

GEOMATIKA

Vol. 27 No. 1, Mei 2021

ANALISIS KEMAMPUAN KLASIFIKASI CITRA BERBASIS OBJEK UNTUK PEMETAAN PENUTUP LAHAN SKALA DETAIL



Poligon hasil segmentasi citra WorldView-2

Geomatika | Volume 27 Nomor 1 | Mei 2021 | Hal. 1 - 70

Sekretariat

Badan Informasi Geospasial

Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong

Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia

Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064

e-mail: jurnalgeomatika@gmail.com

Homepage: jurnal.big.go.id/index.php/GM

p-ISSN 0854-2759





BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 27 No. 1, Mei 2021

Geomatika diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai media komunikasi ilmiah, riset dan teknologi terkait pengumpulan, pengolahan dan analisis data menghasilkan informasi Geospasial Dasar, antara lain mencakup bidang-bidang Ilmu Kebumihan (Geodesi, Geologi, Geografi), Teknologi Informasi Spasial, termasuk juga Penginderaan Jauh, Sistem Informasi Geografis 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, 2 nomor 1 volume, bulan **Mei dan November**.

Pengarah:

Kepala Badan Informasi Geospasial

Penanggung Jawab:

Kepala Pusat Penelitian Promosi dan Kerja Sama

Mitra Bestari :

Nama :

Prof. Dr. Sobar Sutisna
Prof. Bangun Muljo Sukojo
Dr. Djati Mardiatno
Dr. Yudo Prasetyo
Dr. Abdul Basith
Dr. Ing. Widodo Setyo Pranowo
Dr. Ir. Sumaryo, M. Si
Dr. Agustan
Dr. Akhmad Riqqi, M.Si
I Made Andi Arsana, ST, ME, Ph. d

Kepakaran :

Geodesi Batas Wilayah
Penginderaan Jauh
Geomorfologi
Penginderaan Jauh - SIG
Geodesi Kelautan
Oceanografi
Geodesi Batas Wilayah
Penginderaan Jauh
NSDI
Geodesi Batas Wilayah

Instansi :

Universitas Pertanian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Universitas Gadjah Mada
Universitas Diponegoro
Universitas Gadjah Mada
Kementrian Kelautan dan Perikanan
Universitas Gadjah Mada
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Institut Teknologi Bandung
Universitas Gadjah Mada

Dewan Editor:

Nama :

Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
Dr. Catur Aries Rokhmana, M. T
Dr. Ibnu Sofian
Dadan Ramdani, M.T
Dr. Jonson Lumban-Gaol
Dr. Parluhutan Manurung

Jabatan

Ketua Dewan Editor
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota

Instansi :

Badan Informasi Geospasial
Universitas Gadjah Mada
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Institut Pertanian Bogor
Badan Informasi Geospasial



Alamat Redaksi:

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

Redaktur Pelaksana:

Nama :

Ir. Sri Lestari, M.Agr
Fahrul Hidayat, ST
Hanik Nurdiana S., SIP.
Intan Pujawati, S.Si
Florence E.S. Silalahi, S.T
Tia Rizka Nuzula Rachma, ST
M. Irwan Haryono, ST
Munawaroh, S.Si
Ayu Nur Safii, S. T
Aninda Wisaksanti Rudiastuti, S.Pi
Fahrul Hidayat, S.T
Prayudha Hartanto, S.T
Maslahatun Nasiha, S.T
Utami Yulaila, S.E

Jabatan

Ketua Redaksi
Administrator
Journal Editor
Section Editor
Section Editor
Section Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Desain Grafis
Layout Editor
Layout Editor
Sekretaris

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

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
LEMBAR ABSTRAK (ID)	v
LEMBAR ABSTRAK (EN)	vii
PENGANTAR REDAKSI	ix
DESAIN KONFIGURASI JARING GPS UNTUK PEMANTAUAN DEFORMASI SESAR SERMO <i>(GPS Network Configuration Design for Deformation Monitoring of Sermo Fault)</i> Yulaikhah, Subagyo Pramumijoyo, Nurrohmat Widjajanti, Purnama Budi Santosa Program Studi Doktor Teknik Geomatika Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.....	1-8
EVALUASI VARIAN DATA MODEL TERAIN DIGITAL DALAM PENENTUAN MODEL GEOID LOKAL <i>(Evaluation of Digital Terrain Models for Local Geoid Determination a Case Study in D.I. Yogyakarta Province, Indonesia)</i> Fajar Sutejo, dan Leni Sophia Heliani Departemen Teknik Geodesi FT-UGM, Indonesia.....	9-18
PERFORMA DAN STRESS TESTING DALAM UPAYA MENGOPTIMALKAN WEBGIS OPEN SOURCE <i>(Performance and Stress Testing to Optimize Open Source WebGIS, Case Study WebGIS of Ekowisata Sungai Mudal Kulon Progo)</i> Rachmad Wirawan, Aries Dwi Wahyu Rahmadana, Afif Ari Wibowo, Puspita Indra Wardhani, Syamsul Bachri, Muhammad Muhajir CV. Geo Art Science.....	19-26
ANALISIS KEMAMPUAN KLASIFIKASI CITRA BERBASIS OBJEK UNTUK PEMETAAN PENUTUP LAHAN SKALA DETIL DI SEBAGIAN KOTA BANDAR LAMPUNG <i>(Analysis of Object Based Image Classification Capabilities for Detailed Scale Landcover Mapping in Part of Bandar Lampung City)</i> Iqbal Arrahman dan Muhammad Kamal Departemen Sains Informasi Geografi Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.....	27-40
PEMETAAN MULTI-TINGKAT POTENSI BIJIH BESI MENGGUNAKAN CITRA HYPERSPEKTRAL EO-1 HYPERION DAN MULTISPEKTRAL LANDSAT 8-OLI DI SEKITAR SUNGAI PROGO, YOGYAKARTA <i>(Multi-Level Mapping of Iron Ore by using the Combination of Hyperspectral EO-1 Hyperion Imagery and LANDSAT 8-OLI Multispectral in Progo River, Yogyakarta)</i> Zulfa Andriansyah, M Ihsanur Adib, Iklila Rahmatika, Sanjiwana Arjasakusuma Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.....	41-50
THREE-DIMENSIONAL TOPOGRAPHIC MAPPING OF VERTICAL AND OVERHANGING SURFACES OF COASTAL CLIFFS USING UAV-BASED LIDAR DATASET <i>(Pemetaan Topografi Tiga Dimensi Permukaan Vertikal dan Menggantung Dari Tebing Pantai Menggunakan Data LiDAR Berbasis Wahana Tanpa Awak)</i> Daniel Adi Nugroho Master Program, Department of Geography, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Indonesia.....	51-60
ANALISIS SUBSIDENCE MENGGUNAKAN METODE MULTITEMPORAL DINSAR DAN ANOMALI BOUGEUR DI WILAYAH PERKOTAAN <i>(Subsidence Analysis using Dinsar Multitemporal Method and Bouguer Anomaly in Urban Areas)</i> Aprilia Puspita, Yosef Prihanto, Sukendra Martha, Rudy A. G. Gultom Teknologi Penginderaan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan.....	61-70

LEMBAR ABSTRAK (ID)

GEOMATIKA			
ISSN 0854-2759		Cibinong, Mei 2021	
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya			
DDC Yulaikhah	526.6 (Universitas Gadjah Mada)	DDC Sutejo	526.9 (Universitas Gadjah Mada)
Desain Konfigurasi Jaring GPS untuk Pemantauan Deformasi Sesar Sermo Geomatika, Vol 27 No 1, Hal 1-8		Evaluasi Varian Data <i>Model Terrain Digital</i> dalam Penentuan Model Geoid Lokal Geomatika, Vol 27 No 1, Hal 9-18	
Penelitian ini bertujuan untuk mendesain konfigurasi jaring pemantauan deformasi Sesar Sermo yang optimum berdasarkan kriteria sensitivitas jaringan. Desain jaringan dilakukan terhadap dua jaring yang berbeda, yaitu jaring GPS makro yang terdiri atas 5 titik, dan jaring GPS makro dan mikro yang terdiri atas 15 titik. Jaring didesain untuk dapat mendeteksi pergeseran sebesar 5 mm dan 10 mm. Selanjutnya analisis sensitivitas jaring dilakukan dengan uji pergeseran. (Yulaikhah)		Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan varian data Digital Terrain Model (DTM) DEMNAS, peta RBI skala 1:25.000, dan SRTM30_plus dalam penentuan model geoid lokal di wilayah D.I. Yogyakarta. Hasil pemodelan geoid lokal menunjukkan bahwa nilai koreksi terrain terkecil dihasilkan dari DTM SRTM30_plus yaitu sebesar 22,196 mGal, sedangkan nilai indirect effect terkecil dihasilkan dari DTM peta RBI skala 1:25.000, yaitu sebesar 0,272 m. (Sutejo)	
Kata Kunci: Optimasi jaring, GPS, Sesar Sermo, baseline, deformasi		Kata Kunci: <i>DEMNAS, digital terrain model, geoid, least square collocation</i>	
DDC Wirawan	526.9 (CV. Geo Art Science)	DDC Arrahman	526.8 (Universitas Gadjah Mada)
Performa dan <i>Stress Testing</i> dalam Upaya Mengoptimalkan WebGIS <i>Open Source</i> Geomatika, Vol 27 No 1, Hal 19-26		Analisis Kemampuan Klasifikasi Citra Berbasis Objek untuk Pemetaan Penutup Lahan Skala Detil di Sebagian Kota Bandar Lampung Geomatika, Vol 27 No 1, Hal 27-40	
Penelitian ini bertujuan untuk mengukur performa dan tingkat stres pada aplikasi WebGIS dengan beberapa kriteria. Metode pengujian menggunakan aplikasi perangkat lunak meliputi Pagespeed Insight, GTmetrix, dan Webserver Stress Tool. Hasil dari pengujian performa WebGIS menggunakan Pagespeed Insight mendapatkan nilai 78 yang termasuk pada kelas medium, sedangkan hasil pengujian menggunakan GTmetrix didapati hasil nilai pagespeed mencapai 61 % dengan waktu download 3,7 detik. (Wirawan)		Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan klasifikasi berbasis objek untuk pemetaan penutup lahan skala detil, dilihat dari nilai uji akurasi yang dihasilkan. Penilaian akurasi pemetaan untuk klasifikasi berbasis objek membutuhkan <i>area-based accuracy assessment</i> yang menilai akurasi dari segi semantik (tematik) dan geometrik objek hasil pemetaan dibandingkan dengan data referensi. (Arrahman)	
Kata Kunci: uji performa, uji tingkat stres, pengujian webgis, <i>webserver stress tool</i>		Kata Kunci: <i>area-based accuracy assessment, interpretasi, pan-sharperned, segmentasi</i>	



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 27 No. 1, Mei 2021

DDC 551.456 Andriansyah (Universitas Gadjah Mada) Pemetaan Multi-Tingkat Potensial Bijih Besi Menggunakan Citra Hyperspektral EO-1 Hyperion dan Multispektral Landsat 8-OLI di Sekitar Sungai Progo, Yogyakarta Geomatika, Vol 27 No 1, Hal 41-50 Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan potensi keberadaan bijih besi yang terendapkan di sekitar aliran Sungai Progo, Yogyakarta, dengan menggunakan kombinasi citra hiperspektral dan multispektral. Data penginderaan jauh yang digunakan berupa Citra LANDSAT 8-Operational Land Imager (OLI) and Citra Earth Observation 1 (EO-1) Hyperion. (Andriansyah) Kata Kunci: Ambang pemetaan, bijih besi, pustaka spektral, <i>spectral angle mapper</i>	DDC 529.22 Nugraha (Universitas Indonesia) Pemetaan Topografi Tiga Dimensi Permukaan Vertikal dan Menggantung dari Tebing Pantai menggunakan Data LiDAR Berbasis Wahana Tanpa Awak Geomatika, Vol 27 No 1, Hal 51-60 Penelitian ini menunjukkan aplikasi praktis dari survey LiDAR menggunakan wahana tanpa awak dan proses klasifikasi titik tanah menggunakan algoritma <i>Simple Morphological Filter</i> (SMRF) untuk menghasilkan peta kontur digital tiga dimensi dengan ketelitian tinggi dari tebing-tebing pantai. (Nugraha) Kata kunci: Lidar, data titik, <i>simple morphological filter</i>, klasifikasi tanah, menggantung, pemodelan tebing
DDC 551.456 Puspita (Universitas Pertahanan) Analisis Subsidence menggunakan Metode Multitemporal Dinsar dan Anomali Bougeur di Wilayah Perkotaan Geomatika, Vol 27 No 1, Hal. 61-70 Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi subsidence di wilayah penelitian dengan menggunakan penginderaan jauh yang memanfaatkan citra radar SAR, yang diolah dengan metode DInSAR dan dianalisis secara multi temporal. Dikombinasikan dengan metode gravitasi dengan penentuan nilai <i>anomaly</i> Bougeur sederhana (SBA) untuk menentukan struktur bawah permukaan di wilayah penelitian. (Puspita) Kata kunci: <i>Anomaly</i> bougeur, DInSAR, <i>subsidence</i>, Samarinda	

LEMBAR ABSTRAK (EN)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, Mei 2021
The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge	
DDC 526.6 Yulaikhah (Universitas Gadjah Mada) <i>GPS Network Configuration Design for Deformation Monitoring of Sermo Fault</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 1, pp. 1-8</i> <i>This study aims to design the optimum configuration of the Sermo Fault deformation monitoring network based on network sensitivity criteria. The network design is carried out on two different networks, the macro GPS network consisting of five points, and the combined macro and micro GPS network consists of 15 points. The network has designed to detect shifts of 5 to 10 mm. Sensitivity analysis has conducted by applying a displacement test to the resulted configuration.</i> (Yulaikhah) Keywords: network optimization, GPS, Sermo Fault, baseline, deformation	DDC 526.9 Sutejo (Universitas Gadjah Mada) <i>Evaluation of Digital Terrain Models for Local Geoid Determation</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 1, pp. 9-18</i> <i>This research aims to evaluate the use of several Digital Terrain Models (DTM) data of DEMNAS, 1:25.000 scale Indonesian topographic (RBI) maps of and SRTM30_plus for determination of local geoid model in D.I. Yogyakarta. The results showed the smallest terrain correction value is generated from DTM SRTM30_plus which is 22,196 mGal, while the smallest indirect effect value is generated from DTM of 1:25.000 scale RBI maps, which is equal to 0,272 m.</i> (Sutejo) Keywords: DEMNAS, digital terrain model, geoid, least square collocation
DDC 526.9 Wirawan (CV. Geo Art Science) <i>Performance and Stress Testing to Optimize Open Source WebGIS</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 1, pp. 19-26</i> <i>The research aimed to measure performance and stress levels in WebGIS applications using several criteria. The research used tools which are Pagespeed Insight, GTmetrix, and Webserver stress tools. The result of data processing used Pagespeed insight obtained a score of 78 in the medium class.</i> (Wirawan) Keywords: performace test, stress test, webgis testing, webserver stress tool	DDC 526.8 Arrahman (Universitas Gadjah Mada) <i>Analysis of Object Based Image Classification Capabilities for Detailed Scale Landcover Mapping in Part of Bandar Lampung City</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 1, pp. 27-40</i> <i>This study aims to analyze the ability of Object Based (OB) classification for detailed scale land cover mapping, observed from the resulting accuracy assessment values. Accuracy assessment for OB classification requires an area-based accuracy assessment which assesses both semantic (thematic) and geometric aspect of the mapping results compared to the reference data.</i> (Arrahman) Keywords: area-based accuracy assessment, interpretation, pan-sharperned, segmentation



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 27 No. 1, Mei 2021

DDC 551.456 Andriansyah (Universitas Gadjah Mada) <i>Multi-Level Mapping of Iron Ore by using The Combination of Hyperspectral EO-1 Hyperion Imagery and LANDSAT 8-OLI Multispectral in Progo River, Yogyakarta</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 1, pp. 41-50</i> <i>The study aims to analysis the potential map presence of iron ore deposited around the flow of the Progo River, Yogyakarta by using a combination of hyperspectral and multispectral images of LANDSAT 8-Operational Land Imager (OLI) Image and Earth Observation 1 (EO-1) Hyperion Image.</i> (Andriansyah) Keywords: threshold, iron ore, spectral library, spectral angle mapper	DDC 529.22 Nugraha (Universitas Indonesia) <i>Three-Dimensional Topographic Mapping of Vertical and Overhanging Surface of Coastal Cliffs using UAV-Based LiDAR Dataset</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 1, pp. 51-60</i> <i>The study showcases the practical application of the LiDAR survey using an unmanned aerial vehicle and ground point classification process using the Simple Morphological Filter (SMRF) algorithm to produce high-fidelity, three-dimensional digital contour maps of coastal cliffs.</i> (Nugraha) Keywords: lidar, point cloud, simple morphological filter, ground classification, overhang, cliff modeling
DDC 551.456 Puspita (Universitas Pertahanan) <i>Subsidence Analysis using Dinsar Multitemporal Method and Bougeur Anomaly in Urban Areas</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 1, pp. 61-70</i> <i>The study aims to identify subsidence in the study area uses a remote sensing method of SAR (Synthetic Aperture Radar) radar imagery, which is processed by the DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar) method and analyzed multi-temporal. Combined with the gravity method by estimating the Simple Bougeur Anomaly (SBA) value to determine the subsurface structure in the study area.</i> (Puspita) Keywords: Bougeur anomaly, DInSAR, subsidence, Samarinda	

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Geomatika Volume 27 No. 1 Mei 2021 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, teknologi *Global Navigation Satellite System* (GNSS), penginderaan jauh, sistem informasi geografis, batas wilayah dan lain-lain.

Jurnal Geomatika Volume 27 No. 1 Mei 2021 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari lima karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu, Universitas Gadjah Mada, CV. Geo Art Science, Universitas Indonesia, dan Universitas Pertahanan. Penelitian pertama bertujuan untuk mendesain konfigurasi jaring pemantauan deformasi Sesar Sermo yang optimum berdasarkan kriteria sensitivitas jaringan. Penelitian kedua bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan varian data Digital Terrain Model (DTM) DEMNAS, peta RBI skala 1:25.000, dan SRTM30_plus dalam penentuan model geoid lokal di wilayah D.I. Yogyakarta. Penelitian ketiga untuk mengukur performa dan tingkat stres pada aplikasi WebGIS dengan beberapa kriteria. Penelitian keempat bertujuan untuk menganalisis kemampuan klasifikasi berbasis objek untuk pemetaan penutup lahan skala detil, dilihat dari nilai uji akurasi yang dihasilkan. Penelitian kelima bertujuan untuk memetakan potensi keberadaan bijih besi yang terendapkan di sekitar aliran Sungai Progo, Yogyakarta, dengan menggunakan kombinasi citra hiperspektral dan multispektral. Penelitian keenam untuk menunjukkan aplikasi praktis dari survey LiDAR menggunakan wahana tanpa awak dan proses klasifikasi titik tanah menggunakan algoritma *Simple Morphological*. Penelitian Ketujuh bertujuan untuk mengidentifikasi subsidence di wilayah penelitian dengan menggunakan penginderaan jauh yang memanfaatkan citra radar SAR, yang diolah dengan metode DInSAR dan dianalisis secara multi temporal. 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 Geomatika kedepan. Semoga terbitan ini bermanfaat bagi pembaca.

Cibinong, Mei 2021

Redaksi

DESAIN KONFIGURASI JARING GPS UNTUK PEMANTAUAN DEFORMASI SESAR SERMO

(GPS Network Configuration Design for Deformation Monitoring of Sermo Fault)

Yulaikhah^{1,3}, Subagyo Pramumijoyo², Nurrohmat Widjajanti³, Purnama Budi Santosa³

¹ Ilmu Teknik Geomatika Departemen Teknik Geodesi FT UGM, Indonesia

² Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik UGM, Indonesia

³ Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM, Indonesia

E-mail: yulaikhah@ugm.ac.id

Diterima: 18 November 2020; Direvisi: 23 November 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 28 Januari 2021

ABSTRAK

Jaring pemantauan deformasi Sesar Sermo telah dibangun menyebar sepanjang jalur sesar sebanyak 15 titik. Namun demikian, pada saat pengukuran lapangan dengan menggunakan GPS secara simultan masih terdapat kendala dalam hal ketersediaan alat GPS. Penyediaan alat dalam jumlah banyak tidak mudah untuk dilakukan serta membutuhkan biaya yang besar. Oleh karena itu diperlukan pembuatan desain jaring pemantauan deformasi yang efisien namun tetap sensitif terhadap deformasi yang terjadi. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mendesain konfigurasi jaring pemantauan deformasi Sesar Sermo yang optimum berdasarkan kriteria sensitivitas jaringan. Desain jaringan dilakukan terhadap dua jaring yang berbeda, yaitu jaring GPS makro yang terdiri atas 5 titik, dan jaring GPS makro dan mikro yang terdiri atas 15 titik. Jaringan didesain untuk dapat mendeteksi pergeseran sebesar 5 mm dan 10 mm. Selanjutnya analisis sensitivitas jaring dilakukan dengan uji pergeseran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jaring GPS makro (terdiri 10 *baseline*) belum cukup sensitif untuk mendeteksi pergeseran sebesar 5 mm. Namun untuk mendeteksi deformasi 10 mm, cukup digunakan 4 *baseline* dengan kontribusi yang paling signifikan terhadap sensitivitas jaring. Demikian juga jaring GPS makro dan mikro belum cukup sensitif untuk mendeteksi pergeseran 5 mm pada satu sisi blok sesar. Untuk bisa mendeteksi pergeseran 10 mm cukup dengan 26 *baseline*. Dengan demikian pengukuran tidak perlu dilakukan secara simultan di semua titik. Pengukuran dapat didesain dalam beberapa sesi sehingga jumlah alat GPS yang diperlukan dapat dikurangi dan biaya dapat direduksi.

Kata kunci: Optimasi jaring, GPS, Sesar Sermo, *baseline*, deformasi

ABSTRACT

Sermo Fault deformation monitoring networks have been established along the faults consists of 15-monitoring points. There are obstacles during the simultaneous measurement with GPS, such as the lack of availability of GPS devices as well as the high cost needed for this purpose. Therefore it is necessary to design an efficient deformation monitoring network but remain sensitive to the deformation. This study aims to design the optimum configuration of the Sermo Fault deformation monitoring network based on network sensitivity criteria. The network design is carried out on two different networks, the macro GPS network consisting of five points, and the combined macro and micro GPS network consists of 15 points. The network has designed to detect shifts of 5 to 10 mm. Sensitivity analysis has conducted by applying a displacement test to the resulted configuration. The results show that the macro GPS network (consisting of 10 baselines) is not sensitive enough to detect a 5 mm displacement. However, to detects a 10 mm deformation, only four baselines with the most significant contribution to network sensitivity had used. Likewise, macro and micro GPS networks are not sensitive enough to detect displacement of 5 mm on one side of the fault block. The configuration of 26 baselines is good enough to detect a 10 mm displacement. Therefore, it is suggested that there is no need to carry out simultaneous measurements at all points. Measurements can be designed in several sessions so that the number of GPS devices and costs can be reduced.

Keywords: network optimization, GPS, Sermo Fault, *baseline*, deformation

PENDAHULUAN

Struktur geologi di sekitar Waduk Sermo, Kulon Progo, DI. Yogyakarta menunjukkan adanya sesar utama dengan arah NW-SE melewati Kali Ngrancah dan genangan waduk (Departemen Pekerjaan

Umum, 1996; Widagdo, Paramumijono, Harijoko, & Setiawan, 2016). Sesar ini merupakan sesar *strike-slip* (Widagdo, 2020). Di daerah yang lembab seperti di dekat area genangan waduk, sesar bisa tertutup oleh sedimen tebal di atasnya sehingga ekspresi sesar di permukaan lemah dan

kemungkinan tidak terdeteksi (Marliyani, Arrowsmith, & Whipple, 2016). Keberadaan sesar ini (untuk selanjutnya disebut dengan Sesar Sermo) bisa berpotensi menyebabkan terjadinya deformasi pada tubuh Bendungan Sermo. Untuk keperluan pemantauan deformasi Sesar Sermo, telah dibangun jaring pemantauan sebanyak 15 titik dan terdistribusi menyebar sepanjang sesar. Survei pemantauan deformasi sesar telah dilakukan dengan pengamatan GPS secara simultan pada 15 titik kontrol tersebut (Waljiyanto, Nugroho, Yulaikhah, & Cahyono, 2016). Pengamatan telah dilakukan pada tiga kala yaitu tahun 2016, 2017 dan 2018 (Yulaikhah & Santosa, 2017; Yulaikhah, Waljiyanto, & Santosa, 2018). Teknologi GPS sering digunakan dalam pemantauan deformasi, baik yang bersifat lokal maupun regional, diantaranya pada pemantauan deformasi Pulau Sangehe (Ulinuha et al., 2019) dan Sesar Opak (Widjajanti et al., 2020). Namun demikian, karena pengamatan dilakukan secara simultan maka terdapat kendala yaitu dalam hal penyediaan alat GPS. Tidak mudah untuk menyediakan alat dalam jumlah banyak dan dalam waktu yang bersamaan, sehingga biaya yang dibutuhkanpun menjadi besar. Oleh karena itu, pengamatan berikutnya perlu didesain agar lebih efisien namun tetap memenuhi kriteria presisi dan sensitif terhadap pergerakan yang terjadi.

Secara umum jaring geodesi perlu didesain agar memenuhi kriteria akurasi, kehandalan, dan biaya rendah (Grafarend dan Sanso, 1985; Kuang, 1996; Wu, Tang, dan Chen, 2003). Namun, khusus untuk jaring pemantauan deformasi, harus memenuhi satu kriteria lagi, yaitu sensitif terhadap deformasi yang terjadi (Benzao & Shaorong, 1995; Even-Tzur, 2002). Akurasi menggambarkan kualitas jaring terkait dengan kesalahan acak. Kehandalan menunjukkan kemampuan jaring dalam mendeteksi kesalahan besar.

Dalam desain jaring untuk pemantauan pergerakan sesar perlu mempertimbangkan beberapa parameter, salah satunya adalah geometri patahan. Data dan informasi geologi yang ada perlu dilibatkan untuk mendapatkan jaring yang sensitif. Oleh karena itu Halicioglu & Ozener (2008), mengintegrasikan antara geoscience dan geodesi dalam studi pemantauan deformasi di area sesar aktif Tuzla (Izmir, Turki). Dalam membuat desain jaring geodetik, kondisi geologi daerah penelitian dikaji secara mendalam. Selanjutnya, model sesar satu dimensi dengan dua parameter standard *strike-slip* digunakan dalam desain jaring tersebut.

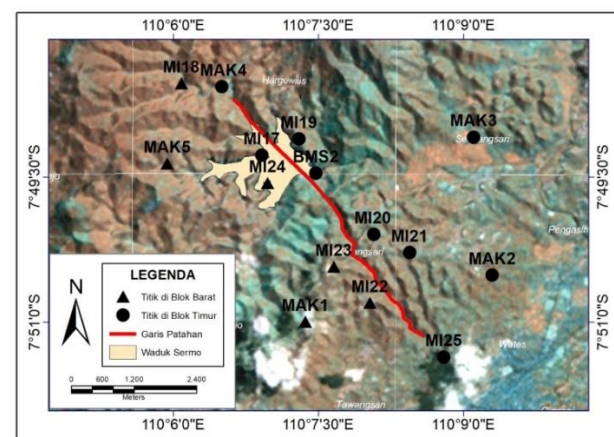
Even-Tzur (2002) telah mengembangkan desain optimasi jaring pemantauan deformasi melalui analisis sensitivitas jaring untuk mendapatkan jaring GPS yang optimum. Pada penelitian Even-Tzur (2002), desain konfigurasi jaring GPS (optimasi jaring) dikembangkan dengan melibatkan parameter-parameter geologi, seperti kecepatan deformasi yang dapat diketahui dari

penelitian sebelumnya dan model deformasi (terkait dengan tipe sesar). Dengan desain tersebut tidak semua *baseline* harus dilakukan pengamatan sehingga biaya survei dapat ditekan. Oleh karena itu, rumusan permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana mengetahui sensitivitas jaring dalam mendeteksi deformasi yang terjadi apabila terdapat pengurangan jumlah *baseline* yang diamati. Penelitian ini bermaksud mendesain konfigurasi jaring GPS untuk pemantauan deformasi Sesar Sermo berdasarkan kriteria sensitivitas. Desain optimasi jaring dilakukan dengan mengadopsi algoritma yang dikembangkan oleh Even-Tzur (2002). Selanjutnya konfigurasi jaring hasil desain diimplementasikan untuk mengevaluasi sensitivitas jaring melalui uji pergeseran.

METODE

Data dan Lokasi

Jaring pemantauan deformasi Sesar Sermo dibangun pada tahun 2015. Pada awalnya hanya terdiri atas 5 titik yang terdistribusi di sekeliling Waduk Sermo namun berjarak agak jauh dari waduk. 5 titik tersebut disebut dengan jaring makro, yang terdiri atas titik MAK1 sampai MAK5. Selanjutnya jaring dikembangkan dengan menambahkan 9 titik di sepanjang sesar dan diberi nama MI17 sampai MI25. Titik BMS2 merupakan Titik Dasar Teknik (TDT) yang sudah ada dan dijadikan sebagai bagian jaring pemantauan. 10 titik tersebut disebut dengan jaring mikro. Distribusi jaring makro dan mikro digambarkan melalui **Gambar 1**. Notasi MAK# dan MI# berturut-turut menunjukkan titik pada jaring makro dan mikro.



Sumber: Yulaikhah, Pramumijoyo, & Widjajanti, (2019)

Gambar 1. Distribusi jaring pemantauan deformasi Sesar Sermo.

Desain Optimasi Jaring Pemantauan Deformasi

Even-Tzur (2002) telah mengembangkan desain optimasi jaring pemantauan deformasi menggunakan kriteria sensitivitas untuk mendapatkan jaring GPS yang optimum. Desain

optimasi jaring GPS dilakukan dengan melibatkan data deformasi yang telah diketahui sebelumnya dan parameter-parameter geologi, seperti kecepatan deformasi yang sudah diketahui dan model deformasi yang terkait dengan tipe sesar.

