel, valid, dan dapat diverifikasi sebagai bukti terhadap pelanggaran kedaulatan maritim. Teknologi geospasial tidak hanya mendukung pengambilan keputusan taktis, tetapi juga menjadi sarana strategis untuk membangun kepercayaan antarnegara dan memperkuat klaim yurisdiksi maritim secara diplomatik. Formulasi indikator spasial berbasis integrasi AIS, citra satelit, dan data oseanografi yang berfungsi sebagai sistem peringatan dini terhadap aktivitas anomali di laut. Model ini bersifat prediktif dan dapat digunakan untuk menyusun peta risiko maritim yang mendukung kebijakan keamanan laut secara dinamis dan proaktif. Dengan demikian, pengembangan platform intelijen spasial maritim nasional yang interoperabel lintas lembaga menjadi langkah strategis dalam menciptakan ekosistem keamanan laut yang berkelanjutan dan berdaya saing tinggi. Hal ini menjadi komponen esensial dalam

mendukung terwujudnya visi Indonesia Emas 2045 yang tangguh di sektor pertahanan, keamanan, dan kedaulatan maritim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Asep Adang Supriyadi atas dukungan, wawasan, dan dorongan yang sangat berharga dalam proses penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwala, N. (2021). Maritime sector as a growth engine for Vietnam. *The Journal of Territorial and Maritime Studies*, 8(2), 74-97.
- Arto, R. S., Prakoso, L. Y., & Sianturi, D. (2021). Strategi Pertahanan Laut Indonesia dalam Perspektif Maritim Menghadapi Globalisasi. *Jurnal Strategi Pertahanan Laut*, 6(3).
- Badan Keamanan Laut Website*. (n.d.). Retrieved July 4, 2025, from <https://bakamla.go.id/>
- CNN Indonesia. (2016, April 26). Abu Sayyaf sandera 10 WNI di Filipina. <https://www.cnnindonesia.com/internasional/20160426113129-106-125857/abu-sayyaf-sandera-10-wni-di-filipina>
- Darmawan, Reza K. 2022. Perompak Bersenjata Tajam Bajak Kapal Tanker di Perairan Sultra, Ancam Nakhoda dan Ikat ABK. https://regional.kompas.com/read/2022/01/10/140440578/perompak-bersenjata-tajam-bajak-kapal-tanker-di-perairan-sultra-ancam?page=all&lg_method=google
- Daxecker, U., & Prins, B. (2021). *Pirate lands: Governance and maritime piracy*. Oxford University Press.
- Dewi, U. N. M. (2024, January). Forced Migration in Southeast Asian: Policies and Migration Governance. In *Proceedings of the Southeast Asian Conference on Migration and Development (SeaCMD 2023)* (Vol. 16, p. 132). Springer Nature.
- Durlik, I., Miller, T., Cembrowska-Lech, D., Krzemińska, A., Złoczowska, E., & Nowak, A. (2023). Navigating the sea of data: a comprehensive review on data analysis in maritime IoT applications. *Applied Sciences*, 13(17), 9742.
- Erskine, M. A., Gregg, D. G., Karimi, J., & Scott, J. E. (2015). Geospatial reasoning ability: definition, measurement and validation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 31(6), 402-412.
- Fajri, M. B. (2020). Strategi Pertahanan Maritim Indonesia Di Tengah Dinamika Perang Hibrida Kawasan Laut China Selatan. *Jurnal Penelitian Politik*, 17(1), 59-78.
- Fasoulis, I. (2021). Governing the oceans: A study into Norway's ocean governance regime in the wake of United Nations Sustainable Development Goals. *Regional Studies in Marine Science*, 48, 101983.
- Ferrini dan Tina. 2021. Developing a New Vision for NDSF Data Management. National Deep Submergence Facility. https://www.unols.org/sites/default/files/202106des_ap12.pptx.pdf
- Frost, M. T., Licocci, G., & Wright, J. (2021). Marine journals, maritime territorial disputes and science-diplomacy. *Journal of the Marine Biological*

- Association of the United Kingdom, 101(2), 217-219.
- IUU Fishing Di Laut Natuna Utara, Laut Sulawesi Dan Selat Malaka - Juni 2021 - Indonesia Ocean Justice Initiative. (n.d.). Retrieved July 4, 2025, from https://oceanjusticeinitiative.org/id/iuu-fishing-di-natuna-sulawesi-selat-malaka-juni-2021/?utm_source=chatgpt.com
- Julian, H. D. (2021). Pelatihan Solusi Pemulihan Ekonomi Berbasis Teknologi Geospasial untuk Pemerintah Daerah. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 5(1), 534-538.
- Kanjir, U. (2019). Detecting migrant vessels in the Mediterranean Sea: Using Sentinel-2 images to aid humanitarian actions. *Acta Astronautica*, 155, 45-50.
- Karlina, T., & Johan, W. (2020). GIS developments for ecosystem-based marine spatial planning and the challenges faced in Indonesia. *ASEAN Journal on Koarmada 1*. 2023. Data Pelanggaran di Laut Natuna Utara.
- Kompas.com. (2016, April 26). 2 Kapal asal Indonesia dibajak di Filipina, 10 WNI disandera. Kompas. <https://nasional.kompas.com/read/2016/04/26/07274911/2.Kapal.Asal.Indonesia.Dibajak.di.Filipina.10.WNI.Disandera>
- Kost, G. J. (2019). Geospatial science and point-of-care testing: creating solutions for population access, emergencies, outbreaks, and disasters. *Frontiers in Public Health*, 7, 329.
- Lanal Tanjungbalai. 2016. Dua kapal Indonesia dibajak di Filipina, 10 WNI disandera. https://www.bbc.com/indonesia/berita_indonesia/2016/03/160329_indonesia_kapal_dibajak_filipina
- Laskey, K. B., Wright, E. J., & da Costa, P. C. (2010). Envisioning uncertainty in geospatial information. *International journal of approximate reasoning*, 51(2), 209-223.
- Latif, A., & Agustan, A. (2017). Karakteristik Geospasial Sebagai Dasar Perencanaan Untuk Memperkuat Ketahanan Perbatasan NKRI (Studi Kasus; Perencanaan Kota Perbatasan Distrik Sota-PNG, Merauke, Provinsi Papua). *Jurnal Ketahanan Nasional*, 23(3), 263-279.
- Leong, P. K. (2025). Securing Malaysia's maritime environment using space-derived services. *Contemporary Issues in Air and Space Power*, 3(1), bp42323989.
- Lestari, P., Prabowo, A., Ishak, A., Junaedi, F., Budi, S., & Widodo, Y. (2012). Komunikasi Militer.
- Lestari, P., Prabowo, A., Ishak, A., Junaedi, F., Budi, S., & Widodo, Y. (2012). Komunikasi Militer.
- Liu, J., Li, C., Bai, J., Luo, Y., Lv, H., & Lv, Z. (2021). Security in IoT-enabled digital twins of maritime transportation systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(2), 2359-2367.
- Long, B. (2020). *Sampah laut merugikan ekonomi Asia-Pasifik sebesar US\$10,8 miliar setiap tahunnya: laporan*. Universitas Wollongong. <https://www.uow.edu.au/media/2020/marine-debris-costs-asia-pacific-economies-us108b-annually-report-.php>
- Malik, A. (2023). *Bagaimana ASEAN Dapat Memenangkan Perang Melawan Penangkapan Ikan Ilegal dan Tidak Teratur*. The Diplomat. <https://thedi diplomat.com/2023/08/how-asean-can-win-its-war-against-illegal-and-unregulated-fishing/>
- Manantan, M. B. F. (2021). Advancing cyber diplomacy in the Asia Pacific: Japan and Australia. *Australian Journal of International Affairs*, 75(4), 432-459.
- Mitchell, S. M. (2020). Clashes at sea: explaining the onset, militarization, and resolution of diplomatic maritime claims. *Security studies*, 29(4), 637-670.
- Muehling, S. M. K. (2025). Smart Marine Protected Areas: Innovative Technologies and Adaptive Management Models. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 13(5), 20-38
- Muhamad, S. V. (2016). Illegal fishing di perairan Indonesia: permasalahan dan upaya penanganannya secara bilateral di kawasan. *Jurnal Politica Dinamika Masalah Politik Dalam Negeri dan Hubungan Internasional*, 3(1).
- Noldus, L. P., Spink, A. J., & Tegelenbosch, R. A. (2001). EthoVision: a versatile video tracking system for automation of behavioral experiments. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 33, 398-414.
- Nurjannah, I., & Mokodompit, E. A. (2023). Implikasi Kebijakan Kelautan Indonesia Dalam Pengembangan Ekonomi Maritim.
- Padmaja, G. (2015). Modi's Maritime diplomacy: A strategic opportunity. *Maritime Affairs: Journal of the National Maritime Foundation of India*, 11(2), 25-42.
- Palmer, H. D., Pruett, L., Christensen, K., & Penman, T. (2000). GIS applications to maritime boundary definitions: diplomacy on and under the sea.
- Persatuan Asuransi Kelautan Internasional. (2021). *Analisis IUMI tahun 2021 tentang pasar asuransi kelautan global* [Laporan Statistik IUMI 2021]. <https://iumi.com/wp-content/uploads/2025/02/IUMI-Stats-Report-2021.pdf>
- Prathap, B. R., & Ramesha, K. (2020). Geospatial crime analysis to determine crime density using Kernel density estimation for the Indian context. *J Comput Theor Nanosci*, 171, 74-86.
- Prayoga, P. (2022). The Indonesian Political-Economy: Maritime Development in Fisheries and Commerce. In *ASEAN Maritime Security: The Global Maritime Fulcrum in the Indo-Pacific* (pp. 43-63). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Progoulakis, I., Rohmeyer, P., & Nikitakos, N. (2021). Cyber physical systems security for maritime assets. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12), 1384.
- Putra, I., Octavian, A., Susilo, A., & Prabowo, A. (2023). A hybrid AHP-TOPSIS for risk analysis in maritime cybersecurity based on 3D models. *Decis. Sci. Lett*, 12(4), 759-772.
- Putri, F. A., Bramasta, D., & Hawanti, S. (2020). Studi literatur tentang peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran menggunakan model pembelajaran the power of two di SD. *Jurnal Educatio Fkip Unma*, 6(2), 605-610.
- Rawson, A., Sabeur, Z., & Brito, M. (2022). Intelligent geospatial maritime risk analytics using the Discrete Global Grid System. *Big Earth Data*, 6(3), 294-322.
- Rumetna, M. S. (2018). Pemanfaatan Cloud Computing Pada Dunia Bisnis: Studi Literatur. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 5(3), 305-314. <https://doi.org/10.25126/jtiik.201853595>
- Sabarguna, B.S. 2005. Analisis Data pada Penelitian Kualitatif. Jakarta: UI Press.
- Sally, N. U., & Orwela, C. Analysis of International

- Relations Theory Toward the Prospective Foreign Policy in the Vision and Mission of Indonesian Presidential Candidates 2024. Scianna, A. (2013). Experimental studies for the definition of 3D geospatial web services. *Applied Geomatics*, 5(1), 59-71.
- Shalihati, S. F. (2014). Pemanfaatan Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografi Dalam Pembangunan Sektor Kelautan Serta Pengembangan Sistem Pertahanan Negara Maritim. *Geo Edukasi*, 3(2).
- Sirait, E. R. E. (2016). Implementasi teknologi big data di lembaga pemerintahan Indonesia. *Jurnal Penelitian Pos dan Informatika*, 6(2), 113-136.
- Sosnowski, M., Petrossian, G., Nunphong, T., & Piza, E. (2024). Crimes at sea: Exploring the nexus of maritime crimes across global EEZs. *Marine Policy*, 166, 106161.
- Surahman, S., Santoso, A. I., Alam, T. M., & Setiyoko, A. (2015). Pemanfaatan Citra Satelit untuk Penentuan Daerah Operasi Keamanan Laut dari Illegal Fishing (Studi Kasus di Perairan Natuna): Utilization of Satellite Imagery for Determining Marine Security Operation Areas from Illegal Fishing (Case Study in Natuna Waters). *Jurnal Chart Datum*, 1(2), 121-132.
- Techera, E. (2023). The Indian Ocean region and marine environmental law. In *Research Handbook on International Marine Environmental Law* (pp. 172-194). Edward Elgar Publishing.
- Teniwut, W. A., Hasyim, C. L., & Pentury, F. (2022). Towards smart government for sustainable fisheries and marine development: An intelligent web-based support system approach in small islands. *Marine Policy*, 143, 105158.
- UU No. 4 Tahun 2011. (n.d.). Retrieved July 4, 2025, from <https://peraturan.bpk.go.id/Details/39136/uu-no-4-tahun-2011>.
- Wang, H., Liu, Z., Liu, Z., Wang, X., & Wang, J. (2022). GIS-based analysis on the spatial patterns of global maritime accidents. *Ocean engineering*, 245, 110569.
- Wang, Y., Huynh, G., & Williamson, C. (2013). Integration of Google Maps/Earth with microscale meteorology models and data visualization. *Computers & Geosciences*, 61, 23-31.
- Wicaksono, B. S., Supriyadi, A. A., Said, B. D., Widodo, P., & Suwarno, P. (2024). Menuju Laut Bebas Hegemoni Laut Cina Selatan Pada Geopolitik Kritis Keamanan Maritim Di Era Globalisasi. *NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 11(8), 3026-3032.
- Wiyoga, Pandu. 2022. Bakamla Tangkap Tanker yang Diduga Angkut 90 Ton Solar Ilegal. <https://www.kompas.id/baca/nusantara/2022/08/27/bakamla-tangkap-kapal-tanker-yang-diduga-angkut-90-ton-solar-ilegal>
- Wolsing, K., Roepert, L., Bauer, J., & Wehrle, K. (2022). Anomaly detection in maritime AIS tracks: A review of recent approaches. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(1), 112.
- Zhang, M., Montewka, J., Manderbacka, T., Kujala, P., & Hirdaris, S. (2021). A big data analytics method for the evaluation of ship-ship collision risk reflecting hydrometeorological conditions. *Reliability Engineering & System Safety*, 213, 107674.
- Zissis, D., Chatzikokolakis, K., Spiliopoulos, G., & Voudas, M. (2020). A distributed spatial method for modeling maritime routes. *IEEE Access*, 8, 47556-47568.

ANALISIS SPASIAL METODE KARTOMETRIK UNTUK SINKRONISASI BATAS DESA DENGAN BATAS ADMINISTRASI DI SEGMENT BATAS KABUPATEN BANDUNG DENGAN KABUPATEN SUMEDANG

(Spatial Analysis of Cartometric Methods for Synchronizing Village Boundaries with Administrative Boundaries in the Boundary Segment of Bandung Regency with Sumedang Regency)

Tobi Anggesta, Lili Somantri, Haikal Muhammad Ihsan

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

Jalan Dr. Setiabudhi No. 229, Kota Bandung 40154, Jawa Barat - Indonesia

E-mail: tobianggesta@upi.edu

Diterima: 24 April 2025; Direvisi: 21 Juli 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan: 14 Agustus 2025

ABSTRAK

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan 38 provinsi, memiliki batas wilayah administratif yang definitif untuk penataan administrasi pemerintahan dan pengelolaan sumber daya alam. Kejelasan batas wilayah sangat penting untuk mencegah potensi konflik administratif dan sosial. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi eksisting pilar batas desa antara Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang, serta menganalisis pergeseran segmen yang berdampak pada perubahan luas wilayah berdasarkan Permendagri Nomor 13 Tahun 2008 dan hasil pendetailan batas wilayah tahun 2023. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang mengintegrasikan metode kartometrik, pemetaan partisipatif, dan survei lapangan, didukung oleh Sistem Informasi Geografis (SIG). Data geospasial yang diperoleh dianalisis secara sistematis menggunakan SIG, sementara metode kartometrik diterapkan untuk mengukur dan memverifikasi akurasi batas wilayah berdasarkan data peta dan citra satelit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar pilar batas dalam kondisi baik, meskipun beberapa di antaranya hilang atau rusak. Hasil analisis mengungkapkan perbedaan panjang segmen batas pada 16 desa dari 30 desa (53,3%) di perbatasan Kabupaten Bandung-Sumedang, dengan deviasi 42,13–800,00 m (terbesar di Desa Cileunyi Wetan–Sindangsari) yang menimbulkan tumpang tindih 159,44 ha, dimana 63% deviasi tergolong kategori kecil (7,5–250 m) berdasarkan SNI 2010. Pergeseran ini berdampak pada perubahan luas wilayah, di mana Kabupaten Bandung mengalami penambahan luas wilayah sebesar 85,94 ha, sementara Kabupaten Sumedang mengalami pengurangan wilayah sebesar 86,58 ha. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk meningkatkan efektivitas administrasi pemerintahan dan pengelolaan wilayah yang lebih optimal.

Kata kunci: Analisis spasial, Kabupaten Bandung, Kabupaten Sumedang, segmen batas wilayah

ABSTRACT

Indonesia, as an archipelago with 38 provinces, has definitive administrative boundaries for structuring government administration and natural resource management. Boundary clarity is essential to prevent potential administrative and social conflicts. This research aims to analyze the existing condition of the village boundary pillars between Bandung Regency and Sumedang Regency, as well as to analyze segment shifts that have an impact on changes in area based on Permendagri Number 13 of 2008 and the results of the 2023 detailed boundaries. This research uses a descriptive quantitative approach that integrates cartometric methods, participatory mapping, and field surveys, supported by Geographic Information Systems (GIS). The geospatial data obtained was systematically analyzed using GIS, while the cartometric method was applied to measure and verify the accuracy of boundaries based on map data and satellite imagery. The results showed that most of the boundary pillars were in good condition, although some were missing or damaged. The analysis revealed differences in the length of boundary segments in 16 out of 30 villages (53.3%) on the Bandung-Sumedang border, with a deviation of 42.13-800.00 m (the largest in Cileunyi Wetan-Sindangsari Village) which resulted in an overlap of 159.44 ha, where 63% of the deviation was classified as small (7.5-250 m) based on SNI 2010. This shift had an impact on changes in area, where Bandung Regency experienced an increase in area of 85.94 ha, while Sumedang Regency experienced a reduction in area of 86.58 ha. This research is expected to be the basis for improving the effectiveness of government administration and more optimal regional management.

Keywords: Spatial analysis, Bandung Regency, Sumedang Regency, Regional boundary segments

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan yang membentang dari Sabang hingga Merauke, per Juni 2025 terbagi menjadi 38 provinsi (termasuk Papua Barat Daya berdasarkan UU No. 29/2022), 416 kabupaten, 98 kota, 7.285 kecamatan, 8.496 kelurahan, dan 75.266 desa (Kementerian Dalam Negeri 2025). Setiap batas wilayah administratif darat bersifat tetap dan jelas yang ditetapkan melalui regulasi dengan penanda fisik dan koordinat geografis (Indra, 2019; Permendagri No. 45/2016). Penetapan batas administratif ini ditetapkan melalui kesepakatan dengan berpedoman kepada Permendagri Nomor 141 Tahun 2017 tentang Penegasan Batas Daerah dan Undang-undang (UU) Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah (Asadi, 2016).

Sebagai garis pemisah antarwilayah administratif, batas wilayah tidak hanya penting untuk ditampilkan secara spasial pada peta, tetapi juga harus dapat diverifikasi melalui survei lapangan (Somantri, 2023). Keberadaan batas wilayah merupakan elemen fundamental dalam peta dasar sesuai amanat Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial. Dalam Undang-Undang tersebut, Informasi Geospasial didefinisikan sebagai data geospasial yang telah diproses untuk mendukung pembuatan kebijakan, pengambilan keputusan, dan pelaksanaan kegiatan yang berkaitan dengan ruang kebumihuan (UU Nomor 4 Tahun 2011). Batas wilayah definitif sangat penting karena menjadi dasar hukum pengelolaan administrasi wilayah (Arafah & Mabrur, 2023). Dalam Thalita (2015), disebutkan bahwa menurut Kristiyono (2008), ketiadaan batas wilayah yang definitif dapat menimbulkan beberapa dampak, di antaranya: konflik yurisdiksi antardaerah, gangguan terhadap pelayanan administrasi pemerintahan, dan instabilitas politik lokal, khususnya di wilayah perbatasan (Thalita, 2015).

Dalam rangka memastikan kejelasan dan kepastian hukum terkait batas wilayah, Kementerian Dalam Negeri menetapkan penegasan batas wilayah melalui Permendagri Nomor 141 Tahun 2017 tentang Penegasan Batas Daerah sebagai pengganti Permendagri Nomor 76 Tahun 2012. Regulasi ini menegaskan batas daerah dilaksanakan untuk memberi kepastian hukum, dilakukan secara partisipatif dan transparan, berbasis data spasial akurat, serta menjunjung kesepakatan antardaerah demi tertib administrasi pemerintahan. Pedoman terkait penegasan batas daerah ini menegaskan bahwa setiap daerah harus melaksanakan kewenangannya dalam batas wilayah yang ditentukan, yang berarti otoritas lokal tidak boleh melampaui batas yang ditetapkan oleh undang-undang (Sartika, 2016). Penetapan Batas wilayah ini sangat penting karena bertujuan untuk menciptakan ketertiban administrasi pemerintahan

dan memberikan kejelasan dan kepastian hukum mengenai batas wilayah sesuai dengan aspek teknis dan yuridis (Marpaung, 2022).

Sebagai bagian dari upaya menjaga kepastian hukum dan keakuratan data, Undang-Undang No. 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial mengatur bahwa batas wilayah merupakan unsur wajib dalam Peta Rupabumi Indonesia (RBI) sebagai komponen Informasi Geospasial Dasar. Batas wilayah memiliki standar pengelolaan khusus yang berbeda dengan unsur Informasi Geospasial Dasar (IGD) lainnya, sebagaimana diatur dalam Permendagri No. 141/2017 dan SNI 8033:2014. Penetapannya memerlukan kepastian hukum, akurasi spasial, dan penanda fisik yang telah ditentukan koordinat geodetisnya menggunakan sistem referensi nasional. Sebagai respons terhadap kebutuhan akan data yang terintegrasi dan akurat, pemerintah Indonesia juga menetapkan Kebijakan Satu Peta dalam perencanaan pengembangan wilayah secara berkelanjutan (Widayati, 2019). Kebijakan ini bertujuan agar seluruh perencanaan dan pembangunan nasional didasarkan pada peta dengan satu referensi yang sama, tanpa terkecuali untuk layer batas wilayah (Nugroho, 2018). Penggunaan satu data batas wilayah yang terstandar ini diharapkan dapat meminimalkan potensi konflik antarwilayah, meningkatkan aspek keadilan, dan memperkuat kepastian hukum, sekaligus meningkatkan efisiensi dalam penyelenggaraan pemerintahan (Djaja, 2017). Penegasan batas wilayah desa, menjadi salah satu dari bagian dari peraturan ini, merupakan agenda yang perlu segera ditindaklanjuti. Peraturan Presiden Nomor 23 Tahun 2021 tentang Perubahan Atas Peraturan Presiden Nomor 9 Tahun 2016 secara tegas mengatur percepatan implementasi kebijakan Satu Peta melalui tiga ketentuan utama, yaitu penggunaan skala dasar 1:50.000 sebagai acuan pemetaan, pemenuhan standar ketelitian peta sesuai dengan SNI 8202:2019, serta integrasi menyeluruh seluruh data spasial pemerintah dalam satu sistem terpadu. Ini seperti menegaskan bahwa penegasan batas wilayah, termasuk batas desa, harus segera diselesaikan untuk mendukung kelancaran administrasi pemerintahan dan pembangunan daerah, sekaligus untuk memastikan keselarasan antara data geospasial dan kebutuhan praktis di lapangan.