Dalam analisis deformasi, diperlukan data minimal dua kala, yaitu estimasi koordinat kala 1 ($\hat{x}_1$) dan kala 2 ($\hat{x}_2$), beserta matriks kofaktor masing-masing kala ($Q_{\hat{x}_1}$) dan ($Q_{\hat{x}_2}$). Data dua kala tersebut digunakan untuk menentukan kecepatan deformasi V_x dengan **Persamaan 1:**

$$V_x = \frac{(\hat{x}_2 - \hat{x}_1)}{\Delta t} \dots\dots\dots (1)$$

Dalam hal ini Δt adalah selang waktu antara dua kala. Selanjutnya Even-Tzur (2002) menggunakan parameter tingkat ketidaksimetrisan distribusi F (λ) untuk mengetahui tingkat sensitivitas jaring GPS. Adapun parameter λ diperoleh dengan **Persamaan 2:**

$$\lambda = \frac{V_x^T Q_{V_x} V_x}{\sigma_0^2} \dots\dots\dots (2)$$

Q_{V_x} adalah matriks kofaktor kecepatan deformasi, pada kasus dimana pengukuran dua kala tersebut identik maka Q_{V_x} dinyatakan dengan **Persamaan 3:**

$$Q_{V_x} = \frac{2Q_{\hat{x}}}{(\Delta t)^2} = \frac{2(N)^+}{(\Delta t)^2} \dots\dots\dots (3)$$

Pseudoinvers Q_{V_x} dinyatakan dengan **Persamaan 4:**

$$Q_{V_x}^+ = \left(\frac{2(N)^+}{(\Delta t)^2} \right)^+ = \frac{\Delta t^2}{2} N = \frac{\Delta t^2}{2} (A^T P A) \dots\dots\dots (4)$$

Substitusi **Persamaan 4** ke **Persamaan 2** menghasilkan **Persamaan 5:**

$$\lambda = \frac{\Delta t^2}{2 \sigma_0^2} (V_x^T N V_x) = \frac{\Delta t^2}{2 \sigma_0^2} (V_x^T A^T P A V_x) \dots\dots\dots (5)$$

Pada prinsipnya desain jaring pemantauan deformasi dilakukan untuk mendapatkan konfigurasi jaring yang sensitif terhadap nilai besaran deformasi tertentu. Dengan menambahkan vektor *baseline* GPS, maka dapat meningkatkan sensitivitas jaring yang ditunjukkan dengan peningkatan nilai λ . Optimasi dilakukan dengan mengidentifikasi vektor *baseline* yang mampu memberikan kontribusi terbesar terhadap peningkatan nilai λ .

Analisis sensitivitas jaring GPS dilakukan dengan membandingkan nilai batas λ_0 . Nilai batas tersebut dapat diperoleh dari tabel dengan menggunakan variabel $1-\beta$, tingkat signifikansi α dan derajat kebebasan (Baarda, 1968). Jika nilai $\lambda < \lambda_0$ maka perlu ditambahkan *baseline* baru untuk meningkatkan nilai λ . Penambahan *baseline* dilakukan berulang sampai mencapai nilai $\lambda > \lambda_0$. Apabila p dan a adalah bobot dan matriks koefisien *baseline* baru yang akan ditambahkan (**Persamaan 6**).

$$\bar{N} = (A^T \quad a^T) \begin{pmatrix} P & \\ & p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ a \end{pmatrix}$$

$$\bar{N} = A^T P A + a^T p a = N + \Delta N \dots\dots\dots (6)$$

Dengan demikian nilai λ setelah ditambahkan *baseline* baru sebagaimana **Persamaan 7** dan **Persamaan 8:**

$$\bar{\lambda} = \frac{\Delta t^2}{2 \sigma_0^2} (V_x^T \bar{N} V_x) = \frac{\Delta t^2}{2 \sigma_0^2} (V_x^T (N + \Delta N) V_x)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\Delta t^2}{2 \sigma_0^2} (V_x^T N V_x) + \frac{\Delta t^2}{2 \sigma_0^2} (V_x^T \Delta N V_x) \dots\dots\dots (7)$$

$$\bar{\lambda} = \lambda + \Delta \lambda$$

$$\Delta \lambda = \frac{\Delta t^2}{2 \sigma_0^2} (V_x^T \Delta N V_x) = \frac{\Delta t^2}{2 \sigma_0^2} (V_x^T a^T p a V_x) \dots\dots\dots (8)$$

Dapat dikatakan bahwa nilai $\Delta \lambda$ merupakan kontribusi setiap *baseline* terhadap sensitivitas jaring. Oleh karena itu perhitungan nilai $\Delta \lambda$ dilakukan untuk setiap vektor *baseline*. Selanjutnya dipilih vektor *baseline* dengan nilai $\Delta \lambda$ besar. Jika jumlah akumulasi $\Delta \lambda$ dari beberapa *baseline* ($\sum \Delta \lambda_i$) telah mencapai λ_0 atau lebih, maka dapat dikatakan bahwa jaring tersebut sensitif terhadap deformasi yang terjadi dengan kecepatan tertentu. Pada penelitian ini, desain optimasi jaring dilakukan terhadap dua jaring yang berbeda. Jaring pertama yaitu jaring makro yang terdiri atas lima titik dan jaring kedua menyertakan semua titik pantau yang terdiri atas 15 titik pantau.

Desain Jaring Makro

Langkah pertama yaitu menyusun matriks A dan P untuk setiap *baseline*. Matriks A disusun untuk masing-masing *baseline* dengan asumsi bahwa 1 titik diantara 5 titik pada jaring makro sebagai titik referensi. Dalam hal ini titik MAK2 sebagai titik referensi. Matriks P diperoleh dengan menghitung varian masing-masing komponen *baseline* berdasarkan nilai varian koordinat yang diperoleh dari hasil pengukuran pada tahun 2016 dengan konsep perambatan kesalahan (Ghilani, 2010; Ogundare, 2016). Baik pada jaring makro maupun jaring keseluruhan, sebagian besar komponen *baseline* memiliki ketelitian yang ditunjukkan dengan nilai simpangan baku kurang dari 10 mm, hanya pada *baseline* yang terikat pada titik MI25 simpangan bakunya mencapai 23 mm, hal ini disebabkan karena titik MI25 memiliki ketelitian yang kurang baik.

Selanjutnya kontribusi masing-masing *baseline* terhadap sensitivitas jaring dihitung dengan **Persamaan 8**. Desain perhitungan sensitivitas dilakukan dengan 4 skema, dengan nilai kecepatan deformasi yang berbeda yaitu sebesar 5 mm dan 10 mm, dan dengan 2 macam matriks bobot P yaitu berkorelasi dengan asumsi korelasi sebesar 7% (Even-Tzur, 2002) dan tidak berkorelasi. Dengan demikian matriks kecepatan deformasi merupakan matriks kolom yang terdiri atas 8 baris dengan nilai

setiap elemennya adalah 5 untuk 2 skema pertama dan 10 untuk 2 skema yang kedua. Skema analisis yang dilakukan seperti pada **Tabel 1**.

Semua *baseline* disusun berdasarkan nilai $\Delta\lambda$ dan diurutkan dari yang terbesar. Susunan ini digunakan untuk menentukan *baseline* mana saja yang digunakan. *Baseline* yang memberikan kontribusi besar terhadap sensitivitas jaring yaitu *baseline* yang memberikan peningkatan yang besar terhadap nilai $\bar{\lambda}$ atau dengan kata lain yang memiliki nilai $\Delta\lambda$ besar. Oleh karena itu, *baseline* yang memberikan kontribusi besar dipilih sehingga diperoleh $\Sigma\Delta\lambda_i > \lambda_o$. Nilai batas λ_o ditentukan dengan melihat pada tabel dengan argumen $1-\beta = 0,8$, tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ dan derajat kebebasan $r = 4$. Dengan argumen tersebut diperoleh nilai $\lambda_o = \lambda_{(\alpha, 1-\beta, r, \infty)} = \lambda_{(0,05, 0,8, 4, \infty)} = 12,5$.

Tabel 1. Skema analisis sensitivitas jaring makro.

Skema	Kecepatan Pergeseran (mm)	Matriks Bobot P
1	5	Berkorelasi
2	5	Tidak berkorelasi
3	10	Berkorelasi
4	10	Tidak berkorelasi

Desain Jaring Makro Dan Mikro

Prosedur yang dilakukan tidak berbeda dengan jaring makro. Hanya saja pada jaring ini jumlah titik pantau yang terlibat dalam analisis lebih banyak yaitu sejumlah 15 titik, yang meliputi 5 titik jaring makro dan 10 titik jaring mikro. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengasumsikan bahwa satu sisi blok bergerak relatif terhadap blok lainnya, sehingga titik-titik pantau di sebelah barat yaitu titik MI22, MI23, MI24, MI18, MAK1, dan MAK5 diasumsikan sebagai titik (blok) yang stabil. Desain jaring dibuat dalam dua skema, yaitu dengan asumsi kecepatan pergeseran sebesar 5 dan 10 mm. Nilai batas λ_o ditentukan dengan melihat pada tabel dengan argumen $1-\beta = 0,8$, tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ dan derajat kebebasan $r = 26$. Dengan menggunakan argumen tersebut diperoleh nilai $\lambda_o = \lambda_{(\alpha, 1-\beta, r, \infty)} = \lambda_{(0,05, 0,8, 26, \infty)} = 23,5$.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas jaring seperti yang diuraikan sebelumnya diperoleh konfigurasi jaring GPS dengan *baseline* yang sudah terpilih. Konfigurasi jaring tersebut diimplementasikan dengan memberikan simulasi pergeseran pada titik tertentu. Berbagai variasi pergeseran disimulasikan pada titik pantau yang memiliki kontribusi maksimal dan minimal. Selanjutnya uji pergeseran dilakukan dengan uji statistic. Nilai uji statistik dihitung dengan **Persamaan 9**.

$$H_0: V_x = 0$$

$$H_a: V_x \neq 0$$

$$t = \frac{V_x^T Q_{Vx}^{-1} V_x}{r \sigma_0^2} \sim F_{r, \infty} \dots \dots \dots (9)$$

Dalam hal ini r adalah derajat kebebasan, σ_0^2 adalah varian apriori, V_x adalah kecepatan pergeseran dan Q_{Vx}^{-1} adalah *pseudoinvers* dari matriks kofaktor kecepatan yang bisa diperoleh dengan **Persamaan 4**. Jika $t \geq F_{r, \infty}$ maka H_0 ditolak. Hal ini mengindikasikan bahwa adanya pergeseran jaring, paling tidak terdapat satu titik terdeteksi mengalami pergeseran secara signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Optimasi Jaring Pemantauan Deformasi

Untuk jaring makro, analisis sensitivitas dilakukan dengan membuat 4 skema seperti pada **Tabel 1**. Hasil perhitungan kontribusi setiap *baseline* yang ditunjukkan dengan nilai λ pada skema 1 dan skema 2 dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Sepuluh *baseline* dengan kontribusinya terhadap sensitivitas jaring (kecepatan pergeseran 5 mm).

		Skema 1		Skema 2	
<i>Baseline</i>		$\Delta\lambda$	$\Sigma\Delta\lambda$	$\Delta\lambda$	$\Sigma\Delta\lambda$
MAK2	MAK3	1,4975	1,4975	1,6038	1,6038
MAK2	MAK4	1,2271	2,7246	1,3172	2,9210
MAK1	MAK2	1,0531	3,7777	1,1292	4,0502
MAK2	MAK5	0,8298	4,6075	0,8906	4,9407
MAK1	MAK3	0,0000	4,6075	0,0000	4,9407
MAK1	MAK4	0,0000	4,6075	0,0000	4,9407
MAK1	MAK5	0,0000	4,6075	0,0000	4,9407
MAK3	MAK4	0,0000	4,6075	0,0000	4,9407
MAK3	MAK5	0,0000	4,6075	0,0000	4,9407
MAK4	MAK5	0,0000	4,6075	0,0000	4,9407

Meskipun Maisyaroh (2019) mengatakan bahwa bobot berpengaruh terhadap sensitivitas jaring, namun berdasarkan **Tabel 2** dapat dilihat bahwa penggunaan korelasi 0,7 pada matriks bobot hanya meningkatkan sedikit nilai $\Sigma\Delta\lambda$ dan tidak berpengaruh terhadap jumlah *baseline* yang dihasilkan. Dengan kata lain, korelasi pada matriks bobot tidak berpengaruh terhadap konfigurasi jaring yang dihasilkan pada jaring makro ini. Korelasi juga tidak berpengaruh terhadap sensitivitas jaring (Yulaikhah & Santosa, 2018). Kedua skema ini menggunakan kecepatan pergeseran sebesar 5 mm menghasilkan nilai $\Sigma\Delta\lambda$ kurang dari 5. Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan standar $\lambda_o = 12,5$. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa jaring GPS makro dengan melibatkan semua (10) *baseline* tidak sensitif terhadap pergeseran 5 mm. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh ketelitian komponen *baseline* yang dalam skema ini berkisar 3 mm sampai 6 mm.

Pengaruh ketelitian komponen *baseline* terlihat lebih jelas pada desain jaring gabungan makro dan mikro yang dijelaskan berikutnya. Terlihat pula pada *baseline* kelima sampai kesepuluh memiliki

nilai $\Delta\lambda = 0$. Hal ini sangat menarik, mengingat keenam *baseline* tersebut menghubungkan antar dua titik pantau dan tidak terikat langsung dengan titik referensi, dalam hal ini titik 2 diasumsikan sebagai titik referensi (Yulaikhah & Santosa, 2018). *Baseline* yang menghubungkan antara dua titik pantau tidak berkontribusi terhadap sensitivitas jaring disebabkan karena asumsi yang digunakan, yaitu pergeseran diasumsikan sama besar untuk semua titik sehingga seolah-olah titik-titik pantau bergerak dengan besar dan arah yang sama dalam satu blok. Informasi awal yang lebih detil, misalnya prediksi pergeseran tiap titik, sangat penting dan diperlukan untuk memberikan hasil analisis yang lebih realistis (Yulaikhah et al., 2019). **Tabel 3** menunjukkan hasil perhitungan nilai $\Delta\lambda$ pada skema 3 dan 4, dimana kedua skema ini menggunakan nilai kecepatan pergeseran yang diasumsikan sebesar 10 mm.

Tabel 3. Sepuluh *baseline* dengan kontribusinya terhadap sensitivitas jaring (kecepatan pergeseran 10 mm).

		Skema 3		Skema 4	
<i>Baseline</i>		$\Delta\lambda$	$\Sigma\Delta\lambda$	$\Delta\lambda$	$\Sigma\Delta\lambda$
MAK2	MAK3	5,9898	5,9898	6,4152	6,4152
MAK2	MAK4	4,9086	10,8984	5,2687	11,6839
MAK1	MAK2	4,2123	15,1107	4,5167	16,2006
MAK2	MAK5	3,3192	18,4299	3,5623	19,7629
MAK1	MAK3	0,0000	18,4299	0,0000	19,7629
MAK1	MAK4	0,0000	18,4299	0,0000	19,7629
MAK1	MAK5	0,0000	18,4299	0,0000	19,7629
MAK3	MAK4	0,0000	18,4299	0,0000	19,7629
MAK3	MAK5	0,0000	18,4299	0,0000	19,7629
MAK4	MAK5	0,0000	18,4299	0,0000	19,7629

Meskipun nilai $\Delta\lambda$ yang dihasilkan berbeda dengan 2 skema sebelumnya, namun secara garis besar memiliki pola yang sama, yaitu 6 *baseline* yang tidak berkaitan langsung dengan titik referensi menghasilkan nilai $\Delta\lambda = 0$. Adapun nilai $\Delta\lambda$ yang dihasilkan 4 *baseline* lainnya relatif lebih besar dibandingkan dengan hasil skema 1 dan 2. Tabel tersebut juga menunjukkan bahwa dari 3 *baseline* pertama menghasilkan nilai total $\Sigma\Delta\lambda > 12,5$ sehingga dapat dikatakan jaring GPS dengan 3 *baseline* tersebut sudah cukup sensitif. Namun demikian mengingat jumlah titik pengamatan ada 4, maka dengan 3 *baseline* tersebut tidak dapat diperoleh solusi, oleh karena itu perlu digunakan minimal 4 *baseline*.

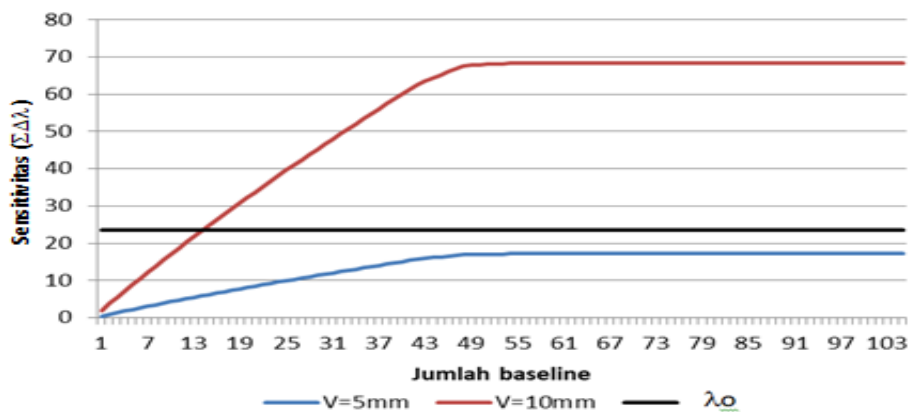
Keseluruhan jaring makro dan mikro yang meliputi 105 *baseline*. Hasil perhitungan kontribusi masing-masing *baseline* tidak ditampilkan secara lengkap, namun 20 *baseline* pertama yang memiliki

kontribusi terbesar disajikan pada **Tabel 4**. Mengingat pada desain jaring makro korelasi pada matriks bobot tidak berpengaruh terhadap hasil konfigurasi, maka pada desain gabungan mikro dan makro ini matriks bobot diasumsikan tidak berkorelasi. Dalam desain ini juga digunakan asumsi bahwa satu sisi blok bergerak relatif terhadap blok lainnya, sehingga titik-titik pantau di sebelah barat yaitu titik MI22, MI23, MI24, MI18, MAK1, dan MAK5 diasumsikan sebagai titik (blok) yang stabil.

Tabel 4 menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pergeseran dari 5 mm menjadi 10 mm membuat nilai $\Delta\lambda$ juga meningkat, namun demikian tidak merubah urutan *baseline*. *Baseline* paling besar kontribusinya yaitu *baseline* 5 (MAK1-BMS2), sedangkan yang paling kecil yaitu *baseline* 60 (MAK5-MI25), dan 102 (MI22-MI25). Meskipun titik yang berketelitian tinggi tidak selalu memiliki kontribusi yang besar terhadap sensitivitas jaring atau sebaliknya (Benzao & Shaorong, 1995), pada kenyataannya dalam jaring ini yaitu pada titik MI25 memiliki ketelitian paling rendah.

Sama halnya dengan jaring makro, pada jaring ini *baseline* yang menghubungkan dua titik referensi atau dua titik pantau memiliki nilai $\Delta\lambda = 0$, dengan kata lain tidak berkontribusi terhadap sensitivitas jaring. Dengan demikian untuk efisiensi dalam pelaksanaan pengamatan di lapangan, pengabaian *baseline* tersebut tidak mengurangi sensitivitas jaring. **Gambar 2** menunjukkan nilai akumulasi sensitivitas 105 *baseline* untuk kecepatan pergeseran 5 mm dan 10 mm. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa sensitivitas jaring meningkat berbanding lurus dengan peningkatan jumlah *baseline* yang digunakan. Sampai dengan *baseline* ke-54, tingkat sensitivitas jaring meningkat hingga mencapai $\Sigma\Delta\lambda = 17,1$ dan $\Sigma\Delta\lambda = 68,2$ untuk kecepatan pergeseran 5 mm dan 10 mm. Penambahan *baseline* ke-55 sampai 105 tidak menambah sensitivitas jaring.

Nilai batas λ_0 ditentukan dengan melihat pada tabel dengan argumen $1-\beta = 0,8$, tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$ dan derajat kebebasan $r = 26$. Dengan menggunakan argumen tersebut diperoleh nilai $\lambda_0 = \lambda_{(\alpha, 1-\beta, r, \infty)} = \lambda_{(0,05, 0,8, 26, \infty)} = 23.5$. Dengan tingkat sensitivitas $\Sigma\Delta\lambda = 17,1$, lebih kecil dibandingkan nilai λ_0 , maka dapat dikatakan bahwa jaring ini belum cukup sensitif terhadap pergeseran sebesar 5 mm pada satu sisi blok meskipun semua *baseline* digunakan, namun untuk mendeteksi pergeseran 10 mm cukup digunakan 15 *baseline* terbesar kontribusinya. *Baseline* tersebut seperti pada **Tabel 4**.



Gambar 2. Sensitivitas jaring mikro dan makro.

Tabel 4. Dua puluh *baseline* pertama dengan kontribusi terbesar terhadap sensitivitas jaring.

Kecepatan Pergeseran 5 mm						Kecepatan Pergeseran 10 mm					
NO	<i>Baseline</i>		$\Delta\lambda$	$\Sigma\Delta\lambda$		NO	<i>Baseline</i>		$\Delta\lambda$	$\Sigma\Delta\lambda$	
1	MAK1	BMS2	5	0,4764	0,4764	1	MAK1	BMS2	5	1.8963	1.8963
2	BMS2	MI24	68	0,4749	0,9513	2	BMS2	MI24	68	1.8901	3.7865
3	BMS2	MI18	62	0,4337	1,3850	3	BMS2	MI18	62	1.7264	5.5129
4	BMS2	MI23	67	0,4255	1,8105	4	BMS2	MI23	67	1.6938	7.2066
5	MAK1	MAK3	2	0,4182	2,2287	5	MAK1	MAK3	2	1.6645	8.8712
6	MAK3	MI24	38	0,4170	2,6457	6	MAK3	MI24	38	1.6597	10.5309
7	MAK1	MAK2	1	0,4117	3,0574	7	MAK1	MAK2	1	1.6386	12.1695
8	MAK2	MI24	26	0,4105	3,4679	8	MAK2	MI24	26	1.6340	13.8035
9	BMS2	MI22	66	0,4085	3,8763	9	BMS2	MI22	66	1.6258	15.4293
10	MAK1	MAK4	3	0,4016	4,2779	10	MAK1	MAK4	3	1.5984	17.0277
11	MAK4	MI24	49	0,4005	4,6784	11	MAK4	MI24	49	1.5940	18.6218
12	MAK5	BMS2	51	0,3899	5,0682	12	MAK5	BMS2	51	1.5519	20.1736
13	MAK1	MI21	10	0,3881	5,4564	13	MAK1	MI21	10	1.5449	21.7185
14	MI21	MI24	98	0,3871	5,8434	14	MI21	MI24	98	1.5408	23.2593
15	MAK3	MI18	32	0,3849	6,2284	15	MAK3	MI18	32	1.5321	24.7914
16	MAK2	MI18	20	0,3794	6,6078	16	MAK2	MI18	20	1.5101	26.3016
17	MAK3	MI23	37	0,3785	6,9862	17	MAK3	MI23	37	1.5064	27.8079
18	MAK2	MI23	25	0,3731	7,3593	18	MAK2	MI23	25	1.4851	29.2931
19	MAK4	MI18	43	0,3708	7,7301	19	MAK4	MI18	43	1.4760	30.7690
20	MAK1	MI17	6	0,3708	8,1009	20	MAK1	MI17	6	1.4758	32.2448

Uji Pergeseran Jaring Pemantauan Deformasi

Uji pergeseran diterapkan terhadap konfigurasi jaring hasil desain seperti dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Skema uji pergeseran seperti pada **Tabel 5.** Skema 1 menggunakan semua *baseline* pada jaring makro untuk mengetahui berapa pergeseran yang dapat terdeteksi. Meskipun berdasarkan hasil desain, jaring makro cukup sensitif mendeteksi pergeseran 10 mm hanya dengan menggunakan tiga *baseline*, dalam uji pergeseran digunakan empat *baseline* agar tercapai penyelesaian estimasi 4 titik. Demikian juga pada skema 4, meskipun desain jaring gabungan makro dan mikro dapat mendeteksi pergeseran 10 mm cukup dengan menggunakan 15 *baseline*, namun dari 15 *baseline* terpilih tidak ada *baseline* yang

menghubungkan ke titik MI17, MI19, MI20, MI21, dan MI25, oleh karena itu dalam uji pergeseran ditambahkan 5 *baseline* yang menghubungkan kelima titik tersebut.

Tabel 5. Skema uji pergeseran.

Skema	Desain Jaring	Jumlah <i>Baseline</i>
Skema 1	Makro	10
Skema 2	Makro	4
Skema 3	Makro dan mikro	105
Skema 4	Makro dan mikro	20

Hasil Uji Pergeseran Jaring Makro

Uji pergeseran dilakukan dengan mensimulasikan berbagai nilai kecepatan pergeseran pada 1 titik atau lebih. Hasilnya menunjukkan bahwa jaring makro dengan konfigurasi 10 *baseline* memang tidak sensitif terhadap kecepatan pergeseran sebesar 5 mm pada titik manapun, bahkan di semua titik. Konfigurasi jaring ini baru mampu mendeteksi pergeseran sebesar 8 mm pada titik MAK3, atau 10 mm pada titik MAK5, atau 7 mm pada kedua titik MAK3 dan MAK5 sekaligus. Titik MAK3 memiliki *baseline* yang berkontribusi terbesar sedangkan titik MAK5 memiliki *baseline* dengan kontribusi terkecil. Terbukti bahwa *baseline* yang berkontribusi besar lebih sensitif dibandingkan dengan *baseline* berkontribusi kecil.

Jaring makro dengan konfigurasi 4 *baseline* yang diharapkan mampu mendeteksi pergeseran 10 mm ternyata baru mampu mendeteksi pergeseran 15 mm di titik MAK3, atau 19 mm di titik MAK5, atau 12 mm di kedua titik tersebut. Jumlah titik ikat yang hanya 1 dan konfigurasi jaring yang berbentuk radial dimungkinkan menjadi salah satu faktor penyebabnya, namun demikian jaring ini mampu mendeteksi pergeseran 8 mm yang disimulasikan ke semua titik pantau. Ringkasan hasil uji pergeseran pada jaring makro seperti pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil uji pergeseran pada jaring makro.

Letak Pergeseran	Pergeseran Minimum Terdeteksi (mm)	
	Konfigurasi 10 <i>Baseline</i>	Konfigurasi 4 <i>Baseline</i>
MAK3	8	15
MAK5	10	19
MAK3 dan MAK5	7	12
Semua titik makro	8	8

Hasil Uji Pergeseran Jaring Makro Dan Mikro

Jaring ini terdiri atas 15 titik dan dapat membentuk maksimal 105 *baseline*. Simulasi pergeseran diberikan pada setiap titik pantau yang berada di sisi timur sesar. Ringkasan hasil uji pergeseran seperti terlihat pada **Tabel 7**. Jaring dengan konfigurasi 105 *baseline* tidak sensitif terhadap pergeseran 5 mm, dimanapun letaknya. Hal ini terbukti berdasarkan **Tabel 7**, dimana konfigurasi jaring ini mendeteksi pergeseran minimum 13 mm di titik BMS2 dan pergeseran lebih besar lagi di titik lainnya. Adapun konfigurasi jaring dengan 20 *baseline*, yang diharapkan mampu mendeteksi pergeseran 10 mm, pada kenyataannya hanya mampu mendeteksi minimum 12 mm pergeseran di semua titik kecuali MI25. Untuk dapat mendeteksi pergeseran 10 mm konfigurasi jaring 20 *baseline* perlu ditambahkan 6 *baseline* pada urutan berikutnya sehingga total 26 *baseline*. Dengan

demikian pada pengukuran di lapangan tidak perlu dilakukan secara simultan di semua titik. Pengukuran dapat didesain dalam beberapa sesi sehingga jumlah alat yang diperlukan dapat dikurangi dan biaya dapat direduksi.

Tabel 7. Hasil uji pergeseran pada jaring makro dan mikro.

Letak Pergeseran	Pergeseran Minimum Terdeteksi (mm)	
	Konfigurasi 105 <i>Baseline</i>	Konfigurasi 20 <i>Baseline</i>
BMS2	13	20
MAK2	14	35
MAK3	14	29
MAK4	14	35
MI17	14	52
MI19	18	66
MI20	14	52
MI21	14	30
MI25	33	206
Semua titik di blok timur (kecuali MI25)	8	12

Baik jaring dengan konfigurasi 105 maupun 20 *baseline* tidak cukup sensitif untuk mendeteksi pergeseran di titik MI25, pergeseran sebesar 33 bahkan 206 mm baru bisa terdeteksi. Hal ini dimungkinkan berkaitan dengan ketelitian titik, mengingat ketelitian titik MI25 paling rendah dibandingkan titik lainnya. Sementara bobot *baseline* diturunkan dari ketelitian koordinat titik menggunakan perambatan kesalahan. *Baseline* yang menghubungkan titik ini juga memiliki kontribusi kecil sehingga pengabaian *baseline* ini tidak begitu mempengaruhi hasil desain optimasi.

KESIMPULAN

Jaring GPS yang terdiri atas 15 titik telah dibangun di sekitar Waduk Sermo. Jaring ini terdistribusi menyebar di sepanjang Sesar Sermo dan dibangun untuk keperluan pemantauan deformasi sesar tersebut. Survei pemantauan deformasi telah dilakukan melalui pengamatan GPS sebanyak 3 kala. Pengamatan dilakukan secara simultan pada 15 titik kontrol tersebut sehingga dibutuhkan alat GPS yang cukup banyak jumlahnya dan memakan biaya yang tidak sedikit. Dengan didesain yang lebih baik, diharapkan pada pengamatan kala berikutnya biaya dapat ditekan namun tetap diperoleh konfigurasi jaring yang sensitif terhadap pergeseran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jaring makro dengan konfigurasi 10 *baseline* tidak cukup sensitif terhadap pergeseran 5 mm. Hal ini dibuktikan dari hasil uji pergeseran bahwa konfigurasi ini baru bisa mendeteksi pergeseran minimal 8 mm di titik MAK3 atau di semua titik makro. Demikian juga jaring makro dengan konfigurasi 4 *baseline* yang didesain untuk dapat mendeteksi 10 mm pergeseran terbukti dapat mendeteksi pergeseran 8 mm di semua titik.

Adapun jaring makro dan mikro dengan konfigurasi 105 *baseline* juga tidak cukup sensitif terhadap pergeseran 5 mm. Jaring dengan konfigurasi 20 *baseline* hanya mampu mendeteksi pergeseran 12 mm di titik blok timur. Untuk bisa mendeteksi pergeseran 10 mm perlu ditambahkan 6 *baseline* lagi. Dengan demikian pada pengukuran di lapangan tidak perlu dilakukan pengukuran secara simultan di semua titik. Pengukuran dapat didesain dalam beberapa sesi sehingga jumlah alat yang diperlukan dapat dikurangi dan biaya dapat direduksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terselenggara dengan sumber pendanaan dari Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM. Terimakasih kepada Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM atas pendanaan, sarana, dan prasarana yang mendukung lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Baarda, W. (1968). *A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks. Publications on Geodesy* (New Series, Vol. 2). Netherlands Geodetic Commission: Publ Geodesy.
- Benzao, T., & Shaorong, Z. (1995). Optimal Design of Monitoring Networks with Prior Deformation Information. *Survey Review*, 33(258), 231–246. <https://doi.org/10.1179/sre.1995.33.258.231>
- Departemen Pekerjaan Umum. (1996). *Laporan Kajian Pelaksanaan Pembangunan Waduk Sermo*. Yogyakarta.
- Even-Tzur, G. (2002). GPS Vector Configuration Design for Monitoring Deformation Networks. *Journal of Geodesy*, 76(8), 455–461. <https://doi.org/10.1007/s00190-002-0274-5>
- Ghilani, C. D. (2010). *Adjustment Computation Spatial Data Analysis* (Fifth). New Jersey: John Wiley & Son, Inc.
- Grafarend, E. W., & Sanso, F. (1985). *Optimization and Design of Geodetic Networks*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Halicioglu, K., & Ozener, H. (2008). Geodetic Network Design and Optimization on the Active Tuzla Fault (Izmir, Turkey) for Disaster Management. *Sensors*, 8(8), 4742–4757. <https://doi.org/10.3390/s8084742>
- Kuang, S. (1996). *Geodetic Network Analysis and Optimal Design Concept and Applications*. Michigan: Ann Arbor Press. Inc.
- Maisyaroh, F. A. (2019). *Pengaruh Bobot terhadap Jaring Pemantauan Deformasi*. Skripsi. Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Marliyani, G. I., Arrowsmith, J. R., & Whipple, K. X. (2016). Characterization of Slow Slip Rate Faults in Humid Areas: Cimandiri Fault Zone, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 121(12), 2287–2308. <https://doi.org/10.1002/2016JF003846>
- Ogundare, J. O. (2016). *Precision Surveying the Principles and Geomatics Practice*. New Jersey: John Wiley & Son, Inc.
- Ulinnuha, H., Lestari, D., Heliani, L. S., Widjajanti, N., Pratama, C., Parseno, & Nugroho, K. F. (2019). GPS Technology Implementation for Sangihe Islands ' Movement Monitoring in 2017-2019. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 2(2), 206–211. Retrieved from <https://jurnal.ugm.ac.id/jgise/article/view/51033>
- Waljiyanto, Nugroho, P., Yulaikhah, & Cahyono, B. K. (2016). *Mitigasi Bencana Bendungan Sermo melalui Pemantauan Sedimentasi dan Deformasi Menggunakan Teknologi Satelit GPS*. Laporan Penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Widagdo, A. (2020). *Perkembangan Struktur Geologi pada Batuan Berumur Paleogen hingga Neogen di Pegunungan Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah*. Disertasi, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Widagdo, A., Paramumijono, S., Harijoko, A., & Setiawan, A. (2016). Kajian Pendahuluan Kontrol Struktur Geologi terhadap Sebaran Batuan-batuan di Daerah Pegunungan Kulonprogo Yogyakarta. In *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke-9*. Yogyakarta.
- Widjajanti, N., Pratama, C., Parseno, Sunantyo, T. A., Heliani, L. S., Ma'ruf, B., ... Ummi, R. F. (2020). Present-day Crustal Deformation Revealed Active Tectonics in Yogyakarta , Indonesia Inferred from GPS Observations. *Geodesy and Geodynamics*, 11, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.02.001>
- Wu, J., Tang, C., & Chen, Y. Q. (2003). First-order Optimization for GPS Crustal Deformation Monitoring. In *Proceedings of the 7th South East Asian Surveying Congress, Hong Kong, China, 3-7 November* (pp. 1–11). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228757510_First-order_Optimization_for_GPS_Crustal_Deformation_Monitoring/citations
- Yulaikhah, Pramumijoyo, S., & Widjajanti, N. (2019). The Effect of Baseline Component Correlation on the Design of GNSS Network Configuration for Sermo Reservoir Deformation Monitoring. *Indonesian Journal of Geography*, 51(2), 199–205.
- Yulaikhah, & Santosa, P. B. (2017). *Realisasi Pengukuran Jaring Pemantauan Deformasi Sesar Sermo Kala Kedua Menggunakan Teknologi GNSS*. penelitian, Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yulaikhah, & Santosa, P. B. (2018). Analisis Sensitifitas Jaring GPS untuk Keperluan Pemantauan Deformasi. In *Forum Ilmiah Tahunan Ikatan Surveyor Indonesia 2018* (pp. 258–262). Padang. Retrieved from <http://www.isi.or.id/papermakalah/>
- Yulaikhah, Waljiyanto, & Santosa, P. B. (2018). *Implementasi Desain Konfigurasi Jaring GPS pada Pemantauan Sesar Sermo*. Laporan Penelitian, Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

EVALUASI VARIAN DATA MODEL TERRAIN DIGITAL DALAM PENENTUAN MODEL GEOID LOKAL

Studi kasus: D.I. Yogyakarta

*(Evaluation of Digital Terrain Models for Local Geoid Determination
a Case Study in D.I. Yogyakarta Province, Indonesia)*

Fajar Sutejo, dan Leni Sophia Heliani

Departemen Teknik Geodesi FT-UGM, Indonesia

Jl. Grafika No.2, Sleman, Yogyakarta 55281

E-mail: lheliani@ugm.ac.id

Diterima: 7 Agustus 2020; Direvisi: 26 April 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 18 Mei 2021

ABSTRAK

Penentuan model geoid lokal teliti membutuhkan data topografi beresolusi tinggi sebagai representasi kondisi topografi. Sejak Juli 2018, Indonesia telah merilis model topografi mosaik (*seamless*) mencakup seluruh wilayah Indonesia dengan resolusi spasial mencapai 0,27 arcsec, yaitu DEM Nasional (DEMNAS). DEMNAS dibangun dengan mengkombinasikan berbagai sumber data RADAR serta data *masspoint* hasil stereo-plotting. DEMNAS diklaim dapat menggantikan penggunaan DEM SRTM maupun peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dalam berbagai keperluan, salah satunya dalam penentuan model geoid lokal. Akan tetapi, pemanfaatan DEMNAS dalam penentuan model geoid lokal belum diuji. Penentuan model geoid lokal pada studi ini menggunakan metode *Least Square Collocation* (LSC). Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan varian data Digital Terrain Model (DTM) DEMNAS, peta RBI skala 1:25.000, dan SRTM30_plus dalam penentuan model geoid lokal di wilayah D.I. Yogyakarta. Hasil pemodelan geoid lokal menunjukkan bahwa nilai koreksi *terrain* terkecil dihasilkan dari DTM SRTM30_plus yaitu sebesar 22,196 mGal, sedangkan nilai *indirect effect* terkecil dihasilkan dari DTM peta RBI skala 1:25.000, yaitu sebesar 0,272 m. Ketelitian tertinggi undulasi geoid lokal D.I. Yogyakarta dihasilkan dari DTM peta RBI skala 1:25.000 dengan nilai simpangan baku sebesar 0,440 m. Penelitian ini menunjukkan bahwa DTM yang paling optimal digunakan untuk pemodelan geoid lokal D.I. Yogyakarta adalah peta RBI skala 1:25.000. Namun, penggunaan DTM peta RBI skala 1:25.000, DEMNAS, dan SRTM30_plus untuk pemodelan geoid lokal menunjukkan hasil ketelitian yang tidak berbeda secara signifikan.

Kata kunci: DEMNAS, *digital terrain model* (DTM), geoid, *least square collocation* (LSC)

ABSTRACT

The determination of a precise local geoid model requires high-resolution of topographic data that representing terrain conditions. Since July 2018, Indonesia has released a seamless topographic model covering all regions of Indonesia built by several RADAR data sources, with a spatial resolution of 0,27 arcsec, namely DEM Nasional (DEMNAS). DEMNAS has been considered being able to replace SRTM DEM and RBI map uses for various purposes, one of them is determining local geoid models. However, the use of DEMNAS for determining local geoid models has not been evaluated. The determination of the local geoid model was done using Least Square Collocation (LSC) method. This research aims to evaluate the use of several Digital Terrain Models (DTM) data of DEMNAS, 1:25.000 scale Indonesian topographic (RBI) maps of and SRTM30_plus for determination of local geoid model in D.I. Yogyakarta. The results showed the smallest terrain correction value is generated from DTM SRTM30_plus which is 22,196 mGal, while the smallest indirect effect value is generated from DTM of 1: 25.000 scale RBI maps, which is equal to 0,272 m. The highest accuracy of local geoid undulation D.I. Yogyakarta is generated from the DTM RBI maps with a standard deviation of 0,440 m. This research shows that the most optimal DTM for local geoid modeling D.I. Yogyakarta is a 1: 25,000 scale RBI map. However, the usage of DTM's of 1:25.000 scale RBI maps, DEMNAS, and SRTM30_plus for local geoid modeling showed accuracy results that were not significantly different.

Keywords: DEMNAS, *digital terrain model* (DTM), geoid, *least square collocation* (LSC)

PENDAHULUAN

Geoid merupakan bidang ekuipotensial gayabarat bumi yang berimpit dengan permukaan air laut global/tidak terganggu (Heiskanen & Moritz,

1967). Geoid adalah model fisis bumi yang berfungsi sebagai bidang referensi tinggi paling realistis dan ideal. Seiring dengan perkembangan teknologi survey dan pemetaan, pemanfaatan teknologi GNSS banyak digunakan dalam

penentuan posisi, karena dapat dimanfaatkan untuk memperoleh posisi terutama data tinggi secara cepat dan mudah. Namun tinggi yang diperoleh tidak terealisasi secara fisis karena menggunakan elipsoid sebagai bidang referensi, sehingga peran geoid menjadi sangat penting dalam penentuan data tinggi.

Geoid tersusun dari tiga komponen gelombang signal, yaitu (1) komponen gelombang panjang, yang mengandung informasi potensial secara global yang mana dapat diturunkan dari satelit gravimetry; (2) komponen gelombang medium, yang terdiri dari informasi potensial secara regional dengan data bersumber dari data gravimetrik; dan (3) komponen gelombang pendek, yang terdiri dari informasi potensial secara lokal, dengan data diturunkan dari model topografi (Vaniček & Christou, 1993). Ketiga komponen diatas memberikan kontribusi terhadap kepresisian dan ketelitian model geoid.

Sejak SRGI2013 ditetapkan sebagai sistem referensi Indonesia, dengan geoid sebagai referensi vertikal nasional (PerKa BIG 15/2013), permodelan geoid untuk wilayah Indonesia telah dilakukan. Permodelan geoid teliti mensyaratkan ketersediaan data model geopotensial global, data gaya berat gravimetrik, dan model topografi yang melingkupi seluruh permukaan bumi dan terdistribusi merata. Kini ketersediaan data gaya berat telah melingkupi hampir seluruh wilayah Indonesia. Sejak Juli 2018, Badan Informasi Geospasial telah merilis secara resmi model elevasi digital yang mencakup seluruh wilayah Indonesia, yaitu Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS). DEMNAS bersifat *open access* dan dapat diunduh melalui laman website Badan Informasi Geospasial (BIG). DEM Nasional dibangun dari berbagai sumber data meliputi data IFSAR (resolusi 5m), Terrasar-X (resolusi 5m) dan ALOS PALSAR (resolusi 11,25m), dengan menambahkan data *Masspoint* hasil stereo-plotting. Resolusi spasial DEMNAS adalah 0,27-arcsecond (8,25 m), dengan menggunakan datum vertikal EGM2008 (<http://tides.big.go.id/DEMNAS/#Info>). Selain DEMNAS, terdapat produk model topografi *open access* lainnya, diantaranya model topografi yang bersumber dari *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), dan model topografi yang bersumber dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI).

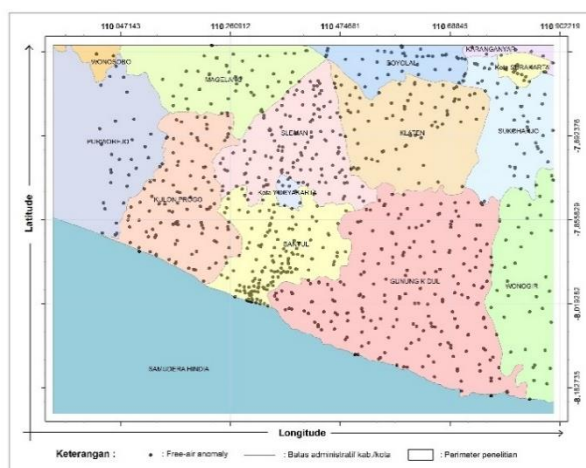
Model topografi yang merepresentasikan topografi lokal pada suatu wilayah memberikan efek topografi terhadap nilai gayaberatnya, sehingga secara tidak langsung mempengaruhi ketelitian model geoid (Forsberg, 1984). Pemilihan model topografi (DTM) yang sesuai untuk keperluan penentuan model geoid lokal, akan memberikan ketelitian yang berbeda-beda pada tiap varian data DTM yang digunakan terhadap model geoid yang dihasilkan. Hal ini juga berdampak pada pendefinisian referensi sistem tinggi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Triarahmadhana, (2014), peta RBI memberikan

ketelitian undulasi geoid yang lebih baik (0,127 m) daripada SRTM (0,128 m). (Darmansyah, 2017) dalam penelitiannya di Wilayah Kerja PT. Pertamina Asset 4 Cepu menyatakan bahwa DTM SRTM30_plus menghasilkan ketelitian undulasi yang lebih baik (0,4381 m). Selain itu, Fackhrudin, (2019) melakukan penelitian untuk menentukan akurasi vertikal DEM DEMNAS, SRTM dan TerraSAR-X pada wilayah Kab. Bandung. Namun demikian, analisis dan evaluasi penggunaan varian data DTM DEMNAS, peta RBI skala 1:25.000, dan SRTM30_plus dalam penentuan model geoid lokal belum dilakukan. Penggunaan varian data DTM DEMNAS, peta RBI skala 1:25.000 dan SRTM30_plus dalam pemodelan geoid lokal yang teliti perlu dilakukan analisis dan evaluasi, hal ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan DTM yang optimal dalam penentuan model geoid lokal.

METODE

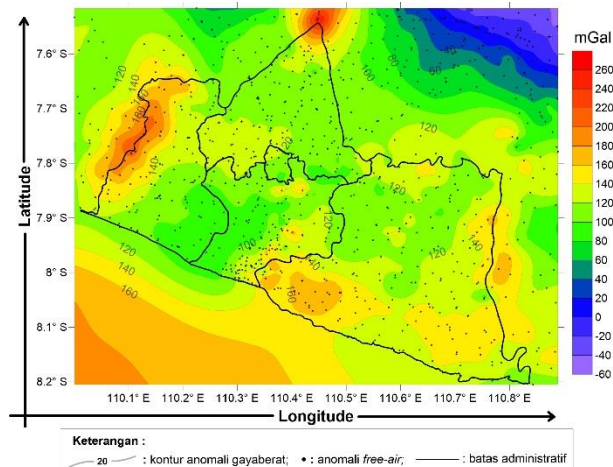
Lokasi penelitian berada pada wilayah D.I. Yogyakarta dengan batas koordinat $7^{\circ} 33' \text{ LS} - 8^{\circ} 12' \text{ LS}$ dan $110^{\circ} 00' \text{ BT} - 110^{\circ} 50' \text{ BT}$. D.I. Yogyakarta dinilai sebagai wilayah dengan variasi topografi wilayah yang cukup tinggi. Sebagian besar wilayah D.I. Yogyakarta memiliki variasi topografi berupa wilayah Gunung berapi, perbukitan, daerah landai, dan laut. Berdasarkan penentuan lokasi penelitian, ditentukan pemilihan titik gayaberat, data DTM dan GGM yang digunakan. Lokasi penelitian dan ketersediaan data gayaberat teristris yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Distribusi titik anomali *free-air* pada wilayah penelitian.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga jenis. Pertama, data gayaberat teristris yang berfungsi sebagai komponen gelombang menengah. Data gayaberat teristris yang digunakan merupakan data gayaberat yang telah direduksi dengan metode *free-air* sehingga menghasilkan data anomali gayaberat *free-air*. Jumlah data anomali gayaberat *free-air* pada

wilayah penelitian berjumlah 894 titik dengan rentang nilai anomali gayaberat sebesar -60 mGal s.d 260 mGal. **Gambar 2** menunjukkan pola kontur anomali gayaberat *free-air*.



Gambar 2. Distribusi titik dan kontur nilai *anomali free-air*.

Kedua, data Digital Terrain Model (DTM) sebagai komponen gelombang pendek. Data DTM digunakan untuk menghitung pengaruh topografi terhadap anomali gayaberatnya. Data DTM yang digunakan adalah data DTM yang bersumber dari Peta RBI skala 1:25.000, DEM Nasional (DEMNAS), dan SRTM30_plus. Peta RBI merupakan peta topografi Negara Kesatuan Republik Indonesia dengan datum vertikal Mean Sea Level lokal dan datum horizontal berupa WGS'84. Data peta RBI skala 1:25.000 diperoleh secara daring melalui laman website tanahair.indonesia.go.id/portal-web/download/perwilayah. DEMNAS merupakan DEM mosaik (*seamless*) mosaik (*seamless*) mencakup seluruh wilayah Indonesia dengan resolusi spasial mencapai 0,27 arcsec. DEMNAS dibangun dari hasil kombinasi beberapa sumber data RADAR serta data masspoint hasil stereo-plotting. DEMNAS menggunakan EGM 2008 sebagai datum vertikal dan WGS'84 sebagai datum horizontal. Data DEMNAS diperoleh secara daring melalui laman website tides.big.go.id/DEMNAS/DEMNAS.php. SRTM30_plus merupakan data DEM Global yang diperoleh dari RADAR interferometri dengan resolusi spasial 30arc-sec. SRTM30_plus menggunakan EGM96 sebagai datum vertikal dan WGS'84 sebagai datum horizontal. Data SRTM30_plus diperoleh secara daring pada laman website topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_srtm30.cgi.

Ketiga, data EGM 2008 yang digunakan sebagai komponen gelombang panjang yang menunjukkan model geoid global (GGM). EGM2008 diperoleh dari data satelit gayaberat GRACE. Data model geoid global dapat diunduh melalui laman website icgem.gfz-potsdam.de/. Dalam penelitian ini menggunakan GGM *degree* 360.

Pemodelan Geoid Lokal

Pemodelan geoid secara umum mencakup tiga tahap, yaitu perhitungan kontribusi GGM, perhitungan kontribusi terrain, dan perhitungan undulasi geoid. Hitungan geoid menggunakan formula Bruns dan fungsi stoke's. Formula Bruns dan fungsi stoke's ditunjukkan pada **persamaan 1** dan **persamaan 2** (Moritz, 2006).

$$N = T/\gamma \dots\dots\dots (1)$$

$$T = \frac{R}{4\pi} \iint_{\sigma} \Delta g S(\psi) d\sigma \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

- T : Anomali potensial,
R : jari – jari rerata bumi,
 Δg : anomali gaya berat *free-air*,
 $S(\psi)$: fungsi stoke's,
N : undulasi geoid,
 γ : gaya berat normal.

Kontribusi GGM

Kontribusi GGM dihitung menggunakan koefisien harmonik bola yang terdapat pada signal GGM. Terdapat dua macam kontribusi GGM, yaitu anomali GGM dan undulasi GGM. **Persamaan 3** dan **persamaan 4** digunakan untuk menghitung anomali GGM dan undulasi GGM (Bajracharya, 2003).

$$\Delta g_{GM} = \frac{GM}{R^2} \sum_{n=2}^{\infty} (n - 1) \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin \phi) \dots\dots (3)$$

$$N_{GM} = R \sum_{n=2}^{n_{max}} \sum_{m=0}^n [C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda] P_{nm}(\sin \phi) \dots\dots\dots (4)$$

di mana:

- Δg_{GM} : Anomali GGM,
 N_{GM} : Undulasi GGM,
GM : konstanta gravitasi bumi,
 $P_{nm}(\cos\phi)$: fungsi Legendre yang ternormalisasi penuh,
 C_{nm} dan S_{nm} : anomali potensial koefisien harmonik bola yang ternormalisasi penuh,
n : degree P_{nm} ,
m : orde P_{nm} ,
 ϕ, λ : lintang dan bujur,
 n_{max} : derajat model GGM,
R : jari-jari rerata bumi.

Kontribusi Terrain

Kontribusi terrain merupakan efek yang terjadi akibat adanya variasi topografi pada titik observasi gayaberat. Efek ini menimbulkan *noise* pada komponen gelombang pendek sehingga

berpengaruh terhadap nilai anomali gayaberat. Efek dari topografi, dalam hal ini DTM, dibedakan menjadi dua, yaitu koreksi terrain dan *indirect effect*. Efek topografi perlu ditentukan nilainya untuk mengetahui seberapa besar kontribusinya terhadap anomali gayaberat dan selanjutnya dilakukan reduksi. penentuan nilai efek topografi disebut juga dengan reduksi terrain.

Reduksi RTM merupakan salah satu metode reduksi terrain yang paling sering digunakan untuk penentuan geoid. Reduksi RTM merupakan metode reduksi koreksi terrain yang menggunakan dua bidang topografi, yaitu bidang referensi (*mean elevation surface*) dan bidang residu terrain dalam menghitung nilai residu terrain (Sjöberg, 2007). Residu terrain diperoleh dari pengurangan antara bidang referensi dengan topografi lokal. Nilai reduksi RTM dapat dihitung menggunakan **persamaan 5** dan **persamaan 6** (Forsberg, 1984).

$$\Delta g_{RTM} \approx 2\pi G\rho (h - h_{ref}) - t_c \dots \dots \dots (5)$$

$$tc = G\rho \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^h \frac{z - h_p}{\sqrt{((x-x_p)^2 + (y-y_p)^2 + (z-h_p)^2)^{3/2}}} dx dy dz \dots (6)$$

di mana:

- Δg_{RTM} = Nilai reduksi RTM,
- G = konstanta Gravitasi Newton,
- ρ = densitas topografi,
- h, h_{ref} = tinggi residu dan tinggi elevasi rerata terhadap titik yang dihitung,
- t_c = koreksi *terrain* pada titik P (x_p, y_p, h_p),
- x_p, y_p, h_p = koordinat titik pada topografi,
- x, y, z = koordinat titik pada bidang referensi.

Removes-restore

Prinsip perhitungan ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap *removes* dan tahap *restore* (Ågren & Sjöberg, 2004). Tahap *removes* menghilangkan pengaruh GGM dan pengaruh terrain, yaitu anomali GGM dan reduksi terrain terhadap anomali gayaberat ukuran. Tahap *restore* menggunakan kembali pengaruh GGM dan terrain, yaitu undulasi GGM dan *indirect effect* terhadap tinggi geoid. Perhitungan undulasi dengan metode *removes-restore* menghasilkan nilai residual gayaberat, nilai ini digunakan untuk menghitung nilai residu geoid. **Persamaan 7** menunjukkan tahap *remove*, sedangkan tahap *restore* ditunjukkan pada **persamaan 8** (Sansò & Sideris, 2013).

$$\Delta g_{res} = \Delta g_{FA} - \Delta g_{GM} - \Delta g_H \dots \dots \dots (7)$$

$$N = N_{GM} + N_{\Delta g} + N_H \dots \dots \dots (8)$$

di mana:

- Δg_{res} :Residu anomali gayaberat (mGal),

- Δg_{FA} :Anomali gayaberat free-air (mGal),
- $\Delta g_H = \Delta g_{RTM}$:Reduksi terrain (mGal),
- Δg_{GM} :Anomali GGM (mGal),
- N :Undulasi geoid lokal (meter),
- N_{GM} :Undulasi GGM (meter),
- $N_{\Delta g}$:Residu geoid (meter),
- N_H :*Indirect effect* (satuan meter).

Least Square Collocation (LSC)

Teknik perhitungan untuk menentukan nilai residual geoid dilakukan menggunakan metode kolokasi kuadrat terkecil (*Least Squares Collocation*). Metode LSC, memanfaatkan algoritma numerik yang bersifat linier (Migliaccio, Reguzzoni, & Sans, 2004). Pada besaran gayaberat, nilai sistematis diperoleh dari model geopotensial bumi sebagai komponen gelombang panjang. Perhitungan undulasi dengan metode LSC ditunjukkan pada **persamaan 9** (Moritz, 1980)

$$\hat{S} = C_{st} (C_{tt} + C_{nn})^{-1} l \dots \dots \dots (9)$$

di mana:

- $\hat{S}$: Estimasi undulasi hasil hitungan LSC,
- C_{st} : auto kovarian antara pengukuran dan nilai undulasi,
- C_{tt} : *cross* kovarian antara pengukuran dan nilai undulasi,
- C_{nn} : noise kovarian pengukuran,
- l : data pengukuran,

Nilai auto kovarian menunjukkan sinyal acak akibat efek medan gayaberat. dalam mengestimasi besaran gayaberat, efek sisa dari pengurangan gelombang panjang dapat dianggap mewakili sinyal acak. Nilai sinyal acak ini merupakan anomali residu gayaberat yang diperoleh dari hasil pengurangan antara nilai anomali gayaberat dengan nilai sistematis. Pada praktik perhitungan kolokasi, diperlukan beberapa data untuk menyusun fungsi kovarian seperti data anomali gayaberat dan data anomali ketinggian jika tersedia. Fungsi kovarian dapat ditentukan dengan mengestimasi nilai kovarian pada interval jarak sferis. **Persamaan 10** untuk menghitung kovarian empirik dan **persamaan 11** untuk menentukan kovarian analitik (Sansò & Sideris, 2013).

$$COV_{est}(\psi_i, r_m, r_m) = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Delta g(P) \Delta g(Q) \dots \dots \dots (10)$$

$$COV(r, r') = \alpha \sum_{n=2}^N (\sigma_i^{err})^2 \left(\frac{R^2}{rr'} \right)^{n+1} P_n(\cos \psi) + \sum_{n=N+1}^{\infty} \frac{A}{(n-1)(n-2)(n-4)} \left(\frac{R_B^2}{rr'} \right)^{n+1} P_n(\cos \psi) \dots \dots \dots (11)$$

di mana:

- COV_{est} : kovarian empirik,
- ψ_i : jarak sferis pada titik-i,
- r_m : ketinggian rerata,

M : jumlah data pada interval pengambilan sampel,
 $\Delta g(P) \Delta g(Q)$: anomali gayabarat di titik P dan Q,
 r, r' : jarak pada bidang *fitting* referensi,
 $(\sigma_i^{err})^2$: *error varian-degree*,
 $\bar{R}$: jari-jari rerata Bumi,
 P_n : potensial varian *degree*,
 n : koefisien potensial,
 N : koefisien potensial maksimum,
 A : varian anomali gayabarat pada ketinggian 0,
 RB : jari-jari Bjerhammar-sphere.

Untuk melakukan analisa *fitting* nilai fungsi kovarian empirik, dibutuhkan model varian *degree* dan nilai error-nya. Model varian *degree* dan nilai error-nya dihitung menggunakan **persamaan 12** dan **persamaan 13**.

$$\sigma_n^2 = \frac{A}{(n-1)(n-2)(n+B)} \left(\frac{R_B}{\bar{R}}\right)^{2n+2} \dots\dots\dots(12)$$

$$(\sigma_i^{err})^2 = \alpha \left(\frac{GM}{a}\right)^2 \sum_{m=-l}^l (\sigma_{lm}^{EGM})^2 \left(\frac{a}{\bar{R}}\right)^{2l+2} \dots\dots\dots(13)$$

di mana:

σ_n^2 : Model varian-degree anomali potensial GGM,
 RB : jari-jari Bjerhammar-sphere,
 A : nilai konstanta dalam satuan (m/s)⁴,
 $\bar{R}$: jari-jari bumi,
 n : koefisien potensial,
 N : koefisien potensial maksimum,
 B : bilangan integer,
 $(\sigma_i^{err})^2$: *error varian-degree* anomali potensial GGM,
 G : kontanta gravitasi Newton,
 l : *degree* GGM,
 m : orde GGM,
 M : massa Bumi,
 a : setengah sumbu panjang elipsoid,
 α : Faktor skala varian *error degree*.

Evaluasi Model Geoid Lokal

Model geoid lokal dievaluasi dengan membandingkan nilai undulasi gravimetrik dan undulasi geometriknya pada 18 buah TTG hasil pengukuran *co-sited GNSS-Levelling*. Ketelitian model geoid lokal ditunjukkan oleh nilai simpangan baku selisih antara undulasi geometrik dengan undulasi gravimetrik pada TTG. Nilai simpangan baku selisih antara undulasi geometrik dengan undulasi gravimetrik terkecil menunjukkan model geoid lokal paling teliti. Selain dievaluasi secara numeris, penggunaan data DTM yang paling optimal untuk pemodelan geoid lokal dievaluasi dengan menghitung selisih antarundulasi gravimetrik pada ketiga data DTM yang digunakan sehingga menghasilkan pola kontur selisih antarundulasi gravimetrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontribusi Terrain

Perhitungan kontribusi *terrain* dengan metode reduksi terrain RTM membutuhkan tiga model bidang terrain, yaitu *detailed elevation*, *coarse elevation*, dan *reference elevation* yang mempunyai interval grid masing-masing sebesar 0,025°; 0,050°; dan 0,25°. selain itu, dibutuhkan juga nilai *radius inner* (r_1) dan *outter zone* (r_2) serta nilai densitas massa batuan. Nilai parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah $r_1 = 5$ km, $r_2 = 50$ km, dan $\rho = 2,67$ gr/cm³. Kontribusi terrain terdiri dari koreksi terrain dan *indirect effect*.

koreksi terrain menunjukkan seberapa besar nilai massa isostatik topografi yang mempengaruhi nilai gayabarat. Massa topografi memiliki andil dalam memberikan pengaruh terhadap anomali gayabarat pada wilayah disekitarnya (Forsberg, 1984). Sehingga dapat dikatakan nilai koreksi terrain merepresentasikan kondisi topografi, baik massa topografi maupun nilai densitasnya. Anomali densitas pada koreksi terrain metode RTM akan membuat keseimbangan antara anomali densitas yang bernilai positif dan negatif, karena metode RTM merepresentasikan kondisi topografi baik yang berada diatas maupun dibawah bidang referensi (Heliani, Fukuda, & Takemoto, 2004). Oleh sebab itu, metode ini cocok digunakan di wilayah dengan variasi topografi yang tinggi meliputi pengunungan, bukit, lembah, dan laut seperti D.I. Yogyakarta.