Dalam era otonomi daerah yang semakin berkembang, pemerintah daerah memerlukan data batas wilayah yang akurat dan terverifikasi untuk mendukung pengelolaan pemerintahan yang efektif (Umra, 2015). Kebutuhan tersebut di antaranya untuk pengelolaan sumberdaya alam, pemberian perizinan, pelayanan administrasi pertanahan, pelayanan administrasi kependudukan, penyusunan daftar pemilih tetap dalam pemilihan umum, penanganan kasus hukum, perhitungan dana desa, dan sebagainya. Salah satu dari aspek penting

dalam manajemen batas wilayah adalah batas desa/kelurahan, yang merupakan unit administrasi terkecil dalam pemerintahan (Hadi, 2020) Batas Desa/kelurahan merupakan aspek yang sangat penting karena dapat meningkatkan penyelenggaraan pemerintahan desa menjadi lebih tertib dan pengelolaan sumber daya alam bisa lebih maksimal dalam perencanaan pengembangan suatu wilayah (Baharuddin, 2020)

Sejalan dengan hal ini, Undang-undang (UU) Nomor 6 Tahun 2014 tentang Desa menegaskan bahwa desa merupakan kesatuan masyarakat hukum dengan batas wilayah yang memiliki otoritas untuk mengatur dan mengurus urusan pemerintahan, kepentingan masyarakat lokal berdasarkan inisiatif masyarakat, hak asal-usul, dan/atau hak tradisional yang dihormati dalam sistem pemerintahan Negara Kesatuan Republik Indonesia. Dengan kata lain, salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh desa adalah batas wilayahnya (Sukoco & Sutanta, 2021). Kejelasan batas wilayah desa, termasuk dalam hal penegasan batas desa dan kelurahan, sangat berpengaruh pada penyelesaian batas wilayah daerah otonom lainnya. Mengingat desa dan kelurahan merupakan unit administrasi terkecil dalam struktur pemerintahan Indonesia, penegasan batas wilayah desa menjadi bagian penting dalam memastikan keselarasan dan kelancaran administrasi pemerintahan secara keseluruhan (Nadeak et al., 2015)

Desa diberikan kewenangan yang mencakup hak asal usul dan lokal berskala desa sesuai Pasal 18 - 19 Undang-Undang Nomor 06 Tahun 2014 tentang Desa. Salah satu implementasi dari undang-undang tersebut adalah pentingnya kecepatan dalam menetapkan batas wilayah. Namun, dalam proses penetapan batas tersebut, banyak tantangan yang dihadapi, mengakibatkan masalah baru mulai dari aspek budaya, ekonomi, politik, agama, hingga konflik batas wilayah. Meskipun otonomi daerah yang dijalankan saat ini memberikan keleluasaan bagi pemerintah daerah dalam mengatur urusan masing-masing, kondisi ini juga berdampak pada meningkatnya potensi konflik batas wilayah. Konflik tersebut kerap terjadi akibat kesulitan dalam menentukan batas antara wilayah administratif dan batas adat, serta ketidaksepakatan antarpemerintah daerah, terkhusus di wilayah perbatasan yang memiliki nilai ekonomi tinggi (Pinori, 2014). Penetapan dan penegasan batas desa sangat penting dan diperlukan menjadi prioritas yang ditetapkan oleh pemerintah daerah. Jika batas wilayah tidak jelas, hal ini dapat menghambat proses pembangunan di desa dan berpotensi memicu konflik antarwarga terkait dengan perselisihan mengenai batas wilayah (Anastasia, 2024).

Untuk memastikan penegasan batas desa yang akurat dan sah, Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 45 Tahun 2016 tentang Pedoman Penetapan

dan Penegasan Batas Desa memberikan panduan komprehensif mengenai prosedur untuk menentukan dan menetapkan batas desa, organisasi pelaksanaan, dan pengesahan hasil penyelesaian sengketa, disertai bagian yang menjelaskan konsep dan prosedur yang harus diikuti. Dalam implementasinya, titik koordinat batas desa ditentukan melalui metode survei lapangan dan/atau kartometrik, kemudian dimasukkan ke dalam peta batas beserta daftar lokasi koordinat, yang harus disahkan oleh Bupati atau Wali Kota untuk menjamin keabsahannya.

Di sisi lain, menurut Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 141 Tahun 2017 tentang Penegasan Batas Daerah, penetapan batas wilayah juga harus disahkan melalui Peraturan Menteri Dalam Negeri, sementara Pasal 9 Ayat 3 Permendagri No. 45 Tahun 2016 menegaskan bahwa batas desa yang telah ditetapkan dan disahkan harus dituangkan dalam peraturan bupati atau wali kota (Fadly, 2019). Dengan demikian, wewenang pemerintah daerah dalam penetapan, penegasan, dan pengesahan batas desa atau kelurahan sangat penting untuk mengatur pemerintahan dan memberikan kejelasan dan kepastian hukum tentang batas wilayah desa/kelurahan yang memenuhi persyaratan teknis dan yuridis serta mendukung pengelolaan sumber daya desa/kelurahan secara optimal (Suardita, 2023).

Lebih lanjut, Sukoco & Sutanta (2021) mengutip pendapat Tesano (2015) bahwa garis besar wilayah (delineasi batas) desa yang dituangkan dalam keputusan atau Peraturan Bupati/Wali Kota pada prinsipnya harus sinkron dengan batas daerah yang telah ditetapkan dalam Permendagri. Hal ini sesuai dengan asas hierarki peraturan perundang-undangan, di mana Peraturan Bupati/Wali Kota (Perkada) tidak boleh bertentangan dengan Peraturan Menteri Dalam Negeri (Permendagri) yang memiliki kedudukan lebih tinggi. Oleh karena itu, selain aspek teknis yang melibatkan pemetaan dan verifikasi lapangan, unsur yuridis juga sangat penting dalam proses penetapan dan penegasan batas wilayah, agar proses tersebut memenuhi semua persyaratan hukum dan tidak menimbulkan sengketa di kemudian hari (Hadi, 2020); (Endang, 2019).

Penegasan batas wilayah yang sah dan sesuai dengan ketentuan hukum akan memberikan kepastian administrasi dan mendukung pengelolaan sumber daya di tingkat desa, terutama di segmen batas wilayah yang memisahkan Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang. Proses ini diatur dalam Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 45 Tahun 2016 tentang Pedoman Penetapan dan Penegasan Batas Desa, yang mencakup tiga tahap utama: penetapan, penegasan, dan pengesahan batas desa. Penegasan batas desa di wilayah ini dilakukan menggunakan metode kartometrik, yang melibatkan penelusuran dan

penarikan garis batas dari peta kerja, serta pengukuran posisi titik, garis, jarak, dan luas wilayah berdasarkan data peta dasar dan informasi geospasial lainnya. Metode ini, yang juga diatur dalam Permendagri Nomor 141 Tahun 2017, bertujuan untuk meminimalkan potensi sengketa batas dan meningkatkan efektivitas pengelolaan wilayah, sehingga tercipta keselarasan antara data teknis dan kejelasan hukum dalam administrasi pemerintahan (Bashit et al., 2019).

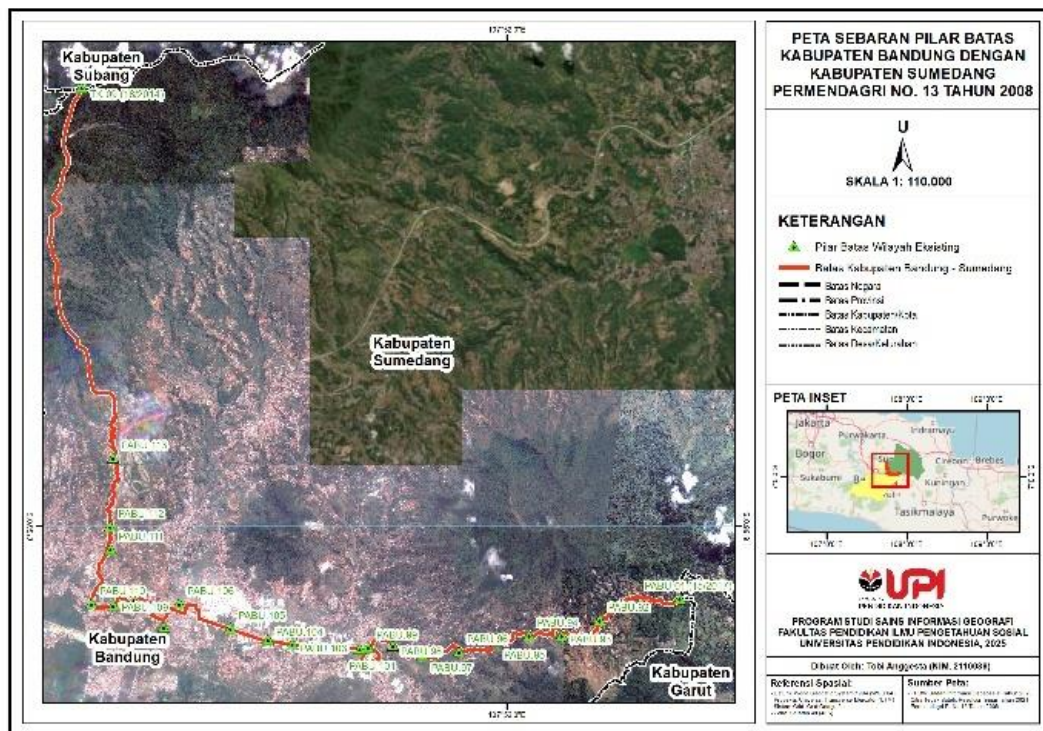
Dalam implementasinya, kejelasan batas wilayah tidak bersumber pada dokumen peta dan daftar koordinat, tetapi juga memerlukan tanda fisik di lapangan dalam bentuk pilar batas. Menurut Badan Informasi Geospasial, terdapat dua jenis pilar batas wilayah, yaitu Pilar Batas Utama (PBU) yang dipasang tepat pada garis batas wilayah, dan Pilar Acuan Batas Utama (PABU) yang dipasang tidak persis di garis batas, melainkan digunakan sebagai acuan dalam menarik garis batas. Berdasarkan Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 13 Tahun 2008, Pasal 7, batas wilayah antara Kabupaten Sumedang dan Kabupaten Bandung dimulai dari PABU 91 di Desa Sindulang terletak di Kecamatan Cimanggung, Kabupaten Sumedang dan berbatasan dengan Desa Tanjungwangi, Kecamatan Cicalengka, Kabupaten Bandung, dan berakhir di PABU 113 yang terletak di Desa Cibeusi terletak di Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, dan berbatasan dengan Desa Cileunyi Wetan, Kecamatan Cileunyi, Kabupaten Bandung (lihat **Gambar 1**).

Namun, meskipun batas wilayah ini telah ditetapkan secara yuridis, di lapangan masih

ditemukan ketidaksesuaian posisi batas dibandingkan dengan garis batas yang tercantum pada dokumen resmi Permendagri Nomor 13 Tahun 2008 serta belum sepenuhnya memenuhi spesifikasi teknis pemetaan yang berlaku. Salah satunya adalah posisi Pilar Acuan Batas Utama (PABU) yang seharusnya dipasang di luar garis batas wilayah, justru digunakan sebagai objek batas yang belum sesuai dengan ketentuan dalam regulasi yang berlaku.

Kondisi di lapangan semakin memperkuat urgensi penegasan batas wilayah ini. Saat inipenentuan batas administrasi desa di segmen batas Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang yang berlaku masih memanfaatkan hasil delineasi lama yang memiliki jumlah titik koordinat batas relatif jarang, sehingga diperlukan perapatan titik koordinat batas desa secara kartometrik agar menghasilkan representasi garis batas yang lebih teliti dan sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

Berdasarkan hasil wawancara dengan sejumlah tokoh pemerintah setempat, batas wilayah kedua kabupaten ini pada awalnya mengikuti batas alam, seperti sungai, persil sawah, atau selokan, yang telah ada sejak berdirinya Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang. Namun, perkembangan wilayah perkotaan yang pesat, termasuk pembangunan pabrik dan jalan raya di sekitar batas kabupaten, memunculkan ketidakjelasan antara batas lama dengan situasi aktual di lapangan. Beberapa pilar penanda batas pun diketahui telah hilang atau mengalami kerusakan.



Gambar 1. Peta Sebaran pilar acuan batas utama (PABU) batas administrasi Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang.

Ketidaksesuaian ini menimbulkan permasalahan nyata, salah satunya pada administrasi kependudukan, di mana terdapat warga yang secara administratif berada di wilayah Kabupaten Bandung tetapi tercatat memiliki data kependudukan di Kabupaten Sumedang. Menyikapi kondisi tersebut, Pemerintah Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang telah mengajukan usulan penegasan ulang batas wilayah kepada Pemerintah Provinsi Jawa Barat dan Tim Penegasan Batas Daerah (PBD) Pusat di bawah Kementerian Dalam Negeri serta Badan Informasi Geospasial (BIG). Hal ini menunjukkan keseriusan pemerintah daerah dalam memperbaiki ketidaksesuaian batas wilayah agar tercipta kepastian hukum dan pelayanan publik yang lebih baik.

Berdasarkan uraian sebelumnya, penelitian ini berjudul "Analisis Spasial Metode Kartometrik untuk Sinkronisasi Batas Desa dengan Batas Administrasi di Segmen Batas Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang" yang bertujuan untuk menganalisis lokasi eksisting pilar batas desa antara Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang, serta mengevaluasi ketidaksesuaian posisi segmen garis batas (pergeseran segmen) yang terjadi antara garis batas sesuai Permendagri Nomor 13 Tahun 2008 dengan hasil deliniasi pendetailan batas wilayah tahun 2023.

Pergeseran segmen dalam penelitian ini merujuk pada perubahan posisi garis batas akibat peningkatan akurasi deliniasi yang telah disepakati oleh pemerintah daerah dan pusat sebagai dasar revisi terhadap Permendagri sebelumnya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi berbasis data geospasial yang lebih mutakhir, akurat, dan terstandar, sehingga mampu menghindari potensi konflik di masa depan serta mendukung pengelolaan wilayah yang lebih optimal. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menciptakan keselarasan antara kebijakan administrasi pemerintahan dengan kondisi di lapangan, sekaligus meningkatkan produktivitas dan efisiensi pengelolaan sumber daya wilayah di Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Metode penelitian ini mengintegrasikan metode kartometrik, pemetaan partisipatif, dan survei lapangan yang didukung oleh Sistem Informasi Geografis (SIG). Integrasi ini memungkinkan analisis spasial terhadap hasil batas wilayah yang telah melalui proses pendetailan dan kesepakatan teknis. Melalui pendekatan kuantitatif deskriptif, data geospasial yang diperoleh dari survei lapangan dan pemetaan partisipatif dianalisis secara sistematis menggunakan SIG. Metode kartometrik diterapkan untuk mengukur dan memverifikasi akurasi batas wilayah berdasarkan

data peta dan citra satelit. Integrasi metode-metode ini memungkinkan penelitian ini untuk menghasilkan analisis spasial yang komprehensif dan objektif terhadap penegasan batas wilayah, sekaligus memberikan rekomendasi perbaikan jika ditemukan ketidaksesuaian antara data administrasi dan kondisi aktual di lapangan.

Penelitian diawali dengan pengecekan terhadap seluruh data segmen batas wilayah baik dalam bentuk digital maupun peta cetak. Pengecekan pertama adalah kesesuaian sistem referensi yang digunakan di seluruh data yang ada, untuk memastikan memiliki sistem referensi spasial yang sama. Data segmen batas dalam bentuk digital dilakukan pengecekan topologi untuk memastikan topologi data sudah terbangun dengan baik. Data segmen batas dalam format peta cetak kemudian dipindai (*scanning*) dan dilakukan georeferencing, sehingga dapat disinkronkan menggunakan metode tumpang susun (*overlay*) dengan data dalam format shapefile. Sinkronisasi data bertujuan untuk memastikan data dalam format digital sudah sesuai dengan dasar hukum yang ada.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pemrosesan seluruh data segmen batas dengan metode *overlay*. Data masukan yang digunakan yaitu data segmen batas desa dari 15 subsegmen yang berada di perbatasan Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang. Seluruh data dalam bentuk vektor berformat shapefile terdiri atas tiga jenis, yaitu titik (*point*), garis (*polyline*), dan area (*polygon*). Perbedaan jenis data vektor yang ada digunakan untuk melakukan proses analisis yang berbeda yaitu: identifikasi perbedaan posisi segmen batas, pergeseran segmen batas dan perbedaan luas wilayah (Riadi et al., 2011).

Identifikasi perbedaan posisi segmen batas dilakukan melalui *overlay* data segmen batas desa dengan data segmen batas daerah. Penentuan perbedaan posisi segmen batas ini mengacu pada ketelitian horizontal yang diatur dalam SNI 6502.2:2010 tentang Penyajian Peta Rupa Bumi Skala 1:25.000 (wijaya et al., 2023). Ketelitian horizontal untuk peta dengan skala ini adalah 0,3 mm, dikalikan dengan nilai skala peta. Posisi segmen batas dianggap berbeda jika jarak antara kedua segmen tersebut melebihi 0,5 mm kali skala peta. Segmen batas yang menunjukkan perbedaan posisi selanjutnya diidentifikasi jenis perbedaannya dan dihitung luas areanya. Segmen batas desa yang melewati segmen batas daerah akan membentuk area tumpang tindih (*overlap*), sementara segmen batas desa yang tidak bersinggungan dengan batas daerah akan menghasilkan area celah (*gap*) (Himawan et al., 2019).

Perhitungan besarnya pergeseran segmen batas desa dilakukan dengan menghitung jarak maksimal pergeseran dari setiap segmen batas desa yang posisinya berbeda dengan segmen batas daerah. Metode perhitungan ini serupa dengan

yang diterapkan oleh Sutanta et al (2020), menggunakan perhitungan jarak Euclidean. Jarak Euclidean adalah jarak antara dua titik yang dihitung berdasarkan koordinat x dan y pada peta, di mana masing-masing titik mengandung informasi dua dimensi. Koordinat tersebut digunakan untuk menghitung jarak antara dua titik yang telah diketahui. Data yang digunakan adalah segmen batas berbentuk titik dengan interval antar titik sebesar 10 meter.

Pada setiap desa yang berbatasan dengan kabupaten lain, dilakukan perhitungan luas wilayah berdasarkan segmen batas yang sesuai dengan Peraturan Bupati dan Permendagri. Data yang digunakan adalah data geospasial dalam format poligon dengan sistem referensi *Universal Transverse Mercator* (UTM). Metode perhitungan luas wilayah yang diterapkan mengikuti metode yang digunakan oleh (Pratiwi & Sutanta, 2018) dengan hasil perhitungan luas disajikan dalam satuan hektar dan ketelitian mencapai 100 m² (setara dengan 0,01 ha).

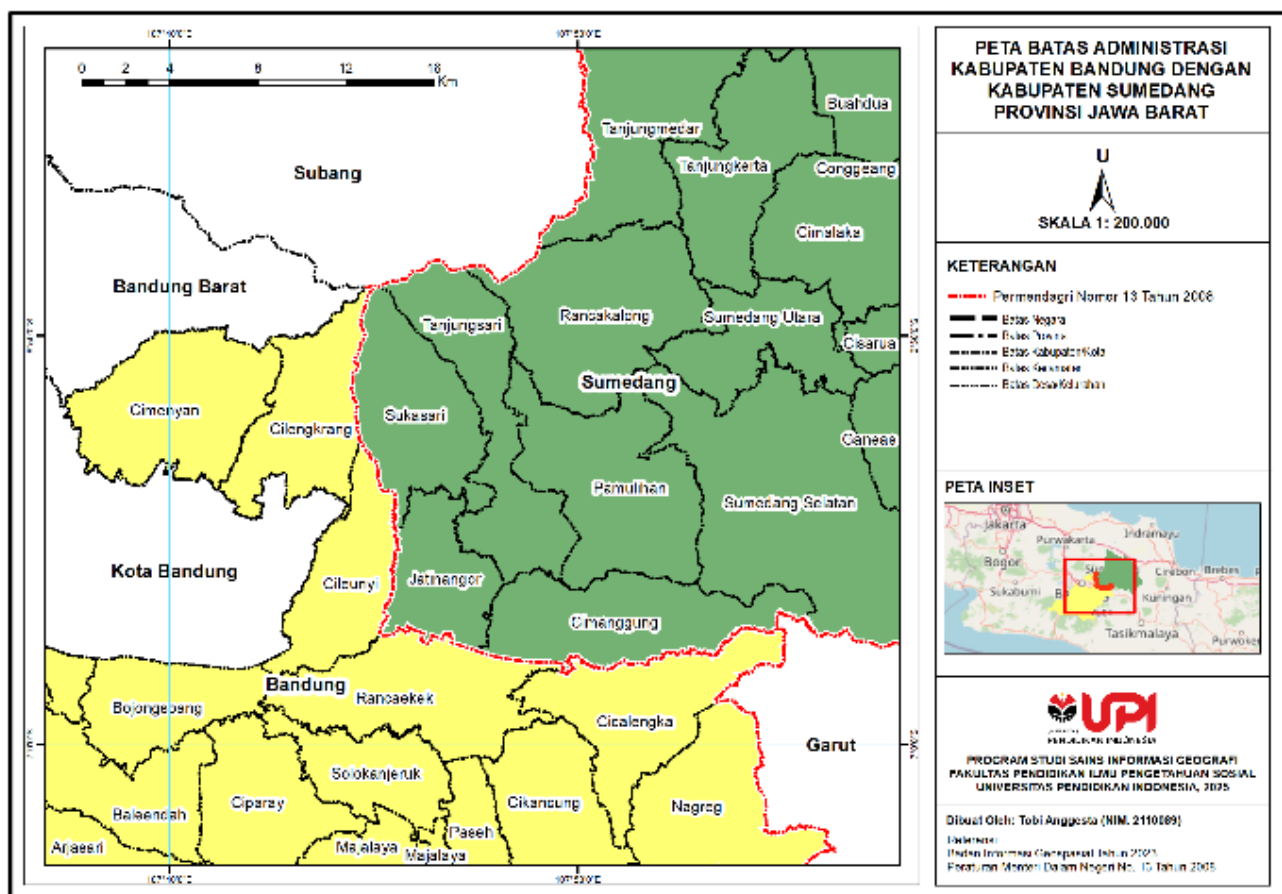
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di perbatasan antara Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang Provinsi Jawa Barat. Panjang batas antara

Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang mencapai sekitar 44,42 km, yang melibatkan 14 desa di Kabupaten Bandung dan 16 desa di Kabupaten Sumedang (Permendagri Nomor 13 Tahun 2008). Penegasan batas ini sangat penting untuk mendukung pengelolaan administrasi, sumber daya, dan infrastruktur yang efisien di kedua kabupaten tersebut. Segmen batas antara Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang diatur lebih lanjut dalam Pasal 7 Permendagri No. 13 Tahun 2008 mengenai batas daerah Kabupaten Sumedang dan Kabupaten Bandung. Segmen batas tersebut sebagaimana tersaji dalam **Gambar 2**.

Alat dan Bahan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, digunakan berbagai alat dan bahan pendukung guna menunjang kelancaran proses pengumpulan, pengolahan, dan analisis data. Alat yang digunakan terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang berfungsi untuk melakukan pemetaan, analisis spasial, dan dokumentasi lapangan. Sementara itu, bahan penelitian berupa data spasial dan nonspasial yang relevan digunakan sebagai dasar dalam proses analisis batas wilayah desa. Adapun rincian alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** berikut.



Gambar 2. Peta batas administrasi Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang.

Tabel 1. Alat penelitian.

No.	Alat	Fungsi
1.	Laptop dengan Sistem Operasi Windows RAM 8 GB	Perangkat yang digunakan untuk menjalankan program, mengolah, menyimpan, dan menganalisis data.
2.	Hardisk HDD 4 TB	Perangkat yang digunakan untuk menyimpan data dan dokumentasi penelitian.
3.	Ponsel Android	Perangkat yang digunakan untuk mendokumentasikan penelitian.
4.	Software ArcGIS ArcMap 10.8	Perangkat lunak untuk pengolahan data spasial serta penyusunan dan pembuatan peta.
5.	Avenza Maps – Offline Mapping	Perangkat lunak untuk kegiatan survei lapangan dan pelacakan lokasi pilar batas wilayah.
6.	Microsoft Office 2021 64-bit	Perangkat lunak untuk menyusun laporan serta mengolah data hasil penelitian.