Indirect effect merupakan jarak vertikal antara geoid dan co-geoid disebabkan oleh perbedaan potensial karena proses reduksi gravimetrik. Fungsi utama perhitungan *indirect effect* adalah anomali potensial yang bersumber dari massa topografi (dalam hal ini adalah data tinggi) pada bidang referensi (*reference elevation*). **Tabel 1** menunjukkan hasil perhitungan statistik koreksi RTM dan **tabel 2** menunjukkan hasil perhitungan statistik *indirect effect*.

Tabel 1. Hasil perhitungan statistik koreksi RTM pada tiap varian DTM.

DTM	Min. (mGal)	Maks. (mGal)	Rerata (mGal)	Simpangan Baku (mGal)
Peta RBI skala 1:25.000	-23,153	166,545	1,302	22,292
DEMNAS	-22,079	162,722	1,369	22,242
SRTM30_plus	-22,022	167,576	2,352	22,196

Tabel 2. Hasil perhitungan statistik *indirect effect* pada tiap varian DTM.

DTM	Min. (m)	Maks. (m)	Rerata (m)	Simpangan Baku (m)
Peta RBI skala 1:25.000	0,001	1,092	0,449	0,272
DEMNAS	0,001	1,116	0,460	0,283
SRTM30_plus	0,001	1,169	0,468	0,294

Nilai anomali koreksi terrain dari ketiga data DTM memiliki rentang nilai simpangan baku sebesar 0,096 mGal. SRTM30_plus memiliki efek koreksi terrain metode RTM yang lebih kecil, karena memiliki nilai simpangan baku terendah diantara ketiga data DTM yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil yang serupa juga ditunjukkan oleh penelitian sebelumnya. Data yang bersumber dari DTM peta RBI skala 1:25.000 dan SRTM30_plus untuk pemodelan geoid wilayah D.I. Yogyakarta, diperoleh bahwa SRTM30_plus memiliki nilai koreksi terrain yang lebih presisi dibandingkan dengan koreksi terrain pada peta RBI skala 1:25.000 (Triarahmadhana, 2014). Nilai *indirect effect* yang dihasilkan dari ketiga data menunjukkan hasil yang variatif. Nilai *indirect effect* pada D.I Yogyakarta menunjukkan rentang nilai 0,001 m s.d 1,169 m. Nilai *indirect effect* terbesar pada wilayah D.I Yogyakarta ditunjukkan oleh SRTM30_plus, dengan nilai simpangan baku sebesar 0,294 m. Nilai *indirect effect* terkecil ditunjukkan oleh peta RBI dengan nilai simpangan baku sebesar 0,272 m. Hal ini menunjukkan DTM yang bersumber dari peta RBI skala 1:25.000 memiliki hasil yang lebih presisi dibandingkan DTM yang bersumber dari DEMNAS maupun SRTM30_plus. Berdasarkan uji signifikansi parameter dengan derajat kepercayaan 95% dan *degree of freedom* tak hingga, diketahui bahwa nilai *indirect effect* yang dihasilkan dari data DEMNAS dan SRTM30_plus tidak berbeda signifikan terhadap nilai *indirect effect* peta RBI skala 1:25.000

Tingkat kepresisian kontribusi terrain yang meliputi koreksi terrain dan *indirect effect* yang ditunjukkan oleh nilai simpangan baku dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kesalahan sumber data dan kesalahan saat perhitungan reduksi terrain menggunakan metode RTM. Data DTM yang digunakan untuk perhitungan kontribusi terrain mengandung kesalahan yang nilainya bervariasi (Kiamehr & Sjöberg, 2005). Kesalahan tersebut dapat berpengaruh terhadap kepresisian model geoid lokal yang dihasilkan. Selain itu, (Ramouz, Afrasteh, Reguzzoni, Safari, & Saadat, 2019) dalam penelitiannya, untuk menentukan nilai interval grid reference elevation dan nilai radius inner r_1 , dan radius r_2 pada koreksi terrain metode RTM, dilakukan metode trial and error dengan mencoba beberapa kemungkinan nilai untuk memperoleh nilai simpangan baku yang terkecil. Penelitian

serupa dikemukakan oleh (Heliani et al., 2004) dalam penelitiannya pada lokasi di Indonesia, proses simulasi pada metode RTM dipengaruhi oleh resolusi bidang referensi dan nilai densitas massa batuan, sehingga diperoleh nilai bidang referensi yang optimum untuk pulau Jawa sebesar 25' dan densitas massa batuan sebesar 2,0 gr/cm³ s.d 2,2 gr/cm³.

Fungsi Kovarian Anomali Gayaberat

Perhitungan residu geoid menggunakan metode LSC perlu menentukan fungsi kovarian lokal yang sesuai (merepresentasikan karakteristik stokastik dari medan gayaberat pada suatu wilayah) untuk memperoleh hasil yang optimal. Nilai fungsi kovarian ditentukan berdasarkan interval data sampling (M), interval sampling ($\Delta\psi$) serta nilai error varian degree GGM. Menurut (Sadiq, Tscherning, & Ahmad, 2009), nilai interval sampling ($\Delta\psi$) dan interval data sampling (M) pada metode LSC diperoleh dari metode trial and error. Pada penelitian ini Nilai jarak speris yang optimum berdasarkan korelasi distribusi data, diperoleh dari interval sampling 1 arcmin dan jumlah interval data sampling sebanyak 25 data. Sedangkan nilai error varian degree GGM pada *degree* 360 adalah sebesar 5,61 mGal². Grafik fungsi kovarian hasil fitting kovarian analitik terhadap kovarian empirik ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Hasil fitting pada varian DTM menunjukkan grafik fungsi yang relatif sama pada ketiga data DTM. Proses *fitting* menghasilkan tiga buah parameter utama kovarian analitik, yaitu nilai faktor skala *error degree-varian* (α), nilai selisih antara radius rerata bumi (R_E) dan radius Bjerhammar-sphere (R_B), serta nilai varian anomali pada jarak spheris 0 (C_0 (Δg)). Nilai kovarian analitik pada varian DTM ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Parameter model kovarian analitik residu anomali gayaberat pada varian DTM.

Parameter	Peta RBI	DEMNAS	SRTM30_plus
C_0 (mGal ²)	471,770	469,811	444,941
α	10,2133	9,6978	6,2046
$R_E - R_B$ (km)	-1,03530	-0,98690	-0,94987
$C_0(\Delta g)$ (mGal ²)	477,04	474,59	448,30

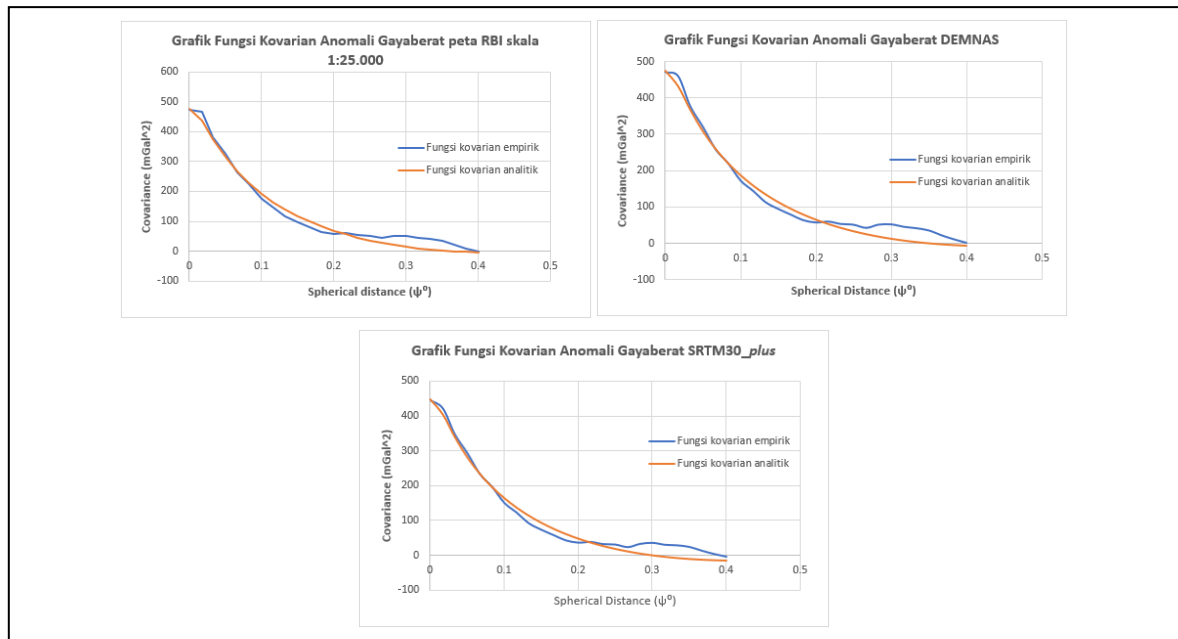
Parameter kovarian analitik yang telah ditentukan menggunakan data residu anomali gayaberat serta nilai kesalahan observasi, digunakan untuk menghitung estimasi residu geoid (*residual height anomalies*) dan nilai kesalahannya (*gross error*). Nilai kesalahan observasi diperoleh dengan melihat perbedaan antara hasil estimasi LSC

dan nilai pada titik kontrol yang memiliki nilai lebih kecil dan lebih statis. Nilai ini diperoleh melalui proses *trial and error* dengan menggunakan beberapa kemungkinan nilai (Ramouz et al., 2019). Pada penelitian ini penulis menggunakan nilai kesalahan observasi sebesar 2.

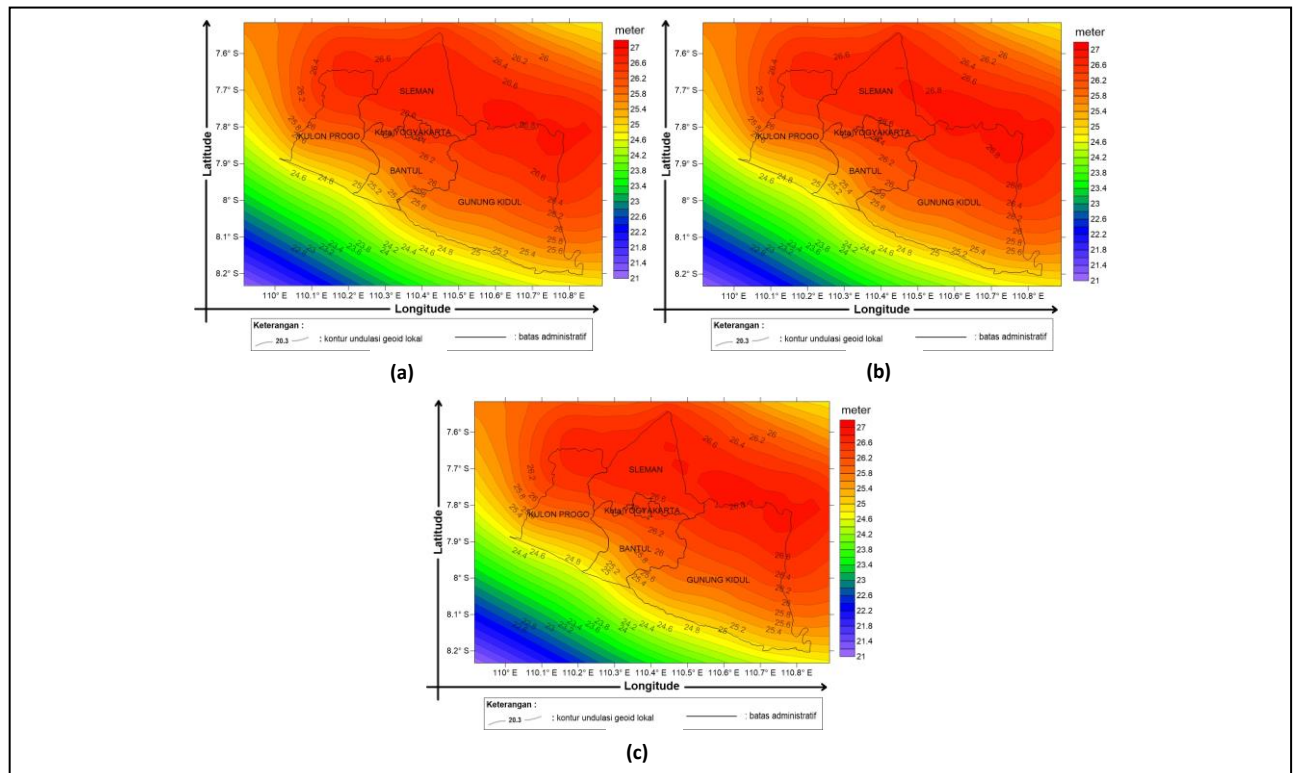
Model Geoid lokal

Model geoid lokal ditentukan berdasarkan prinsip perhitungan *removes-restore*. Geoid lokal

dipengaruhi oleh nilai residu geoid, undulasi GGM, dan *indirect effect*. Berdasarkan ketiga faktor tersebut, undulasi GGM memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap geoid lokal. Nilai residual geoid tergantung pada nilai residu anomali gayaberat yang dipengaruhi oleh nilai anomali gayaberat *free-air* yang digunakan. Sedangkan nilai *indirect effect* memiliki pengaruh yang relatif lebih kecil terhadap ketelitian geoid lokal. **Gambar 4** menunjukkan pola kontur undulasi geoid D.I. Yogyakarta tiap varian DTM.



Gambar 3. Grafik fungsi kovarian empirik dan analitik pada varian data DTM.



Gambar 4 Pola kontur undulasi geoid lokal D.I. Yogyakarta pada varian data DTM: (a). Peta RBI skala 1:25.000; (b) DEMNAS; (c) SRTM30_+plus.

Pola kontur nilai undulasi ketiga varian DTM menunjukkan pola kecenderungan naik dari arah barat daya ke arah timur laut D.I Yogyakarta. Pola kontur yang berbeda terdapat di Kab. Gunung Kidul dan bagian utara Kab. Sleman, hal ini ditunjukkan oleh perbedaan pola kontur ketiga varian DTM pada garis kontur yang sama di bagian utara D.I Yogyakarta. Ketiga data DTM menghasilkan rentang nilai undulasi geoid yang sama, yaitu pada rentang 21 m - 27 m. Perbedaan secara statistik nilai undulasi pada tiap varian DTM, disajikan pada **Tabel 4**.

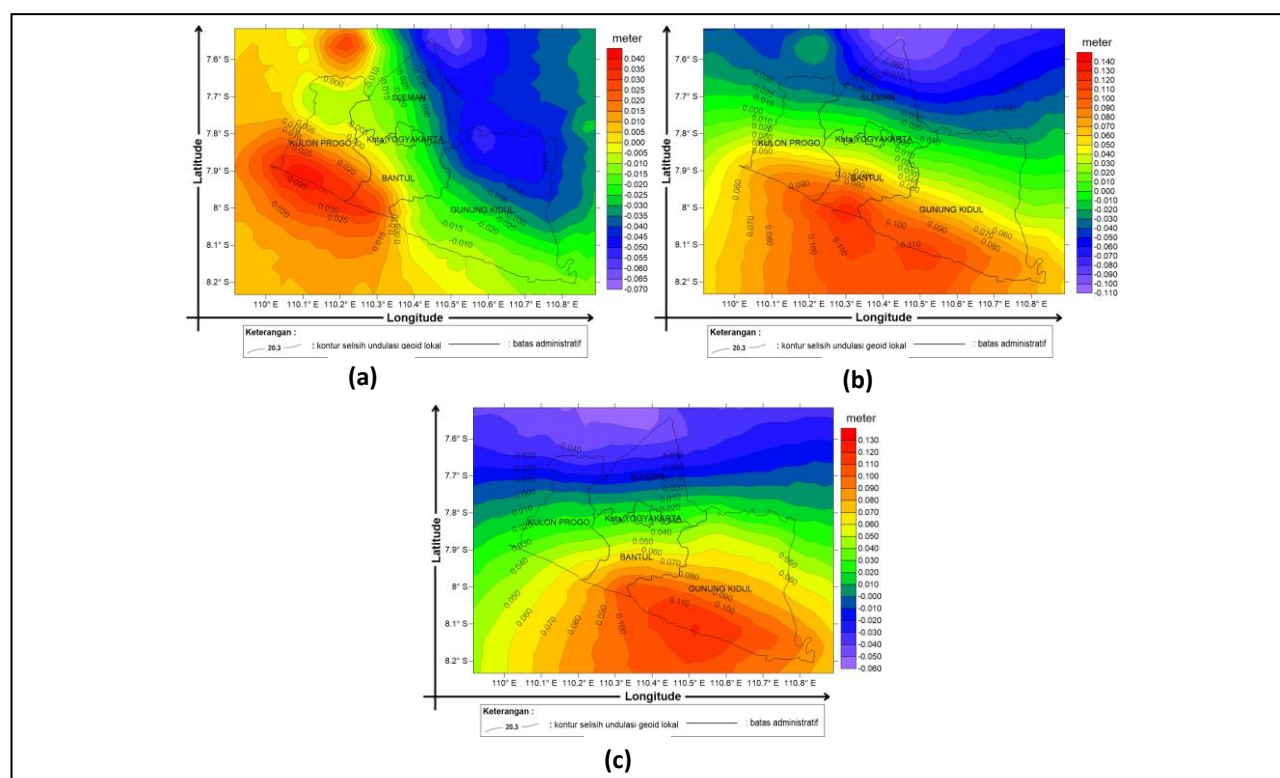
Tabel 4. Hasil perhitungan statistik nilai undulasi pada tiap varian DTM.

Varian DTM	Peta RBI	DEMNAS	SRTM30_plus
Minimum (m)	21,110	21,099	21,038
Maksimum (m)	26,868	26,921	26,890
Rerata (m)	25,504	25,520	25,469
Simpangan Baku (m)	1,238	1,257	1,282

Berdasarkan **Tabel 4**, diketahui bahwa undulasi geoid pada ketiga varian DTM memiliki rentang nilai simpangan baku berkisar antara 1,238 m - 1,282 m. Undulasi geoid yang bersumber dari DTM peta RBI memiliki nilai simpangan baku terkecil, yaitu sebesar 1,238. Sedangkan undulasi geoid yang bersumber dari DTM SRTM30_plus memiliki nilai simpangan baku terbesar yaitu sebesar 1,282 m. Hal ini menunjukkan DTM yang

bersumber dari peta RBI skala 1:25.000 memiliki nilai undulasi geoid yang paling presisi diantara DTM DEMNAS dan SRTM30_plus. Berdasarkan uji signifikansi parameter dengan derajat kepercayaan 95% dan *degree of freedom* tak hingga uji signifikansi parameter, diketahui bahwa nilai undulasi gravimetrik yang dihasilkan dari data DEMNAS dan SRTM30_plus tidak berbeda signifikan terhadap nilai undulasi gravimetrik yang dihasilkan dari peta RBI skala 1:25.000.

Evaluasi penggunaan DTM dalam penentuan model geoid lokal dilakukan dengan menghitung selisih antar-undulasi pada masing-masing DTM. Hal ini untuk mengetahui distribusi perbedaan nilai undulasi geoid. Pola kontur selisih nilai undulasi antar data DTM ditunjukkan pada **Gambar 5**. Berdasarkan **Gambar 5**, dapat diketahui distribusi nilai selisih undulasi gravimetrik antara ketiga data DTM. Nilai kontur yang mendekati 0 merepresentasikan pada wilayah tersebut tidak mengalami perubahan nilai undulasi geoid berdasarkan data DTM yang digunakan. Hal ini juga menandakan bahwa pada wilayah tersebut penggunaan data DTM A dan DTM B memiliki nilai yang konsisten. Pola kontur selisih undulasi gravimetrik menunjukkan nilai yang konsisten pada bagian tengah D.I. Yogyakarta. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Kiamehr & Sjöberg, 2005) dengan studi kasus wilayah Iran. Dalam penelitiannya, data SRTM memiliki gap yang cukup besar, terutama di wilayah pegunungan, sehingga memberikan efek koreksi RTM yang berpengaruh terhadap undulasi geoid.



Gambar 5 pola kontur selisih undulasi gravimetrik: (a) $N_{RBI} - N_{DEMNAS}$; (b) $N_{RBI} - N_{DEMNAS}$; (c) $N_{DEMNAS} - N_{SRTM}$.

Metode akuisisi data DTM menggunakan radargrammetri yang digunakan oleh SRTM30_plus maupun DEMNAS, memiliki beberapa sumber kesalahan diantaranya yaitu dari sudut *scanning* gelombang mikro radar pada objek seperti gunung/perbukitan, sehingga menimbulkan efek geometri radar, yaitu *foreshortening* dan *lay-over* (Eineder & Bamler, 2019). Efek ini mengakibatkan ketidaksesuaian proyeksi unsur alam terhadap posisi geometris dan ketinggiannya.

Tabel 5. Hasil uji ketelitian undulasi gravimetrik terhadap undulasi geometrik pada tiap varian DTM.

Varian DTM	Peta RBI	DEMNAS	SRTM30_plus
Minimum (m)	0,393	0,380	0,488
Maksimum (m)	1,789	1,795	1,869
Rerata (m)	1,131	1,119	1,175
Simpangan Baku (m)	0,440	0,448	0,449

Berdasarkan uji ketelitian undulasi geoid pada 18 buah TTG diketahui bahwa Nilai ketelitian undulasi gravimetrik geoid lokal D.I. Yogyakarta paling teliti diperoleh dari data DTM peta RBI skala 1:25.000, yaitu sebesar 0,440 m. Nilai ketelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan DEMNAS dan SRTM30_plus. Hal tersebut dapat dijadikan dasar bahwa data DTM peta RBI skala 1:25.000 memberikan hasil akurasi undulasi gravimetrik yang lebih baik dibandingkan dengan data DTM DEMNAS dan data DTM SRTM30_plus. Akurasi undulasi geoid dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah penggunaan datum vertikal pada data DTM sebagai komponen gelombang pendek. Datum vertikal yang digunakan DTM peta RBI adalah mean sea level (MSL) lokal, yaitu muka air laut rerata Tanjungpriok, Jakarta. Sedangkan datum vertikal yang digunakan DTM DEMNAS maupun SRTM30_plus adalah model geoid global, yaitu EGM 2008 dan EGM 1996. Penggunaan datum vertikal pada DTM yang bersumber dari geoid lokal/MSL lokal dapat meningkatkan ketelitian model geoid lokal teliti.

Selain dipengaruhi oleh penggunaan datum vertikal, ketelitian undulasi dipengaruhi oleh ketelitian data DTM sebagai komponen gelombang pendek yang digunakan. Menurut (Forsberg, 1984), model topografi merupakan representasi topografi lokal pada suatu wilayah sehingga memberikan efek topografi terhadap nilai gayabernatnya. Penentuan nilai efek topografi ini disebut juga dengan reduksi terrain. RTM sebagai salah satu metode reduksi terrain, menggunakan dua buah bidang topografi, yaitu bidang referensi (*mean elevation surface*) dan bidang residu terrain dalam menghitung nilai residu terrain (Sjöberg, 2007). Residu terrain diperoleh

dari pengurangan antara bidang referensi dengan topografi lokal, sedangkan bidang referensi yang digunakan sebagai reduksi terrain ditentukan dengan *low-pass filtering* pada topografi lokal. Secara tidak langsung penggunaan DTM yang teliti turut mempengaruhi ketelitian model geoid. Berdasarkan ketelitian undulasi gravimetrik (lihat **Tabel 5**) dan pola kontur selisih undulasi gravimetrik (lihat **Gambar 5**), DTM yang paling optimal dalam penentuan model geoid lokal teliti D.I. Yogyakarta adalah peta RBI skala 1:25.000. Namun, pengaruh penggunaan ketiga data DTM dalam penentuan model undulasi geoid lokal D.I. Yogyakarta hanya berbeda pada fraksi ukuran milimeter.

KESIMPULAN

Evaluasi penggunaan varian data DTM untuk penentuan model geoid lokal D.I. Yogyakarta menunjukkan, penggunaan DTM peta RBI skala 1:25.000 untuk pemodelan model geoid lokal menghasilkan undulasi geoid yang lebih teliti dibandingkan dengan DTM DEMNAS dan SRTM30_plus. Hasil analisis ketelitian undulasi gravimetrik DTM peta RBI skala 1:25.000 yaitu sebesar 0,440 m; undulasi gravimetrik DTM DEMNAS sebesar 0,448 m; dan undulasi gravimetrik DTM SRTM30_plus sebesar 0,449 m. DTM yang paling optimal untuk penentuan model geoid lokal D.I Yogyakarta adalah peta RBI skala 1:25.000. Namun, perlu penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan DTM yang bersumber dari metode akuisisi radargrammetri seperti DEMNAS maupun SRTM pada wilayah pegunungan/bukit untuk penentuan model geoid lokal teliti.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Departemen Teknik Geodesi UGM-RISTEK (tahun 2012) dan Badan Informasi Geospasial (tahun 2019) atas data gravimetrik teristris dan GPS-sipat datar yang telah diberikan di wilayah penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ågren, J., & Sjöberg, L. E. (2004). Comparison of Some Methods for Modifying Stokes' Formula in the GOCE era. *GOCE, The Geoid and Oceanography, Proceedings of the 2nd International Workshop*. Italy.
- Bajracharya, S. (2003). Terrain Effects on Geoid Determination. *UCGE Reports*, (20181).
- Darmansyah, A. (2017). *Evaluasi Model Geopotensial Global dan Digital Terrain Model terhadap Ketelitian Model Geoid Lokal*. Universitas Gadjah Mada.
- Eineder, M., & Bamler, R. (2019). SAR imaging: Basics and Principles. Retrieved January 2, 2020, from <https://eo-college.org/resources/sar-imaging/>
- Fackhrudin, A. W. (2019). *Analisis Resolusi dan Akurasi Vertikal Model Elevasi Digital Nasional*. Universitas

- Gadjah Mada.
- Forsberg, R. (1984). A study of terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modelling (No. OSU/DGSS-355). Ohio State Univ Columbus Dept of Geodetic Science and Surveying. *Ohio State Univ Columbus Dept of Geodetic Science and Surveying*.
- Heiskanen, W. A., & Moritz, H. (1967). *Physical Geodesy* (J. Giluly & A. O. Woodford, Eds.). San Francisco: W. H. Freeman and Company.
- Heliani, L. S., Fukuda, Y., & Takemoto, S. (2004). Simulation of the Indonesian land gravity data using a digital terrain model data. *Earth, Planets and Space*, 56(1), 15–24.
- Kiamehr, R., & Sjöberg, L. E. (2005). Effect of the SRTM global DEM on the determination of a high-resolution geoid model: A case study in Iran. *Journal of Geodesy*, 79(9), 540–551.
- Migliaccio, F., Reguzzoni, M., & Sans, F. (2004). *Collocation versus numerical integration in GOCE data analysis Collocation versus numerical integration in GOCE data analysis*. (January).
- Moritz, H. (1980). *Advanced Physical Geodesy*. West Germany: Herbert Wichmann Verlag Karlsruhe.
- Moritz, H. (2006). Physical geodesy. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 52(June).
- Ramouz, S., Afrasteh, Y., Reguzzoni, M., Safari, A., & Saadat, A. (2019). IRG2018: A regional geoid model in Iran using Least Squares Collocation. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 63(2), 191–214.
- Sadiq, M., Tscherning, C. C., & Ahmad, Z. (2009). An estimation of the height system bias parameter N0 using least squares collocation from observed gravity and GPS-levelling data. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 53(3), 375–388.
- Sansò, F., & Sideris, M. G. (2013). *Geoid Determination: Theory and Methods*. Berlin : Springer
- Sjöberg, L. E. (2007). The Topographic Bias by Analytical Continuation in Physical Geodesy. *Journal of Geodesy*, 81, 345–350.
- Triarahmadhana, B. (2014). *Pemodelan Geoid Lokal D.I. Yogyakarta sebagai Referensi Tinggi Survei Kadaster 3D*. Universitas Gadjah Mada.
- Vaniček, P., & Christou, N. T. (1993). *Geoid and it's Geophysical Interpretations* (1st Editio). United States of America: CRC Press.

PERFORMA DAN *STRESS TESTING* DALAM UPAYA MENGOPTIMALKAN WEBGIS *OPEN SOURCE* Studi Kasus WebGIS Ekowisata Sungai Mudal Kulon Progo

(*Performance and Stress Testing to Optimize Open Source WebGIS,
Case Study WebGIS of Ekowisata Sungai Mudal Kulon Progo*)

Rachmad Wirawan¹, Aries Dwi Wahyu Rahmadana^{1,2}, Afif Ari Wibowo¹, Puspita Indra
Wardhani³, Syamsul Bachri⁴, Muhammad Muhajir⁵

¹CV. Geo Art Science

²Universitas Mahakarya Asia

³Universitas Muhammadiyah Surakarta

⁴Universitas Negeri Malang

⁵Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Jl. Panggungsari 1 No. 3A, Sariharjo, Ngaglik, Sleman 55288

E-mail: rachmadwirawan17@gmail.com

Diterima: 20 Februari 2021; Direvisi: 19 April 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 20 Mei 2021

ABSTRAK

Web-based Geographic Information System atau yang dikenal dengan WebGIS merupakan suatu teknologi baru yang berfungsi untuk mengelola data spasial dan terus mengalami perkembangan. Pemanfaatan WebGIS pada media *open source* digunakan untuk memperkenalkan kondisi spasial, salah satunya pada kegiatan pariwisata agar mudah diakses oleh wisatawan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur performa dan tingkat stres pada aplikasi WebGIS dengan beberapa kriteria. Metode pengujian menggunakan aplikasi perangkat lunak meliputi *Pagespeed Insight*, GTmetrix, dan *Webserver Stress Tool*. Hasil dari pengujian performa WebGIS menggunakan *Pagespeed Insight* mendapatkan nilai 78 yang termasuk pada kelas medium, sedangkan hasil pengujian menggunakan GTmetrix didapati hasil nilai *pagespeed* mencapai 61 % dengan waktu *download* 3,7 detik. Hasil pengujian tingkat stres menggunakan *Webserver Stress Tool* diperoleh hasil rata-rata kejadian *error* 0,056 % dari 5 sesi pengujian dengan jumlah pengguna yang berbeda.

Kata kunci: uji performa, uji tingkat stres, pengujian webgis, webserver *stress tool*

ABSTRACT

Web-based Geographic Information System or known as WebGIS is new technology to manage spatial data into a web. The technology of WebGIS continues to develop now. One of the uses WebGIS used open resource media is the tourism sector. This technology can be used easily to display tourism information or tourism data. The research aimed to measure performance and stress levels in WebGIS applications using several criteria. The research used tools which are Pagespeed Insight, GTmetrix, and Webserver stress tools. The result of data processing used Pagespeed insight obtained a score of 78 in the medium class. Tested using GTmetrix obtained page speed score 61% and downloaded time 3.7 seconds. The stress level tested using the Webserver stress tool obtained an average error of 0.056% from 5 test sessions in different users.

Keywords: *performance test, stress test, webgis testing, webserver stress tool*

PENDAHULUAN

Web-Based Geographic Information System atau yang lebih dikenal dengan istilah WebGIS merupakan suatu aplikasi dalam GIS (*Geographic Information System*) yang memanfaatkan jaringan internet sebagai media yang berfungsi untuk distribusi, integrasi, komunikasi dan menyediakan informasi ke dalam bentuk teks maupun peta digital, sehingga untuk menjalankan fungsinya menggunakan analisis dan *query* terkait dengan GIS (Prahasta, 2007). WebGIS merupakan pengembangan dari sistem informasi geografis

yang tersedia dalam bentuk web yang di dalamnya terdapat pertukaran informasi geospasial antara server dan pengguna (*client*). Server memiliki suatu *Uniform Resource Locator* (URL) khusus yang dapat ditemukan oleh pengguna (*client*) melalui situs web yang terhubung dengan internet (Rondonuwu, Hartomo, & Chernovita, 2020).

Keunggulan dari sistem WebGIS adalah kemudahan untuk menyajikan data geospasial menggunakan media internet tanpa harus menggunakan bantuan *software* GIS, sehingga dapat diakses oleh banyak pengguna secara luas (De Miguel González & De Lázaro Torres, 2020;

Ginardi, Gunawan, & Wardana, 2017; Greenberg Raanan & Shoval, 2014; Sholeh & Maulana, 2015). Media WebGIS menjadi pilihan yang tepat untuk mendiseminasikan data geospasial, salah satunya digunakan di sektor pariwisata. Wisatawan dapat dengan mudah melakukan akses terkait data pariwisata, informasi, dan lokasi wisata (Mertha, Simadiputra, Setyawan, & Suharjito, 2019; Pánek & Benediktsson, 2017; Peterson et al., 2020; Shoval, Schvimer, & Tamir, 2018; Stamberger, van Riper, Keller, Brownlee, & Rose, 2018).

Aplikasi WebGIS memanfaatkan perangkat lunak baik komersil maupun *Free Open Source Software* (FOSS). Perangkat lunak berbasis komersil merupakan perangkat lunak yang penyediaannya berbayar dan sumber kode memiliki hak cipta. FOSS adalah perangkat lunak yang memiliki sumber terbuka, artinya siapapun bebas untuk menggunakan, menyalin, mempelajari dan mengubah sumber kode secara terbuka sehingga tercipta desain perangkat lunak yang selalu berkembang (Aye et al., 2016; Chakraborty, Sarkar, Agarwal, Dutta, & Sharma, 2015; Hossain, Meyer, & Mapviewer, 2018; Jlassi, Mammam, Abbassi, & Graiet, 2019; Juhász, Podolcsák, & Doleschall, 2016).

Dasar membangun sebuah website menggunakan Javascript. Salah satu aplikasi untuk mendapatkan Javascript yang bersifat *open source* adalah *Leaflet*. *Leaflet* merupakan suatu *Library* Javascript yang bersifat *open source* (Edler & Vetter, 2019; Sholikhah, Prasetyo, & Hartomo, 2019; Wardana & Jazman, 2017; Zarodi & Anshori, 2017). *Leaflet* banyak digunakan untuk membangun aplikasi WebGIS yang dapat dimuat dalam web *browser* yang dapat dilihat dari versi *desktop* dan *mobile* (Bhatia, Singh, Litoria, & Pateriya, 2018; J. P. de Albuquerque, Herfort, Brenning, & Zipf, 2015; Tsou, 2015; Wang, Ye, & Tsou, 2016). *Leaflet* cukup terkenal di kalangan pengguna untuk persiapan aplikasi pemetaan berbasis web dan memberikan kinerja yang terbaik dalam layanan pemetaan web secara gratis untuk panduan di bidang wisata (Albuquerque, Costa, & Martins, 2018; Ferrante, De Cantis, & Shoval, 2018; Grinberger & Shoval, 2019; Riungu, Peterson, Beeco, & Brown, 2018).

Layanan WebGIS dikembangkan sebagai media promosi suatu objek wisata kepada masyarakat umum. WebGIS dapat menampilkan berbagai informasi baik spasial maupun lainnya tentang suatu lokasi wisata, sehingga bermanfaat bagi wisatawan yang berkunjung ke lokasi tersebut. Kondisi banyaknya wisatawan yang mengakses WebGIS tentunya akan berdampak terhadap *server* website tersebut. *Server* akan bekerja keras untuk semua aktivitas di dalam *website*. *Server* yang *overload* menyebabkan respon waktu yang lama dan berujung pada *server down*. (Khando, Gao, Islam, & Salman, 2021; Li, Kong, Mastorakis, &

Zhang, 2019; Mastorakis, Gusev, Afanasyev, & Zhang, 2019; Moll, Isak, Hellwagner, & Burke, 2021; Sawant & Godse, 2014; Zhang et al., 2018). Sehingga perlu dilakukan serangkaian pengujian untuk meningkatkan performa dan mengoptimalkan kinerja dari *website*.

Pengujian bertujuan untuk mengetahui kekurangan dan permasalahan dari sistem yang sudah dirancang sehingga ditemukan solusi untuk mengoptimalkan kinerja. Terdapat aturan dalam uji coba, yaitu uji coba merupakan proses eksekusi program yang bertujuan untuk menemukan permasalahan; sebuah uji coba kasus yang baik adalah uji yang memiliki tingkat probabilitas yang tinggi dalam menyingkap kesalahan yang sebelumnya belum diketahui; dan uji coba dianggap berhasil apabila telah mengungkapkan permasalahan yang belum diketahui (Gea, 2011).

Tindakan pengujian suatu *website* merupakan bagian tahapan dari suatu daur SDLC (*System Development Life Cycle*). SDLC adalah suatu kerangka yang berisi langkah-langkah yang harus dilakukan untuk memproses pengembangan suatu perangkat lunak. Sistem ini berisi rencana lengkap untuk mengembangkan, menguji, dan memelihara perangkat lunak tertentu (Büth, Juraschek, Cerdas, & Herrmann, 2020; Dhiman, 2018; Dilger et al., 2021; Kondoh, Kishita, & Komoto, 2021; Zou et al., 2018). Pengujian dilakukan untuk menghasilkan suatu produk sistem informasi yang baik dan berkualitas. Dalam membangun sebuah produk sistem informasi yang sukses bergantung pada dua hal yang mendasar yaitu fungsionalitas dan performa. Fungsionalitas merupakan hal yang dapat dilakukan oleh sistem sedangkan performa mengacu pada kemampuan sistem dalam memberikan informasi secara tepat dan akurat dengan kondisi banyak pengguna yang saling berinteraksi (Bukhari & Liu, 2018; Corbellini, Godoy, Mateos, Zunino, & Lizarralde, 2017; Lizarralde, Mateos, Zunino, Majchrzak, & Grønli, 2020; Ramakrishnan & Kaur, 2020).

Beberapa penelitian terdahulu melatarbelakangi penelitian ini. Kurniawan & Widiyanto, (2016) menganalisis peningkatan performa akses *website* dengan *Webserver Stress Tool*. Kurniawan & Widiyanto, (2016) mencoba untuk mengetahui pengaruh optimasi yang dilakukan pada *web server* dan *web template* melalui implementasi tindakan optimasi, sehingga mampu meningkatkan kecepatan dan kestabilan akses *website*.

Penelitian selanjutnya tentang *performance* dan *stress testing* dalam mengoptimasi *website* yang bertujuan untuk mengetahui performa dan tingkat stres dari *website* menggunakan *Pagespeed Insight*, GTmetrix dan WAPT (Andriansyah, 2019). Kedua penelitian sebelumnya menjadi dasar dalam menguji sistem WebGIS yang sudah diluncurkan. Fokus pengujian WebGIS pada performa dan

tingkat stres untuk mengetahui seberapa besar pengaruh hasil rancangan WebGIS dengan menggunakan dokumentasi yang disediakan dari LeafletJS, sehingga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk mengoptimalkan kinerja dari sistem.

METODE

Pengujian performa merupakan fase penting dari siklus pengembangan suatu sistem ketika hendak diluncurkan. Salah satu metode pengujian awal yang dilakukan adalah uji performa. Uji performa dipilih karena dapat melakukan diagnosa awal tentang kerangka sistem dilihat dari sudut pandang atau parameter pengukuran tertentu serta dapat memberikan solusi atau rekomendasi agar sistem tersebut menjadi lebih optimal. Uji tingkat stres bertujuan untuk mengukur dan memverifikasi performa sistem secara spesifik, seperti waktu respon dan ketersediaan layanan yang dijalankan, dengan mensimulasikan banyak pengguna mengakses secara bersamaan selama interval waktu yang ditentukan (Sharmila & Ramadevi, 2014).

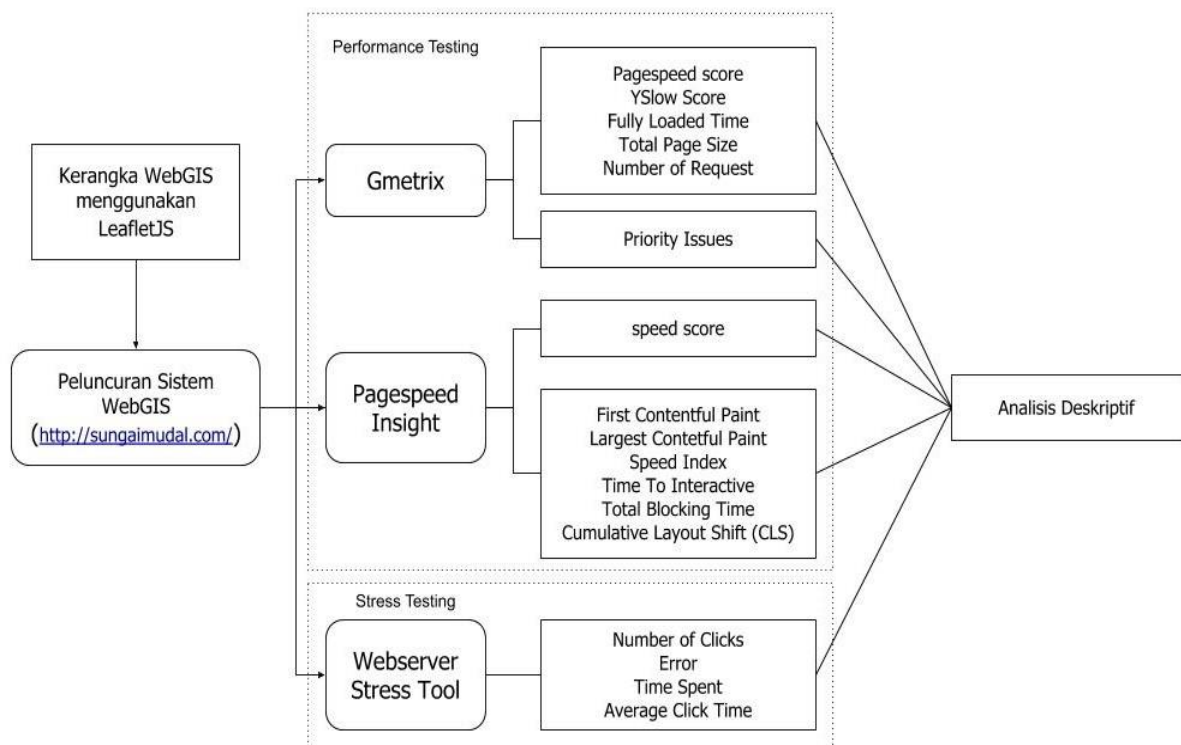
Penelitian ini menggunakan perangkat pengujian berupa *Pagespeed Insight*, *Gt metrix*, dan *Webserver Stress Tool*. *Pagespeed Insight* merupakan *tools* yang dikembangkan oleh Google inc. untuk menguji tingkat kecepatan suatu *website* dengan beberapa indikator dalam penilaiannya. *Pagespeed Insight* menerapkan nilai yang tergolong dalam 3 kelas, yaitu 100 – 90 (*fast*), 89 – 50 (*medium*) dan 49 – 0 (*slow*) (Anonim, 2020).

GTmetrix memiliki fungsi yang sama dengan *Pagespeed Insight* namun berbeda untuk standar

penilaian dengan huruf A hingga F yang disertai angka. Standar penilaiannya semakin mendekati huruf A maka kelas (*grade*) semakin baik. *Webserver Stress Tool* merupakan aplikasi untuk menguji HTTP-Client (server) untuk mengetahui performa, kecepatan *loading time*, dan simulasi *virtual user* pada kestabilan web server dalam kondisi *under stress (down)*. Kinerja aplikasi ini melakukan simulai dengan beberapa tipe pengujian untuk mengukur performa server saat menghadapi beban akses berlebih melalui parameter pengukuran yaitu *Simultaneous Users*, *Click*, *Error (%)*, *Average Click Times (milisecond)*, dan *Time Spent (milisecond)* (Yunanri, Riadi, & Yudhana, 2016). Ketiga perangkat lunak tersebut dipilih karena banyak digunakan sebagai alat pengujian sistem dalam berbagai penelitian dan dapat memberikan rekomendasi perbaikan dari hasil permasalahan yang ditemukan. Proses kerja dari ketiga perangkat lunak tersebut dijelaskan melalui

Gambar 1.

Hasil dijelaskan secara deskriptif dengan menjabarkan hasil interpretasi dari luaran pengujian menggunakan 3 perangkat lunak tersebut. Objek sistem yang diujikan merupakan *website* yang menyediakan konten WebGIS Ekowisata Sungai Mudal yang berlanam di <http://sungaimudal.com/>. Pengujian melalui 2 tahapan sebagai berikut: Pengujian GTmetrix dan *Pagespeed Insight* dengan cara memasukkan alamat website ke dalam kolom yang sudah disediakan kemudian akan keluar hasil pengujian secara langsung. Hasil yang sudah dipaparkan kemudian dideskripsikan.



Gambar 1. Proses pengujian sistem.

Pengujian dengan aplikasi *Webserver Stress Tool* yang memakai tipe uji *RAMP Test* dengan memakai beberapa parameter uji yang terdiri dari virtual user yang meningkat jumlahnya ketika mengakses *website* yang diujikan dengan periode waktu yang bervariasi (satuan milidetik), sehingga menghasilkan nilai rata-rata waktu kecepatan respon *web server* dalam menampilkan halaman *website* yang diminta (*requested*) oleh pengguna melalui *web browser*. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seperangkat komputer yang di dalamnya sudah dipasang perangkat lunak yang meliputi aplikasi *Web Server Stress Tool* dan Google Chrome (*web browser*) yang digunakan untuk membuka laman web pengujian baik *Pagespeed Insight* dan GTmetrix.

HASIL DAN PEMBAHASAN

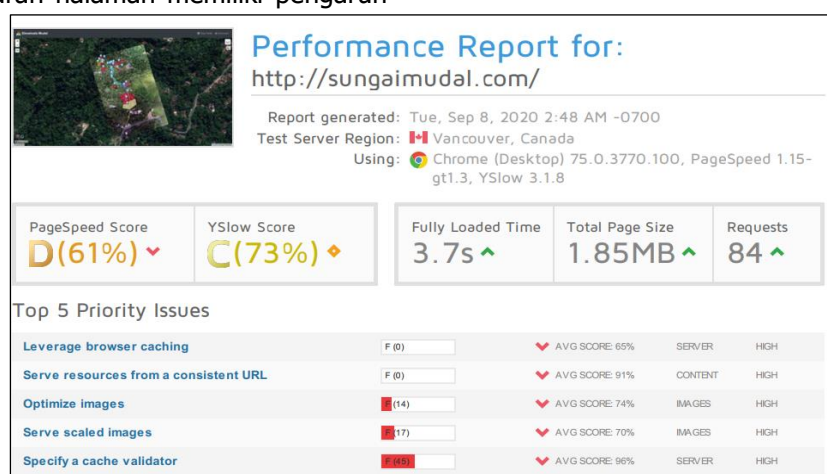
Uji Performa menggunakan GTmetrix

Pengujian performa menggunakan GTmetrix yang ditampilkan pada **Gambar 2** menunjukkan hasil yaitu nilai *page speed score* berada di kelas D dengan rentang persentase 61% dan YSlow mencapai nilai 73% yang termasuk kedalam kelas C. Terdapat pula informasi lainnya meliputi waktu *download* 3,7 detik, total ukuran halaman mencapai 1,85 Mb dan jumlah *request* mencapai 84. Waktu *download* dan ukuran halaman memiliki pengaruh

terhadap nilai kecepatan halaman (*page speed*). Hasil pengujian dari GTmetrix memberikan solusi berupa *Priority Issues* terkait dengan permasalahan di sistem WebGIS. **Tabel 1** merupakan hasil dari *Priority Issues* hasil dari pengujian GTmetrix.

Tabel 1. Hasil analisis *Priority Issues* di aplikasi GTmetrix

<i>Priority Issues</i>	<i>Grade</i>	<i>Average Score</i>
Leverage Browser Caching (Penyimpan file statis di situs <i>web browser</i> pengguna)	F (0)	65 %
Serve Resource from Consistent URL (Penyajian kemungkinan terjadi duplikasi di URL)	F (0)	91 %
Optimize Images (Pengoptimalan ukuran file gambar tanpa menurunkan kualitasnya)	F (14)	74 %
Serve Scaled Images (Penyesuaian gambar jika dibuka di perangkat <i>mobile</i>)	F (17)	70 %
Specify a Cache Validator (Respon dari <i>server</i> yang tidak menyertakan <i>header</i> penyimpanan ke <i>cache</i>)	F (45)	96 %



Gambar 2. Hasil laporan performa dari GTmetrix.

RECOMMENDATION	GRADE	RELATIVE
Leverage browser caching	F (0)	AVG SCO
Leverage browser caching for the following cacheable resources:		
http://sungaimudal.com/library/leaflet-measure/assets/rulers.png (expiration not specified) http://sungaimudal.com/library/leaflet-measure/leaflet-measure.css (expiration not specified) http://sungaimudal.com/library/leaflet-measure/leaflet-measure.js (expiration not specified) http://sungaimudal.com/library/leaflet-mouseposition/L.Control.MousePosition.css (expiration not specified) http://sungaimudal.com/library/leaflet-mouseposition/L.Control.MousePosition.js (expiration not specified) http://sungaimudal.com/logo/logo.png (expiration not specified)		

Gambar 3. Salah satu notifikasi permasalahan kerusakan file di dalam sistem.

Pengujian dengan GTmetrix menyatakan bahwa terdapat kesalahan dalam memuat beberapa file yang sudah diunggah ke dalam sistem. Hal tersebut muncul ke dalam hasil rekomendasi yang keseluruhan memberikan notifikasi "*expiration not specified*" yang artinya terdapat file yang tidak bisa dimuat atau mengalami kadaluwarsa. *File* yang mengalami kerusakan sebagian besar merupakan *file tile layer* hasil dari konversi foto udara yang mulanya berformat .tif menjadi .png. **Gambar 3** merupakan salah satu hasil kesalahan yang telah ditemukan GTmetrix.

Pengujian performa dengan *Pagespeed Insight*

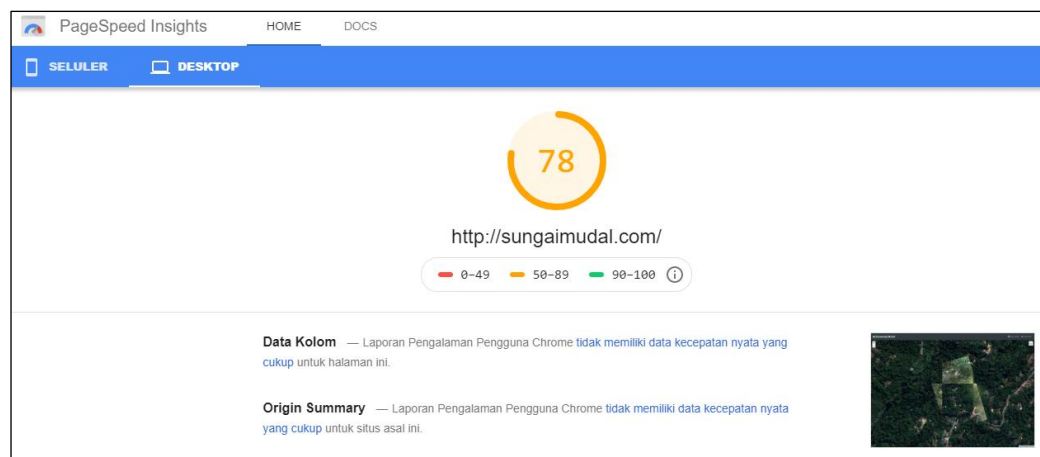
Pengujian selanjutnya menggunakan *Pagespeed Insight* menghasilkan nilai 78 di mana termasuk ke dalam kelas sedang (medium). *Pagespeed Insight* menganalisa bahwa WebGIS memiliki waktu respon server awal yang terlalu memakan waktu untuk memuat halaman yakni sekitar 1,08 detik. Hasil Pengujian terpapar pada **Gambar 4**.

Pagespeed Insight memaparkan hasil audit dari performa *website* (WebGIS) yang terangkum kedalam data lab. Data lab tidak hanya memberikan hasil audit namun juga memberikan saran (peluang) untuk membantu permuatan halaman menjadi lebih cepat. *Pagespeed Insight* menyarankan format gambar seperti JPEG 2000, JPEG XR, dan WebP yang dapat memberikan kompresi yang lebih baik daripada PNG atau JPEG, sehingga server lebih cepat dan konsumsi data lebih kecil serta melakukan kompresi pada ukuran setiap file, sehingga waktu respon dapat berkurang 1,8 detik. Kecepatan server akan bertambah apabila menghilangkan sumber (*resource*) yang dapat memperlambat proses render saat membuka halaman awal dan melakukan kompresi (*minify*) Javascript dan CSS. Hasil dari data lab *Pagespeed Insight* ditunjukkan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil data Lab di aplikasi *Pagespeed Insight*

Data Lab	Hasil
First Contentful Paint (<i>First Contentful Paint</i> menandai waktu saat teks atau gambar pertama ditampilkan)	0,9 detik
Largest Contentful Paint (<i>Largest Contentful Paint</i> menandai waktu saat teks atau gambar terbesar ditampilkan)	1,6 detik
Speed Index (Indeks Kecepatan menunjukkan seberapa cepat konten halaman terisi dengan lengkap)	7,1 detik
Time To Interactive (Lamanya waktu yang diperlukan halaman untuk menjadi interaktif sepenuhnya)	0,9 detik
Total Blocking Time (Jumlah semua jangka waktu antara FCP dan waktu untuk interaktif, ketika durasi tugas melebihi 50 md, dinyatakan dalam milidetik)	0 milidetik
Cumulative layout Shift (Pergeseran tata letak kumulatif (CLS) mengukur gerakan elemen yang terlihat dalam area pandang)	0

Pengujian menggunakan GTmetrix dan *Pagespeed Insight* menjelaskan kerap terjadi kerusakan link di beberapa muatan gambar. Kerusakan link terjadi pada bagaian file *tile layer* yang berasal dari foto udara yang sudah dikonversi menjadi format .png, sehingga sistem dalam pengujian menganggap hal tersebut sebagai kerusakan pembacaan link. Hasil dari kerusakan ini tidak menyebabkan sistem gagal memuat, namun hanya beberapa mengalami *payload* yang memakan waktu agak lama. Kesalahan link tersebut kemungkinan terjadi pada saat proses konversi file *orthomosaic* menjadi file *tile layer* menggunakan ekstensi dari QuantumGIS. Fungsi *Tile Layer* dijadikan sebagai *basemap* untuk menampilkan foto udara yang dapat dimuat ke dalam tampilan WebGIS.



Gambar 4. Hasil pelaporan performa dari *Pagespeed Insight*.

Uji tingkat stres dengan Webserver Stress Tools

Uji tingkat stres pada WebGIS menggunakan perangkat lunak *Webserver Stress Tool*. Indikator yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan jenis pengujian RAMP. Pengujian RAMP merupakan pengujian menghitung waktu tercepat untuk memuat tampilan aplikasi web. Kondisi internet pada saat melakukan tes ini terpantau dengan kecepatan unduh 7,64 Mbps dan unggah 1,80 Mbps. Simulasi pengujian ini menggunakan jumlah pengguna (*user*) yang bertambah pada tiap sesinya dengan waktu uji lima menit dan interval waktu pengguna masuk ke dalam link setiap lima detik sekali. Hasil dari uji ini dari lima sesi yang sudah dibuat, terdapat tiga sesi yang mengalami kesalahan (*error*). Tingkat persentase *error* bernilai fluktuatif di mana tidak ada hubungan dari peningkatan jumlah antara variabel satu dengan variabel lain (*time spent* dan *average click time*). Sehingga bisa ditarik hasil dari lima sesi pengujian rata-rata berpeluang 0,056% terjadi *error* dengan rata-rata *time spent* sebanyak 2.760.002,4 milidetik. **Tabel 3** merupakan hasil dari *stress testing* menggunakan aplikasi *Webserver Stress Tool*.

Tabel 3. Hasil uji tingkat stres menggunakan Webserver Stress Tool.