Tabel 2. Bahan penelitian.

No.	Bahan	Fungsi
1.	Citra Tegak Satelit Resolusi Tinggi (CTSRT) Tahun 2021	Untuk mengidentifikasi objek-objek yang terdapat pada permukaan bumi dalam proses penentuan batas wilayah.
2.	Data Peta Kerja	Referensi awal untuk proses deliniasi sebelum tahap pelacakan batas dilakukan.
3.	Data Indikatif dan Definitif Batas Wilayah Berdasarkan Permendagri Nomor 13 Tahun 2008	Berfungsi sebagai referensi dalam penetapan batas sebelumnya dengan mengacu pada tampilan permukaan bumi.
4.	Data Hasil Delineasi Batas Wilayah Tahun 2023	Referensi batas yang telah diverifikasi di lapangan sesuai dengan objek yang ada pada batas wilayah.

Populasi dan Sampel

Penentuan populasi dan sampel dalam penelitian ini dapat dilakukan dengan mempertimbangkan objek yang menjadi fokus kajian. Dalam penelitian mengenai analisis spasial hasil penegasan batas wilayah di segmen batas antara Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang, analisis spasial difokuskan pada desa yang berbatasan dengan desa lainnya yang menjadi batas kedua kabupaten, (**Tabel 3**).

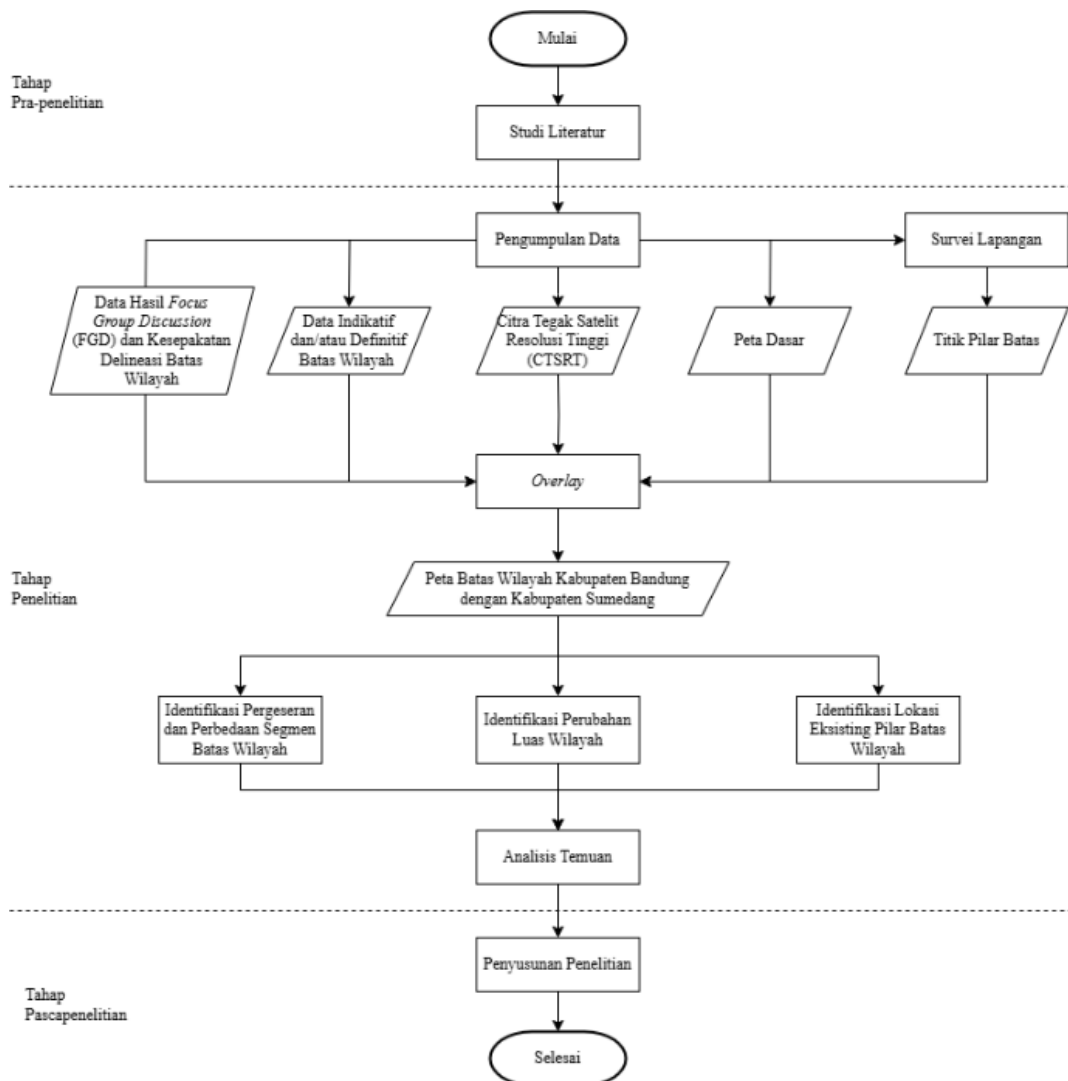
Penelitian ini menggunakan sampel yang mencakup seluruh populasi subsegmen batas desa

pada segmen batas antara Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang, yang terdiri dari 15 subsegmen. Metode pengambilan sampel tidak dilakukan secara acak (*random sampling*), melainkan lebih mendekati pendekatan *cluster sampling*, karena penelitian difokuskan pada subjek dalam suatu kelompok atau wilayah tertentu. Selain itu, karena seluruh populasi dalam wilayah penelitian diikutsertakan, metode ini juga dapat dikategorikan sebagai *area sampling*, yang umum digunakan dalam analisis spasial untuk memastikan cakupan yang menyeluruh dalam analisis spasial hasil penegasan batas wilayah.

Tabel 3. Batas wilayah antar Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang.

No	Batas Desa
1.	Desa Dampit (Bandung) - Desa Tegalmanggung (Sumedang)
2.	Desa Dampit (Bandung) - Desa Cimanggung (Sumedang)
3.	Desa Panenjoan (Bandung) - Desa Sindangpakuon (Sumedang)
4.	Desa Nanjung Mekar (Bandung) - Desa Sindangpakuon (Sumedang)
5.	Desa Linggar (Bandung) - Desa Cintamulya (Sumedang)
6.	Desa Jelegong (Bandung) - Desa Cintamulya (Sumedang)
7.	Desa Jelegong (Bandung) - Desa Mekargalih (Sumedang)
8.	Desa Bojongloa (Bandung) - Desa Mekargalih (Sumedang)
9.	Desa Rancaekek Wetan (Bandung) - Desa Cipacing (Sumedang)
10.	Desa Cileunyi Wetan (Bandung) - Desa Cipacing (Sumedang)
11.	Desa Cileunyi Wetan (Bandung) - Desa Cibeusi (Sumedang)
12.	Desa Cileunyi Wetan (Bandung) - Desa Sindangsari (Sumedang)
13.	Desa Cibiru Wetan (Bandung) - Desa Sindangsari (Sumedang)
14.	Desa Ciporeat (Bandung) - Desa Sindangsari (Sumedang)
15.	Desa Cipanjalu (Bandung) - Desa Nanggerang (Sumedang)

Tahapan dalam penelitian ini secara keseluruhan dapat dilihat pada **Gambar 3**. Diagram alir tersebut menjelaskan rangkaian kegiatan yang dimulai dari tahap pra-penelitian, yakni studi literatur, pengumpulan data, serta survei lapangan untuk memperoleh data pilar batas. Selanjutnya pada tahap penelitian, dilakukan proses overlay data yang melibatkan berbagai sumber, seperti hasil FGD, data batas administratif, citra satelit resolusi tinggi, serta peta dasar.



Gambar 3. Diagram alir penelitian.

Tahap ini menghasilkan peta batas wilayah Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang yang kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi pergeseran segmen batas, perubahan luas wilayah, dan lokasi eksisting pilar batas. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam tahap pascapenelitian berupa penyusunan laporan akhir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kondisi Pilar Batas Wilayah Eksisting Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang

Analisis kondisi pilar batas eksisting dilakukan untuk memvalidasi data primer terkait batas wilayah (Kumara, 2020) antara Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang. Survei lapangan meliputi observasi langsung terhadap kondisi fisik pilar batas, termasuk wawancara dengan perangkat desa dan masyarakat setempat guna memperoleh perspektif lokal tentang batas wilayah tersebut. Informasi yang diperoleh menjadi dasar analisis terhadap kondisi eksisting batas wilayah.

Hasil survei menunjukkan bahwa sebagian besar pilar batas berada dalam kondisi baik, meskipun terdapat ketidaksesuaian pada beberapa Pilar Acuan Batas Utama (PABU). Ketidaksesuaian ini terjadi karena PABU, yang seharusnya dipasang di luar garis batas wilayah, justru digunakan sebagai objek batas, berbeda dengan Pilar Batas Utama (PBU) sebagaimana diatur dalam peraturan yang berlaku. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 4** yang menunjukkan penggunaan PABU sebagai objek batas secara langsung.



Gambar 4. PABU yang disepakati sebagai objek batas.

Survei lapangan juga menemukan bahwa beberapa pilar batas kehilangan *brass* tablet dan plak, yang merupakan identitas serta kelengkapan wajib pada pilar batas. Ketentuan ini merujuk pada standar teknis pemasangan pilar batas wilayah administrasi yang ditetapkan oleh Badan Informasi Geospasial, yang mengharuskan setiap pilar dilengkapi dengan komponen tersebut sebagai penanda keabsahan dan identifikasi pilar di lapangan. Kehilangan ini diduga disebabkan oleh aktivitas manusia di sekitar wilayah perbatasan, yang berpotensi mengurangi keakuratan dan validitas fungsi pilar sebagai penanda batas wilayah. Temuan ini menegaskan pentingnya upaya pemeliharaan dan pengamanan pilar batas untuk menjamin keberlanjutan fungsinya sebagai penanda batas wilayah. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 5** yang menunjukkan hilangnya *brass* tablek dan plak pada PABU sebagai objek batas.



Gambar 5. PABU yang masih memiliki brass tablet dan plak.



Gambar 6. Ditemukan PABU yang mengalami pergeseran posisi.

Sebagian besar pilar batas ditemukan pada lokasi yang sesuai dengan data administrasi yang tercatat. Namun, terdapat beberapa kasus di mana pilar batas mengalami pergeseran posisi atau bahkan hilang dari lokasi yang tercatat dalam data administrasi. Pergeseran ini tidak semata-mata disebabkan oleh kesalahan teknis dalam penentuan koordinat saat survei awal, melainkan lebih karena adanya faktor eksternal, seperti pembangunan pada lahan milik masyarakat yang menyebabkan pilar bergeser dari posisi aslinya, sebagaimana yang terjadi pada PABU 109. Sementara itu, kasus hilangnya pilar batas, seperti yang teridentifikasi

pada PABU 100, umumnya terjadi karena pilar dipasang pada tanah yang bukan aset pemerintah, sehingga rentan terhadap penutupan akses atau pemindahan oleh pemilik lahan. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 6** yang menunjukkan pilar batas ditemukan pada lokasi yang sesuai dengan data administrasi yang tercatat sebagai berikut.

Analisis Pergeseran Segmen Batas Wilayah

Perhitungan dalam penelitian ini, menggunakan jarak Euclidean berbasis SIG diterapkan untuk mengidentifikasi pergeseran segmen batas, dengan metode ini mengukur jarak antara dua titik yang telah diketahui koordinatnya. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih akurat terhadap perubahan posisi batas wilayah. Pergeseran ini merujuk pada perubahan posisi garis batas berdasarkan Permendagri Nomor 13 Tahun 2008 dibandingkan dengan garis batas hasil delineasi pendetailan yang dianggap akurat dan dijadikan acuan. Segmen batas wilayah yang disepakati melalui hasil pendetailan tersebut dianggap valid dan telah diterima oleh pemerintah daerah maupun pemerintah pusat sebagai dasar revisi terhadap Permendagri sebelumnya. Untuk mengidentifikasi pergeseran tersebut, digunakan perhitungan jarak Euclidean, yaitu jarak antara dua titik yang posisi koordinatnya telah diketahui, guna mengidentifikasi posisi segmen batas berdasarkan Permendagri dengan hasil delineasi. Hasil analisis terhadap kedua jenis batas menunjukkan adanya pergeseran segmen antara batas desa dan batas kabupaten pada 16 desa yang tersebar di 7 kecamatan diperlihatkan pada **Tabel 4** berikut:

Tabel 4. Hasil perhitungan pergeseran segmen batas wilayah dan identifikasi arah pergeseran

No.	Desa, Kecamatan, Kabupaten	Pergeseran Maksimal (meter)	Arah
1	Dampit, Cicalengka, Bandung	42,13	ke luar
2	Tegalmanggung, Sumedang	42,13	ke dalam
3	Nanjung Mekar, Rancaekek, Bandung	137,03	ke luar
4	Sindangpakuon, Sumedang	137,03	ke dalam
5	Jelegong, Rancaekek, Bandung	344,00	ke luar
6	Cintamulya, Jatinangor, Sumedang	100,87	ke luar
7	Mekargalih, Jatinangor, Sumedang	344,00	ke dalam
8	Bojongloa, Rancaekek, Bandung	191,58	ke dalam
9	Cipacing, Jatinangor, Sumedang	200,36	ke dalam

No.	Desa, Kecamatan, Kabupaten	Pergeseran Maksimal (meter)	Arah
10	Rancaekek Wetan, Rancaekek, Bandung	200,36	ke luar
11	Cileunyi Wetan, Cileunyi, Bandung	800,00	ke luar
12	Cibeusi, Jatinangor, Sumedang	481,97	ke dalam
13	Sindangsari, Sukasari, Sumedang	800,00	ke dalam
14	Ciporeat, Cilengkrang, Bandung	366,25	ke dalam
15	Cipanjalu, Cilengkrang, Bandung	162,31	ke dalam
16	Nangerang, Sukasari, Sumedang	162,31	ke luar

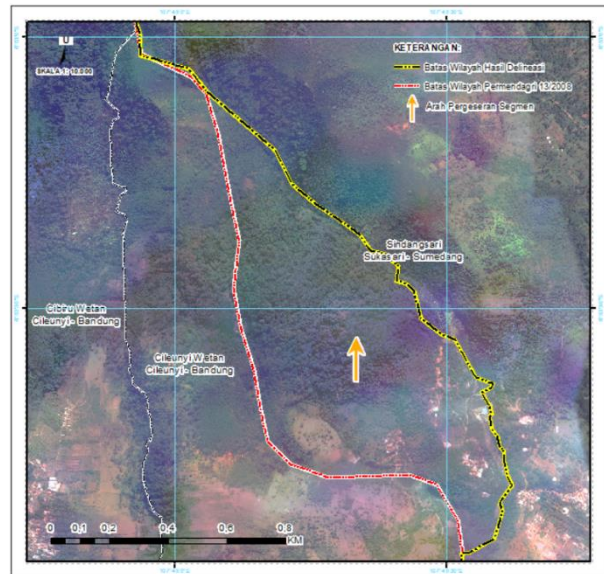
Nilai acuan pergeseran ditetapkan berdasarkan ketelitian horizontal peta kerja skala 1:25.000, yang sesuai dengan SNI 6502.2:2010 tentang Penyajian Peta Rupa Bumi. Ketelitian horizontal pada peta skala 1:25.000 adalah sebesar 7,5 meter, diperoleh dari nilai ketelitian 0,3 mm dikalikan dengan skala peta. Dengan demikian, segmen batas yang memiliki nilai pergeseran di bawah 7,5 meter dianggap tidak mengalami pergeseran yang signifikan atau masih berada dalam toleransi ketelitian peta. Nilai pergeseran pada tabel disajikan dalam dua angka desimal sesuai output perangkat lunak pemroses data, meskipun demikian tidak dimaksudkan menunjukkan akurasi hingga centimeter. Penafsiran akhir tetap merujuk pada batas ketelitian horizontal peta kerja yang digunakan dalam penelitian ini. Segmen dengan pergeseran kecil berada dalam rentang antara 7,5 hingga 250 meter, di mana setiap 1 cm pada peta setara dengan 250 meter di lapangan. Segmen yang mengalami pergeseran sedang terletak pada rentang 250,1 hingga 500 meter, sementara segmen dengan pergeseran besar menunjukkan pergeseran lebih dari 500 meter. Rentang-rentang ini digunakan untuk mengklasifikasikan segmen batas berdasarkan besar pergeseran yang terjadi. Hasil klasifikasi pergeseran segmen batas sebagaimana diperlihatkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Klasifikasi pergeseran segmen batas.

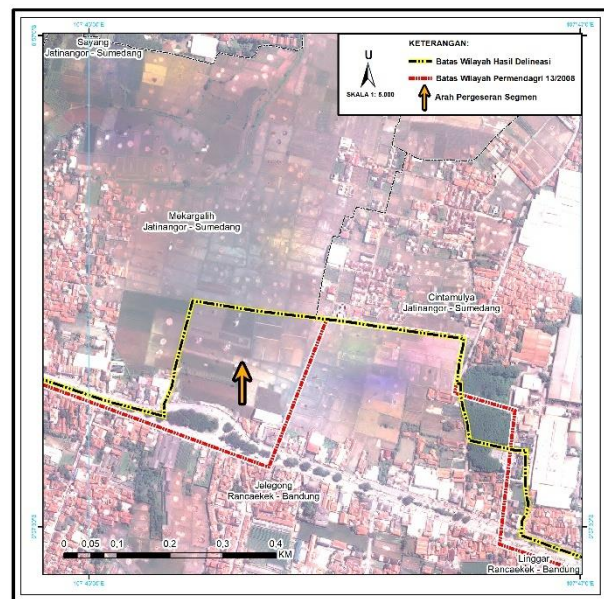
Kelas	Rentang (m)	Jumlah Segmen
Tidak bergeser	< 7,5	19
Pergeseran kecil	7,5 - 250	7
Pergeseran sedang	250,1 - 500	3
Pergeseran besar	>500	1
Jumlah		30

Analisis terhadap kedua jenis batas menemukan adanya pergeseran segmen antara batas desa dan batas kabupaten di beberapa wilayah. Pergeseran tersebut ditunjukkan pada

peta-peta **Gambar 7** dan **Gambar 8** berikut yang memperlihatkan lokasi dan pola ketidaksesuaian antarbatas administratif.



Gambar 7. Peta pergeseran segmen batas wilayah antara Desa Cileunyi Wetan dengan Desa Sindangsari.



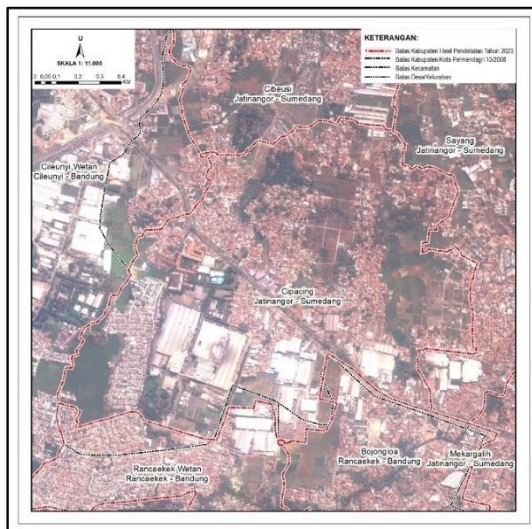
Gambar 8. Peta pergeseran segmen batas wilayah antara Desa Jelegong dengan Desa Mekargalih dan Desa Cintamulya.

Hasil analisis terhadap kedua jenis batas menunjukkan adanya perbedaan subsegmen antara batas desa dan batas kabupaten pada 16 desa yang tersebar di 7 kecamatan. Desa-desa yang dimaksud meliputi Desa Dampit (Kecamatan Cicalengka), Desa Nanjung Mekar, Desa Jelegong, Desa Bojongloa, dan Desa Rancaekek Wetan (Kecamatan Rancaekek), Desa Cileunyi Wetan (Kecamatan Cileunyi), Desa Ciporeat dan Desa Cipanjalu (Kecamatan Cilengkrang), Desa Tegalmanggung dan Desa Sindangpakuon (Kecamatan Cimanggung), serta Desa Cintamulya, Desa

Mekargalih, Desa Cipacing, dan Desa Cibeusi (Kecamatan Jatinangor), serta Desa Sindangsari dan Desa Nanggerang (Kecamatan Sukasari).

Perbedaan subsegmen ini diidentifikasi melalui proses delineasi kartometrik terhadap batas desa, yang dilakukan sebagai tindak lanjut atas usulan resmi Pemerintah Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang kepada Pemerintah Provinsi Jawa Barat serta Tim Penegasan Batas Daerah (PBD) Pusat di bawah Kementerian Dalam Negeri. Proses delineasi ini difasilitasi oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) dan melibatkan Tim PBD Daerah serta perwakilan masyarakat setempat, sehingga hasil penarikan garis batas tidak hanya memenuhi aspek teknis, tetapi juga telah dikonfirmasi dan disepakati oleh pihak-pihak terkait di daerah.

Penelitian ini juga memanfaatkan SIG untuk mengidentifikasi pergeseran segmen batas, dengan membandingkan garis batas sesuai dengan Peraturan Menteri Dalam Negeri (Permendagri) Nomor 13 Tahun 2008 dengan garis batas hasil delineasi pendetailan yang dianggap lebih akurat dan dijadikan acuan. Segmen batas wilayah yang disepakati melalui hasil pendetailan ini dianggap sah dan telah diterima oleh pemerintah daerah maupun pemerintah pusat sebagai dasar revisi terhadap Permendagri sebelumnya. Pergeseran maksimal antara batas peta Permendagri dan peta hasil delineasi kesepakatan terjadi pada subsegmen batas antara Desa Cileunyi Wetan, Kecamatan Cileunyi, Kabupaten Bandung, dengan Desa Sindangsari, Kecamatan Sukasari, Kabupaten Sumedang (lihat **Gambar 9**).



Gambar 9. Peta Administrasi Desa Cipacing berdasarkan Permendagri 13 (2008) dengan hasil delineasi pendetailan

Perubahan ini terjadi seiring dengan pergeseran batas dari Desa Cileunyi Wetan menuju Sungai Cibeusi di Desa Sindangsari. Hal ini dipengaruhi oleh

kondisi geografis batas wilayah yang merupakan kawasan hutan Pegunungan Manglayang, sebagai batas alam kedua desa. Daerah tersebut sulit dijangkau dan sebelumnya tidak dianggap sebagai bagian dari wilayah administrasi desa, karena persepsi masyarakat setempat menganggap hutan pegunungan tersebut berada di luar pengelolaan desa. Akibatnya, lokasi batas tidak diketahui secara pasti. Pada saat pendetailan batas wilayah, disepakati bersama oleh pemerintah daerah terkait, Tim PBD, dan perwakilan masyarakat setempat bahwa batas administrasi antar desa mengikuti as (*median line*) Sungai Cibeusi. Kesepakatan ini memberikan kepastian hukum dan kemudahan identifikasi batas di lapangan, sekaligus menyesuaikan dengan batas alam yang lebih jelas dan dapat diterima oleh kedua belah pihak. Arah pergeseran ini dapat dilihat pada **Tabel 3** yang menunjukkan bahwa sebanyak 16 segmen batas wilayah mengalami pergeseran.

Pergeseran segmen batas wilayah yang dibandingkan antara Permendagri dan hasil delineasi dapat dikelompokkan ke dalam empat kategori berdasarkan besar pergeseran, yaitu segmen tidak bergeser, pergeseran kecil, pergeseran sedang, dan pergeseran besar. Penentuan kategori ini didasarkan pada ketelitian horizontal dan skala peta yang digunakan (Sutanta et al., 2020).