User	Clicks	Error (%)	Time Spent (milidetik)	Avg. Click Time (milidetik)
5	186	0	69.577	374
50	1.509	0,07	871.976	578
100	2.965	0	2.748.537	930
150	4.791	0,04	2.282.144	477
200	5.389	0,17	7.827.778	1.455
Average Stress Error		0,056		

Hasil pengujian performa menggunakan GTmetrix dan *Pagespeed Insight* menunjukkan performa *website* (WebGIS) masih dalam kelas sedang yang ditinjau dari respon kecepatan yang dihasilkan. Uji performa juga menunjukkan beberapa permasalahan yang mungkin berpengaruh terhadap kinerja *website*, oleh sebab itu pengoptimalan performa sangat perlu dilakukan dengan mengikuti rekomendasi yang diberikan. Hasil pengujian tingkat stres menggunakan *Webserver Stress Tool* menunjukkan bahwa kondisi sistem masih dalam keadaan aman atau berfungsi ketika dilakukan simulasi RAMP test yang menunjukkan persentase kemungkinan terjadi *error* 0,056 % dengan total waktu mencapai 7.827.779 milidetik. Pengujian performa (GTmetrix dan *Pagespeed Insight*) dan tingkat stres (*Webserver Stress tool*) memiliki kelemahan, yaitu hasil yang tidak konsisten. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi kecepatan internet pada saat melakukan

pengujian, sehingga hasilnya belum sepenuhnya mencerminkan kinerja dari sistem tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian performa menggunakan perangkat lunak GTmetrix dan *Pagespeed Insight* menunjukkan bahwa performa dari *website* masih di kelas sedang (medium), namun beberapa poin yang perlu diperbaiki yang berhubungan dengan kompresi ukuran file berupa gambar serta penyederhanaan bahasa Javascript dan CSS. Pengujian tingkat stres menggunakan *Webserver Stress Tool* menunjukkan bahwa *website* (WebGIS) Ekowisata Sungai Mudal dapat digunakan dengan lancar dilihat dari hasil simulasi pengujian. Simulasi pengujian dengan menggunakan jumlah pengguna yang semakin meningkat dengan interval waktu yang konstan (lima menit) menunjukkan persentase terjadi kesalahan (*error*) sekitar 0,056 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami haturkan kepada pihak dalam penelitian pengembangan industri ekowisata menggunakan pendekatan remote sensing dan sistem informasi geografis yang diselenggarakan oleh Tim Peneliti dari Jurusan Statistika FMIPA Universitas Islam Indonesia dan rekan-rekan yang membantu pembuatan karya tulis ini baik dari Tim CV. Geo Art Science dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Albuquerque, H., Costa, C., & Martins, F. (2018). The use of Geographical Information Systems for Tourism Marketing purposes in Aveiro region (Portugal). *Tourism Management Perspectives*, 26(August), 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2017.10.009>
- Andriansyah, D. (2019). Performance dan Stress Testing Dalam Mengoptimasi Website. *Computer Based Information System Journal*, 07(1), 23–28.
- Anonim. (2020). About PageSpeed Insights "Make your web pages fast on all device". Retrieved September 28, 2020, from <https://developers.google.com/speed/docs/insights/about/>
- Aye, Z. C., Jaboyedoff, M., Derron, M. H., Van Westen, C. J., Hussin, H. Y., Ciurean, R. L., ... Pasuto, A. (2016). An interactive web-GIS tool for risk analysis: A case study in the Fella River basin, Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(1), 85–101. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-85-2016>
- Bhatia, T. S., Singh, H., Litoria, P. K., & Pateriya, B. (2018). Web GIS Development using Open Source Leaflet and Geoserver Toolkit [J]. *International Journal of Computer Science and Technology*, 9(3), 29–33.
- Bukhari, A., & Liu, X. (2018). A Web service search engine for large-scale Web service discovery based on the probabilistic topic modeling and clustering. *Service*

- Oriented Computing and Applications*, 12(2), 169–182. <https://doi.org/10.1007/s11761-018-0232-6>
- Büth, L., Juraschek, M., Cerdas, F., & Herrmann, C. (2020). Life cycle inventory modelling framework for symbiotic and distributed agricultural food production systems. *Procedia CIRP*, 90, 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.097>
- Chakraborty, D., Sarkar, D., Agarwal, S., Dutta, D., & Sharma, J. R. (2015). Web Based GIS Application using Open Source Software for Sharing Geospatial Web Based GIS Application using Open Source Software for Sharing Geospatial Data, (September). <https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.109>
- Corbellini, A., Godoy, D., Mateos, C., Zunino, A., & Lizarralde, I. (2017). Mining social web service repositories for social relationships to aid service discovery. *IEEE International Working Conference on Mining Software Repositories*, 75–79. <https://doi.org/10.1109/MSR.2017.16>
- De Albuquerque, J. P., Herfort, B., Brenning, A., & Zipf, A. (2015). A geographic approach for combining social media and authoritative data towards identifying useful information for disaster management. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(4), 667–689. <https://doi.org/10.1080/13658816.2014.996567>
- De Miguel González, R., & De Lázaro Torres, M. L. (2020). WebGIS Implementation and Effectiveness in Secondary Education Using the Digital Atlas for Schools. *Journal of Geography*, 119(2), 74–85. <https://doi.org/10.1080/00221341.2020.1726991>
- Dhiman, S. (2018). Performance Testing: A Comparative Study and Analysis of Web Service Testing Tools. *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*, 4(3), 95–100. <https://doi.org/10.23883/ijrter.2018.4102.tbuwk>
- Dilger, N., Kaluza, A., Kiesewetter, A., Cerdas, F., Blume, S., Zellmer, S., & Herrmann, C. (2021). Definition and Reference Framework for Life Cycle Technologies in Life Cycle Engineering-a Case Study on All Solid State Traction Batteries. *Procedia CIRP*, 98, 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.033>
- Edler, D., & Vetter, M. (2019). The Simplicity of Modern Audiovisual Web Cartography: An Example with the Open-Source JavaScript Library leaflet.js. *KW - Journal of Cartography and Geographic Information*, 69(1), 51–62. <https://doi.org/10.1007/s42489-019-00006-2>
- Ferrante, M., De Cantis, S., & Shoval, N. (2018). A general framework for collecting and analysing the tracking data of cruise passengers at the destination. *Current Issues in Tourism*, 21(12), 1426–1451. <https://doi.org/10.1080/13683500.2016.1194813>
- Gea, D. (2011). Analisa pengujian optimalisasi kinerja website, 2011(Snati), 17–18.
- Ginardi, R. V. H., Gunawan, W., & Wardana, S. R. (2017). WebGIS for Asset Management of Land and Building of Madiun City Government. *Procedia Computer Science*, 124, 437–443. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.175>
- Greenberg Raanan, M., & Shoval, N. (2014). Mental maps compared to actual spatial behavior using GPS data: A new method for investigating segregation in cities. *Cities*, 36, 28–40. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.09.003>
- Grinberger, A. Y., & Shoval, N. (2019). Spatiotemporal Contingencies in Tourists' Intradiurnal Mobility Patterns. *Journal of Travel Research*, 58(3), 512–530. <https://doi.org/10.1177/0047287518757372>
- Hossain, M. L., Meyer, H., & Mapviewer, A. O. (2018). Concepts and Methods of Embedding Statistical Data into Maps, 8(5), 21–26. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.8.5.2018.p7706>
- Jlassi, S., Mammari, A., Abbassi, I., & Graiet, M. (2019). Towards correct cloud resource allocation in FOSS applications. *Future Generation Computer Systems*, 91, 392–406. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.030>
- Juhász, L., Podolcsák, Á., & Doleschall, J. (2016). Open Source Web GIS Solutions in Disaster Management – with Special Emphasis on Inland Excess Water Modeling. *Journal of Environmental Geography*, 9(1–2), 15–21. <https://doi.org/10.1515/jengeo-2016-0003>
- Khando, K., Gao, S., Islam, S. M., & Salman, A. (2021). Enhancing Employees Information Security Awareness in Private and Public Organisations: A Systematic Literature Review. *Computers & Security*, 106, 102267. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102267>
- Kondoh, S., Kishita, Y., & Komoto, H. (2021). Adaptive decision-making method of life cycle options by using process data collected over multiple life cycle stages. *Procedia CIRP*, 98, 382–387. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.121>
- Kurniawan, H., & Widiyanto, E. P. (2016). Analisis Peningkatan Performa Akses Website dengan Web Server Stress Tool. *Jatiji*, 2(2), 108–119.
- Li, T., Kong, Z., Mastorakis, S., & Zhang, L. (2019). Distributed dataset synchronization in disruptive networks. *Proceedings - 2019 IEEE 16th International Conference on Mobile Ad Hoc and Smart Systems, MASS 2019*, 428–437. <https://doi.org/10.1109/MASS.2019.00057>
- Lizarralde, I., Mateos, C., Zunino, A., Majchrzak, T. A., & Grønli, T. M. (2020). Discovering web services in social web service repositories using deep variational autoencoders. *Information Processing and Management*, 57(4), 102231. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2020.102231>
- Mastorakis, S., Gusev, P., Afanasyev, A., & Zhang, L. (2019). Real-Time Data Retrieval in Named Data Networking. *Proceedings of 2018 1st IEEE International Conference on Hot Information-Centric Networking, HotICN 2018*, (HotICN), 61–66. <https://doi.org/10.1109/HOTICN.2018.8605992>
- Mertha, I. M. P., Simadiputra, V., Setyawan, E., & Suharjito, S. (2019). Implementasi WebGIS untuk Pemetaan Objek Wisata Kota Jakarta Barat dengan Metode Location Based Service menggunakan Google Maps API. *InfoTekJar (Jurnal Nasional Informatika Dan Teknologi Jaringan)*, 4(1), 21–28. <https://doi.org/10.30743/infotekjar.v4i1.1486>
- Moll, P., Isak, S., Hellwagner, H., & Burke, J. (2021). A Quadtree-based synchronization protocol for inter-server game state synchronization. *Computer Networks*, 185(July 2020), 107723. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107723>
- Pánek, J., & Benediktsson, K. (2017). Emotional mapping and its participatory potential: Opinions about cycling conditions in Reykjavík, Iceland. *Cities*, 61, 65–73.

- <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.11.005>
- Peterson, B. A., Brownlee, M. T. J., Hallo, J. C., Beeco, J. A., White, D. L., Sharp, R. L., & Cribbs, T. W. (2020). Spatiotemporal variables to understand visitor travel patterns: A management-centric approach. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 31(April), 100316. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100316>
- Prahasta, E. (2007). *Membangun Aplikasi Web-based GIS dengan MapServer*. Bandung: Penerbit Informatika.
- Ramakrishnan, R., & Kaur, A. (2020). An empirical comparison of predictive models for web page performance. *Information and Software Technology*, 123, 106307. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106307>
- Riungu, G. K., Peterson, B. A., Beeco, J. A., & Brown, G. (2018). Understanding visitors' spatial behavior: a review of spatial applications in parks. *Tourism Geographies*, 20(5), 833–857. <https://doi.org/10.1080/14616688.2018.1519720>
- Rondonuwu, J., Hartomo, K. D., & Chernovita, H. P. (2020). Geographic Information System for Mapping the Spread of COVID-19 in the city of Salatiga, 4(2), 403–412.
- Sawant, O., & Godse, S. (2014). Web-Page Complexity and Optimization Mechanism to Reduce Web-Page Load Time. *IJCAT - International Journal of Computing and Technology*, 1(9), 444–447.
- Sharmila, S., & Ramadevi, E. (2014). Analysis of Performance Testing on Web Applications. *International Journal of Advanced Reserach in Computer and Communication Engineering*, 3(3), 2021–2278. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.01680.x>
- Sholeh, M., & Maulana, T. (2015). Desain dan Implementasi Sistem informasi Wisata Goa berbasis Google Map. *Simetris*, 9(1), 20–27.
- Sholikhan, M., Prasetyo, S. Y. J., & Hartomo, K. D. (2019). Pemanfaatan WebGIS untuk Pemetaan Wilayah Rawan Longsor Kabupaten Boyolali dengan Metode Skoring dan Pembobotan. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 5(1), 131–143. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v5i1.1588>
- Shoval, N., Schvimer, Y., & Tamir, M. (2018). Tracking technologies and urban analysis: Adding the emotional dimension. *Cities*, 72(1240), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.08.005>
- Stamberger, L., van Riper, C. J., Keller, R., Brownlee, M., & Rose, J. (2018). A GPS tracking study of recreationists in an Alaskan protected area. *Applied Geography*, 93(February), 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.02.011>
- Tsou, M. H. (2015). Research challenges and opportunities in mapping social media and Big Data. *Cartography and Geographic Information Science*, 42(August), 70–74. <https://doi.org/10.1080/15230406.2015.1059251>
- Wang, Z., Ye, X., & Tsou, M. H. (2016). Spatial, temporal, and content analysis of Twitter for wildfire hazards. *Natural Hazards*, 83(1), 523–540. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2329-6>
- Wardana, M. I., & Jazman, M. (2017). Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Pemetaan Ruang Ujian Menggunakan Bootstrap dan Leaflet . js (Studi Kasus: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Suska Riau). *Sntiki11*, (May 2017), 257–264. Retrieved from <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/SNTIKI/article/view/3278>
- Yunanri, Riadi, I., & Yudhana, A. (2016). Analisis Keamanan Webserver Menggunakan Metode Penetrasi Testing (PENTEST). *Annual Research Seminar*, 2(1), 300–304.
- Zarodi, H., & Anshori, M. (2017). PEMANFAATAN WEBGIS DALAM MENDUKUNG PROGRAM DESA BERSAUDARA DI KABUPATEN MAGELANG Studi Kasus Simulasi Jalur Evakuasi Program Desa Bersaudara Terhadap Ancaman Erupsi Gunungapi Merapi di Desa Ngargomulyo dan Tamanagung, 223–232. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24895/SNG.2017.2-0.461>
- Zhang, Z., Yu, Y., Zhang, H., Newberry, E., Mastorakis, S., Li, Y., ... Zhang, L. (2018). An Overview of Security Support in Named Data Networking. *IEEE Communications Magazine*, 56(11), 62–68. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1701147>
- Zou, B., Yang, M., Yang, J., Guo, J., Su, Y., Zhang, C., & Wang, W. (2018). Reliability analysis and allocation: Development of a hierarchical structure modeling platform in I&C system Software Life Cycle. *Nuclear Engineering and Design*, 328(December 2017), 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2017.12.020>

ANALISIS KEMAMPUAN KLASIFIKASI CITRA BERBASIS OBJEK UNTUK PEMETAAN PENUTUP LAHAN SKALA DETIL DI SEBAGIAN KOTA BANDAR LAMPUNG

(Analysis of Object Based Image Classification Capabilities for Detailed Scale Landcover Mapping in Part of Bandar Lampung City)

Iqbal Arrahman dan Muhammad Kamal

Departemen Sains Informasi Geografi Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada
Sekip Utara, Bulaksumur, Yogyakarta 55281 Indonesia
E-mail: m.kamal@ugm.ac.id

Diterima: 6 Agustus 2020; Direvisi: 5 April 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 20 Mei 2021

ABSTRAK

Pemetaan skala detil penutup lahan penting dilakukan untuk mendukung kegiatan memantau perkembangan wilayah, perencanaan wilayah, dan evaluasi sumberdaya alam. Metode interpretasi visual sangat efektif untuk kegiatan pemetaan objek penutup lahan, terutama dari aspek akurasi tematik dan geometrik objek. Akan tetapi, metode interpretasi visual sering kali tidak menghasilkan peta yang konsisten karena bergantung pada kemampuan interpreter dan kurang efektif dari segi waktu. Metode klasifikasi berbasis objek berpotensi untuk mengatasi kelemahan tersebut, yaitu dapat dilakukan pemetaan secara digital, sistematis dan konsisten, dapat direplikasi (diulang), serta mampu mempertimbangkan aspek geometrik objek. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan klasifikasi berbasis objek untuk pemetaan penutup lahan skala detil, dilihat dari nilai uji akurasi yang dihasilkan. Penilaian akurasi pemetaan untuk klasifikasi berbasis objek membutuhkan *area-based accuracy assessment* yang menilai akurasi dari segi semantik (tematik) dan geometrik objek hasil pemetaan dibandingkan dengan data referensi. Data referensi untuk uji akurasi menggunakan hasil interpretasi visual yang dikonfirmasi dengan survei lapangan. Kedua peta diperoleh dari citra WorldView-2 *pan-sharpened* (ukuran piksel 0,5 m), kemudian hasil pemetaan di-*overlay* dan dihitung akurasi berdasarkan *user's accuracy* (UA), *producer's accuracy* (PA), *overall quality* (OQ), dan *overall accuracy* (OA). Hasil pemetaan menunjukkan klasifikasi berbasis objek menghasilkan *overall accuracy* sebesar 71,27 %. Angka ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini, hasil klasifikasi berbasis objek belum mampu menyamai akurasi atau kemampuan hasil pemetaan skala detil dari interpretasi visual.

Kata kunci: *area-based accuracy assessment*, interpretasi, *pan-sharpened*, segmentasi

ABSTRACT

Detailed scale land cover mapping is important to support the monitoring of regional development, planning, and evaluation of natural resources. The visual interpretation (VI) method is very effective for mapping land cover objects, especially from the aspect of thematic and geometric accuracy. However, VI often does not produce consistent maps because it depends on the ability of the interpreter and is less effective in terms of time. Object-based (OB) classification methods have the potential to overcome these weaknesses, such as the mapping process can be done digitally, systematically, and consistently, can be replicated (repeated), and able to consider the geometric aspects of objects. This study aims to analyze the ability of OB classification for detailed scale land cover mapping, observed from the resulting accuracy assessment values. Accuracy assessment for OB classification requires an *area-based accuracy assessment* which assesses both semantic (thematic) and geometric aspect of the mapping results compared to the reference data. Reference data for this purpose was produced from VI confirmed by field surveys. Both maps were obtained from the *pansharpened* WorldView-2 imagery (pixel size 0.5 m), then the mapping results were overlaid and calculated based on *user's accuracy* (UA), *producer's accuracy* (PA), *overall quality* (OQ), and *overall accuracy* (OA) measures. The mapping result shows that OB classification produces an overall accuracy of 71.27%. It means that the result of OB classification has not been able to match the accuracy or ability of detailed scale mapping results from VI.

Keywords: *area-based accuracy assessment*, interpretation, *pan-sharpened*, segmentation

PENDAHULUAN

Informasi penutup lahan memiliki peranan penting dalam pengelolaan suatu wilayah. Penutup lahan merupakan salah satu sumber informasi

penting dalam kajian geografi fisik, analisis lingkungan, monitoring, perencanaan tata ruang, evaluasi sumber daya alam suatu wilayah, dan studi perubahan global (Prasad et al., 2002; Mare &

Mihai, 2016). Penutup lahan tidaklah sama dengan penggunaan lahan, walaupun keduanya memiliki hubungan pada objek yang dipetakan. (Danoedoro (2009) mengemukakan bahwa, penutup lahan secara langsung dapat diekstraksi melalui citra penginderaan jauh sedangkan penggunaan lahan dapat diekstraksi ketika data dari penutup lahan telah diketahui pemanfaatan lahannya atau fungsionalnya. Senada dengan pengertian tersebut, (Campbell & Wynne, 2011) menyatakan bahwa penutup lahan merupakan objek yang benar-benar dapat dilihat secara langsung, sedangkan penggunaan lahan lebih spesifik berupa lahan yang dilihat dari sudut pandang pemanfaatan oleh manusia secara ekonomis, seperti dalam bidang pertanian, perumahan dan penggunaan lainnya. Kondisi dan variasi objek di permukaan bumi bersifat dinamis dan selalu mengalami perubahan dari waktu ke waktu karena merepresentasikan interaksi antara aktivitas sosial-ekonomi dan perubahan lingkungan secara keruangan (Huang et al., 2017; Jia et al., 2014). Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan pemetaan terkait penutup lahan skala detil sangat penting dilakukan secara sistematis, efisien dan berkala untuk dapat merepresentasikan kondisi aktual penutup lahan detil di suatu wilayah.

Citra penginderaan jauh dalam hal ini mampu memberikan informasi yang akurat dan *up-to-date* mengenai objek penutup lahan skala detil (Jia et al., 2014; Mare & Mihai, 2016). Citra penginderaan jauh memiliki banyak kelebihan untuk pemetaan penutup lahan dibandingkan dengan survei terestris, antara lain mencakup liputan daerah yang luas, perulangan perekaman pada daerah yang sama, kemampuan penyajian data multi-skala, dan efisien dalam hal waktu dan biaya (Kamal et al., 2015; Morgan et al., 2010). Metode ekstraksi informasi penutup lahan dari citra penginderaan jauh yang lazim digunakan adalah interpretasi visual (Morgan et al., 2010). Metode ini mampu menghasilkan akurasi yang tinggi, baik pada citra resolusi spasial tinggi maupun resolusi spasial rendah. Akan tetapi menurut (Filho et al., 1997) metode ini memiliki dua kelemahan utama, yaitu adanya aktivitas pengulangan yang menghabiskan banyak waktu dan klasifikasi yang dihasilkan sangat bergantung pada pengetahuan serta pengalaman interpreter citra.

Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan klasifikasi citra menggunakan metode lain yang dapat dioperasikan secara digital, sistematis dan konsisten, dapat direplikasi (diulang), serta mampu mempertimbangkan aspek geometrik objek pada citra. Salah satu metode klasifikasi yang potensial dan berkembang pesat saat ini adalah klasifikasi berbasis objek atau sering dikenal dengan istilah *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA) (Blaschke et al., 2014; Hay & Castilla, 2008). Metode klasifikasi berbasis objek memiliki beberapa

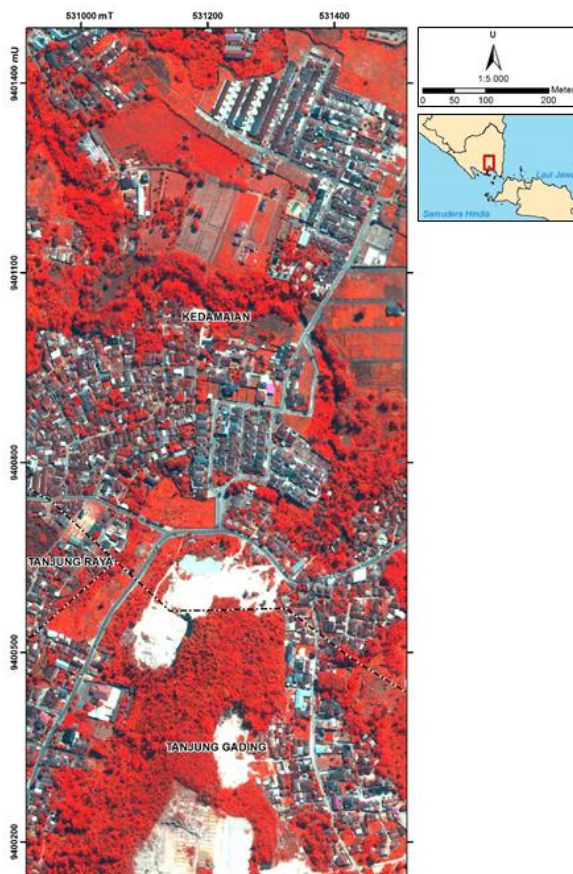
kelebihan yang menggunakan seluruh dimensi dari citra penginderaan jauh berupa informasi spektral (saluran multispektral), spasial (area, panjang, lebar, arah), morfologi (bentuk, tekstur), kontekstual (hubungan dengan piksel tetangga, analisis kedekatan), dan temporal. Metode ini juga mampu menggunakan berbagai teknik klasifikasi yang sebelumnya sudah lazim digunakan misalnya klasifikasi terselia, logika *fuzzy*, *rule-based classification* dan dapat diintegrasikan dengan sistem informasi geografi (Navulur, 2006).

Menurut (Bhatta 2013) klasifikasi citra penginderaan jauh digital secara umum dibagi menjadi klasifikasi multispektral dan berbasis objek. Klasifikasi multispektral berbasis piksel yang hanya mempertimbangkan nilai piksel pada citra. Sedangkan klasifikasi berbasis objek tidak hanya mempertimbangkan nilai piksel, namun juga mempertimbangkan aspek ketetanggaan dan kelompok piksel yang membentuk individu objek tunggal, termasuk beberapa aspek di atas, sehingga klasifikasi berbasis objek dianggap sebagai alternatif yang potensial untuk ekstraksi informasi penutup lahan. Secara teknis terdapat dua proses utama dalam klasifikasi berbasis objek, yaitu segmentasi dan klasifikasi (Navulur, 2006). Segmentasi membagi citra menjadi kelompok-kelompok piksel bertetangga yang homogen yang kemudian disebut objek primitif atau segmen yang batasnya mendekati batas target objek di lapangan (Blaschke, 2010). Proses segmentasi didasarkan pada informasi spektral dan pola lokal piksel atau informasi tekstur dari piksel bertangga (Mathieu et al., 2007; Navulur, 2006). Sedangkan klasifikasi adalah pemberian label pada setiap segmen ke dalam kelas-kelas target objek (misalnya penutup lahan) berdasarkan kriteria tertentu. Proses klasifikasi ini dapat mempertimbangkan berbagai variabel, seperti pantulan spektral, tekstur, bentuk, ukuran objek, dan berpotensi menghasilkan peta yang lebih akurat dan terperinci daripada teknik klasifikasi multispektral (Baatz et al., 2004; Blaschke et al., 2014).

Karena unit terkecil pada klasifikasi berbasis objek adalah segmen objek, maka penilaian akurasi hasil klasifikasinya melibatkan aspek semantik (tematik) dan geometrik dari objek target (Blaschke, 2010), atau secara teknis disebut dengan *area-based accuracy assessment* (Kamal & Johansen, 2017; Zhan et al., 2005). Aspek semantik (tematik) melihat kesesuaian pemberian label tiap segmen terhadap referensi di lapangan. Sedangkan aspek geometrik menilai akurasi hasil pemetaan dari kriteria posisi, ukuran, dan bentuk objek (Zhan et al., 2005). Penelitian ini bertujuan untuk (1) memetakan objek penutup lahan pada skala detil (1:5.000) dengan menggunakan metode klasifikasi berbasis objek, dan (2) menganalisis akurasi hasil klasifikasi berbasis objek yang dihasilkan melalui parameter *area-based accuracy assessment*.

METODE

Penelitian dilakukan di sebagian Kota Bandar Lampung yang mencakup kawasan permukiman di Tanjung Karang. Batas daerah penelitian berada pada koordinat 530912-531513 mT, 9400145-9401487 mU dengan (sistem koordinat UTM Zona 48 M atau 5°25'36,66"-5°24'52,94" BT, 105°16'44,54"-105°17'4,05" LS (**Gambar 1**). Lokasi ini dipilih karena berada di antara pusat industri dan pusat perkotaan, sehingga daerah ini berupa daerah transisi, dimana pengaruh fisik perkotaan dan kondisi perdesaan ditemui pada daerah ini. Keadaan tersebut memunculkan variasi penutup lahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya di Kota Bandar Lampung. Daerah kajian yang diambil tidak terlalu luas untuk lebih fokus pada kemampuan klasifikasi berbasis objek untuk pemetaan penutup lahan skala detil.



Gambar 1. Lokasi penelitian di sebagian Kota Bandar Lampung disajikan dengan citra WorldView-2 komposit 732.

Penelitian mencakup pemetaan penutup lahan melalui klasifikasi berbasis objek dan interpretasi visual. Terlebih dahulu dilakukan koreksi radiometrik dan *pan-sharpening* sebagai *input* awal

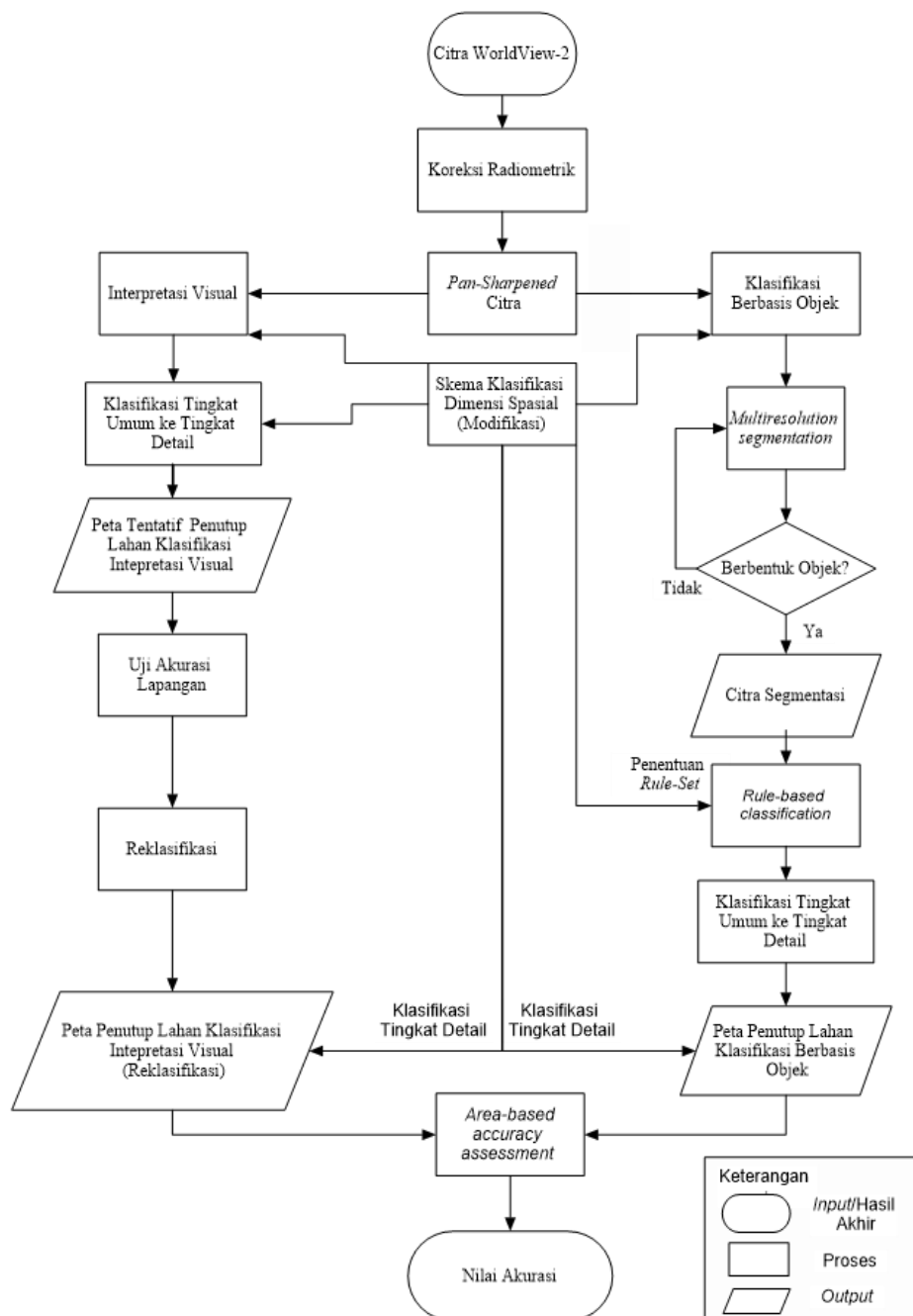
untuk pemetaan. Selanjutnya, interpretasi visual yang sudah dilakukan uji lapangan digunakan sebagai *input* untuk menilai pemetaan hasil klasifikasi berbasis objek melalui parameter *area-based accuracy assessment*. Klasifikasi berbasis objek dimulai dari tahapan segmentasi dan dilanjutkan ke tahapan klasifikasi menggunakan *object information* melalui *rule-based classification*. Berdasarkan hasil analisis keseluruhan akan diketahui apakah klasifikasi berbasis objek untuk pemetaan penutup lahan dengan menggunakan citra WorldView-2 mampu menyamai hasil klasifikasi interpretasi visual (**Gambar 2**).

Penelitian menggunakan citra WorldView-2 perekaman 16 Agustus 2016 yang mencakup sebagian Kota Bandar Lampung. Citra tersebut diperoleh pada level koreksi standar 2A dan memiliki delapan saluran multispektral (*coastal blue-NIR2*) dengan ukuran piksel 1,85 meter dan satu saluran pankromatik dengan ukuran piksel 0,46 meter.

Pengolahan Awal Citra Satelit

Pengolahan citra WorldView-2 dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Envi 5.3., yang meliputi koreksi radiometrik,, dan penajaman spasial citra melalui proses *pan-sharpening* (*Gram-Schmidt Spectral Pansharpening*). Koreksi radiometrik dilakukan dengan keseluruhan *band* atau saluran, baik saluran multispektral maupun saluran pankromatik. Citra WorldView-2 berada pada level standar 2A yang masih berupa nilai kecerahan atau *brightness value*. Koreksi radiometrik tahap pertama perlu mengonversi nilai *brightness value* menjadi nilai radiansi/*radiance* objek yang diterima oleh sensor. Nilai radiansi yang diterima oleh sensor masih berupa nilai pancaran, sehingga diubah ke dalam bentuk nilai pantulan atau *reflectance*.

Pan-sharpening dengan algoritma *Gram-Schmidt Spectral Pansharpening* dapat diterapkan pada saluran multispektral WorldView-2 dan mampu mempertahankan nilai piksel asli (Laben & Brower, 2000). Proses *pan-sharpening* tersebut menghasilkan citra baru dengan ukuran piksel 0,5 meter dan delapan saluran multispektral. Penentuan ukuran piksel tersebut dimaksudkan untuk menghasilkan peta dengan ketelitian skala output 1:5000 sesuai dengan panduan hubungan ukuran piksel citra dengan skala *output* optimum dari (Doyle, 1975).



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Skema Klasifikasi

Klasifikasi penutup lahan menggunakan skema klasifikasi dimensi spasial (Danoedoro, 2009). Skema klasifikasi ini digunakan pada metode klasifikasi dengan metode interpretasi visual dan klasifikasi berbasis objek. Skema klasifikasi ini dipilih karena skema klasifikasi ini lebih menekankan pada aspek bentuk objek penutup lahan. Selain itu, terdapat adanya kesesuaian konsep antara klasifikasi dimensi spasial dengan klasifikasi berbasis objek yang sama-sama mempertimbangkan aspek spasial dari objek penutup lahan. Beberapa modifikasi skema klasifikasi dimensi spasial dilakukan karena pada daerah penelitian terdapat objek-objek yang kurang

sesuai untuk dikelaskan melalui skema klasifikasi dimensi spasial, terutama pada kelas tingkat detail (Tabel 1).