Pada peta skala 1:25.000, ketelitian horizontal yang digunakan adalah kurang dari 7,5 meter. Segmen dengan pergeseran kecil berada dalam rentang antara 7,5 hingga 250 meter, di mana setiap 1 cm pada peta setara dengan 250 meter di lapangan. Segmen yang mengalami pergeseran sedang terletak pada rentang 250,1 hingga 500 meter, sementara segmen dengan pergeseran besar menunjukkan pergeseran lebih dari 500 meter. Rentang-rentang ini digunakan untuk mengklasifikasikan segmen batas berdasarkan besar pergeseran yang terjadi. Hasil klasifikasi pergeseran segmen batas dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Berdasarkan **Tabel 5**, ditemukan bahwa segmen batas yang mengalami pergeseran terbanyak berada dalam rentang 7,5 hingga 250 meter. Terdapat 19 subsegmen yang tidak mengalami pergeseran, karena pergeserannya kurang dari 7,5 meter. Temuan ini mengindikasikan bahwa batas desa pada peta desa sebelumnya memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Selain itu, interpretasi yang dilakukan terhadap peta desa sebelumnya dalam menetapkan batas wilayah tersebut juga menunjukkan kualitas yang sangat baik.

Tabel 5. Perbandingan luas wilayah desa berdasarkan batas wilayah yang tertuang dalam Permendagri Nomor 13 Tahun 2008 dengan batas wilayah hasil deliniasi pendetailan Tahun 2023.

No.	Desa, Kecamatan, Kabupaten	Luas (Hektar)		Selisih (Hektar)	Persentase (%)
		Permendagri	Hasil Deliniasi		
1	Dampit, Cicalengka, Bandung	512,97	512,39	-0,58	-0,11
2	Tegalmanggung, Cimanggung, Sumedang	737,78	738,26	0,48	0,07
3	Nanjung Mekar, Rancaekek, Bandung	145,00	152,56	7,56	5,21
4	Sindangpakuon, Cimanggung, Sumedang	129,34	124,29	-5,05	-3,90
5	Jelegong, Rancaekek, Bandung	406,57	411,94	5,37	1,32
6	Cintamulya, Jatinangor, Sumedang	124,49	121,67	-2,82	-2,27
7	Mekargalih, Jatinangor, Sumedang	74,69	70,62	-4,07	-5,45
8	Bojongloa, Rancaekek, Bandung	448,18	446,43	-1,75	-0,39
9	Cipacing, Jatinangor, Sumedang	190,77	184,35	-6,42	-3,37
10	Rancaekek Wetan, Rancaekek, Bandung	281,03	288,35	7,32	2,60
11	Cileunyi Wetan, Cileunyi, Bandung	785,92	879,75	93,83	11,94
12	Cibeusi, Jatinangor, Sumedang	313,17	288,37	-24,80	-7,92
13	Sindangsari, Sukasari, Sumedang	795,64	748,12	-47,52	-7,78
14	Ciporeat, Cilengkrang, Bandung	635,50	613,44	-22,06	-3,47
15	Cipanjalu, Cilengkrang, Bandung	1579,88	1576,13	-3,75	-0,24
16	Nanggerang, Sukasari, Sumedang	655,45	659,07	3,62	0,55

Analisis Perubahan Luas Wilayah

Salah satu temuan penting dalam pendetailan penegasan batas desa antara Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang adalah pemetaan luas wilayah administrasi desa dengan skala 1:5.000. Informasi mengenai luas desa ini sangat penting, mengingat luas wilayah menjadi salah satu faktor utama dalam perhitungan dana alokasi desa (Sutanta et al., 2020). Penelitian ini membandingkan luas desa berdasarkan deliniasi hasil kesepakatan dengan luas desa yang mengikuti batas administratif definitif sebelumnya.

Metode perbandingan yang diterapkan dalam penelitian ini merujuk pada pendekatan yang telah digunakan oleh Pratiwi dan Sutanta (2018) dalam penelitian tentang luas desa di Kabupaten Kulon Progo, serta Sukoco dan Sutanta (2021) pada penelitian luas desa di Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan.

Perbedaan luas desa yang ditemukan di wilayah perbatasan Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang terutama disebabkan oleh pergeseran posisi segmen batas yang terjadi di beberapa lokasi sebagai hasil dari proses pendetailan batas wilayah. Dalam penelitian ini, luas desa berdasarkan deliniasi hasil kesepakatan digunakan sebagai acuan utama untuk mengukur perubahan luas wilayah yang terjadi. Seluruh deliniasi tersebut telah disepakati oleh pihak-pihak terkait dan dituangkan dalam berita acara yang ditandatangani oleh Kepala Daerah yang berbatasan, serta disaksikan oleh Tim Penegasan Batas Daerah (PBD).

Perhitungan luas wilayah yang dilakukan pada 16 desa yang mengalami pergeseran segmen batas menunjukkan adanya perubahan luas wilayah yang bervariasi, antara berkurang 47,52 hektar hingga bertambah 93,83 hektar. Dari 30 desa yang dianalisis, 19 desa tidak mengalami perubahan luas wilayah.

Desa Cileunyi Wetan di Kecamatan Cileunyi, Kabupaten Bandung, tercatat sebagai desa yang mengalami peningkatan luas wilayah administrasi terbesar, yakni sebesar 93,83 hektar, dengan perubahan dari 785,92 hektar menjadi 879,75 hektar, yang berarti ada peningkatan sebesar 12%. Sebaliknya, desa Sindangsari di Kecamatan Sukasari, Kabupaten Sumedang, mengalami penurunan luas wilayah terbesar, yaitu 47,52 hektar, yang sebelumnya berluas 795,64 hektar menjadi 748,12 hektar, atau mengalami penurunan sebesar 6%. Desa Cipacing di Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, juga mengalami penurunan luas wilayah sebesar 6,42 hektar, dari semula 190,77 hektar menjadi 184,35 hektar, atau berkurang sebesar 3%. Visualisasi perubahan luas wilayah di segmen batas Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang dapat dilihat pada Tabel 4.4

Meskipun terdapat perubahan luas wilayah dengan persentase yang cukup besar, sebagian besar desa di wilayah perbatasan Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang mengalami perubahan luas wilayah dengan nilai kurang dari 10%. Berdasarkan hasil perhitungan, Kabupaten Bandung mengalami penambahan luas wilayah sebesar 85,94 hektar, sementara Kabupaten Sumedang mengalami pengurangan luas wilayah sebesar 86,58 hektar dibandingkan dengan luas wilayah sebelumnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, penelitian ini menyimpulkan bahwa kondisi pilar batas wilayah di segmen batas antara Kabupaten Bandung dengan Kabupaten Sumedang umumnya dalam keadaan baik, meskipun ditemukan beberapa pilar yang rusak, hilang, atau mengalami pergeseran posisi dibandingkan dengan data administrasi. Beberapa pilar juga berada di lokasi

yang sulit dijangkau karena kondisi medan atau berada di lahan milik masyarakat. Observasi lapangan dan wawancara menunjukkan bahwa terdapat pemahaman yang cukup baik di kalangan masyarakat dan pemerintah setempat mengenai pentingnya penegasan batas wilayah, meskipun masih dijumpai perbedaan persepsi terkait penamaan objek batas antara dokumen administratif dan kondisi aktual.

Analisis lebih lanjut menemukan adanya perbedaan delineasi batas pada 16 dari 30 desa sebagaimana tercantum dalam Permendagri Nomor 13 Tahun 2008, yang menghasilkan area tumpang tindih seluas 159,44 hektar. Pergeseran batas yang terjadi pada 16 desa tersebut memiliki rentang antara 42,13 meter hingga 800 meter dan umumnya mengarah ke luar wilayah Kabupaten Bandung atau ke dalam wilayah Kabupaten Sumedang. Implikasi dari pergeseran ini adalah perubahan luas wilayah, di mana Kabupaten Bandung mengalami penambahan sebesar 85,94 hektar, sementara Kabupaten Sumedang mengalami pengurangan sebesar 86,58 hektar dibandingkan dengan luas wilayah sebelumnya.

Berdasarkan temuan-temuan tersebut, terdapat sejumlah rekomendasi yang perlu dipertimbangkan oleh pihak-pihak terkait. Pertama, disarankan agar survei lapangan dilakukan pada musim kemarau atau saat curah hujan rendah untuk mempermudah proses akuisisi data dan memastikan kelancaran pengumpulan informasi di lapangan. Kedua, penelitian batas wilayah sebaiknya tidak hanya menekankan aspek teknis, melainkan juga mempertimbangkan aspek historis, yuridis, geografis, dan sosial yang relevan untuk mendapatkan hasil yang komprehensif dan dapat diterima oleh semua pihak. Ketiga, dalam menganalisis perubahan luas wilayah, analisis penggunaan lahan sebaiknya turut disertakan untuk memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai perubahan tersebut serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhinya.

Selanjutnya, hasil verifikasi di lapangan menunjukkan perlunya pemeriksaan ulang terhadap keberadaan Pilar Acuan Batas Utama (PABU) sesuai dengan ketentuan dalam Permendagri Nomor 13 Tahun 2008. Apabila posisi pilar batas tidak mengalami perubahan dan masih sesuai dengan regulasi, maka direkomendasikan agar status PABU diperbaharui menjadi Pilar Batas Utama (PBU). Namun, jika ditemukan bahwa PABU telah dipindahkan dari posisi semula, maka perlu dilakukan pengukuran ulang menggunakan teknologi GNSS Geodetik. Apabila hasil pengukuran menunjukkan ketidaksesuaian dengan ketentuan yang berlaku, maka status pilar tersebut sebaiknya diubah menjadi Titik Kartometrik (TK). Terakhir, Pemerintah Kabupaten Bandung dan Kabupaten Sumedang disarankan untuk melakukan verifikasi lebih lanjut terhadap nama-nama rupabumi yang

menjadi objek batas wilayah, mengingat adanya perbedaan persepsi antara data administrasi dan kondisi di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan rasa syukur penulis sampaikan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'Ala, yang tiada henti-hentinya memberikan segala kesempatan dan jalan sehingga berkat limpahan ridho dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian berikut dengan baik dan mempersembahkannya sebagai kontribusi bagi keilmuan informasi geospasial.

Penulis dengan sepenuh hati mengungkapkan penghargaan dan rasa terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua tercinta, semoga kedua orang tua penulis di alam kuburnya senantiasa dinaungi rahmat Allah Subhanahu Wa Ta'Ala, serta semoga bisa berkumpul kembali di Jannah-Nya Allah Subhanahu Wa Ta'Ala.

Penelitian ini tidak lepas dari dorongan, bantuan, bimbingan, do'a, serta dukungan yang sangat bermakna bagi penulis dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan penuh rasa syukur mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penelitian ini. Semoga segala bentuk bantuan yang telah diberikan dapat menjadi amal kebaikan dan dibalas dengan kebaikan yang berlipat serta berkah oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

DAFTAR PUSTAKA

- Anastasia, S., Nurohman, R., Zaidan, D. T. N., & Mubarak, A. (2024). Implikasi Hukum Agraria terhadap Konflik Pertanahan Indonesia. *Arus Jurnal Sosial dan Humaniora*, 4(2), 545-553.
- Arafah, F., & Mabrur, A. Y. (2023). Pembuatan Peta Kerja Dalam Rangka Identifikasi Panjang Segmen Batas Kelurahan. *Jurnal ENMAP (Environment and Mapping)*, 4(1), 7-13.
- Asadi, A. (2016). Penataan Batas Wilayah Administrasi Desa, Hambatan dan Alternatif Solusi dengan Pendekatan Geospasial. *Jurnal Borneo Administrator*, 12(2), 131-147.
- Baharuddin, B., Refki, A., & Fuady, A. (2020). Pemetaan Partisipatif Untuk Percepatan Pembangunan Desa Dan Kawasan Di Desa Tambak Sarinah, Kecamatan Kurau Kabupaten Tanah Laut. *Aquana*, 1(2), 52-60.
- Bashit, N., Prasetyo, Y., Firdaus, H. S., & Amarrohman, F. J. (2019). Penetapan batas desa secara kartometrik menggunakan citra quickbird. *Jurnal Pasopati*, 1(1).
- Badan Informasi Geospasial. (2022). Materi Teknis Penegasan Batas Wilayah: Tahap Pemasangan dan Pengukuran Pilar.
- Badan Informasi Geospasial. (2023). Mekanisme Penetapan dan Penegasan Batas Desa/Kelurahan Sesuai Permendagri Nomor 45 Tahun 2016.
- Djaja, B. M. (2017). Peran Informasi Geospasial Dalam Inventarisasi Toponomi, Perencanaan Dan Pengelolaan Pembangunan. *Universitas Indonesia*, 85-97.
- Endang, E. (2019). Penetapan dan Penegasan Batas Wilayah Daerah dalam Perspektif Hukum dan

- Informasi Geospasial. In *Seminar Nasional Geomatika* (Vol. 3, No. 797, pp. 2018-3).
- Fadly, R., Murdapa, F., Armijon, A., & Rahmadi, E. (2019). Sosialisasi Permendagri No. 45 Tahun 2016 Tentang Pedoman Dan Penegasan Batas Desa Di Kecamatan Sukoharjo Kabupaten Pringsewu.
- Hadi, A. M. (2020). Analisis Kelembagaan Desa Dalam Sistem Ketatanegaraan Republik Indonesia. *Khazanah Multidisiplin*, 1(1), 46-60.
- Himawan, R. A., Subiyanto, S., & Firdaus, H. S. (2019). Analisis Karakteristik Segmen Batas Administrasi Desa Secara Kartometrik (Studi Kasus: Kabupaten Demak, Kabupaten Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 475-485.
- Indra, M. (2019). Tinjauan Yuridis Pergeseran Batas Wilayah Kota Pekanbaru Dengan Kabupaten Kampar Provinsi Riau. *Jurnal IUS Kajian Hukum dan Keadilan*, 1(1), 128-142.
- Kementerian Dalam Negeri. (2008). Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2008 tentang Batas Daerah Kabupaten Sumedang Provinsi Jawa Barat.
- Kementerian Dalam Negeri. (2016). Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2016 tentang Pedoman Penetapan dan Penegasan Batas Desa.
- Kementerian Dalam Negeri. (2017). Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 141 Tahun 2017 tentang Penegasan Batas Daerah.
- Kementerian Dalam Negeri. (2025). Keputusan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 300.2.2-2138 Tahun 2025 tentang Pemberian dan Pemutakhiran Kode, Data Wilayah Administrasi Pemerintahan, dan Pulau.
- Kumara, A. R. (2020). Buku Ajar Penelitian Kualitatif.
- Marpaung, A. (2022). *Penyelesaian Konflik Batas Wilayah Desa Menurut Konsep Otonomi Daerah* (Doctoral dissertation, Universitas Lancang Kuning).
- Nadeak, H., Dalla, A. Y., Nuryadin, D., & Hadi, A. S. (2015). Batas Wilayah Desa Pasca Berlakunya Undang-undang Nomor 6 Tahun 2014 tentang Desa. *Jurnal Bina Praja*, 1(3), 239-250.
- Nugroho, O. C., & Kav, J. H. R. R. S. (2018). Konflik agraria di Maluku ditinjau dari perspektif hak asasi manusia. *Jurnal Ham*, 9(1), 87-101.
- Pinori, J. J. (2014). Dampak Otonomi Daerah Terhadap Konflik Batas Wilayah Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Utara. *Lex Administratum*, 2(2).
- Pratiwi, I. D., & Sutanta, H. (2018). Perubahan Jumlah Segmen Batas dan Luas Desa Hasil Penetapan di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Prosiding Simposium Infrastruktur Geospasial 2018*.
- Republik Indonesia. (2003). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional.
- Republik Indonesia. (2011). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial.
- Republik Indonesia. (2014). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2014 tentang Desa.
- Republik Indonesia. (2014). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah.
- Republik Indonesia. (2022). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 29 Tahun 2022 tentang Pembentukan Provinsi Papua Barat Daya.
- Republik Indonesia. (2021). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 9 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta pada Tingkat Ketelitian Peta Skala 1:50.000.
- Riadi, B., & Soleman, M. K. (2011). Aspek Geospasial Dalam Delineasi Batas Wilayah Kota Gorontalo. *Majalah Ilmiah Globe*, 13(1).
- Sartika, P. L. (2016). Kewenangan Desa dan Penetapan Peraturan Desa. *Kementrian Hukum Dan HAM Riau*, 1(1), 1-15.
- Somantri, L. (2023). Metode Penelitian Sains Informasi Geografi. Bahan Ajar. Bandung: Program Studi Sains Informasi Geografi.
- Suardita, I. K. (2023). Urgensi Penetapan Dan Penegasan Batas Desa Dalam Perspektif Otonomi Desa. *Jurnal Yustitia*, 1(2), 19-27.
- Sukoco, J. E., & Sutanta, H. (2021). Evaluasi Penetapan Batas Desa Terhadap Segmen Batas Daerah di Kabupaten Tabalong Provinsi Kalimantan Selatan. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 4(1), 41-48.
- Sutanta, H., Pratiwi, I. D., Atunggal, D., Cahyono, B. K., & Diyono, D. (2020). Analisis Hasil Penetapan Batas Desa di Kabupaten Gunungkidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Geomatika*, 26(2), 83-94.
- Talitha, S. A. N. (2015). *Penetapan dan Penegasan Batas Desa Berdasarkan Permendagri No. 27 Tahun 2006 (Studi pada Kantor Sekretariat Daerah, Bag. Administrasi Pemerintahan, Subbag. Pemerintahan Umum dan Otonomi Daerah, Kabupaten Sidoarjo)* (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Umra, A. Y. (2015). *Penegasan Batas Wilayah Antara Desa Besiq dan Desa Mantar Yang Masuk Areal Perusahaan Pt. Harapan Kaltim Lestari (Studi Kasus: Kecamatan Damai Kabupaten Kutai Barat Provinsi Kalimantan Timur)* (Doctoral dissertation, ITN MALANG).
- Widayati, R. (2019). Peningkatan Kerjasama Lintas Sektoral yang Terintegrasi Terhadap Keberhasilan Implementasi Kebijakan Tata Ruang dalam Kerangka Pengembangan Wilayah dan Mitigasi Bencana di Daerah. *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, (1).
- Wijaya, D. P. P., Gustaman, G., Susanto, M. A., Affriani, A. R., & Putri, R. V. S. Y. (2023). Analisis Geospasial Hasil Kesepakatan Segmen Batas Wilayah Sebagai Upaya Meminimalisasi Potensi Konflik Antara Kota Kediri Dengan Kabupaten Kediri Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Samudra Geografi*, 8(2), 80-86.

UTILIZATION OF NEURAL RADIANCE FIELDS (NeRF) FOR THREE-DIMENSIONAL MODELING

(Pemanfaatan Neural Radiance Fields (NeRF) untuk Pemodelan Tiga Dimensi)

Ade Rio Saputra, Muhammad Ulin Nuha, Rizqi Aulia

Department of Geomatics Engineering, Faculty of Regional and Infrastructure Technology, Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

E-mail: muhammad.nuha@gt.itera.ac.id

Diterima: 4 Februari 2025; Direvisi :24 Juli 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan: 14 November 2025

ABSTRACT

3D modeling is widely used in various fields, including urban planning, architecture, cultural heritage, medicine, and virtual reality. In the development of traditional computer vision and photogrammetry methods, several algorithms are used in building 3D models, including Scale Invariant Feature Transformation (SIFT), Speeded Up Robust Features (SURF), Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB), Structure from Motion (SfM), and Multi-view stereo (MVS). However, a promising and interesting new approach for 3D modeling using a set of photos has emerged, namely Neural Radiance Fields (NeRF). This research utilizes the use of Neural Radiance Fields (NeRF) in 3D modeling. The point cloud generated from NeRF was tested with TLS data using parameters such as surface variation, volume density, and point discrepancy. In addition, the geometric accuracy of the 3D model generated from NeRF was evaluated by calculating the RMSE value between the model and the research object. The results show that NeRF produces a point cloud with irregular surface variation, with an outlier rate of 58.712%. The volume density is lower compared to the TLS data. For point discrepancy, an average distance of 0.047 meters and a standard deviation of 0.066 meters were obtained with an outlier data of 6.989%. Furthermore, the geometric accuracy test of the 3D model generated from NeRF shows an RMSE value of 0.045 meters. The tests show that NeRF is capable of performing 3D modeling.

Keywords: 3D Modeling; Photogrammetry; Neural Radiance Fields (NeRF); Point cloud

ABSTRAK

Pemodelan 3D saat ini banyak digunakan di berbagai bidang seperti perencanaan kota, arsitektur, warisan budaya, kedokteran, dan realitas virtual. Dalam pengembangan metode computer vision dan fotogrametri tradisional, beberapa algoritma digunakan dalam membangun model 3D, antara lain Scale Invariant Feature Transformation (SIFT), Speeded Up Robust Features (SURF), Oriented FAST dan Rotated BRIEF (ORB), Structure from Motion (SfM), dan Stereo multi-tampilan (MVS). Namun, ada pendekatan baru yang menjanjikan dan menarik untuk pemodelan 3D menggunakan sekumpulan foto, yaitu Neural Radiance Fields (NeRF). Penelitian ini memanfaatkan penggunaan Neural Radiance Fields (NeRF) dalam pemodelan 3D. Point cloud yang dihasilkan dari NeRF diuji dengan data TLS menggunakan parameter seperti surface variation, volume density, dan point discrepancy. Selain itu, keakuratan geometrik model 3D yang dihasilkan dari NeRF dievaluasi dengan menghitung nilai RMSE antara model dan objek penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NeRF menghasilkan point cloud dengan variasi permukaan tidak beraturan dengan data outlier sebesar 58,712%. Kepadatan volume lebih rendah dibandingkan data TLS, dan untuk perbedaan titik diperoleh jarak rata-rata 0,047 meter dan simpangan baku 0,066 meter dengan data outlier sebesar 6,989%. Selanjutnya uji akurasi geometri model 3D yang dihasilkan dari NeRF menunjukkan nilai RMSE sebesar 0,045 meter. Berdasarkan pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa NeRF mampu melakukan pemodelan 3D.

Kata Kunci: Pemodelan 3D, Fotogrametri, Neural Radiance Fields (NeRF), Point Cloud

INTRODUCTION

Automatic three-dimensional modeling from a collection of 2D images is an active research area in computer graphics (Adipranata & Liliana, 2005). 3D modeling is currently used in various fields such as cultural heritage, urban planning, architecture, medicine, virtual reality, and so on (Pepe et al.,

2023). In the field of computer graphics, 3D modeling is the process of mathematically constructing a representation of each three-dimensional surface of an object using specialized software (Suwardhi et al., 2016). However, current 3D modeling still faces many challenges in presenting 3D surfaces, and large-scale work also has some related problems in data storage

(Zainuddin et al., 2024). As developments in algorithms and tools have made the modeling process automatable, accurate, and detailed, 3D modeling is now a growing research topic (Pepe et al., 2023).

Photogrammetric techniques are known to create geometrically dense and accurate 3D point clouds using a series of overlapping photographs taken from different perspectives of the actual scene (Remondino et al., 2023). Photogrammetric methods in the field of geodesy make extensive use of close-range photogrammetry in 3D object modeling because it can share distance, area, and volume data (Roziqin et al., 2022). While photogrammetry records objects on earth with the camera position in the air, close-range photogrammetry records objects on earth with the camera position on earth (Prastyo et al., 2022). Close-range photogrammetry is used to describe photogrammetric techniques where the distance between the object and the camera is below 100 meters (Bagus et al., 2021). With the development of photogrammetric technology, it is expected to make it easier to do three-dimensional modeling of an object (Mulia & Hapsari, 2014). The development of 3D modeling based on overlapping photos still relies on traditional methods of computer vision and photogrammetry (Guo, 2023). There are several algorithms that have also been used in building 3D models, including Scale Invariant Feature Transformation (SIFT), Speeded Up Robust Features (SURF), Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB) (Pepe et al., 2023).

Photogrammetry has been completely revolutionized in recent decades with the introduction of computer vision and dense Multi-view stereo (MVS) reconstruction algorithms (Sambodo, 2024). The method can generate a point cloud by using bundle adjustment to calculate the camera position and object structure through image matching (Zainuddin et al., 2024). However, this method also still has shortcomings, especially in creating point cloud points on reflective surfaces that are still difficult to overcome (Murtiyoso & Grussenmeyer, 2023). To accelerate the calculation of point clouds and detailed and textured 3D models, the MVS process requires a relatively long time and high computational capabilities (Zainuddin et al., 2024). A new approach that is currently emerging and interesting to discuss, using a series of photos for 3D modeling, is Neural Radiance Fields (NeRF).

NeRF is a new method based on deep learning from the field of computer vision, which allows forming complex 3D modeling by synthesizing new scenes with the help of neural networks (Vandenabeele et al., 2023). NeRF is a neural network that aims to generate a new view of a complex three-dimensional scene based on a partial set of 2D images (Palestini et al., 2022). The

method involves training Artificial Intelligence (AI) algorithms to allow 2D photos to be made into 3D objects (Pepe et al., 2023). NeRF generates volume density and radiance using an artificial neural network that is based on appearance, i.e., the amount of light emitted or reflected by a surface (Croce et al., 2023). Several studies have shown NeRF to be superior on textureless, metallic, highly reflective, and transparent objects (Remondino et al., 2023). The NeRF method also offers superior processing times, some of which are shorter than the MVS method (Murtiyoso & Grussenmeyer, 2023).

The increasing need for 3D modeling requires realistic and accurate 3D model results. The 3D reconstruction process is expected to produce high-quality point clouds effectively and efficiently. The use of non-metric cameras can be used to support accurate and low-cost mapping. Therefore, this research is expected to analyze the use of NeRF for 3D modeling. This study used photo data captured with a fisheye camera, obtained from previous research (Nuha et al., 2024), for SFM processing. The goal was to explore NeRF's ability to reconstruct 3D models using a non-metric camera for data collection. This process helped assess whether NeRF could support low-cost mapping needs. The research conducted helps in the development of 3D modeling techniques by analyzing the potential and utilization of NeRF.

METHODS

This research was conducted at Pangga Park, W.R. Supratman Street, Telukbetung, Lampung City. Objects used in 3D modeling as research material are a heritage object of the 1883 Krakatoa eruption – the Krakatoa monument can be seen in a specific location in **Figure 1**.

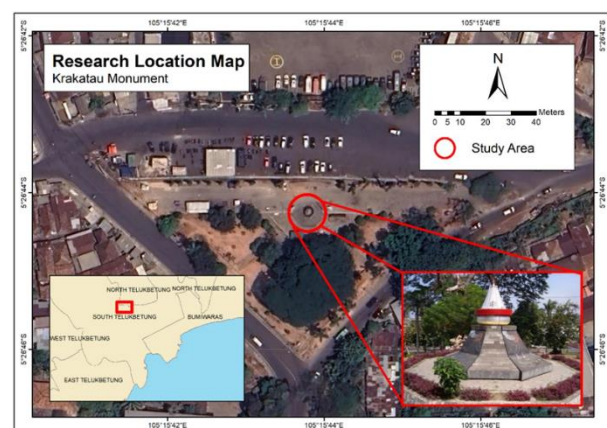


Figure 1. Research location.

Figure 1 shows the location of the research conducted. This research uses the Krakatoa Monument as the object of research. It should be noted that the objects used have a homogeneous shape with several characteristics such as

homogeneous, complex homogeneous, and textured homogeneous. According to RS et al., (2024), variations in objects with different radiometric characteristics will affect the results of NeRF-based 3D reconstruction. The materials used in this research are presented in **Table 1**.

Table 1. Research data.

No	Data	Description
1	Photos of Krakatoa Monument	A total of 323 photos were acquired using the Yi Xiaomi Action Camera with a resolution of 16 MP.
2	Marker Coordinates	Scattered in the measurement object area, measured using a Total Station with 4 control points that have been carried out GNSS observations of Jarring mode for 2 hours and 15 minutes.
3	TLS (*Laz)	Acquired using the Leica BLK360 TLS series with a ranging accuracy of 4mm – 10mm/ 7mm – 20mm and 3D point accuracy of 6mm – 10mm/ 8mm – 20mm.

The material that has been collected in the research is then processed using the Nerfacto workflow available in the GitHub directory. The flow of research implementation can be seen in **Figure 2**.

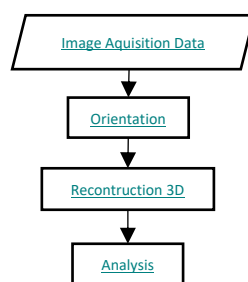


Figure 2. Research flow chart.

The photo orientation process is carried out to adjust the position between one photo and another. Through this photo orientation process, the position and viewing angle of the photos can be determined accurately, so that a more precise and realistic 3D model reconstruction can be carried out. This process is done by aligning the photos based on the Structure from Motion (SfM) algorithm in aerial photography processing software. This is because the data previously used was based on SfM processing, making it easier to input camera calibration parameters to correct for errors in non-metric lenses. Next, data processing is done to

represent the 3D scene using a multi-layer perceptron (MLP) to learn the geometry and lighting of objects. In this process, Nerfstudio will also copy the input photo data into several folders with different photo qualities. One set of input photos will be copied into four folders, with each folder having photos with reduced quality from the original photo quality used. This is done because Nerfstudio utilizes Artificial Intelligence (AI) to form point clouds, and AI requires data with various resolutions and viewpoints to produce accurate models.

Then, data training is carried out, which aims to train the neural network to form a point cloud from the photos that have been processed in the previous stage. At this stage, Nerf-studio builds a neural network called "radiance field" to learn the relationship between the position of a point in 3D space and the corresponding pixel color in the photo. This artificial neural network is trained using photos of the Krakatoa Monument. Nerfstudio will also run volumetric rendering to process the photos into a point cloud. This process uses the trained neural network to predict each point, resulting in a dense 3D representation. The point cloud generated from NeRF is then exported and tested with TLS point cloud data as a reference data that is considered correct to measure the quality of the point cloud. Point cloud testing was conducted with the parameters of surface variation, volume density, and point difference. Furthermore, the 3D model generated from NeRF is calculated for its RMSE value to test how much geometry quality is generated from processing with the NeRF method. RMSE is the square root calculation of the sum of the squares of the difference between the coordinate values of the data obtained from the software and the coordinate values of the field data, divided by the amount of data (Kafiar et al., 2020). The calculation of the RMSE value can use **Equation 1** (Pardamean & Tolle, 2021).

$$RMSE = \sqrt{\frac{(y_i - y)^2}{n}} \dots\dots\dots(1)$$

Where:

- y_i = Field Size (m)
- y = 3D Model Size (m)
- n = Amount of Data

From **Equation 1** which will be used in calculating the RMSE value of the object of research. The smaller the RMSE value obtained, the better the level of accuracy (Parmadi & Sukojo, 2016).

RESULTS AND DISCUSSION

Point Cloud Quality Analysis

The quality of the point cloud obtained from NeRF is compared with the point cloud from Terrestrial Laser Scanner (TLS), data which is the reference data that is considered to be truly accurate or close to the actual object. The number of point clouds generated from TLS is 33,064,672 points, while the point cloud generated from NeRF processing is 767,569 points. The difference in the number of point clouds produced by NeRF is certainly very significant compared to the TLS data. This is due to the data collection method in NeRF, which uses photo data in the form of a camera with a non-metric lens, while TLS is a special device for 3D modeling with the use of active sensors that directly send position information to the instrument. However, the number of point clouds from NeRF processing can be set to determine how many points will be exported. In this study, exporting is done by default because the point cloud results obtained from NeRF certainly have a lot of errors, so it is necessary to pay attention to the number of points exported to produce quality point cloud points. The quality of the point cloud results can also be seen from the density value generated from the point cloud density in m^2 . The more point cloud data sets produced will be better and can present a more detailed model shape. The research was conducted by taking point cloud samples on a flat area with a size of $1 \times 1 \text{ m}^2$, to determine the density of point cloud data generated from the NeRF method. The sample point cloud area is presented in **Figure 3**.

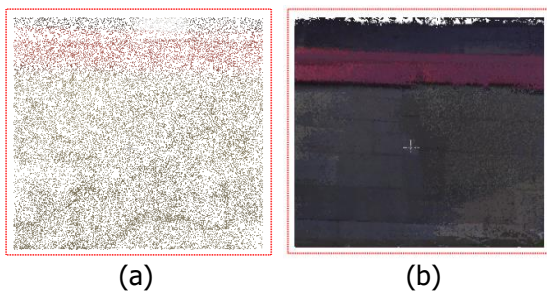


Figure 3. Density difference of NeRF (a) and TLS (b) point clouds.

The point cloud density shown in **Figure 3** is the difference in point cloud data generated by the NeRF (a) and TLS (b) methods. In terms of point cloud data density, the results of processing with the NeRF method result in a point cloud that looks less dense than the point cloud produced by TLS. The point cloud from NeRF processing has a fairly high error rate, judging from the irregular density of the point cloud. The error rate of point clouds that have irregular distribution can affect the shape of the resulting 3D model. The point cloud produced by TLS has a fairly high density, as evidenced by the

results of the point cloud produced from TLS getting a more detailed model. Comparison of the density of point clouds generated from NeRF and TLS, on a flat area taken per m^2 , the number of NeRF point clouds is only 27,876 pts/ m^2 , while TLS gets a point cloud of 2,308,635 pts/ m^2 . It can be concluded that the density value generated from NeRF is not comparable to the point density obtained from TLS.

In this study, the quality of point clouds from several homogeneous areas in the research object used was analyzed as shown in **Figure 4**.

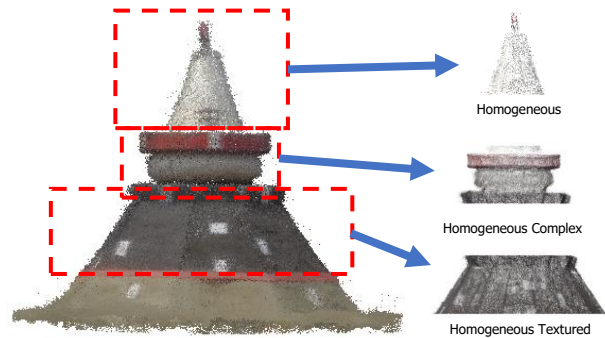


Figure 4. Analysis of point cloud quality

Figure 4 shows the point cloud quality analysis, where the point cloud quality is performed on several homogeneous areas of the research object used. The homogeneous areas analyzed are divided into three categories, namely homogeneous, textured homogeneous, and complex homogeneous. The characteristics of homogeneous areas are taken in the upper area of the object, which has no texture and tends to be white. The characteristics of textured homogeneous objects are taken in the area of objects that have good texture. While the characteristics of complex homogeneous objects are taken in the area of objects that are considered more complex, judging from the shape and color displayed. The comparison between NeRF and TLS results is analyzed from various areas of research objects, such as objects in homogeneous, textured homogeneous, and complex homogeneous areas. This is done to analyze the quality of the point cloud produced by NeRF with several areas that have different characteristics. Integration of information and visualization of analysis results is also important to facilitate interpretation and application. The results of the NeRF and TLS point cloud quality analysis on several homogeneous areas are shown in **Table 2**.

Table 2. Analysis of point cloud quality on some homogeneous areas.

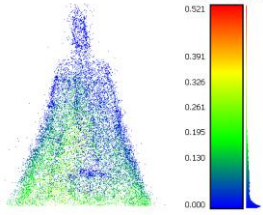
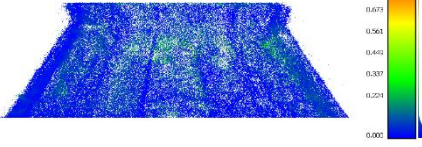
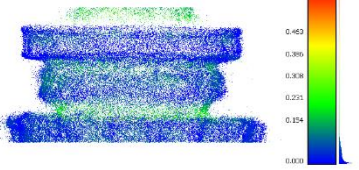
Results	Homogeneous	Homogeneous Textured	Homogeneous Complex
TLS	 849,741 points	 1,249,549 points	 4,061,201 points
NeRF	 16,988 points	 236,251 points	 91,887 points
C2C	 Average distance: 8.9 cm	 Average distance: 5.1 cm	 Average distance: 4.9 cm

Table 2 shows the results between NeRF and TLS on object areas that have homogeneous characteristics of white color, textured homogeneous, and complex homogeneous. From the results on the homogeneous area, it can be seen that the point cloud results from NeRF are not so dense, with the number of points clouds produced as many as 16,988 points. Meanwhile, when viewed in the point cloud produced by TLS, there are 849,741 points in the same area. The point cloud results from NeRF are then analyzed using the distance between point clouds (C2C) with the TLS point cloud as a reference, showing that NeRF has a good level of accuracy with an average distance of 8.9 cm and a standard deviation of 8.1 cm.

Furthermore, the point cloud results from NeRF are also analyzed in areas with textured homogeneous characteristics. It can be seen that the point cloud results from NeRF are not so dense, with the number of points in each point cloud generated as many as 236,251 points. Whereas when viewed on the point cloud produced by TLS, as many as 1,249,549 points are in the same area. The point cloud results from NeRF are then analyzed

using the distance between point clouds (C2C) with the TLS point cloud as a reference, showing that NeRF in this area has a better level of accuracy with an average distance of 5.1 cm and a standard deviation of 6 cm.

As for the analysis of NeRF and TLS point cloud quality in complex homogeneous areas, it can be seen that the point cloud results from NeRF are not so dense, with the number of points in each point cloud produced as few as 91,887 points. Meanwhile, when viewed at the point cloud produced by TLS, as many as 4,061,201 points are in the same area. The point cloud results from NeRF are then analyzed using the distance between point clouds (C2C) with the TLS point cloud as a reference, showing that NeRF in this area has a better level of accuracy with an average distance of 4.9 cm and a standard deviation of 5.2 cm. Thus, in this study, the quality of the point cloud produced by NeRF is still not good for homogeneous areas.

Analysis of 3D Model Results

The 3D mesh model is a geometric representation of the object that has been

reconstructed by NeRF. The mesh model generated from Nerfstudio has generated a point cloud that will be used in making the mesh model. After conversion using Poisson surface reconstruction, a 3D mesh model is obtained from NeRF processing. The 3D mesh model generated from Nerfstudio can be seen in **Figure 5**.

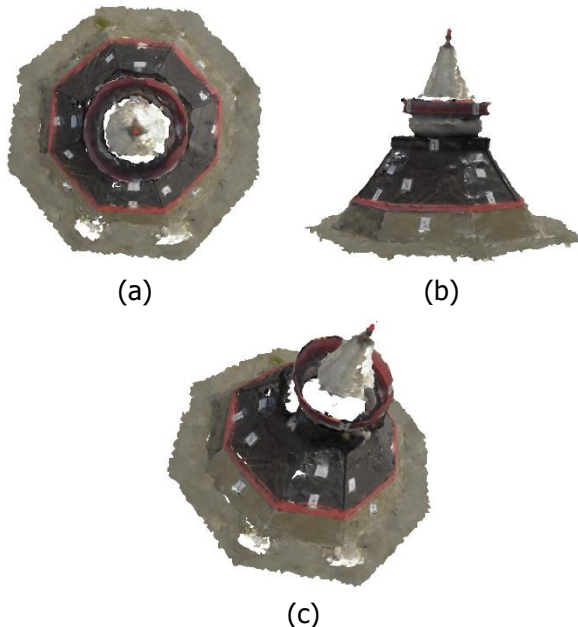


Figure 5. 3D mesh model results (a) top view (b) side view (c) oblique view.

The 3D model is expected to represent the actual object both visually and geometrically. In **Figure 5**, it can be seen that the results obtained from the NeRF process, seen from several sides, still have incorrect and incomplete shape. The model obtained is also not very detailed, with details of small images that are not visible. The lack of 3D model results obtained is an evaluation material that needs to be developed. The non maximized texturing process could produced ill-defined data.

The data used in creating the 3D model was processed with NeRF and subjected to some degradation of the quality of the photos used in the training data. The details of the information used in creating the 3D model are shown in **Table 3**.

Table 3. Detail information of 3D model creation.

Folder Name	Total	Resolution	GSD (mm)
images	323	4608 x 3456	1.73

Table 3 shows the details of the information that has been processed in the NeRF processing for 3D modeling. It can be seen that the GSD generated from the NeRF processing of the 3D model is 1.73 mm. This value is a very small value to get detailed 3D model results. The 3D model generated from NeRF processing, after binding the point to the

ground coordinates, obtained the RMSE value of the point error shown in **Table 4**.

Table 4. RMSE value of the marker point error

Parameters	Values
Total Error	0.851 m
Number of points	20 points
RMSE	0.048 m

Table 4 shows the RMSE value of the point error performed at the georeferencing stage of the 3D model. Based on the RMSE value of the error, it can be seen that the value obtained is very significant compared to the GSD value of the resulting 3D model. The RMSE value obtained is 48 mm while the GSD value of the resulting 3D model is 1.73 mm. This shows that the error value of the model obtained is twenty-eight times greater than the GSD value of the model. The resulting error value is very large when viewed from the difference in GSD values. The large difference between the RMSE and GSD values indicates a systematic error in the georeferencing process. A possible contributing factor is that the georeferencing process is not optimal, because the marker pointing process is carried out on a model with a texture that is obtained less clearly.

The model error value obtained from NeRF processing results can be caused by the input data used not being good enough in NeRF processing. Because the photo data used was taken for the needs of Structure from Motion (SfM) data in previous studies using a fisheye camera with a resolution of 16 MP, the quality of the photos obtained is not good. Then, the shooting technique is also not good for NeRF processing, with the distance from the photo to the object being too far away, and some positions of object details that are not visible. The more photo data that presents the shape of the object, the better the NeRF method is in learning image details and producing accurate 3D models. Errors in the 3D model georeferencing process can also cause large model errors. This is because the matching of ground control points with the model is not good. After all, the resulting 3D model displays the marker points less clearly.

Testing Point Cloud Quality

Surface Variation

Testing with the surface variation parameter is used to see the irregularity value of the point cloud generated from the average line located between the highest and lowest points. In this process, it can be seen that the resulting point cloud tends to be flat or irregular in the shape of the resulting object. The test results with surface variation are in **Figure 6**.

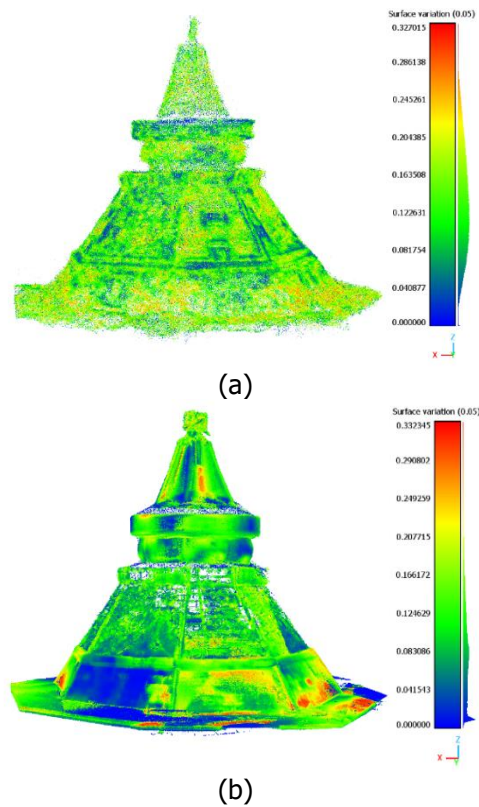


Figure 6. Surface variation test results (a) NeRF (b) TLS.

Based on the quality test with surface variation in **Figure 6**, the NeRF and TLS point cloud results show significant differences in the mean value, standard deviation, and percentage of accepted data. The surface variation test results on the point cloud from NeRF show an average value of 0.137 meters and a standard deviation value of 0.059 meters. From this data, the percentage of acceptable data is 41.288% and the percentage of outlier data is 58.712%. The results of surface variation testing on the point cloud from TLS obtained an average value of 0.096 meters and a standard deviation of 0.068 meters. From this data, the percentage of acceptable data is 76.595% and the percentage of outlier data is 23.405%. The percentage of outlier point cloud data from NeRF is greater than the point cloud data from TLS, indicating that the point cloud data from NeRF is more inconsistent with the mean and standard deviation values obtained. These results show that the quality of the point cloud generated from NeRF is not good in surface variation because it has data that is less smooth and less precise, and significant values compared to data from TLS. This may be due to the limitations of the camera with the non-metric lens used and the limited photo resolution.

Volume Density

Volume density testing can be used to determine shape recognition on objects. Volume density is the density value of the point cloud point density obtained. The results of point cloud testing

using the volume density parameter from NeRF processing can be seen in **Figure 7**.

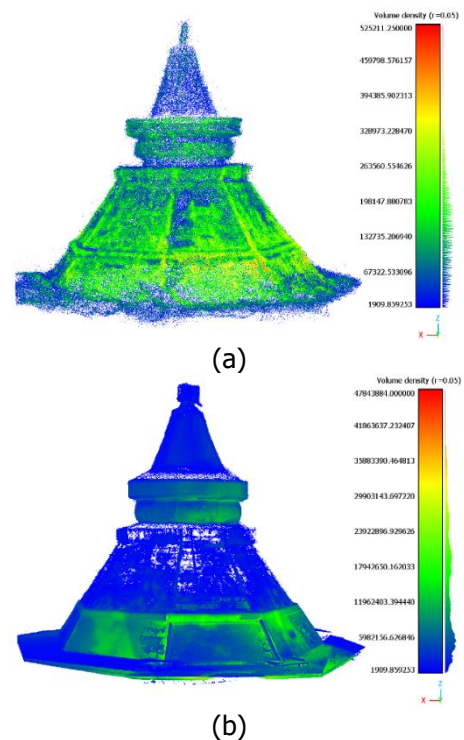


Figure 7. Volume density testing results (a) NeRF (b) TLS.

Based on the results presented in **Figure 7**, using a radius value of 0.05 m, in (a) NeRF, the lowest value is 1909.859 pts/m³ and the highest value is 525211.250 pts/m³. The results obtained in the NeRF processing point cloud show that the average value obtained is 146803.656 pts/m³. While (b) TLS point cloud volume density shows a wider range of values compared to NeRF, which is between 1919,859 pts/m³ to 47843884,000 pts/m³. The average volume density value obtained from the TLS point cloud is 15651521,000 pts/m³. This shows that the point cloud generated from NeRF is still poorly influenced by several factors. NeRF uses a set of photos of the object to perform reconstruction, while TLS uses laser scanner technology. Lower photo resolution can produce point clouds with lower density. Complex object surfaces can also result in higher variations in volume density values. The volume density is affected by the distance from the image to the object, causing the dot density to also vary. The closer the photo is to the object, the smaller the dot distance (Petras et al., 2023).

Point Discrepancy

The accuracy value of the point cloud can be seen from the point density comparison, while the accuracy value of the point cloud model comparison can be seen in the estimated error of the model formed (Antova, 2019). The error can be calculated

by comparing the distance between the point cloud generated from the processing with the reference point cloud model. In this study, the point cloud data from the TLS measurement is used as a reference to assess the accuracy of the point cloud model generated from the NeRF processing shown in **Figure 8**.

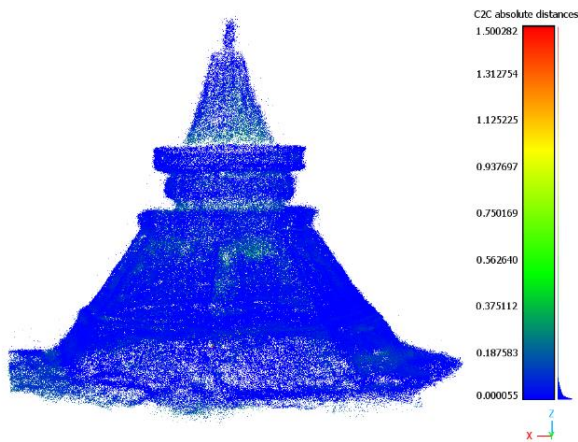


Figure 8. Point discrepancy testing results.