Segmentasi Citra

Segmentasi citra dilakukan dengan menggunakan algoritma *multiresolution segmentation*. Algoritma segmentasi ini bersifat *bottom-up*, artinya proses dimulai dengan objek satu piksel kemudian piksel digabung (*region growing*) dengan piksel homogen di sekelilingnya sehingga membentuk segmen objek (Baatz et al., 2004). Algoritma tersebut menggunakan lima parameter, yaitu warna, bentuk, kekompakan,

kehalusan, dan skala. Parameter tersebut dapat diatur dengan memberikan besaran nilai tertentu.

Tabel 1. Skema klasifikasi penutup lahan dimensi spasial (dengan modifikasi).

Kode	Klasifikasi Penutup Lahan Umum	Kode	Klasifikasi Penutup Lahan Detil
A	Tubuh Air	A1	Sungai
		A2	Kolam daratan
		L11	Lahan terbuka di samping jalan
		L12	Lahan terbuka yang dikelilingi bangunan
L	Lahan Terbuka	L21	Lahan terbuka berukuran kecil dengan bentuk tidak teratur/spesifik
		L22	Lahan terbuka berukuran besar dengan bentuk tidak teratur/spesifik
		L31	Lahan terbuka berukuran kecil dengan bentuk teratur/spesifik
		L32	Lahan terbuka berukuran besar dengan bentuk teratur/spesifik
		T11	Lahan terbuka dengan permukaan diperkeras
		T21	Blok Lahan terbangun ukuran kecil pola teratur
		T22	Blok lahan terbangun ukuran sedang pola teratur
		T23	Blok lahan terbangun ukuran bervariasi pola teratur
		T24	Blok lahan terbangun ukuran bervariasi pola tidak teratur
		T31	Lahan terbangun dengan objek/unit tunggal atau lebih yang belum membentuk blok
T	Lahan Terbangun	T41	Jalan yang diperkeras
		T42	Jalan yang belum diperkeras
		V11	Bentuk spesifik, homogen, jarak antara vegetasi tidak teratur
		V21	Bentuk tidak spesifik, homogen, jarak antara vegetasi teratur
V	Vegetasi	V31	Bentuk tidak spesifik, homogen, jarak antara vegetasi tidak teratur
		V32	Bentuk tidak spesifik, heterogen, jarak antar vegetasi tidak teratur
		V41	Pohon tunggal/lebih yang belum membentuk blok
		V42	Vegetasi rumput berukuran kecil

Sumber: Danoedoro (2009), dengan modifikasi

Terdapat dua alasan utama pemilihan algoritma *multiresolution segmentation*. Pertama, algoritma ini mampu menghasilkan segmen-segmen yang membentuk objek yang besaran atau cakupan homogenitas objeknya dapat diatur oleh

operator melalui *scale parameter*. Kedua, proses segmentasi yang dilakukan melibatkan berbagai parameter (warna, bentuk, kekompakan, kehalusan dan skala), dimana setiap input parameter dapat diatur oleh operator sesuai kebutuhan. Adanya banyak parameter pembentuk segmen citra pada algoritma ini diharapkan ini mampu mengatasi permasalahan tingginya variasi objek penutup lahan pada daerah penelitian yang akan dikelaskan dengan skema klasifikasi dimensi spasial.

Klasifikasi Citra Berbasis Objek

Klasifikasi dari hasil segmentasi citra dilakukan dengan menggunakan teknik *rule-based classification*, atau klasifikasi berdasarkan aturan-aturan kondisional yang diterapkan untuk tiap kelas penutup lahan target. Teknik klasifikasi tersebut mempertimbangkan karakteristik penyusun segmen yang akan dikelaskan, atau disebut dengan *object information*. *Object information* dapat terdiri dari informasi *standard deviation*, *brightness value*, *extent*, *shape* dan sebagainya yang dihitung secara statistik pada suatu segmen citra (Baatz et al., 2004; T. Blaschke, 2010). Aturan kondisional yang digunakan untuk klasifikasi segmen diperoleh dari deskripsi karakteristik objek penutup lahan baik yang diperoleh melalui interpretasi visual maupun verifikasi lapangan. Karakteristik objek tersebut berlaku sebagai kunci-kunci pengenalan objek penutup lahan detil. Aturan tersebut kemudian diterapkan pada tiap segmen hasil segmentasi menggunakan software eCognition Developer 9.0.

Untuk mempermudah proses klasifikasi berbasis objek, maka diberlakukan pendekatan hirarki klasifikasi (Baatz et al., 2004; Kamal et al., 2015), mulai dari penutup lahan yang paling umum menuju yang lebih detil. Tahap awal adalah memisahkan kelas penutup lahan tingkat umum yang terdiri atas kelas vegetasi, lahan terbangun, lahan terbuka, dan tubuh air. Selanjutnya diturunkan ke tingkat yang lebih detil sesuai dengan target pemetaan.

Area-based Accuracy Assessment

Peta penutup lahan skala detil hasil klasifikasi berbasis objek diuji akurasi dari segi semantik dan geometrik melalui *area-based accuracy assessment*. Perhitungan akurasi tersebut mengikuti cara yang dijelaskan oleh (Kamal et al. 2015) dan (Kamal & Johansen (2017) yang meliputi *user's accuracy* (UA), *producer's accuracy* (PA), *overall quality* (OQ), dan *overall accuracy* (OA). Sebagai referensi uji akurasi, digunakan peta penutup lahan skala detil yang berasal dari interpretasi visual citra WorldView-2 *pan-sharpened* yang telah diverifikasi dengan data lapangan. Persamaan 1-4 menunjukkan rumus dari parameter *area-based accuracy assessment* yang digunakan.

$$OQ = \frac{|C \cap R|}{|\neg C \cap R| + |C \cap \neg R| + |C \cap R|} \dots \dots \dots (1)$$

$$UA = \frac{|C \cap R|}{|C|} \dots \dots \dots (2)$$

$$PA = \frac{|C \cap R|}{|R|} \dots \dots \dots (3)$$

$$OA = \frac{|C \cap R|}{|C \cup R|} \dots \dots \dots (4)$$

di mana:

C = hasil klasifikasi berbasis objek

R = data referensi (hasil interpretasi visual)

$\neg C \cap R = R$ yang tidak bertampalan dengan C

$C \cap \neg R = C$ yang tidak bertampalan dengan R

$C \cap R$ = pertampalan antara C dan R

$C \cup R$ = luas keseluruhan area

Metode ini menerapkan himpunan (matematika) yang dalam penelitian ini mengkaji luas poligon yang sesuai atau tidak sesuai, baik dari sisi semantik maupun geometrik, antara klasifikasi berbasis objek dengan data referensi (hasil interpretasi visual) melalui overlay. Pengujian *user's accuracy* (UA), *producer's accuracy* (PA), dan *overall quality* (OQ), dilakukan pada masing-masing kelas penutup lahan. Sedangkan *overall accuracy* (OA) dihasilkan dari perhitungan seluruh poligon kelas penutup lahan. Disebabkan daerah kajian yang tidak terlalu luas, maka overlay hasil klasifikasi berbasis objek dan hasil klasifikasi interpretasi visual pada penelitian ini tidak menggunakan sampel, tetapi mencakup seluruh populasi daerah kajian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Peta Penutup Lahan Referensi

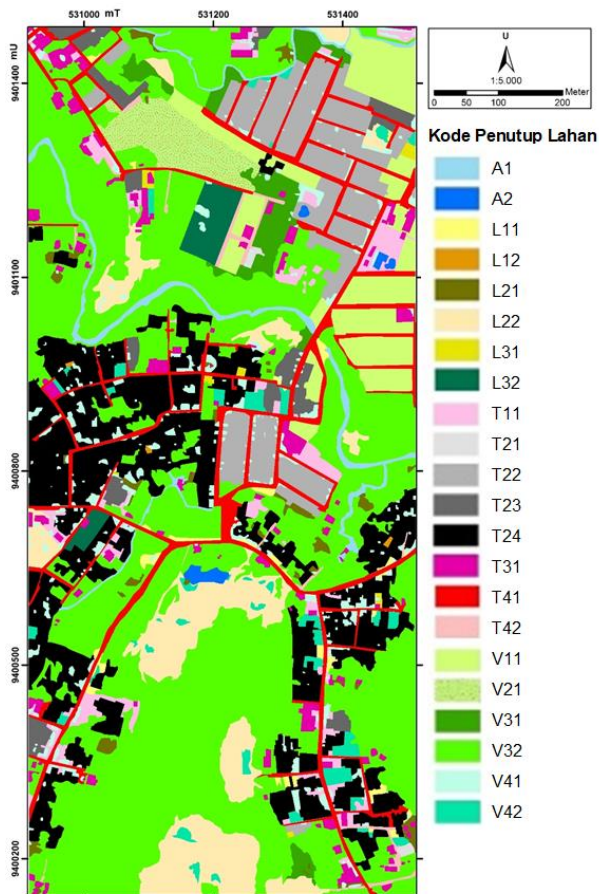
Peta penutup lahan yang dibuat melalui interpretasi visual dibutuhkan sebagai data referensi untuk uji akurasi semantik dan geometrik hasil klasifikasi penutup lahan skala detil berbasis objek. Peta referensi tersebut dianggap benar karena telah dilengkapi dengan verifikasi lapangan (Congalton & Green, 2009; Congalton, 1991). Sebelum dilakukan pembuatan peta penutup lahan referensi melalui interpretasi visual, penting untuk mempertimbangkan dua hal, yaitu komposit citra dan tingkat zooming atau perbesaran dalam kegiatan interpretasi visual. Komposit citra penting untuk dipertimbangkan karena dapat membantu memudahkan identifikasi objek tertentu pada citra. Sedangkan tingkat perbesaran berperan penting dalam menghasilkan kualitas dan ketelitian hasil digitisasi peta penutup lahan melalui interpretasi visual secara *on-screen*.

Berdasarkan hasil simulasi, komposit saluran 732 (*NIR1, green, blue*) dan 532 (*red, green, blue*) digunakan untuk kegiatan interpretasi visual penyusunan peta referensi. Komposit 732 mampu menonjolkan vegetasi lebih baik dibandingkan

komposit lainnya, sedangkan komposit 532 merupakan komposit warna asli yang dapat digunakan untuk membantu objek-objek yang meragukan untuk dibedakan antara bangunan ataupun vegetasi. Sedangkan untuk tingkat perbesaran yang digunakan dalam kegiatan digitisasi yakni sebesar empat kali skala pemetaan, sehingga proses digitisasi dilakukan pada skala 1: 1.250. Tingkat perbesaran dengan skala tersebut dianggap sesuai karena kenampakan objek masih terlihat jelas dan dapat dikenali dari citra.

Mengacu pada **Tabel 1**, secara umum kelas penutup lahan pada penelitian ini dibagi menjadi dua kelas utama, yaitu kelas umum dan kelas detil. Kelas umum terdiri dari empat kelas, sedangkan kelas detil terdiri dari 22 kelas yang dipecah dari kelas umum. Dalam identifikasi objek penutup lahan, terdapat objek yang dapat dikelaskan secara langsung dan ada pula objek yang harus memperhatikan objek di sekitarnya untuk dapat dikelaskan. Objek yang dapat dikelaskan secara langsung pada umumnya merupakan objek-objek yang dapat dikenali hanya dengan menggunakan kunci interpretasi visual seperti rona, warna, bentuk, ukuran, dan pola atau tekstur, misalnya jalan yang diperkeras. Sedangkan objek yang tidak dapat dikelaskan secara langsung cenderung menggunakan kunci interpretasi visual asosiasi dan situs/konteks, misalnya objek lahan terbuka di samping jalan.

Verifikasi kondisi penutup lahan lapangan dilaksanakan pada tanggal 22-23 Mei 2018. Kegiatan tersebut dimaksudkan untuk verifikasi aspek semantik dan geometrik objek penutup lahan hasil interpretasi visual kondisi tahun 2016. Sampel yang diambil memiliki selisih 1 tahun 9 bulan terhadap waktu perekaman citra WorldView-2 yang digunakan. Selisih waktu yang cukup jauh ini pada beberapa objek menghasilkan perbedaan antara hasil interpretasi penutup lahan dengan objek di lapangan yang sebenarnya. Secara umum objek lahan terbangun tidak mengalami perubahan dalam kurun waktu tersebut. Akan tetapi objek lahan terbuka, lahan terbangun, dan vegetasi mengalami beberapa perubahan minor. Sebagai contoh, lahan terbuka atau lahan terbangun yang tidak terawat cenderung berubah menjadi vegetasi, misalnya objek lahan terbuka berukuran kecil dengan bentuk tidak teratur/spesifik ditemukan mengalami perubahan menjadi vegetasi berupa kebun atau rumput. Perubahan-perubahan tersebut dicatat, namun tidak digunakan untuk perbaikan hasil interpretasi karena yang digunakan sebagai *baseline* adalah kondisi penutup lahan tahun 2016. Hasil peta penutup lahan referensi disajikan pada **Gambar 3**.

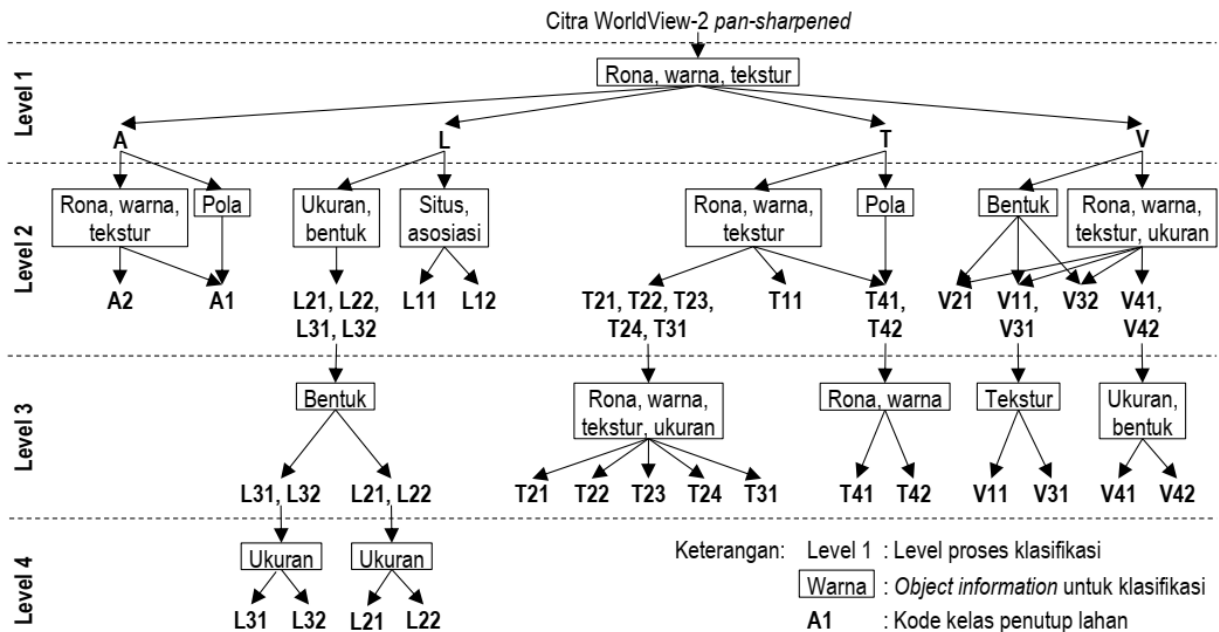


Gambar 2. Peta penutup lahan hasil klasifikasi interpretasi visual sebagai referensi.

Penyusunan Hierarki Klasifikasi

Klasifikasi berbasis objek perlu dijabarkan dalam beberapa tingkatan klasifikasi yang dikelompokkan berdasarkan karakteristik masing-masing klasifikasi penutup lahan yang digunakan (Kamal et al., 2015). Skenario tingkatan atau hierarki klasifikasi dan karakteristik *object information* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Klasifikasi pada level 1 terdiri dari kelas penutup lahan utama, yaitu tubuh air, lahan terbangun, lahan terbuka, dan vegetasi. Kelas tersebut didefinisikan berdasarkan karakteristik spektral pada citra yang dapat dibedakan berdasarkan rona, warna, dan tekstur. Pada level 2, kelas tubuh air dapat dibedakan langsung antara sungai dan kolam daratan dengan menggunakan kunci interpretasi rona, warna, tekstur, dan pola. Klasifikasi kelas lahan terbuka lebih banyak menggunakan *object information* bentuk untuk memisahkan antar sub-kelas objeknya. Tahap awal perlu memisahkan antara lahan terbuka yang memerlukan pendefinisian berdasarkan ukuran, bentuk, situs dan asosiasi objek. Pada level 3 objek yang didefinisikan dengan bentuk dan ukuran selanjutnya menggunakan *object information* bentuk mendefinisikan apakah spesifik atau tidak dengan menggunakan *object information* bentuk. Pada level 4 masing-masing kelas lahan terbuka selanjutnya dikelaskan menggunakan ukuran untuk membedakan antara lahan terbuka berukuran luas dan lahan terbuka berukuran kecil. Kompleksitas karakteristik penciri kelas lahan terbuka menjadikan proses klasifikasi hingga pada level 4.



Gambar 4. Skenario hierarki proses klasifikasi penutup lahan skala detail yang diterapkan pada klasifikasi berbasis objek. Tiap kelas penutup lahan memiliki *object information* yang spesifik untuk dapat dikenali dari citra.

Klasifikasi kelas lahan terbangun pada level 2 dilakukan untuk memisahkan antara kelas jalan, lahan terbuka yang diperkeras, dan blok bangunan. Ketiga kelas ini memiliki karakteristik yang berbeda. Jalan dibedakan berdasarkan rona, warna tekstur, dan pola. Lahan yang diperkeras dibedakan berdasarkan *objek information* rona, dan blok lahan terbangun dibedakan berdasarkan ukuran, tekstur, dan rona. Jalan selanjutnya didefinisikan menggunakan *objek information* rona untuk memisahkan antara jalan yang diperkeras dan jalan yang belum diperkeras. Blok lahan terbangun selanjutnya didefinisikan dan dipisahkan ke tingkat detil dengan menggunakan *objek information* tekstur, karena memiliki nilai spektral yang cenderung berbeda. Klasifikasi kelas vegetasi menggunakan *objek information* ukuran untuk memisahkan blok vegetasi dan vegetasi bukan blok. Vegetasi bukan blok selanjutnya dipisahkan berdasarkan nilai rona, warna, tekstur dan ukuran. Blok vegetasi dipisahkan berdasarkan *objek information* bentuk, rona, warna, tekstur dan ukuran untuk menghasilkan kelas detil.

Segmentasi dan Klasifikasi Penutup Lahan Berbasis Objek

Segmentasi citra merupakan tahap awal dalam proses klasifikasi berbasis objek. Saluran input dari citra WorldView-2 *pan-sharpened* yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari saluran biru (450-510 nm), hijau (510-580 nm), merah (630-690 nm), *red-edge* (705-745 nm), dan inframerah dekat 1 (770-895 nm). Pemilihan saluran input tersebut berdasarkan kontribusi spesifik saluran dalam identifikasi objek penutup lahan. Pembentukan batas delineasi atau poligon segmentasi dihasilkan dengan memberikan bobot atau nilai input.

Algoritma yang digunakan adalah *multiresolution segmentation*. Algoritma ini memungkinkan untuk membagi segmen objek ke dalam beberapa level skala yang berbeda, untuk mengakomodasi skenario klasifikasi dari kelas yang umum ke yang lebih khusus. Algoritma ini membutuhkan beberapa parameter, yaitu bobot saluran citra, nilai skala segmentasi, nilai bentuk-warna (*color-shape*), dan nilai kekompakan-kehalusan objek target (*compactness-smoothness*). Nilai-nilai yang dijadikan input tidak memiliki ketetapan atau aturan yang baku. Sehingga proses segmentasi perlu dilakukan *trial and error* untuk mendapatkan hasil segmen yang dapat menyamai batas objek pada citra. Berdasarkan simulasi sistematis, diperoleh kombinasi parameter segmentasi yang optimal sebagai berikut: bobot saluran semua 1, skala segmentasi 60, parameter bentuk 0,1, dan parameter kekompakan 0,5.

Hasil segmentasi citra menunjukkan bahwa secara visual batas-batas segmen objek berhimpit dengan batas objek pada citra (**Gambar 5**).

Artinya, parameter segmentasi yang digunakan berhasil mendelineasi objek penutup lahan pada citra dengan efektif. Meskipun demikian, walaupun hasil segmentasi menghasilkan batas segmen yang hampir menyerupai batas objek dari citra secara visual, tetapi ada beberapa objek yang tidak terpisahkan dengan baik. Hal ini cenderung disebabkan adanya objek bertetangga yang seharusnya memiliki batas kelas berbeda, tetapi memiliki karakteristik spektral yang hampir sama. Sebagai contoh, objek lahan terbangun berupa atap bangunan yang memiliki warna (i.e. pantulan spektral) yang hampir sama dengan objek jalan (abu-abu hingga hitam di komposit 732).

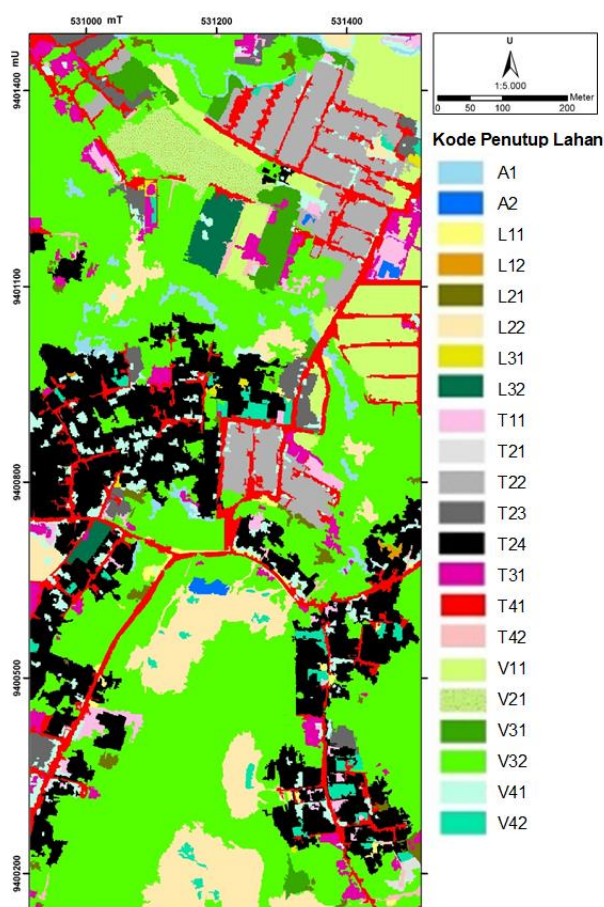


Gambar 5. Batas poligon atau segmen hasil proses segmentasi citra.

Pembuatan peta penutup lahan dengan klasifikasi berbasis objek menggunakan teknik *rule-based*. Pembuatan *rule-based* sama halnya dengan *decision tree* yang memerlukan semacam aturan untuk mengelompokkan data atau dalam hal ini *object information* dari hasil segmentasi citra. Penentuan *object information* yang relevan untuk deteksi dan identifikasi tiap objek penutup lahan dilakukan secara *top-down*, yaitu menggunakan ciri atau karakteristik objek yang diketahui oleh interpreter dari citra WorldView-2 *pan-sharpened* dan kenampakan di lapangan (**Gambar 4**). Skenario proses klasifikasi tersebut kemudian diterapkan secara bertahap untuk mendapatkan kelas penutup lahan detil akhir. Tiap kelas penutup lahan memiliki tingkat kompleksitas rule klasifikasi masing-masing. Sebagai contoh, objek tubuh air hanya membutuhkan 2 level proses klasifikasi, sedangkan kelas lahan terbuka membutuhkan 4 level proses klasifikasi.

Hasil klasifikasi berbasis objek untuk kelas penutup lahan berbasis berdasarkan teknik *rule-based* mampu menghasilkan 22 kelas penutup lahan yang ditargetkan (**Gambar 6**). Proses pada klasifikasi level 1 ditemukan adanya beberapa tumpang tindih informasi secara spektral antara lahan terbuka dan lahan terbangun. Hal ini

disebabkan oleh tingginya variasi informasi spektral dari lahan terbangun karena perbedaan material maupun atap bangunan, sehingga menyulitkan untuk memilih *object information* yang sesuai. Sehingga untuk objek-objek yang mengalami kesalahan klasifikasi (*missclassified*) perlu dilakukan perlakuan spesifik. Kasus khusus juga ditemukan untuk objek vegetasi dan lahan terbangun, dimana keduanya memiliki objek dengan ukuran yang besar dan pada level 1 banyak mengalami *over-segmentation*. Kedua kasus tersebut perlu perlakuan khusus untuk memastikan batas dan kelas utama penutup lahan benar. Pada kasus pertama dilakukan reklasifikasi manual secara minor. Sedangkan untuk kasus kedua dilakukan penggabungan beberapa segmen pada kelas penutup lahan yang sama menjadi satu kelas penutup lahan tersebut yang lebih besar.



Gambar 6. Peta penutup lahan hasil klasifikasi berbasis objek.

Pada level-level klasifikasi berikutnya terdapat beberapa objek yang mudah dan yang sulit dikelaskan. Objek sungai dan kolam daratan keduanya dapat dengan mudah dipisahkan secara langsung pada level 2. Keduanya dipisahkan berdasarkan batas tingkat kecerahan (*brightness*). Kolam daratan memiliki kecerahan tinggi, sedangkan sungai memiliki nilai yang rendah. Pada level 3 dan 4 proses klasifikasi mulai lebih spesifik dan objek semakin sulit untuk dipisahkan. Penyebab

utamanya adalah karena cenderung ditemuinya objek yang saling tumpang tindih informasinya, sehingga dapat mengalami kesalahan klasifikasi. Beberapa objek penutup lahan yang sulit dikelaskan yaitu T11, T22, T23, T31, V11, V31 dan V42.

Uji Akurasi Hasil Klasifikasi Berbasis Objek

Nilai akurasi klasifikasi pada metode *area-based accuracy assessment* didapatkan dari analisis overlay atau tumpang-susun poligon peta penutup lahan antara hasil interpretasi visual dengan hasil klasifikasi berbasis objek (**Tabel 2**). Terdapat empat komponen ukuran yang dihasilkan oleh metode ini, yaitu *user's accuracy* yang menyajikan kesalahan komisi (*commission*) yang mengindikasikan probabilitas objek yang diklasifikasikan pada peta merepresentasikan kategori tersebut di lapangan dengan benar, *producer's accuracy* yang menyajikan kesalahan omisi (*omission*) atau probabilitas segmen objek referensi diklasifikasikan dengan benar (Congalton 1991), *overall quality* yang menunjukkan akurasi area tiap kelas, misalnya dari **Tabel 2** 79,38% dari seluruh area kelas kolam daratan diklasifikasikan dengan benar, dan *overall accuracy* (OA) yang menghitung persentase seluruh area klasifikasi yang benar terhadap area total liputan citra pada penelitian ini (Kamal et al., 2015).

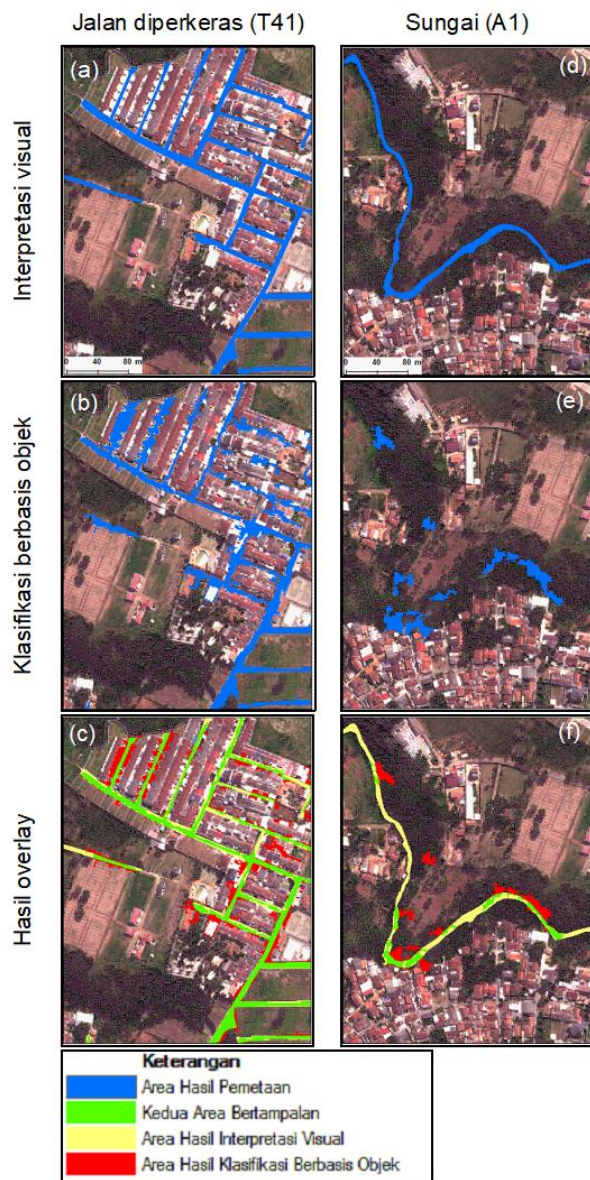
Tabel 2. Hasil uji akurasi kelas penutup lahan melalui *area-based accuracy assessment*.