The results show that NeRF produces good-quality point clouds. **Figure 8** shows a visualization of the blue objects that represent the low distance between point clouds. The distance range obtained is between 0.000 meters and 1.500 meters. The results of testing the point discrepancy value using the C2C parameter can be presented in the graph in **Figure 9**.

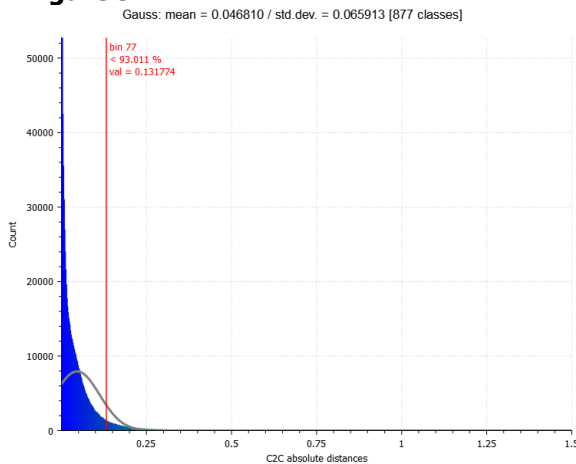


Figure 9. Histogram of point discrepancy testing.

Figure 9 shows the resulting point discrepancy value, with the average distance value of 0.047 m. After calculating the point cloud data, the standard deviation value on the point cloud results is 0.066 m. From the results of point cloud testing with the obtained point discrepancy parameters, it is known that the acceptable point cloud is 93.011% of the point cloud data generated from NeRF processing. Then some data that is out of it (outliers) as much as 6.989%.

The point cloud results obtained that NeRF is able to do 3D modeling by testing using the point

discrepancy parameter, which obtained outlier data of 6.989% with an average distance of 0.047 meters and a standard deviation of 0.066 meters. But the point cloud produced by NeRF still has a large noise/error with the test results using the surface variation parameter, obtaining outlier data of 58.712% with an average of 0.137 meters and a standard deviation of 0.059 meters. Based on testing using the volume density parameter, the NeRF point cloud gets an average of 146803.656 pts/m³ while the TLS is 15651521,000 pts/m³.

The RMSE value of the 3D model generated from the NeRF method uses a sample size of 12 in the research object area. After the calculation, the RMSE value obtained is 0.045 meters. Although the accuracy value of the 3D model geometry produced is quite good, the resolution of the model obtained has a texture that is still unclear.

Geometry Accuracy Testing of 3D Models

The 3D model geometry accuracy test was carried out by calculating the RMSE (Root Mean Square Error) value of the direct size in the field with the size in the 3D model result software from NeRF processing. The sample size taken is 12 sizes by measuring the sides of the object using a roll meter. Meanwhile, the measurement of the 3D model from NeRF processing was carried out using cloud compare software. The measurement of the 3D model uses the distance feature, which takes measurements between two points on the 3D model from NeRF. From the data, the RMSE value was calculated, as shown in **Table 5**.

Table 5. Calculation of RMSE value.

Dimensions	Field Size (m)	3D Model Size (m)	Difference	RMSE
D1	1.840	1.841	0.001	0.045
D2	1.750	1.659	-0.091	
D3	1.840	1.882	0.042	
D4	1.640	1.604	-0.036	
D5	1.905	1.918	0.013	
D6	1.675	1.668	-0.007	
D7	1.915	1.983	0.068	
D8	1.298	1.288	-0.010	
D9	0.300	0.302	0.002	
D10	0.150	0.123	-0.027	
D11	1.246	1.243	-0.003	
D12	1.268	1.183	-0.085	

From the calculation of the RMSE value, an RMSE value of 0.045 meters was obtained. The RMSE value obtained from the 3D model generated with NeRF processing is quite accurate. Where the

results obtained from the calculation are less than 0.5 meters, the results of the geometry accuracy test on the 3D model of the Krakatoa Monument made by NeRF processing are close to the shape of the actual Krakatoa Monument object in the field.

CONCLUSION

The point cloud results obtained that NeRF is able to do 3D modeling by testing using the point discrepancy parameter, which obtained outlier data of 6.989% with an average distance of 0.047 meters and a standard deviation of 0.066 meters. But the point cloud produced by NeRF still has a large noise/error with the test results using the surface variation parameter, obtaining outlier data of 58.712% with an average of 0.137 meters and a standard deviation of 0.059 meters. Based on testing using the volume density parameter, the NeRF point cloud gets an average of 146803.656 pts/m³ while the TLS is 15651521,000 pts/m³.

Furthermore, it can be concluded from the comparison results in several homogeneous areas, the quality of the point cloud produced by NeRF is not good in homogeneous areas, as evidenced by the results of the analysis of the distance between point clouds (C2C) in homogeneous areas obtaining an average distance of 8.9 cm; in textured homogeneous areas 5.1 cm; and in complex homogeneous areas 4.9 cm.

The RMSE value of the 3D model generated from the NeRF method uses a sample size of 12 in the research object area. After the calculation, the RMSE value obtained is 0.045 meters. Although the accuracy value of the 3D model geometry produced is quite good, the resolution of the model obtained has a texture that is still unclear.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful for the assistance of the BIG Geomatics journal team at all stages.

REFERENCES

- Adipranata, R., & Liliana. (2005). PEMODELAN OBYEK TIGA DIMENSI DARI GAMBAR SINTETIS DUA DIMENSI DENGAN PENDEKATAN VOLUMETRIC. *Jurnal Informatika*, 7–11.
- Antova, G. (2019). Application of Areal Change Detection Methods Using Point Clouds Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 221(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/221/1/012082>
- Arif RS, Hariantaka, Maharani M. (2024). Investigating the Impact of Enhanced Images on 3D Reconstruction of non Lambertian Object Using Neural Radiance Fields. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1486, 1-12.
- Bagus, I., Pascima, N., Lanang, I. G., Raditya, A., Teknik, F., & Ganesha, U. P. (2021). *MODEL 3 DIMENSI UKIRAN BALI BENTUK KARANG GAJAH MENGGUNAKAN FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT*. 10, 340–347.
- Croce, V., Caroti, G., De Luca, L., Piemonte, A., & Veron, P. (2023). Neural radiance fields (nerf): Review and potential applications to digital cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48(M-2–2023), 453–460. <https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLVIII-M-2-2023-453-2023>
- Guo, J. (2023). Deep Learning Application in Image-based Modeling. *Research Square*, 1–14.
- Kafiar, M. T., Tjahjadi, M. E., & M Yuliananda, A. (2020). Visualisasi 3D Modelling dari Hasil Kombinasi Kamera DSLR dan UAV Dengan Metode Close Range Photogrammetry (Studi Kasus: Objek Plengsengan, Bendungan Sengkaling, Desa Tegal Gondo, Kecamatan Karang Ploso, Kabupaten Malang). *ITN Malang*, 1–8.
- Mulia, D., & Hapsari, H. (2014). STUDI FOTOGAMETRI JARAK DEKAT DALAM PEMODELAN 3D DAN ANALISIS VOLUME OBJEK. *GEOID*, 10, 32–39.
- Murtiyoso, A., & Grussenmeyer, P. (2023). Initial assessment on the use of state-of-The-Art nerf neural network 3d reconstruction for heritage documentation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48(M-2–2023), 1113–1118. <https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLVIII-M-2-2023-1113-2023>
- Nuha, M. U., Pramudya, A. F., Laia, B. E., Husain, R., Setiaji, D., Isnaini, E. L., Perdana, R. S., Atmojo, A. T., & Jatmiko, R. H. (2024). Comparative Assessment on the Use of Videogrammetry and Photogrammetry for Rapid and Low-Cost Three-Dimensional Modeling. *Indonesian Journal of Geography*, 56(3), 368–375. <https://doi.org/10.22146/ijg.87960>
- Palestini, C., Basso, A., & Perticarini, M. (2022). Machine Learning As an Alternative To 3D Photomodeling Employed in Architectural Survey and Automatic Design Modelling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48(2/W1-2022), 191–197. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W1-2022-191-2022>
- Pardamean, B. S., & Tolle, H. (2021). Pembuatan Objek 3D Candi Badut Menggunakan Metode Photogrammetry. *Physics and Science Education Journal (PSEJ)*, 5(6), 1–2.
- Parmadi, W. T., & Sukojo, B. M. (2016). Analisa Ketelitian Geometrik Citra Pleiades Sebagai Penunjang Peta Dasar RDTR (Studi Kasus: Wilayah Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17213>
- Pepe, M., Alfio, V. S., & Costantino, D. (2023). Assessment of 3D Model for Photogrammetric Purposes Using AI Tools Based on NeRF Algorithm. *Heritage*, 6(8), 5719–5731. <https://doi.org/10.3390/heritage6080301>
- Petras, V., Petrasova, A., McCarter, J. B., Mitasova, H., & Meentemeyer, R. K. (2023). Point Density Variations in Airborne Lidar Point Clouds. *Sensors*, 23(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/s23031593>
- Prastyo, A. D., Subiyanto, I. S., & Suprayogi, A. (2022). Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Candi Gedong Songo. *10(1)*, 1–52. <https://doi.org/10.21608/pshj.2022.250026>

- Remondino, F., Karami, A., Yan, Z., Mazzacca, G., Rigon, S., & Qin, R. (2023). A Critical Analysis of NeRF-Based 3D Reconstruction. *Remote Sensing*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/rs15143585>
- Roziqin, A., Gustin, O., Pratama, R. W., Dewa, A., Saputra, N., Pernadi, R., Junaika, D. T., Al, M. I., Syahrani, A., Amelia, R., Aritonang, F. L., & Ilyasa, N. (2022). Rekonstruksi Model 3D Menggunakan Foto Udara untuk Visualisasi Kawasan Pesisir Sembulang Kota Batam. *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 889–898.
- Sambodo, G. (2024). *Penggunaan Fotogrametri dan Reflectance Transformation Imaging (RTI) dalam Membaca Pahatan Batu Prasasti*. May.
- Suwardhi, D., Mukhlisin, M., Darmawan, D., Trisyanti, S. W., Brahmantara, B., & Suhartono, Y. (2016). Survey dan Pemodelan 3D (Tiga Dimensi) untuk Dokumentasi Digital Candi Borobudur. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 10(2), 10–22. <https://doi.org/10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v10i2.150>
- Vandenabeele, L., Häcki, M., & Pfister, M. (2023). Crowd-sourced surveying for building archaeology: The potential of structure from motion (SfM) and neural radiance fields (NeRF). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48(M-2–2023), 1599–1605. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1599-2023>
- Zainuddin, K., Ghazali, M., Marzuki, F., Samad, A., Ariff, M. M., & Majid, Z. (2024). *EVALUATION OF NeRF 3D RECONSTRUCTION FOR ROCK ART DOCUMENTATION*. XLVIII, 21–23.

AKURASI PEMETAAN BATIMETRI PERAIRAN DANGKAL BERBASIS CITRA LANDSAT 8 DI TELUK PRIGI, KABUPATEN TRENGGALEK

(ACCURACY OF SHALLOW WATER BATHYMETRY MAPPING BASED ON LANDSAT 8 IMAGERY IN PRIGI BAY, TRENGGALEK REGENCY)

Bagus Satrio Wicaksono¹, Dinar Guruh Pratomo², Aida Sartimbul³, Widodo Setiyo Pranowo⁴, Ade Yamindago⁵, Tangguh Perwira Hutomo⁶

^{1,2}Departemen S2 Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

⁴Program Studi S2 Oseanografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut, Indonesia

^{1,3,5,6}Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia

Jln. Dwijaya IV No.24 RT005/RW015, Gandaria Utara, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan, 12140

E-mail: bagussatriowckn@gmail.com

Diterima: 13 Mei 2025; Direvisi : 7 Juli 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan : 14 November 2025

ABSTRAK

Batimetri merupakan informasi penting dalam mendukung jalur pelayaran di wilayah perairan Indonesia. Mengingat dinamika laut yang tinggi, pemetaan batimetri perlu dilakukan secara kontinu. Khususnya di Teluk Prigi yang memiliki potensi sumber daya alam, pariwisata, dan merupakan lokasi Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN Prigi). Metode konvensional seperti echosounder masih memiliki keterbatasan dalam cakupan dan efisiensi. Alternatif yang lebih modern adalah *Satellite Derived Bathymetry* (SDB), yang memanfaatkan data citra satelit dan algoritma pengolahan digital. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kedalaman perairan dangkal dan topografi dasar laut di Teluk Prigi dengan menggunakan *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) berbasis citra Landsat 8. Metode ini memanfaatkan uji akurasi estimasi kedalaman dengan menerapkan algoritma Stumft dan membandingkan terhadap data kedalaman in-situ. Analisis dilakukan dengan membandingkan rasio band dari citra Landsat 8 terhadap data kedalaman in-situ untuk menilai akurasi estimasi kedalaman. Hasil menunjukkan kedalaman perairan Teluk Prigi berkisar antara 4,92 m hingga 67,61 m, sedangkan estimasi dari Landsat 8 berkisar 7,05 m hingga 57,10 m. Model regresi antara citra Landsat 8 dan data in-situ menghasilkan $R^2 = 0,6287$, $r = 0,792$, RMSE = 12,697, dan NMAE = 28,48, yang menunjukkan tingkat akurasi yang dapat dipertanggungjawabkan.

Kata kunci: Algoritma Stumft, Batimetri, Landsat 8, Perairan Dangkal, SDB

ABSTRACT

Bathymetry plays a crucial role in supporting navigation routes within Indonesian waters. Given the highly dynamic nature of the marine environment, continuous bathymetric mapping is essential. Particularly in Prigi Bay, which holds considerable potential in terms of natural resources, tourism, and serves as the location of the Nusantara Fisheries Port (PPN Prigi). Conventional methods such as echosounders still face limitations in terms of spatial coverage and operational efficiency. A more advanced alternative is Satellite Derived Bathymetry (SDB), which utilizes satellite imagery combined with digital processing algorithms. This study employs Landsat 8 imagery to map seafloor depth and topography using the Stumpf algorithm. The analysis involves comparing band ratio outputs from the Landsat 8 imagery with in-situ depth measurements to evaluate the accuracy of depth estimation. Results indicate that actual water depths in Prigi Bay range from 4.92 m to 67.61 m, while estimations derived from Landsat 8 imagery range from 7.05 m to 57.10 m. The regression model between Landsat 8-derived depths and in-situ measurements produced a coefficient of determination (R^2) of 0.6287, a correlation coefficient (r) of 0.792, a Root Mean Square Error (RMSE) of 12.697, and a Normalized Mean Absolute Error (NMAE) of 28.48, indicating a reasonably reliable level of accuracy for satellite-based bathymetric estimations in coastal waters.

Keywords: Stumpf Algorithm, Bathymetry, Landsat 8, Shallow Waters, SDB

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki wilayah laut yang sangat luas, mencakup sekitar 3.110.000 km² perairan dalam dan dangkal, atau

sekitar 77% dari total luas wilayah negara, serta garis pantai sepanjang 108.000 km dan kurang lebih 17.504 pulau (Setiawan et al., 2021). Dengan karakteristik wilayah maritim yang demikian,

informasi batimetri di wilayah perairan dangkal sangat dibutuhkan, khususnya untuk mendukung pembangunan pelabuhan, delineasi garis pantai, pemetaan habitat dasar laut, perencanaan wilayah budidaya, dan pengelolaan pesisir terpadu. Keberadaan data batimetri juga penting dalam menunjang aspek keselamatan pelayaran dan pengelolaan transportasi laut (Febrianto et al., 2016). Batimetri sendiri merupakan studi mengenai kedalaman dasar badan perairan seperti sungai, danau, dan laut yang memiliki peran penting dalam menjamin keselamatan navigasi (Pambuko et al., 2013).

Pengambilan data batimetri secara tradisional menggunakan metode manual seperti tali dan pemberat, namun teknik ini dinilai kurang efisien karena hanya mencakup titik-titik tertentu dan sangat terbatas oleh waktu serta pergerakan kapal. Saat ini, teknologi echosounder lebih umum digunakan, di mana kedalaman dihitung berdasarkan waktu tempuh gelombang suara atau cahaya yang dipantulkan dari dasar perairan ke sensor alat (Pambuko et al., 2013).

Keterbatasan pada metode konvensional mendorong perlunya alternatif baru dalam memperoleh data kedalaman perairan yang lebih efisien dan akurat (Prayogo & Basith, 2020). Salah satu inovasi yang berkembang adalah metode *Satellite Derived Bathymetry* (SDB) yang memanfaatkan citra satelit dan algoritma pengolahan digital untuk memperoleh informasi batimetri (Suwargana & Setiawan, 2017). Teknik penginderaan jauh telah terbukti efektif dalam memetakan perairan dangkal serta mendukung identifikasi jalur pelayaran yang aman (Bobsaid & Jaelani, 2017).

Penelitian ini memfokuskan kajian pada wilayah Teluk Prigi yang terletak di Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Teluk ini memiliki potensi besar dalam sektor pariwisata, rekreasi, serta sebagai pusat kegiatan perikanan, termasuk keberadaan Pelabuhan Perikanan Nusantara (PPN Prigi) sebagai pelabuhan perikanan terbesar di kawasan tersebut. Aktivitas perikanan dan kepariwisataan di sekitar teluk, seperti di Pantai Prigi, Pantai Pasir Putih, Pantai Karanggongso, dan Pantai Damas, turut menjadi indikator penting akan perlunya pemetaan batimetri yang akurat, terlebih dengan adanya aliran Sungai Cengkong yang bermuara di Teluk Prigi yang dapat memengaruhi sedimentasi dan kontur dasar laut (Sidabutar et al., 2019).

Karakteristik lingkungan laut yang dinamis menjadikan pemetaan batimetri perlu dilakukan secara berkala dan berkelanjutan. Teluk Prigi merupakan lokasi utama pendaratan hasil tangkapan ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) di Trenggalek dan Jawa Timur, yang produksinya bahkan melebihi hasil tangkapan dari wilayah Selat Bali karena siklus produktivitas perairan yang tinggi,

ditandai oleh melimpahnya fitoplankton dan zooplankton (Sartimbul et al., 2021). Oleh karena itu, pemetaan kedalaman menjadi hal krusial untuk mendukung aktivitas kelautan dan optimalisasi pemanfaatan sumber daya laut oleh nelayan.

Penelitian terdahulu yang menggunakan algoritma rasio Stumpf pada citra satelit, seperti dilakukan oleh Masykur (2021), hanya menilai korelasi antara rasio band dengan nilai kedalaman hasil pengolahan citra tanpa melibatkan data *in-situ*. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan membandingkan hasil estimasi kedalaman dari citra Landsat 8 dengan data kedalaman lapangan (*in-situ*). Mengingat sifat perairan yang berubah-ubah, pemetaan batimetri perairan dangkal yang dilakukan secara periodik sangat diperlukan. Pemanfaatan citra Landsat 8 dianggap mendukung karena memiliki 11 kanal multispektral dan resolusi spasial 30 meter, yang mampu menangkap karakteristik kedalaman perairan secara lebih detail. Algoritma Stumpf memungkinkan pemisahan panjang gelombang band berdasarkan tingkat kedalaman, sehingga sangat berguna dalam pemetaan perairan dangkal (Ihlas et al., 2018).

METODE

Lokasi dan Data

Lokasi kajian pemodelan kedalaman perairan berada di wilayah Teluk Prigi, Kabupaten Trenggalek, Provinsi Jawa Timur. Penelitian ini memanfaatkan 27 titik pengukuran sounding dari hasil survei sebelumnya yang dilakukan oleh Hutomo (2019) pada tanggal 19 dan 20 September 2018, bertepatan dengan musim peralihan kedua, menggunakan perangkat *Multibeam Echosounder* (MBES) (lihat **Gambar 1**).

Sumber data penginderaan jauh yang digunakan berasal dari citra Landsat 8 (tanggal akuisisi 5 Oktober 2018). Kombinasi kanal (*band*) citra yang dimanfaatkan dalam pengolahan data ditampilkan pada **Tabel 1**. Jenis citra tersebut memiliki resolusi spasial sebesar 30 meter. Data sounding yang diperoleh menghasilkan total 7.087 titik pengamatan yang telah dikoreksi terhadap fluktuasi pasang surut air laut guna meningkatkan akurasi data kedalaman.

Tabel 1. Kombinasi band citra.

Citra	Landsat 8
Kanal Panjang Gelombang	Pita 2 – <i>Blue</i> (0,452 – 0,512 μm)
	Pita 3 – <i>Green</i> (0,533 – 0,590 μm)
	Pita 5 – <i>Near Infrared</i> (0,851 – 0,879 μm)
Resolusi Spasial	30-meter

Sumber: Druscha et al., 2012

Alur Pengolahan

Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini terbagi menjadi dua bagian utama, yakni pengolahan data kedalaman perairan dan pengolahan data citra Landsat 8. Proses pengolahan data kedalaman dilakukan melalui model analisis sounding serta koreksi terhadap pasang surut dengan memanfaatkan perangkat lunak ArcGIS 10.4.1. Data akhir dari proses ini disimpan dalam format .XYZ, yang merepresentasikan data kedalaman perairan secara langsung (in-situ). Informasi pasang surut diperoleh dari data sekunder yang tersedia melalui Badan Informasi Geospasial (BIG) dan dapat diakses di situs <https://srgi.big.go.id/tides>.

Proses koreksi pasang surut dilakukan untuk memperoleh nilai estimasi kedalaman terhadap Lowest Water Surface (LWS), dengan mempertimbangkan lima komponen harmonik utama: K1, O1, M2, S2, dan N2, sesuai dengan standar dari International Hydrographic Organization (IHO) (Fachrurrozi et al., 2013). Klasifikasi jenis pasang surut ditentukan dengan metode admiralty, yang digunakan untuk menghitung nilai Formzahl sebagai dasar penentuan tipe pasang surut di lokasi studi.

Tahap pengolahan data citra Landsat 8 menggunakan kombinasi kanal spektral band 2 (biru) dan band 3 (hijau), dengan resolusi spasial sebesar 30 meter. Dataset sounding yang digunakan berjumlah 7.087 titik, diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan *Multibeam Echosounder* (MBES). Dataset tersebut kemudian dipisahkan ke dalam dua kelompok, yakni data untuk pemodelan dan data untuk pengujian akurasi, masing-masing dengan rasio 60% dan 40%. Sebanyak 4.250 titik

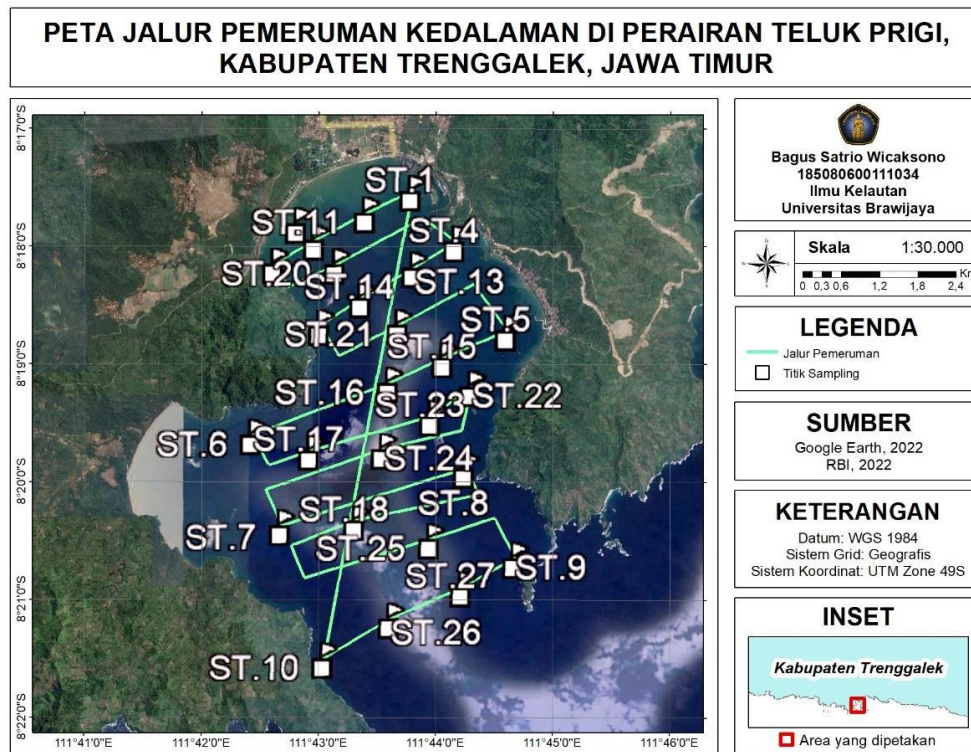
digunakan untuk validasi kedalaman relatif, sementara 2.838 titik dimanfaatkan dalam pengujian akurasi kedalaman absolut.

Hasil dari keseluruhan pengolahan ini menghasilkan peta batimetri. Tahap akhir meliputi evaluasi akurasi serta perbandingan antara data kedalaman dari pengukuran langsung (*in-situ*) dan data hasil estimasi melalui citra Landsat 8. Estimasi kedalaman menggunakan algoritma Stumpf dilakukan melalui pendekatan statistik regresi guna mengetahui kekuatan hubungan (R^2) antara nilai sounding aktual dan hasil estimasi citra satelit.

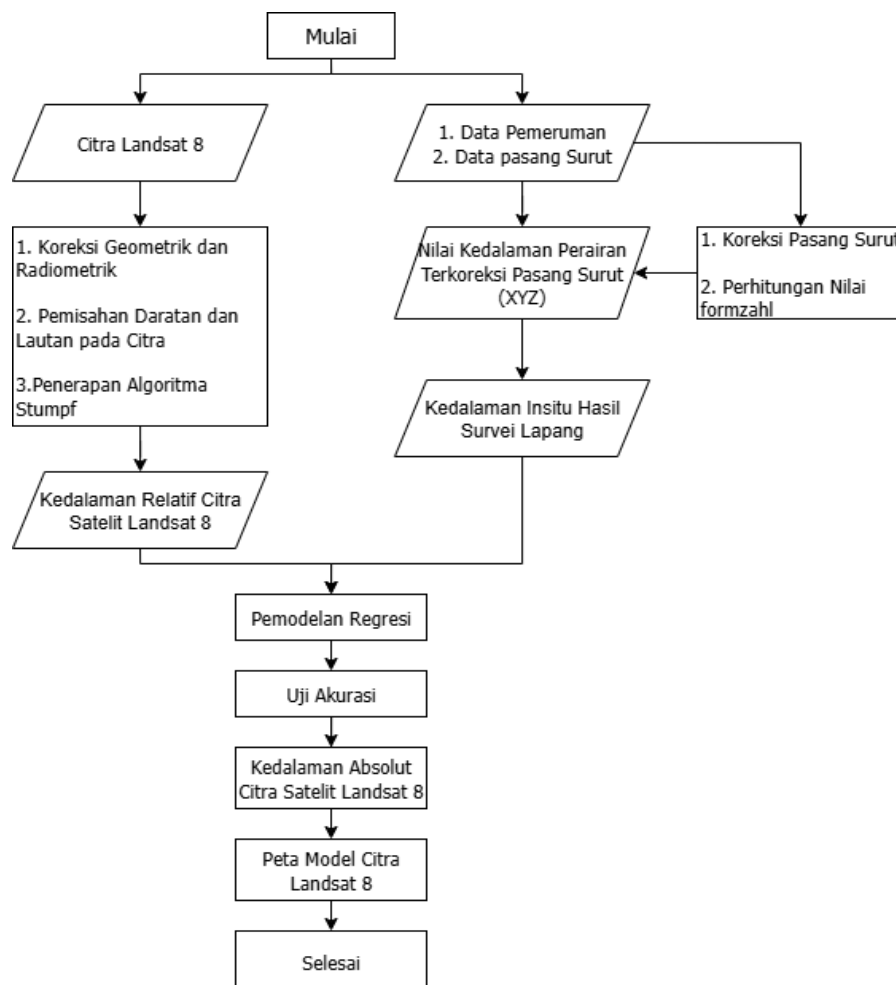
Alur Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dibagi ke dalam tiga tahap utama, yaitu pra-pemrosesan, pemrosesan inti, dan pasca-pemrosesan. Tahap awal atau pra-pemrosesan mencakup penentuan wilayah studi serta seleksi data yang akan digunakan. Wilayah studi berdasarkan data in-situ diperoleh melalui hasil pengukuran menggunakan *Multibeam Echosounder* (MBES). Proses lengkap dari seluruh tahapan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2**. Tiga tahapan dalam pengolahan data tersebut meliputi:

Pra-pemrosesan, yang mencakup koreksi radiometrik, pemotongan citra (*cropping*), serta pemisahan wilayah daratan dan perairan (*masking*). Tahap inti (pemrosesan), meliputi implementasi algoritma Stumpf dan pembuatan model regresi untuk estimasi kedalaman relatif. Pasca-pemrosesan, meliputi perhitungan nilai citra, klasifikasi kedalaman, analisis kuantitatif data dengan melakukan uji statistik, serta penyusunan layout peta akhir.



Sumber: Modifikasi Hutomo, 2019
Gambar 1. Wilayah Penelitian.



Gambar 2. Diagram alur penelitian.

Pengolahan Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan rasio logaritma, yang dikembangkan oleh Stumpf et al. (2003). Metode ini didasarkan pada prinsip bahwa setiap saluran spektral (*band*) memiliki karakteristik penyerapan cahaya yang berbeda terhadap kolom perairan. Perbedaan tingkat penyerapan tersebut, secara teoritis, menyebabkan rasio antar band berubah secara konsisten seiring dengan perubahan kedalaman perairan, sebagaimana dijelaskan dalam **Persamaan 1**.

$$Z = m_1 \times \frac{\ln(R(\lambda_B))}{\ln(R(\lambda_G))} - m_0 \dots \dots \dots (1)$$

di mana:

Z = Kedalaman perairan

m₁, m₀ = koefisien konstanta model untuk ekstrak nilai kedalaman

R(λ_B) = reflektan dari band biru

R(λ_G) = reflektan dari band hijau.

Model kedalaman absolut diperoleh melalui persamaan regresi yang menggambarkan hubungan dan pengaruh antara variabel-variabel yang terlibat. Nilai kedalaman relatif berasal dari hasil pemrosesan citra Landsat 8, yang kemudian dibandingkan dengan data kedalaman in-situ menggunakan analisis regresi linier sederhana untuk mengidentifikasi keterkaitan antar variabel sebagaimana ditunjukkan pada **Persamaan 2**.

$$Y = ax + b \dots \dots \dots (2)$$

di mana:

y = variabel terkait

a = nilai konstanta

x = variabel bebas

b = nilai koefisien regresi

Proses estimasi kedalaman memerlukan tahap evaluasi akurasi hasil perhitungan, yang dilakukan dengan menerapkan rumus Koefisien Determinasi (R²) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagaimana dikemukakan oleh Fadillah et al. (2018). Persamaan lebih lanjut dijabarkan dalam **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**.

$$R^2 = 1 - \sum_i \frac{(h_i - \hat{h}_i)^2}{(\hat{h}_i - h)^2} \dots \dots \dots (3)$$

di mana:

h_i = kedalaman pengukuran

ĥ_i = estimasi kedalaman perairan

h = rata – rata nilai kedalaman

n = jumlah data

R² = koefisien determinan

$$RMSE = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(\Delta h_i - \Delta \hat{h}_i)^2}{n}} \dots \dots \dots (4)$$

di mana:

Δh_i = selisih kedalaman insitu

Δĥ_i = selisih kedalaman prediksi

n = jumlah data

RMSE = nilai rerata dari jumlah kuadrat galat.

Untuk memperoleh nilai hasil analisis korelasi, dilakukan perhitungan yang menunjukkan tingkat keterkaitan antara variabel bebas dengan variabel terikat. Metode korelasi digunakan untuk mengidentifikasi hubungan linier (garis lurus) antara dua variabel, yang dinyatakan melalui koefisien korelasi (r) sebagaimana dijelaskan dalam **Persamaan 5**.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \dots \dots \dots (5)$$

di mana:

r = korelasi antar variabel

x = variabel bebas

y = variabel tak bebas

n = jumlah data.

Normalized Mean Absolute Error (NMAE) merupakan salah satu parameter evaluasi yang krusial dalam studi pengamatan kedalaman wilayah perairan. Nilai NMAE yang lebih rendah menunjukkan tingkat akurasi data yang semakin tinggi dan dapat dijadikan referensi dalam penentuan kedalaman batimetri (Putri, 2018). Proses pengolahan kesalahan (galat) telah dilakukan oleh Wahyuningrum et al. (2008), dengan menggunakan rumus dari Chapra (1988), sebagaimana tercantum dalam **Persamaan 6**.

$$\epsilon a = \left| \frac{A1 - A0}{A1} \right| \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

di mana:

εa = nilai error (galat)

A1 = perhitungan batimetri dengan konvensional echosounder

A0 = prediksi batimetri dengan penginderaan jarak jauh.

Tabel 2. Uji statistik.

Kedalaman (m)	RMSE	Korelasi (r)
	Citra Satelit	
(0)-(-20)	-	-
(-20,01)-(-40)	-	-
(-40,01)-(-60)	-	-
(-60,01)-(-80)	-	-

Data kedalaman aktual (absolut) yang telah diolah dikategorikan ke dalam empat (4) kelas kedalaman untuk mempermudah proses evaluasi tingkat akurasi hasil perhitungan, mengacu pada penelitian oleh Sesama et al. (2021) yang telah modifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pasang Surut

Hasil analisis pasang surut selama 29 hari pengamatan, yang diperoleh dari data Badan Informasi Geospasial (BIG), menghasilkan

konstanta harmonik utama yang ditampilkan pada **Tabel 3**. Berdasarkan grafik pasang surut pada **Gambar 3** dan hasil analisis harmonik, diperoleh nilai formzahl sebesar 1,50 yang mengindikasikan jenis pasang surut *mixed semidiurnal* (campuran dengan dominasi dua kali pasang dalam sehari) di wilayah penelitian Teluk Prigi.

Dari grafik tersebut dihasilkan datum vertikal, yaitu nilai *Low Water Surface* (LWS) sebesar -0,33 m, sebagaimana tercantum dalam **Tabel 4**. Informasi pasang surut ini digunakan sebagai data koreksi dalam pengukuran kedalaman dengan *echosounder*, untuk meningkatkan ketepatan hasil akibat fluktuasi muka air laut saat survei dilakukan. Adapun nilai LWS dimanfaatkan sebagai acuan koreksi kedalaman batimetri, karena diasumsikan sebagai titik paling rendah alat *echosounder* yang sejajar dengan lunas kapal. Hal ini bertujuan untuk memperkirakan *draft* kapal dan kedalaman perairan agar kapal dapat melintas dengan aman pada kondisi surut ekstrem tanpa bersentuhan dengan dasar laut atau mengalami kandas di area dangkal.

Tabel 3. Nilai konstanta harmonik.

No.	Konstanta Harmonik	Amplitudo (M)
1.	K1	0,18
2.	O1	0,27
3.	S2	0,12
4.	M2	0,18
5.	N2	0,03

Tabel 4. Nilai datum vertikal.

No.	Datum Vertikal	Amplitudo (M)
1.	HHWL	1,62
2.	LLWL	0,12
3.	Zo	0,87
4.	MSL	1,20
5.	HWS	0,75
6.	LWS	-0,33

Perhitungan Kedalaman Relatif

Data kedalaman relatif diekstrak dan dikombinasikan dengan data pemodelan *in-situ*, lalu dianalisis menggunakan metode regresi. Nilai

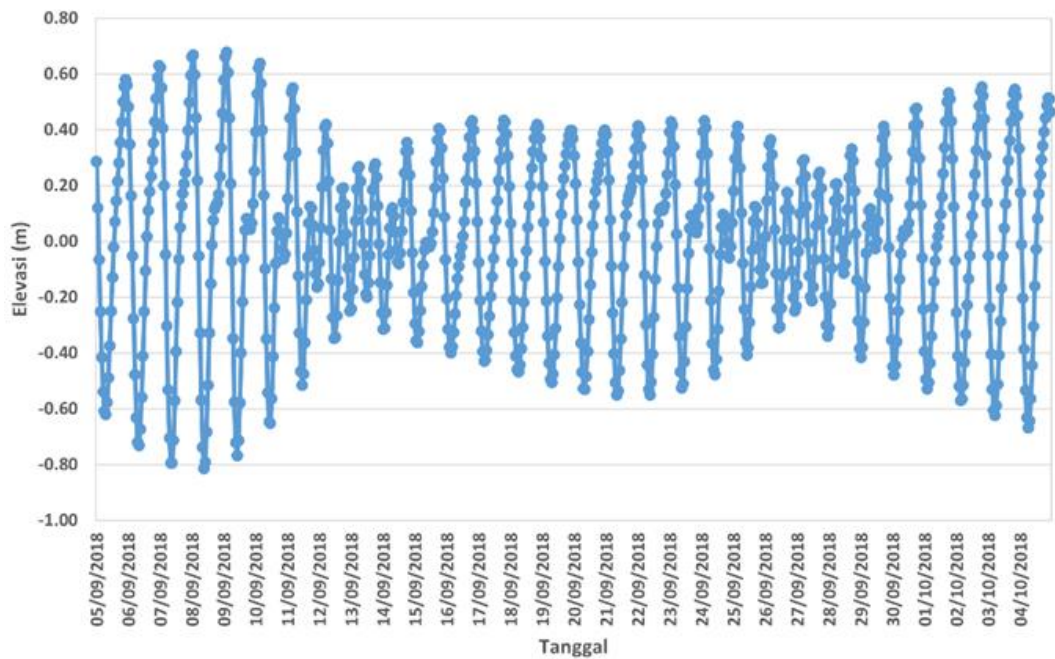
regresi antara rasio dua band citra dan data kedalaman hasil pemodelan *in-situ* diolah menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*, sebagaimana ditampilkan pada **Tabel 5** dan **Gambar 4**.

Tabel 5. Nilai indeks dan persamaan regresi

Citra	Landsat 8	
Nilai Indeks	<i>High</i>	0,91
	<i>Low</i>	1,02
Regresi	$Y = -874,24x + 820,47$	
R ²	0,373	

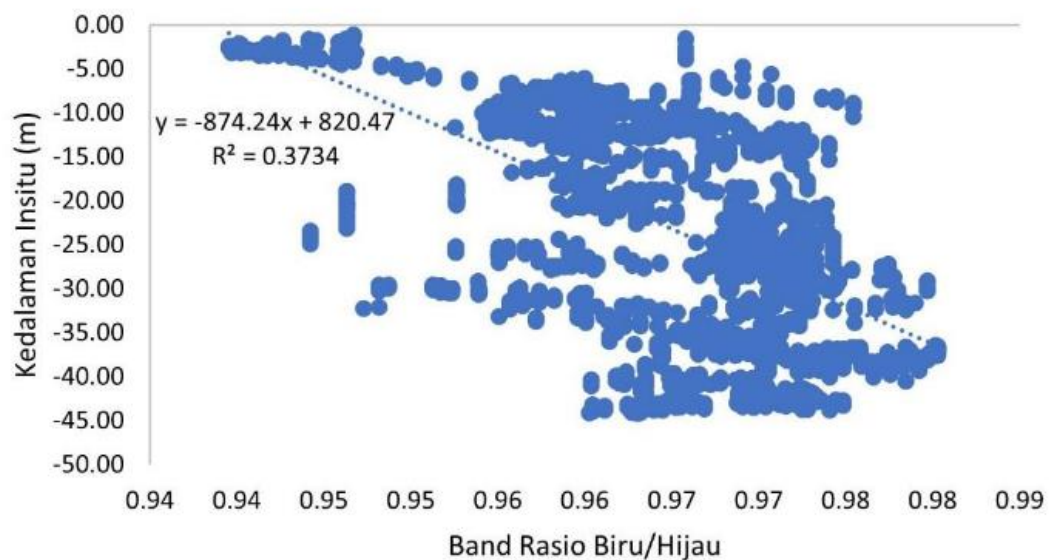
Model perkiraan kedalaman citra Landsat 8 pada tanggal 05 Oktober 2018 dengan memanfaatkan metode rasio yang akan ditampilkan pada **Persamaan 2** dengan menggunakan *band blue* dan *band green*. Setelah mendapatkan nilai perbandingan antara band 2 band 3, dilakukan *extract data* kedalam data pemodelan *in-situ* agar mendapatkan perbandingan rasio kedalaman antara citra dengan kedalaman insitu. Pemilihan rasio *band blue* dan *band green* dimanfaatkan untuk menormalisasikan pantulan dasar akibat adanya perubahan pada kolom air. citra Landsat 8 menunjukkan nilai indeks 0,91 sampai 1,02 meter pada **Gambar 4**. Persebaran warna biru muda diestimasikan perairan dangkal dan biru tua adalah perairan yang lebih dalam. Persebaran nilai yang lebih rendah didapatkan disekitaran daratan yang dikelilingi nilai tinggi yang ditampilkan pada **Gambar 5**.

Citra Landsat 8 menghasilkan *Depth of Extinction* (DOE) dengan regresi $Y = -874,24x + 820,47$ dan nilai R-squared (R²) sebesar 0,374 yang merepresentatifkan bahwa kedalaman relatif pada citra dapat menggambarkan perkiraan kedalaman sesungguhnya. Sesuai pernyataan Masykur (2021), bahwa nilai R² memberikan arti adanya tingkat hubungan yang erat atau tidaknya pada nilai kedalaman citra yaitu band 2 dan 3 dengan nilai kedalaman hasil pemeruman. Semakin besar nilai piksel maka semakin besar pula kedalaman yang akan didapat hingga kedalaman tertentu.



Sumber: srgi.big.go.id dan Hutomo, 2019

Gambar 3. Periode grafik pasang surut.



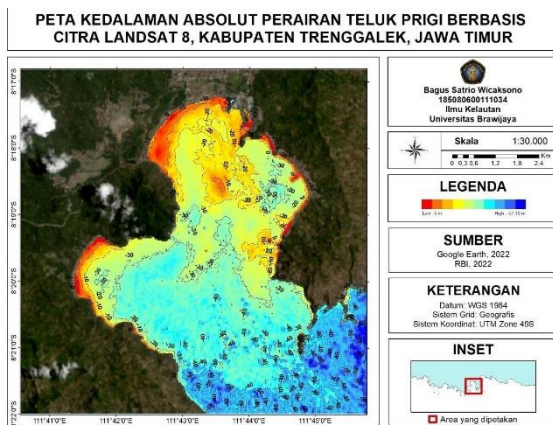
Gambar 4. Grafik rasio algoritma stumpf Landsat 8.



Gambar 5. Peta kedalaman relatif Landsat 8.

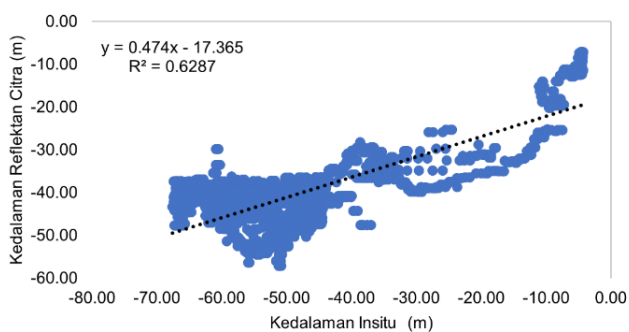
Perhitungan Kedalaman Absolut dan Uji Akurasi Citra Landsat 8

Perhitungan algoritma juga dapat mempengaruhi perhitungan reflektan nilai citra satelit. Akurasi informasi juga sangat dipengaruhi oleh tingkat kejernihan air dideteksi oleh sensor satelit (Setiawan et al., 2014). Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi kedalaman dari model SDB dengan data kedalaman aktual yang diperoleh melalui metode *sounding* (Safi'i & Dewi, 2020). Nilai yang diperoleh dari persamaan regresi kemudian dimasukkan ke dalam algoritma Stumpf bersama data kedalaman untuk uji akurasi, sehingga menghasilkan nilai batimetri absolut, sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Kedalaman absolut Citra Landsat 8.

Untuk mendapatkan nilai koefisien determinan menggunakan persamaan regresi yang mengindikasikan apabila nilai mendekati angka 1 maka hasil perhitungan dari metode regresi linier cukup beragam dan mampu menangani data cukup baik dalam model regresi yang dihasilkan (Jamil et al., 2020). Citra Landsat 8 menghasilkan persamaan linier $Y = 0,474x - 17,365$ dan hasil regresi menghasilkan nilai R^2 /koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6287. Sesuai pernyataan yang dilakukan oleh Jamil et al., (2020), bahwa koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui keragaman nilai variable dependen (kedalaman insitu). Penelitian lainnya memperkuat, model regresi menampilkan hasil regresi terbaik menggunakan rasio $\ln_{band1}$ dengan $\ln_{band2}$ menggunakan citra quickbird mendapati nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,711 yang berarti model merepresentasikan keakuratan sebesar 71.1% (Nurkhaiyati & Khakhim, 2013). Dengan demikian, model regresi pada citra yang didapatkan mampu menjelaskan persebaran kedalaman pada peta 62.87% pada citra Landsat 8 yang ditampilkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Hasil Regresi Nilai Kedalaman Insitu Dengan Citra Landsat 8

Klasifikasi peta kedalaman didasarkan pada hasil perhitungan kedalaman absolut yang dibagi ke dalam empat (4) kategori. Pengujian akurasi dilakukan dengan menghitung nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dan Koefisien Korelasi (r). Hasil klasifikasi kedalaman di Teluk Prigi

menggunakan citra Landsat 8 dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan klasifikasi tersebut, nilai RMSE terkecil terdapat pada rentang kedalaman (-20,01) hingga (-40) meter, yaitu sebesar 6,373335. Sebaliknya, nilai RMSE tertinggi tercatat pada kedalaman antara (-60,01) hingga (-80) meter sebesar 22,23419. Nilai korelasi tertinggi yang menunjukkan tingkat akurasi sangat kuat ditemukan pada kedalaman 0 hingga (-20) meter dengan nilai sebesar 0,92, meskipun masih disertai dengan nilai RMSE yang cukup besar, yakni 10,37837. Adapun korelasi terendah dengan tingkat akurasi sangat lemah diperoleh pada rentang kedalaman (-40,01) hingga (-60) meter dengan nilai hanya 0,15. Semakin kecil nilai RMSE, semakin tinggi tingkat keakuratan model dalam merepresentasikan kedalaman sebenarnya. Sebaliknya, nilai RMSE yang besar menunjukkan penurunan akurasi dan menandakan adanya kesalahan estimasi yang signifikan (Hodson, 2022).

Hasil temuan sejalan dengan penelitian Masykur (2021), menggunakan citra Sentinel-2 dengan Algoritma Stumpf yang dievaluasi menggunakan kombinasi rasio spektral antara band 2 dan 3, band 2 dan 4, serta band 3 dan 4 dari citra satelit. Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio band 2 dan 3 memiliki hubungan paling kuat dengan data kedalaman, ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi tertinggi ($r^2 = 0,78$), diikuti oleh rasio band 3 dan 4 ($r^2 = 0,75$) dan band 2 dan 4 ($r^2 = 0,54$). Berdasarkan hasil tersebut, rasio band 2 dan 3 dipilih sebagai parameter utama dalam pemodelan batimetri. Nilai Root Mean Square Error (RMSE) pada kedalaman maksimum (Depth of Extinction) 20 meter diperoleh sebesar 2,35 meter, yang menunjukkan tingkat kesalahan estimasi yang relatif rendah.

Jumlah saluran yang digunakan dalam model pada dasarnya mempengaruhi kemampuan algoritma untuk membedakan antara topografi dan massa air, sehingga semakin banyak saluran yang digunakan, semakin akurat model yang didapatkan (Saf'i & Dewi, 2020). Hal ini terjadi karena tidak semua struktur topografi dasar laut berhasil direkam oleh alat *echosounder*. Selanjutnya untuk nilai koefisien korelasi memiliki rentang keeratan hubungan dari rentang 0-1, semakin tinggi nilai koefisien korelasi antara kedua buah variabel (nilai mendekati angka 1) maka akan memiliki tingkat keeratan hubungan kedua variabel semakin kuat (tinggi). Tanda minus (-) pada nilai korelasi dalam tabel klasifikasi menunjukkan indikasi pendangkalan dasar laut, sedangkan tanda positif (+) mengindikasikan adanya hubungan searah antara variabel—artinya jika satu variabel meningkat, maka variabel lainnya cenderung ikut meningkat (Nuryadi et al., 2017). Perbedaan nilai RMSE dan korelasi antar kelas kedalaman dari citra satelit ini kemungkinan disebabkan oleh variasi jumlah data

pada masing-masing rentang kedalaman selama proses pengolahan dan luasan wilayah penelitian.

Tabel 6. Klasifikasi Kedalaman Citra Landsat 8

Kedalaman	RMSE	Korelasi
(0)-(-20)	10,37837	0,92
(-20,01)-(-40)	6,373335	-0,57
(-40,01)-(-60)	9,554646	0,15
(-60,01)-(-80)	22,23419	0,21

Berdasarkan hasil pemrosesan data citra, diperoleh selisih nilai (galat) antara kedalaman dari hasil *sounding* dan nilai yang digunakan dalam pengujian akurasi, dengan total 2.837 titik sampel. Jumlah ini belum termasuk titik yang digunakan dalam pembangunan model regresi. Evaluasi dilakukan menggunakan metode *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE), koefisien determinasi (R^2), dan koefisien korelasi (r) melalui analisis regresi linier sederhana, dengan hasil yang disajikan pada

Tabel 7.

Hasil perhitungan yang diperoleh dari pemrosesan citra Landsat 8 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi jika dibandingkan dengan data kedalaman *in-situ* yang dikumpulkan melalui survei lapangan. Kedalaman terkecil yang dihasilkan oleh citra tersebut adalah 7,05 meter, sedangkan kedalaman tertingginya mencapai 85,27 meter. Nilai koefisien determinasi (R^2) tercatat sebesar 0,628, koefisien korelasi (r) sebesar 0,792, serta nilai *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) sebesar 28,48%.

Tabel 7. Perbandingan Citra Landsat 8 dengan *in-situ*

Data Citra	Kedalaman Minimum (m)	Kedalaman Maksimum (m)	R^2	Korelasi	Error (%)
Landsat 8	7,05	57,10	0,628	0,792	28,48
Kedalaman <i>In Situ</i>	4,92	67,61	-	-	-

Mengacu pada pendapat Jaelani & Tyastiti (2020), ambang batas minimum yang dapat dijadikan standar akurasi adalah nilai NMAE maksimal 30%, sehingga hasil tersebut dinilai layak untuk digunakan dalam ekstraksi informasi kedalaman perairan melalui teknologi penginderaan jauh. Penelitian juga diperkuat dengan temuan Nugraha et al. (2017), menyatakan hasil evaluasi akurasi citra Spot-7 studi kasus lembar-lombok dalam estimasi kedalaman menunjukkan nilai koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0,6205$, dengan koefisien korelasi (R) mencapai 0,7877. Nilai ini mengindikasikan tingkat kecocokan model terhadap data aktual sebesar 78,77%, yang merefleksikan

kemampuan Spot-7 dalam merepresentasikan kondisi kedalaman secara akurat.

KESIMPULAN

Estimasi pemetaan dan uji akurasi kedalaman di wilayah Teluk Prigi, Kabupaten Trenggalek yang diperoleh melalui pemrosesan citra Landsat 8 menunjukkan hasil yang cukup presisi. Berdasarkan analisis perhitungan, citra Landsat 8 terbukti memiliki tingkat akurasi yang baik dalam memperkirakan kedalaman perairan. Hal ini dibuktikan melalui evaluasi menggunakan nilai korelasi terbaik pada klasifikasi kedalaman sebesar 0,92 dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 10,37837 pada kedalaman (0)-(-20), koefisien determinasi (R^2) keseluruhan kedalaman sebesar 0,792, *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) sebesar 28,48%. Selisih antara hasil pengolahan citra dan data *sounding* dipengaruhi oleh variasi nilai reflektansi (*albedo*), yang berdampak pada proses penyerapan (*absorption*) dan penyebaran (*scattering*) cahaya—faktor penting dalam menentukan ketepatan estimasi kedalaman menggunakan data penginderaan jauh.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penyediaan data batimetri yang lebih efisien dan ekonomis melalui pemanfaatan citra satelit, khususnya dalam mendukung perencanaan wilayah pesisir, pengelolaan sumber daya kelautan, serta keselamatan navigasi di Teluk Prigi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada para pembimbing di Program Studi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dan Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya atas dukungan serta fasilitas yang diberikan selama proses penelitian ini. Penghargaan yang setinggi-tingginya juga disampaikan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas bantuan beasiswa pendidikan dan pendanaan penelitian yang telah memungkinkan penelitian ini terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bobsaid, M. W., & Jaelani, L. M. (2017). Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Dan. *Jurnal Teknik Its*, 6(2), 564–569.
- Druscha, Belloa, U. Del, S.Carliera, O.Colinb, V.Fernandez, F.Gasconb, B.Hoerschb, C.Isolaa, P.Laberintia, P.Martimorta, A.Meygrete, F.Spotoa, O.Sya, F.Marchesed, & P.Bargellinid. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission For GMES Operational Services. *ELSEVIER*, 120, 25–36.
- Fachrurrozi, M., Widada, S., Helmi, M., Kelautan, J. I., Perikanan, F., Diponegoro, U., Soedharto, J. P. H.,

- Semarang, T., & Fax, T. (2013). Studi Pemetaan Batimetri Untuk Keselamatan Pelayaran Di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. *Journal Of Oceanography*, 2(3), 310–317.
- Fadillah, S. R., Manessa, Masita D, M., & Atmawidjaja, R. R. (2018). Ekstraksi Data Kedalaman Menggunakan Data Citra Landsat-8. *Studi Teknik Geodesi FT UNPAK*, 6(1), 1–12.
- Febrianto, T., Hestirianto, T., & Agus, S. B. (2016). Pemetaan Batimetri Di Perairan Dangkal Pulau Tunda, Serang, Banten Menggunakan Singlebeam Echosounder. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 6(2), 139–147.
- Bobsaid, M. W., & Jaelani, L. M. (2017). Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Dan. *Jurnal Teknik Its*, 6(2), 564–569.
- Druscha, Belloa, U. Del, S.Carliera, O.Colinb, V.Fernandeza, F.Gasconb, B.Hoerschb, C.Isolaa, P.Laberintia, P.Martimorta, A.Meygretc, F.Spotoa, O.Sya, F.Marchesed, & P.Bargellinid. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission For GMES Operational Services. *ELSEVIER*, 120, 25–36.
- Fachrurrozi, M., Widada, S., Helmi, M., Kelautan, J. I., Perikanan, F., Diponegoro, U., Soedharto, J. P. H., Semarang, T., & Fax, T. (2013). Studi Pemetaan Batimetri Untuk Keselamatan Pelayaran Di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. *Journal Of Oceanography*, 2(3), 310–317.
- Fadillah, S. R., Manessa, Masita D, M., & Atmawidjaja, R. R. (2018). Ekstraksi Data Kedalaman Menggunakan Data Citra Landsat-8. *Studi Teknik Geodesi FT UNPAK*, 6(1), 1–12.
- Febrianto, T., Hestirianto, T., & Agus, S. B. (2016). Pemetaan Batimetri Di Perairan Dangkal Pulau Tunda, Serang, Banten Menggunakan Singlebeam Echosounder. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 6(2), 139–147.
- Hutomo, T. P., A, S., & C, S, U. D. (2019). Karakteristik Suhu, Salinitas Dan Oksigen Terlarut Serta Hubungannya Dengan Kedalaman Perairan Teluk Prigi, Kabupaten. *Universitas Brawijaya*.
- Ihlas, I., Winarso, G., Iwan Santoso, A., & Setiyadi, J. (2018). Akuisisi Data Batimetri Menggunakan Citra Satelit Spot-7 Diperairan Teluk Halong Kota Ambon. *Jurnal HIDROPILAR*, 4(1), 9–17.
- Irwanto, D. (2018). Pembangunan Kelautan Dan Perikanan Yang Berkelanjutan Dan Berkeadilan Sosial Dalam Menyongsong Poros Maritim Dunia. In *Prosiding Seminar Nasional Kelautan Dan Perikanan* (Vol. 59).
- Jaelani, L. M., & Tyastiti, E. Y. (2020). Uji Akurasi Produk Reflektan Permukaan Landsat-8 Beserta Pengaruhnya Terhadap Penentuan Konsentrasi Suspended Solid (Studi Kasus: Danau Kasumigaura, Jepang). *Geoid*, 15(1), 36.
- Jamil, F., Semedi, I. B., & Kurniawan, D. (2020). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Dengan Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2a Dan Landsat 8 (Studi Kasus: Perairan Temajuk, Kalimantan Barat).
- Masykur, S. F. (2021). Pemetaan Perairan Laut Dangkal Menggunakan Algoritma Stumpf Pada Citra Sentinel-2 Di Pulau Morotai. *Seminar Nasional Geomatika*, 643–650.
- Nugraha, A. Y., Prayudha, B., Ibrahim, A. L., & Riyadi, N. (2017). Pemetaan Batimetri di Perairan Dangkal menggunakan Data Penginderaan Jauh Spot-7 (Studi Kasus Lembar-Lombok): Bathymetry Mapping in Shallow Waters using Spot-7 Remote Sensing Data (Lombok-Sheet Case Study). *Jurnal Chart Datum*, 3(2), 61–80.
- Nurkhayati, R., & Khakhim, N. (2013). 140 Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Quickbird Di Perairan Taman Nasional Karimun Jawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 2(2), 78320.
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., & Budiantara, M. (2017). Buku Ajar Dasar-Dasar Statistik Penelitian (1st Ed.). Sibuku Media.Pambuko, D. M., Jondri, J., & Umbara, R. F. (2013). Identifikasi Kedalaman Laut (Bathymetry) Berdasarkan Warna Permukaan Laut Pada Citra Satelit Menggunakan Metode ANFIS. *Jurnal Matematika Integratif*, 9(2), 167–178.
- Prayogo, L. M., & Basith, A. (2020). Uji Performa Citra Worldview 3 Dan Sentinel 2A Untuk Pemetaan Kedalaman Laut Dangkal (Studi Kasus Di Kepulauan Karimunjawa, Jawa Tengah). *JGISE: Journal Of Geospatial Information Science And Engineering*, 3(2), 161.
- Putri, K. (2018). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Data Satelit Pleiades-1B Dengan Geographically Weighted Regression (Studi Kasus : Perairan Gili Iyang , Jawa Timur) [Institut Teknologi Sepuluh November]. In *Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Safi'i, A. N., & Dewi, R. S. (2020). Uji Akurasi Metode Berbasis Citra Satelit Untuk Ekstraksi Data Batimetri. *Teknik*, 41(2), 142–151.
- Sartimbul, A., Kasitowati, R. D., Izza, M. K., & Fauzia, S. S. (2021). High Catch Of Sardinella Lemuru (Bleeker, 1853) And Plankton Abundance In Prigi Waters: Case Study In 2017 And 2019. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 744(1).
- Sesama, A. S., Setiawan, K. T., & Julzarika, A. (2021). Bathymetric Extraction Using Planetscope Imagery (Case Study: Kemujan Island, Central Java). *International Journal Of Remote Sensing And Earth Sciences (Ijreses)*, 17(2), 209.
- Setiawan, K. T., Winarso, G., Ginting, D. N. B., Manessa, M., Anggraini, N., Hartuti, M., Asriningrum, W., & Parwati, E. (2021). Pemanfaatan Metode Semi-Analitik Untuk Penentuan Batimetri Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 18(1), 1–13.
- Sidabutar, E. A., Sartimbul, A., & Handayani, M. (2019). Distribusi Suhu, Salinitas Dan Oksigen Terlarut Terhadap Kedalaman Di Perairan Teluk Prigi Kabupaten Trenggalek. *Journal Of Fisheries And Marine Research*, 3(1), 46–52.
- Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination Of Water Depth With High-Resolution Satellite Imagery Over Variable Bottom Types. *Limnology And Oceanography*, 48(1), 547–556.
- Suwargana, N., & Setiawan, K. T. (2017). Model Informasi Kedalaman Laut Dangkal Di Perairan Teluk Lampung Menggunakan Data Satelit Landsat-8. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 1(1), 323–330.
- Wahyuningrum, P. I., Jaya, I., & Simbolon, D. (2008).

- Algoritma Untuk Estimasi Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Landsat-7 Etm + (Studi Kasus : Perairan Gugus Pulau Pari , Kepulauan Seribu , Jakarta). Buletin PSP, XVII(3), 333–340.
- Hodson, T. O. (2022). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): When to use them or not. *Geoscientific Model Development Discussions*, 2022, 1-10.
- Hutomo, T. P., A, S., & C, S, U. D. (2019). Karakteristik Suhu, Salinitas Dan Oksigen Terlarut Serta Hubungannya Dengan Kedalaman Perairan Teluk Prigi, Kabupaten. Universitas Brawijaya.
- Ihlas, I., Winarso, G., Iwan Santoso, A., & Setiyadi, J. (2018). Akuisisi Data Batimetri Menggunakan Citra Satelit Spot-7 Diperairan Teluk Halong Kota Ambon. *Jurnal HIDROPILAR*, 4(1), 9–17.
- Irwanto, D. (2018). Pembangunan Kelautan Dan Perikanan Yang Berkelanjutan Dan Berkeadilan Sosial Dalam Menyongsong Poros Maritim Dunia. In *Prosiding Seminar Nasional Kelautan Dan Perikanan* (Vol. 59).
- Jaelani, L. M., & Tyastiti, E. Y. (2020). Uji Akurasi Produk Reflektan Permukaan Landsat-8 Beserta Pengaruhnya Terhadap Penentuan Konsentrasi Suspended Solid (Studi Kasus: Danau Kasumigaura, Jepang). *Geoid*, 15(1), 36.
- Jamil, F., Semedi, I. B., & Kurniawan, D. (2020). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Dengan Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2a Dan Landsat 8 (Studi Kasus: Perairan Temajuk, Kalimantan Barat)
- Masykur, S. F. (2021). Pemetaan Perairan Laut Dangkal Menggunakan Algoritma Stumpf Pada Citra Sentinel-2 Di Pulau Morotai. *Seminar Nasional Geomatika*, 643–650.
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., & Budiantara, M. (2017). *Buku Ajar Dasar-Dasar Statistik Penelitian* (1st Ed.). Sibuku Media.
- Pambuko, D. M., Jondri, J., & Umbara, R. F. (2013). Identifikasi Kedalaman Laut (Bathymetry) Berdasarkan Warna Permukaan Laut Pada Citra Satelit Menggunakan Metode ANFIS. *Jurnal Matematika Integratif*, 9(2), 167–178.
- Prayogo, L. M., & Basith, A. (2020). Uji Performa Citra Worldview 3 Dan Sentinel 2A Untuk Pemetaan Kedalaman Laut Dangkal (Studi Kasus Di Kepulauan Karimunjawa, Jawa Tengah). *JGISE: Journal Of Geospatial Information Science And Engineering*, 3(2), 161.
- Putri, K. (2018). Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Data Satelit Pleiades-1B Dengan Geographically Weighted Regression (Studi Kasus : Perairan Gili Iyang , Jawa Timur) [Institut Teknologi Sepuluh November]. In *Doctoral Dissertation*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Safi'i, A. N., & Dewi, R. S. (2020). Uji Akurasi Metode Berbasis Citra Satelit Untuk Ekstraksi Data Batimetri. *Teknik*, 41(2), 142–151.
- Sartimbul, A., Kasitowati, R. D., Izza, M. K., & Fauzia, S. S. (2021). High Catch Of *Sardinella Lemuru* (Bleeker, 1853) And Plankton Abundance In Prigi Waters: Case Study In 2017 And 2019. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 744(1).
- Sesama, A. S., Setiawan, K. T., & Julzarika, A. (2021). Bathymetric Extraction Using Planetscope Imagery (Case Study: Kemujan Island, Central Java). *International Journal Of Remote Sensing And Earth Sciences (Ijreses)*, 17(2), 209.
- Setiawan, K. T., Winarso, G., Ginting, D. N. B., Manessa, M., Anggraini, N., Hartuti, M., Asriningrum, W., & Parwati, E. (2021). Pemanfaatan Metode Semi-Analitik Untuk Penentuan Batimetri Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 18(1), 1–13.
- Sidabutar, E. A., Sartimbul, A., & Handayani, M. (2019). Distribusi Suhu, Salinitas Dan Oksigen Terlarut Terhadap Kedalaman Di Perairan Teluk Prigi Kabupaten Trenggalek. *Journal Of Fisheries And Marine Research*, 3(1), 46–52.
- Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination Of Water Depth With High-Resolution Satellite Imagery Over Variable Bottom Types. *Limnology And Oceanography*, 48(1), 547–556.
- Suwargana, N., & Setiawan, K. T. (2017). Model Informasi Kedalaman Laut Dangkal Di Perairan Teluk Lampung Menggunakan Data Satelit Landsat-8. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 1(1), 323–330.
- Wahyuningrum, P. I., Jaya, I., & Simbolon, D. (2008). Algoritma Untuk Estimasi Kedalaman Perairan Dangkal Menggunakan Data Landsat-7 Etm + (Studi Kasus : Perairan Gugus Pulau Pari , Kepulauan Seribu , Jakarta). Buletin PSP, XVII (3), 333–340.

Halaman Ini Sengaja Kami Kosongkan

GEOMATIKA
VOLUME 31 TAHUN 2025

Indeks Penulis

A

Ade Rio Saputra, 95
Ade Yamindago, 104
Ahmad Harisul Haq, 33
Ahmad Zakaria, 21
Aida Sartimbul, 105
Asep Adang Supriyadi, 71, 78
Ayub Sugara, 57

B

Bagus Satrio Wicaksono, 71, 105

C

Cilacap, 45, 46, 47, 49, 50, 53, 54, 55, 56

D

Danar Guruh Pratomo, 105
Dede Hartono, 57

E

Eko Nofridiansyah, 57
Eko Rahmadi, 21

F

Feri Nugroho, 57
Fikri Algifahri, 9
Fuzzy, 45, 46, 48, 55

G

Ghea Redana Pitaloka, 9
Guruh Samodra, 33

H

Hadi Putra Pratama, 57
Haikal Muhammad Ihsan, 81

K

Karangkandri, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55

L

Land Use, 2, 4, 5, 6, 8, 32, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 53, 54, 55, 56

Lili Somantri, 81

M

Muhammad Saiful Ruuhulhaq, 9
Muhammad Ulin Nuha, 95

N

Nito Nur Hatta, 21
Numerical Model, 45, 46, 47, 52, 55
Nurul Afdal Haris, 1
Nur Mohammad Farda, 1

O

Osmar Shalih, 45

P

Penjalaran, 45
Penggunaan Lahan, 21, 34, 37, 45
Propagation, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 55, 56

R

Retnadi Heru Jatmiko, 1
Rizqi Aulia, 95
Robet Triarjunet, 45

S

Saskia Syafinda Fyndiani, 9
Suyadi, 21
Syachrul Arief, 71

T

Tangguh Perwira Hutomo, 104
Tobi Anggesta
Tsunami, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Y

Yeriko Septiawan, 45

W

Widodo Setiyo Pranowo, 105

GEOMATIKA
VOLUME 31 TAHUN 2025

Indeks Subjek

- A**
Acceration, 21
Algoritma Stumpt, 104
Analisis Spasial, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 89, 91, 93
Aquaculture, 1, 2, 3, 5, 7, 8
- B**
Banjir Rob, 1
Batas Wilayah, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94
Bathymetry, 105, 106, 114, 115
Batimetri, 76, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115
- C**
Coastal Dynamic, 21
Coastal Flooding, 1
- D**
Data Geospasial, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 85, 86
Deterministic Model, 33
Diplomasi Keamanan Maritim, 72, 73, 77, 78, 79
DSAS, 14, 21, 23, 32
- E**
Ekstraksi, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19
EPR, 21, 22, 24, 26
Erosion, 21, 43
Extraction, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 18
- F**
Fotogrametri, 95, 103, 104
- G**
Garis Pantai, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 57, 58, 59, 61, 63, 65, 66, 67, 68, 69.
Geospasial Data, 71, 81
GLCM, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
- I**
Indonesia Emas 2045, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 79
Infinite Slope, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43
- K**
Keamanan Maritim, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80
Kerawanan Longsor, 33, 34, 35, 36, 39, 41, 42, 43
Kungkai Baru, 57, 58, 59, 61, 62, 67, 68
- L**
Landsat 8, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115
Landsat 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17
Landslide Susceptibility, 33, 42, 43, 44
LiDAR, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 41, 42, 43, 48, 50
LRR, 21, 22, 24, 26
- M**
Machine Learning, 9, 18, 55
Maritime Security, 71, 77, 78, 79
Maritime Security Diplomacy, 71, 77, 78
Model Deterministik, 33, 35, 37, 39, 41, 43
- N**
Neural Radiance Fields, 95, 103, 104
NSM, 14, 21, 22, 23, 24, 26
- P**
Pemodelan 3D, 95, 103, 104
Pengindraan Jauh, 7, 9, 11, 22, 32
Perairan, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113, 114, 115
Perubahan Garis Pantai, 9, 10, 12, 14, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32.
Photogrametry, 95, 96, 103, 104
Point Cloud, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103
- R**
Radar, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 21
Remote Sensing, 2, 7, 8, 18, 19, 32, 37, 42, 56
- S**
SDB, 105, 106, 111
Sentinel-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 18
Shallow Waters, 105, 114
Shoreline, 9, 14, 18, 21, 22, 23, 24, 26, 32, 48, 53, 57, 61, 66
Spatial Analysis, 81, 82
Stumpt Algorithm, 105
- T**
Tambak, 1, 7, 21
- U**
UAV, 33, 35, 36, 37, 57, 58, 59, 62, 63, 69

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA MITRA BESTARI GEOMATIKA
VOLUME 31 TAHUN 2025

1. Gathot Winarso, S.T., M.Sc.
2. Dr. Catur Aries Rokhmana, S.T., M.T
3. Prof. Dr. Jonson Lumban Gaol, M.Si
4. Dr. Ing. Widodo Setiyo Pranowo, M.Si
5. Heri Sutanta, S.T., M.Sc., Ph.d
6. Dr. Ir. Bambang Riadi, S.T., M.Tech
7. Dr. Ati Rahadiati, M.Sc
8. Dr. Ratna Sari Dewi, S.Pi., M.Sc
9. Prof. Dr. Atriyon Julzarika, M.Eng
10. Dr. Yudo Prasetyo, ST., M.T.
11. Dr. Ing Khafid
12. I Made Andi Arsana, S.T., M.E., Ph.D
13. Prof. Dr. Ir. Sobar Sutisna
14. Prof. Dr. Ir. Eka Djunarsah, S.T., M.T.
15. Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
16. Dr. Wiwin Ambarwulan, M.Sc.
17. Prof. Dr. Ir. Harintaka, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng.

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

Biro Hukum, Hubungan Masyarakat 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, 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 tanda koma 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**