KodeKelas	<i>User's Accuracy</i>	<i>Producer's Accuracy</i>	<i>Overall Quality</i>	<i>Overall Accuracy</i>
A1	48,94%	40,59%	28,63%	
A2	93,48%	84,03%	79,38%	
L11	64,94%	49,04%	38,77%	
L12	35,27%	58,48%	28,21%	
L21	67,68%	59,12%	46,31%	
L22	88,37%	92,40%	82,84%	
L31	67,93%	55,61%	44,79%	
L32	95,89%	91,12%	87,70%	
T11	85,32%	53,49%	49,06%	
T21	43,99%	66,78%	36,21%	
T22	84,69%	85,70%	74,20%	
T23	71,46%	73,29%	57,13%	71,27%
T24	80,46%	87,62%	72,31%	
T31	62,45%	63,46%	46,32%	
T41	62,75%	68,06%	48,76%	
T42	55,73%	49,36%	35,53%	
V11	91,87%	91,67%	85,42%	
V21	90,36%	88,31%	80,70%	
V31	75,96%	73,82%	59,84%	
V32	91,15%	90,09%	83,14%	
V41	46,99%	52,05%	32,91%	
V42	76,37%	66,59%	55,40%	

Berdasarkan uji akurasi yang dilakukan ditemukan bahwa akurasi masing-masing kelas (*overall quality*) cenderung rendah pada kelas-kelas dengan ukuran poligon yang kecil dibandingkan dengan kelas berpoligon besar. Contoh objek yang memiliki *overall quality* yang kecil (di bawah 50%) dengan ukuran poligon kecil yaitu A1, L11, L12, L21, L31, T11, T21, T31, T42 dan V41. Objek dengan ukuran poligon kecil cenderung hanya sedikit mengalami tumpang atau tumpang tindih antar hasil interpretasi visual dengan klasifikasi berbasis objek, karena memiliki banyak objek-objek kecil yang menyebar. Objek-objek berukuran kecil cenderung mengalami *under-segmentation* atau bergabung pada kelas-kelas yang lebih besar yang mengakibatkan akurasi mengalami penurunan. Semakin kecil objek, maka semakin berpeluang objek tersebut untuk menghasilkan nilai akurasi yang rendah, begitu pula sebaliknya. Akan tetapi, tidak semua kelas objek dengan poligon berukuran kecil menghasilkan akurasi yang rendah (di bawah 50%), yakni pada objek V42 yang memiliki *overall quality* sebesar 55,40%. Objek V42 cenderung bertetangga dengan objek lahan terbuka dan lahan terbangun yang memiliki karakteristik spektral yang berbeda dengan V42, sehingga kecil kemungkinan munculnya *under-segmentation* atau *over-segmentation* pada objek V42. Nilai *overall quality* terbesar dihasilkan oleh kelas L32 yaitu sebesar 87,7%. Besarnya akurasi objek kelas tersebut disebabkan objek ini memiliki ukuran poligon besar dan memiliki bentuk kompak.

Uji akurasi pada seluruh kelas penutup lahan menghasilkan *overall accuracy* sebesar 71,27%. Angka 71,27% tidak mencapai akurasi yang diharapkan, yaitu sekitar 85%. Sehingga klasifikasi berbasis objek pada penelitian ini dianggap belum mampu menyamai akurasi hasil pemetaan interpretasi visual. Rendahnya akurasi yang dihasilkan lebih banyak disebabkan oleh proses segmentasi citra kurang mampu membatasi batas poligon sesuai data referensi (hasil interpretasi visual). Salah satu kelemahan hasil klasifikasi berbasis objek pada penelitian ini yakni batas segmentasi yang dihasilkan secara otomatis, mengakibatkan objek-objek yang pada proses segmentasi tidak dapat didefinisikan pada kelas sesungguhnya. Contohnya, objek jalan yang diperkeras (T41) memiliki pola lurus, pada klasifikasi berbasis objek tidak dapat ditarik garis secara lurus, disebabkan adanya gangguan objek-objek vegetasi yang menutupi informasi spektral dari jalan yang mengganggu hasil segmentasi dari objek jalan (**Gambar 7a-c**). Contoh lainnya, objek sungai (A1) memiliki pola aliran yang dapat diinterpretasi secara visual melalui karakteristik tekstur dan pola. Sedangkan pada klasifikasi berbasis objek, pada beberapa segmen tidak terbentuk segmen sungai, karena tertutup oleh objek-objek vegetasi yang

mengakibatkan segmentasi mengikuti nilai spektral dari objek-objek vegetasi (**Gambar 7d-f**).

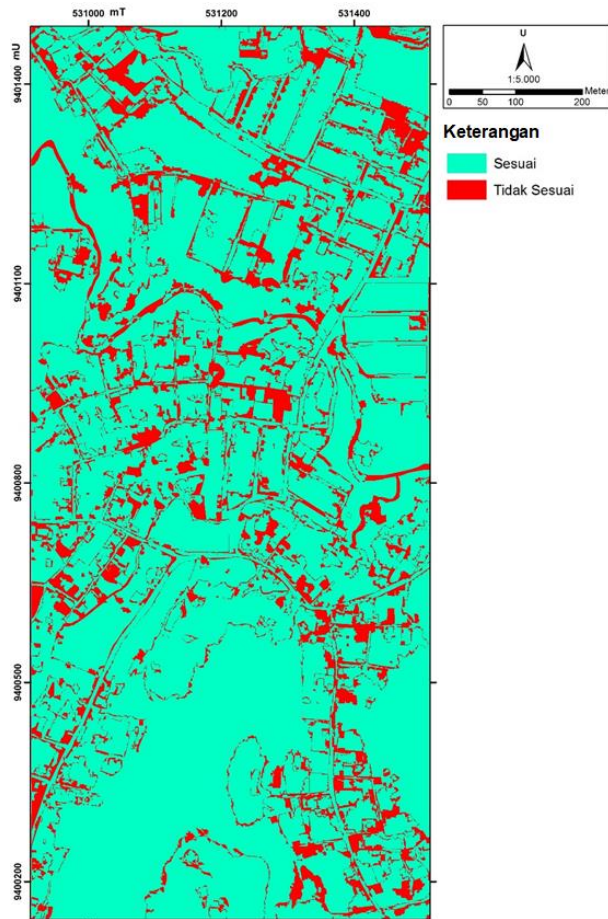


Gambar 7. Hasil overlay antara hasil klasifikasi interpretasi visual dengan klasifikasi berbasis objek pada objek jalan yang diperkeras (T41, a-c) dan objek sungai (A1, d-f).

Perbandingan Hasil Klasifikasi Penutup Lahan

Klasifikasi berbasis objek yang diuji menggunakan *area-based accuracy assessment* pada penelitian ini dapat diterapkan dengan baik untuk mengetahui akurasi dari aspek semantik dan geometrik objek. Untuk dapat melihat efektivitas klasifikasi berbasis objek, maka perlu dilakukan perbandingan kesesuaian hasil klasifikasi penutup lahan terhadap peta referensi (interpretasi visual). Perbandingan dilakukan berdasarkan luas total poligon dari kedua hasil klasifikasi pada masing-masing kelas. Hasil klasifikasi berbasis objek dapat

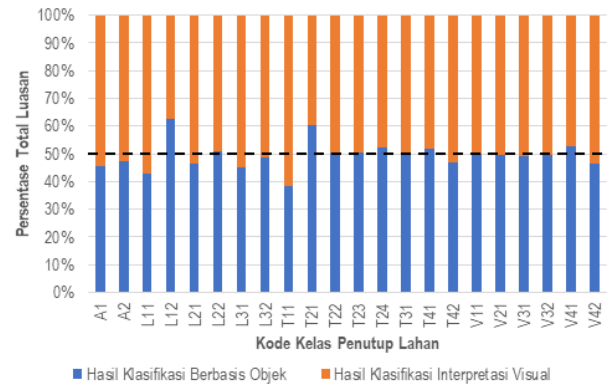
dikatakan efektif apabila memiliki luas poligon yang hampir sama atau tidak jauh berbeda dengan hasil klasifikasi interpretasi visual (**Gambar 8**). Dari peta kesesuaian hasil tersebut dapat diketahui distribusi spasial dan pola kesalahan klasifikasi yang terjadi. Kesalahan klasifikasi berbasis objek beberapa kasus terjadi pada objek tubuh air, lahan terbuka, dan lahan terbangun.



Gambar 8. Peta kesesuaian hasil klasifikasi berbasis objek dengan hasil klasifikasi interpretasi visual.

Untuk dapat membandingkan hasil klasifikasi secara kuantitatif, maka dilakukan perbandingan persentase luasan tiap kelas penutup lahan untuk kedua peta tersebut. **Gambar 9** menunjukkan perbandingan persentase luasan kelas hasil kedua klasifikasi. Jika grafik batang antara kedua peta bertemu pada angka 50% maka kedua peta sesuai 100%. Jika kelas pada klasifikasi berbasis objek nilainya kurang dari 50% maka berarti kelas tersebut *under-classification*, jika sebaliknya maka terjadi *over-classification*. Dari grafik tersebut Sebagian besar hasil klasifikasi berbasis objek mengalami *over-classification* dan *under-classification*, hanya beberapa kelas objek yang mendekati nilai 50%. Hasil klasifikasi berbasis objek yang efektif (mendekati nilai 50%) yaitu, L22, L32, T22, T23, T31, V11, V21, V31 dan V32. Kelas yang paling banyak mengalami *under-classification* yakni T11 atau lahan terbuka yang diperkeras. Kelas ini

mengalami *under-classification* karena cenderung memiliki nilai spektral yang sama dengan atap bangunan (berwarna abu-abu kehitaman di komposit 732). Sedangkan L12 atau lahan terbuka yang dikelilingi bangunan paling banyak mengalami *over-classification*, karena memiliki nilai spektral yang juga sama dengan atap bangunan (berwarna coklat di komposit 732).



Gambar 9. Grafik persentase perbandingan luasan kelas penutup lahan hasil interpretasi visual dan klasifikasi berbasis objek.

Berdasarkan hasil klasifikasi berbasis objek yang dilakukan terdapat beberapa pertimbangan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil akurasi klasifikasi berbasis objek yang menggunakan segmentasi dan metode *rule-based* yaitu, resolusi spasial citra tinggi, saluran-saluran citra yang mampu mengenali objek tertentu secara spesifik, segmentasi yang dipilih benar-benar mampu menghasilkan batas poligon yang sesuai, skema klasifikasi yang digunakan mampu membedakan penutup lahan secara spektral dan spasial, dan pemilihan *object information* yang sesuai dengan karakteristik objek.

Resolusi spasial citra, berkaitan dengan homogenitas objek yang dihasilkan oleh segmentasi. Resolusi citra tinggi akan lebih mampu memisahkan objek dengan baik karena memiliki heterogenitas spektral yang tinggi. Hal ini akan mempengaruhi batas poligon dari segmentasi dan dapat meningkatkan akurasi pemetaan. Resolusi spasial citra sebesar 0,5 meter dianggap masih belum mampu menghasilkan segmentasi yang baik yang menyebabkan hasil segmentasi kurang sesuai dengan data referensi.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut diketahui rendahnya akurasi yang dihasilkan lebih banyak disebabkan segmentasi yang dipilih kurang mampu membatasi batas poligon sesuai data referensi (hasil interpretasi visual). Salah satu kelemahan hasil klasifikasi berbasis objek yang ditemukan pada penelitian ini, yakni batas segmentasi yang dihasilkan secara otomatis mengakibatkan adanya objek-objek yang pada proses segmentasi tidak dapat didefinisikan sesuai kelas sebenarnya.

Tabel 3.Hasil Penelitian dibandingkan Penelitian-Penelitian Sebelumnya.

Peneliti (Tahun)	Citra (Resolusi Spasial)	Jumlah Kelas	Akurasi Semantik	Akurasi Geometrik
Zhan et al. (2005)	TopoSys I (1 m) TopoSys II (1 m) IKONOS (4 m)	2	-	93,1% & 83,3%
Riggan et al. (2009)	SPOT-5 (5 m)	11	82,5%	-
Myint et al. (2011)	Landsat 8 OLI (30 m)	7	90,4%	-
Kamal et al. (2015)	Landsat TM (30 m) ALOS AVNIR-2 (10 m) WorldView-2 <i>pan-sharpened</i> (0,5 m) Foto Udara (7,5 cm) LiDAR (2.8 pts/m ²)	2	-	Landsat TM: 89%, 82% ALOS AVNIR-2: 93%, 82%, 46% WorldView-2: 97%, 85%, 53%, 68 %, 54% LiDAR + WV: 94%, 59%, 64%, 53%
Ramadhani et al. (2015)	Foto Udara (10 cm)	4	94,4%	-
Kamal & Johansen (2017)	WorldView-2 <i>pan-sharpened</i> (0,5 m) Foto Udara (7,5 cm)	2	-	68%
Arrahman & Kamal (20xx)	WorldView-2 <i>pan-sharpened</i> (0,5 m)	22	-	71,27%

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat dilakukan perbandingan terhadap penelitian-penelitian lain yang sudah dilakukan sebelumnya (**Tabel 3**). Pada **Tabel 3** terdapat kolom Akurasi Geometrik dan Akurasi Semantik. Akurasi geometrik yang dimaksud, yakni uji akurasi dengan memperhitungkan batas-batas delineasi/polygon yang dihasilkan. Sedangkan yang dimaksud akurasi semantik, yakni uji akurasi dengan memperhatikan isi kelas atau atribut yang dihasilkan pada delineasi/polygon.

Jika dilihat pada penelitian-penelitian sebelumnya, Zhan et al. (2005) membandingkan klasifikasi multispektral berbasis piksel dan klasifikasi berbasis objek yang dinilai dengan persamaan *similarity*. Riggan et al. (2009) melakukan pemetaan penutup lahan pada klasifikasi berbasis objek dan klasifikasi multispektral berbasis piksel. Myint et al. (2011) membandingkan klasifikasi berbasis objek dengan klasifikasi multispektral berbasis piksel untuk ekstraksi informasi perkotaan. Kamal et al. (2015) menggunakan tiga citra berbeda resolusi pada penelitiannya, untuk mengetahui jenis *mangrove* apa saja yang dapat dipetakan melalui pendekatan klasifikasi berbasis objek. Ramadhani et al. (2015) memanfaatkan foto udara yang memetakan penutup lahan dengan klasifikasi berbasis objek. Kamal & Johansen (2017) memetakan mahkota pohon *mangrove* secara individu dengan menggunakan klasifikasi berbasis objek dan hasil pemetaan klasifikasi berbasis objek diuji dengan pendekatan *area-based accuracy assessment*.

Berdasarkan perbandingan dengan penelitian-penelitian lain sebelumnya pada **Tabel 3**, penelitian

yang menggunakan uji akurasi dengan *area-based accuracy assessment* terdapat pada penelitian Kamal et al. (2015) dan Kamal & Johansen (2017). Apabila dibandingkan dengan banyaknya kelas dan akurasi geometrik yang dihasilkan, nilai *overall accuracy* sebesar 71,27% dapat dikatakan cukup optimis dalam memetakan objek yang memiliki 22 kelas pada hasil klasifikasi berbasis objek, dimana banyaknya kelas cenderung dapat menurunkan *overall accuracy* yang dihasilkan, walaupun akurasi yang dihasilkan belum mampu secara keseluruhan menyamai hasil klasifikasi interpretasi visual.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, klasifikasi berbasis objek mampu untuk memetakan objek penutup lahan skala detil (1:5.000) dengan menggunakan kunci-kunci pengenalan objek, yaitu rona, warna, tekstur, pola, bentuk, ukuran, situs, dan asosiasi. Setiap kelas penutup lahan memiliki karakteristik kunci pengenalan objek dan memiliki level kompleksitas identifikasi yang berbeda. Sebanyak 22 kelas penutup lahan berhasil dipetakan menggunakan *rule-based classification*.

Hasil uji akurasi menggunakan *area-based accuracy assessment* menunjukkan bahwa akurasi masing-masing kelas (*overall quality*) cenderung rendah pada kelas penutup lahan dengan ukuran polygon yang kecil karena cenderung mengalami *under-segmentation*. Nilai *overall accuracy* hasil klasifikasi berbasis objek sebesar 71,27%. Angka ini menunjukkan bahwa hasil klasifikasi berbasis objek pada penelitian ini belum mampu menyamai akurasi hasil klasifikasi interpretasi visual.

Faktor utama yang menyebabkan rendahnya nilai tersebut adalah ketidakakuratan pada proses segmentasi citra dan karakteristik objek kelas penutup lahan yang saling tumpang tindih pada level proses klasifikasi yang tinggi. Penelitian lanjutan dapat difokuskan pada penentuan parameter segmentasi yang lebih optimal untuk pemetaan penutup lahan skala detil dan penggunaan citra penginderaan jauh yang lebih tinggi resolusi spasialnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada (1) Digital Globe Foundation yang telah memberikan akses data citra WorldView-2, (2) Yusron Hidayat Ridho yang telah membantu kerja lapangan, (3) Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas geografi, Universitas Gadjah Mada atas fasilitas peralatan penelitian dan laboratorium untuk mendukung penelitian ini, dan (4) reviewer jurnal atas kritik dan saran yang konstruktif untuk perbaikan manuskrip makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Baatz, M., Benz, U., Dehghani, S., Heynen, M., Höltje, A., Hoffmann, P.,..... & Willhauck, G. (2004). eCognition: User Guide 4: *Definiens Imaging GmbH. Germany: Munchen*.
- Bhatta, B. (2013). *Research methods in remote sensing*. Berlin: Springer.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2–16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Blaschke, T., Hay, G. J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., Queiroz Feitosa, R., van der Meer, F., van der Werff, H., van Coillie, F., & Tiede, D. (2014). Geographic Object-Based Image Analysis - Towards a new paradigm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87, 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014>
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). Introduction to Remote Sensing FIFTH EDITION. In *Uma ética para quantos?* <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Congalton, R. G., & Green, K. (2009). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. In *The Photogrammetric Record* (Vol. 2, Issue 130). <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2010.00574.2.x>
- Congalton, Russell G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46.
- Danoedoro, P. (2009). Land-use Information from the Satellite Imagery: Versatility and Contents for Local Physical Planning. *Saarbrücken: Lambert Academic Publishing*.
- Doyle, F. J. (1975). Cartographic presentation of remote sensor data. *Manual of Remote Sensing, American Society of Photogrammetry*, 2, 1078.
- Filho, R. A., Vitorello, Í., Sant, L., & Bins, A. (1997). *Application of Image Merging, Segmentation and Region-Classification Techniques As a New Approach for the Detailed Thematic Mapping of Soil-Vegetation Assemblages*. 27(2), 207–210.
- Hay, G. J., & Castilla, G. (2008). Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In *Object-based image analysis* (pp. 75–89). Springer.
- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Gong, P., Yang, J., Bai, Y., & Zheng, Y. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 202, 166–176.
- Jia, K., Wei, X., Gu, X., Yao, Y., Xie, X., & Li, B. (2014). Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China. *Geocarto International*, 29(8), 941–951. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.894586>
- Kamal, M., & Johansen, K. (2017). Explicit area-based accuracy assessment for mangrove tree crown delineation using Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA). *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications VIII*, 10428, 17. <https://doi.org/10.1117/12.2278179>
- Kamal, M., Phinn, S., & Johansen, K. (2015). Object-based approach for multi-scale mangrove composition mapping using multi-resolution image datasets. In *Remote Sensing* (Vol. 7, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/rs70404753>
- Laben, C. ., & Brower, B. . (2000). Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening. *United States Patent 6, 11*, 875. <https://doi.org/10.1074/JBC.274.42.30033.51>
- Mathieu, R., Aryal, J., & Chong, A. K. (2007). Object-based classification of Ikonos imagery for mapping large-scale vegetation communities in urban areas. *Sensors*, 7(11), 2860–2880.
- Morgan, J. L., Gergel, S. E., & Coops, N. C. (2010). Aerial Photography: A Rapidly Evolving Tool for Ecological Management. *BioScience*, 60(1), 47–59. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.1.9>
- Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q. (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115(5), 1145–1161. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.017>
- Navulur, K. (2006). *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. CRC press.
- Prasad, R. K., Sinha, A. K., & Ranjan, K. R. (2002). Visual Interpretation of FCC Image for Land Use & Land Cover Mapping. *SICE Annual Conference Program and Abstracts SICE Annual Conference 2002*, 462.
- Ramadhani, Y. H., K, A. P., & Susanti, R. (2015). *Pemetaan Pulau Kecil Dengan Pendekatan Berbasis Objek Menggunakan Data Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Studi Kasus di Pulau Pramuka , Kepulauan Seribu (Small Island Mapping with Object Based Approach Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data : Case Stud*. 125–134.
- Riggan, N. D., Weih, R. C., & Weih, R. C. (2009). Comparison of Pixel-based versus Object-based Land Use/Land Cover Classification Methodologies A Comparison of Pixel-based versus Object-based Land Use/Land Cover Classification Methodologies. *Journal of the Arkansas Academy of Science*,

- 63(63), 145–152.
<http://scholarworks.uark.edu/jaas%0Ahttp://scholarworks.uark.edu/jaas/vol63/iss1/18>
- Rujoiu-Mare, M.-R., & Mihai, B.-A. (2016). Mapping Land Cover Using Remote Sensing Data and GIS Techniques: A Case Study of Prahova Subcarpathians. *Procedia Environmental Sciences*, 32, 244–255.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.029>
- Zhan, Q., Molenaar, M., Tempfli, K., & Shi, W. (2005). Quality assessment for geo-spatial objects derived from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(14), 2953–2974.

PEMETAAN MULTI-TINGKAT POTENSI BIJIH BESI MENGGUNAKAN CITRA HYPERSPEKTRAL EO-1 HYPERION DAN MULTISPEKTRAL LANDSAT 8-OLI DI SEKITAR SUNGAI PROGO, YOGYAKARTA

(Multi-Level Mapping of Iron Ore by using the Combination of Hyperspectral EO-1 Hyperion Imagery and LANDSAT 8-OLI Multispectral in Progo River, Yogyakarta)

Zulfa Andriansyah, M Ihsanur Adib, Iklila Rahmatika, Sanjiwana Arjasakusuma

Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Jalan Kaliurang, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia 55281.

E-Mail: zulfaandriansyah@mail.ugm.ac.id

Diterima: 6 Agustus 2020; Direvisi: 24 April 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 21 Mei 2021

ABSTRAK

Gunung Merapi yang terletak di Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan gunung api aktif yang menyediakan sumber daya mineral melalui aktivitas vulkaniknya. Bijih besi dalam magma yang dikeluarkan melalui erupsi gunung api dapat terbawa aliran sungai yang berhulu di Gunung Merapi. Penelitian ini merupakan penelitian permulaan untuk memetakan potensi keberadaan bijih besi yang terendapkan di sekitar aliran Sungai Progo, Yogyakarta, dengan menggunakan kombinasi citra hiperspektral dan multispektral. Data penginderaan jauh yang digunakan berupa Citra LANDSAT 8-Operational Land Imager (OLI) and Citra *Earth Observation 1* (EO-1) Hyperion. Citra Hyperion memberikan informasi mengenai jenis mineral besi secara spesifik namun cakupan areanya lebih kecil, sedangkan kombinasi *Band Ratio* 4/2 dan (4+6)/5 dari citra LANDSAT 8-OLI memberikan informasi mengenai potensi keberadaan bijih besi. Kombinasi pemetaan multi-tingkat Hyperion dilakukan untuk mendapatkan nilai ambang batas mineral besi pada *Band Ratio* 4/2 dan (4+6)/5 yang digunakan untuk pemetaan potensi bijih besi pada Sungai Progo. Klasifikasi *Spectral Angle Mapper* menggunakan pustaka spektral bijih besi dilakukan pada citra Hyperion berhasil menemukan potensi konsentrasi mineral besi di kawah Merapi. Poligon klasifikasi hasil pemetaan SAM tersebut digunakan untuk menentukan nilai batas ambang indeks di rasio 4/2 dan (4+6)/5, untuk memetakan kandungan mineral besi di Sungai Progo. Hasil penelitian ini menunjukkan sebaran kandungan mineral besi yang terdeteksi di sepanjang Sungai Progo, namun akurasi dari metode yang dihasilkan masih perlu untuk dikaji pada penelitian berikutnya, dan juga diterapkan pada sensor *hyperspectral* baru seperti PRISMA.

Kata kunci: Ambang pemetaan, bijih besi, pustaka spektral, *spectral angle mapper*

ABSTRACT

Mount Merapi, located in Central Java and Special Region of Yogyakarta (DIY,) is an active volcano that provides mineral resources from the constant eruption. Iron ore in magma that is released through volcanic eruptions is carried by the river flowing upstream at Mount Merapi. This research is a preliminary analysis to map the potential presence of iron ore deposited around the flow of the Progo River, Yogyakarta by using a combination of hyperspectral and multispectral images of LANDSAT 8-Operational Land Imager (OLI) Image and Earth Observation 1 (EO-1) Hyperion Image. Hyperion images can provide information about specific types of iron minerals however, the mapping ability was limited by the small swath, while the combination band 4/2 and (4 + 6) / 5 of the LANDSAT 8-OLI image provides information about the potential presence of iron ore in the form of an index. A multi-level mapping using hyperion was carried out to obtain iron mineral threshold values in the 4/2 and (4 + 6) / 5 Band Ratios, used for mapping the potential of iron ore in the Progo River. Spectral Angle Mapper classification using iron ore spectral library was carried out on Hyperion image which found the potential concentration of iron minerals in the crater of Merapi. The classification polygon resulted from the SAM mapping is used to determine the threshold value for an index in the ratio 4/2 and (4 + 6) / 5, to map the iron mineral content in the Progo River. The results of this study indicate the distribution of iron mineral content detected along the Progo River. However, the accuracy of the resulting method and also the application of the new hyperspectral sensors such as PRISMA still need to be studied in the future.

Keywords: Spectral library, iron ore, threshold, *spectral angle mapper*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang dibatasi oleh berbagai lempeng aktif. Hal tersebut menyebabkan Indonesia memiliki jalur pegunungan api aktif. Proses magmatik gunungapi menghasilkan berbagai macam material bumi, sehingga Indonesia memiliki sumber daya mineral yang sangat potensial. Seiring meningkatnya kebutuhan perindustrian, eksplorasi sumber daya mineral semakin banyak dilakukan, salah satu sumber daya mineral tersebut adalah bijih besi.

Bijih besi merupakan bahan tambang yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Bijih besi secara umum memiliki komposisi utama besi oksida berupa *Hematite* (Fe_2O_3), *Magnetite* (Fe_3O_4), *Goethite* ($\text{FeO}(\text{OH})$), siderite (Fe_3O_4) atau limonite ($\text{FeO}(\text{OH})\text{n}(\text{H}_2\text{O})$), dengan *Goethite* dan *hematite* yang merupakan material paling umum (Ramanaidou & Wells, 2012). Bijih besi juga mengandung unsur-unsur lain seperti Ni, Mg, Ca, Si, Cr, dan Zn dengan kadar rendah (Schwertmann & Cornell, 2008). Potensi bijih besi di wilayah Indonesia belum seluruhnya dikaji. Salah satunya adalah wilayah di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, tepatnya di sepanjang aliran Sungai Progo. Sungai Progo merupakan sungai yang terkena dampak dari erupsi Gunung Merapi pada tahun 2010 sehingga memiliki endapan material vulkanik, salah satu di antaranya adalah bijih besi. Tujuan penelitian ini yaitu untuk membuktikan dan memetakan adanya potensi bijih besi khususnya di sekitar Sungai Progo dan sekitar wilayah endapan letusan Gunung Merapi pada umumnya.

Eksplorasi bijih besi umumnya dilakukan dengan metode geologi berupa survei terestris, namun survei terestris membutuhkan waktu, biaya, dan tenaga yang relatif tinggi. Hal tersebut menyebabkan semakin dikembangkannya teknologi untuk memudahkan eksplorasi sumber daya mineral dan energi termasuk di antaranya adalah teknologi penginderaan jauh. Penggunaan teknologi penginderaan jauh dalam eksplorasi sumber daya mineral memiliki beberapa kelebihan, yaitu lebih efisien secara waktu, biaya, dan tenaga, citra yang dihasilkan mampu meliputi wilayah yang luas berdasarkan resolusi spasial, membedakan objek dengan baik berdasarkan resolusi spektral, melakukan perekaman ulang di wilayah yang sama berdasarkan resolusi temporal, dan melakukan pencatatan respons spektral objek berdasarkan resolusi radiometrik. Respons spektral ini berasal dari pantulan cahaya yang diterima oleh sensor sebagai hasil interaksi elektromagnetik terhadap objek itu sendiri. Apabila gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan suatu objek di permukaan bumi maka akan menghasilkan nilai yang dikenal dengan spektral (Danoedoro, 2012). Nilai spektral untuk setiap objek memiliki kekhasan

tersendiri walaupun secara visual terlihat sama. Hal ini terjadi karena masing-masing objek memiliki karakteristik yang berbeda dengan objek yang lain, baik dari warna, keras atau tidaknya objek, maupun intensitas gelombang elektromagnetik pada saat mengenai objek tersebut (Kusumowidagdo *et al.*, 2008).

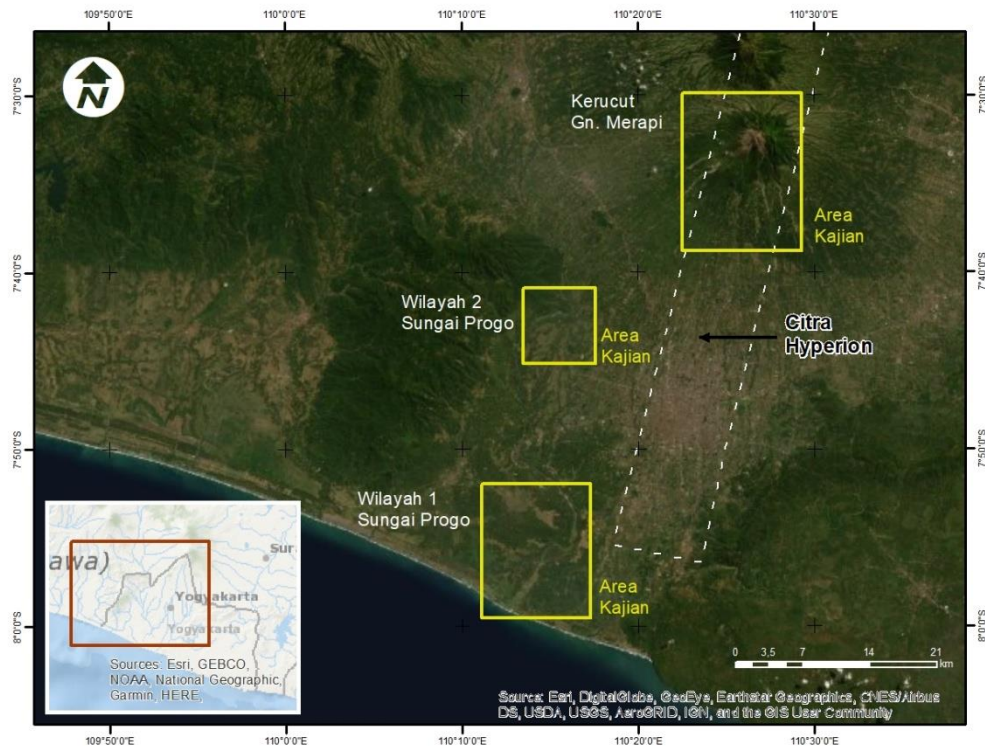
Teknologi dan metode penginderaan jauh telah digunakan untuk memetakan potensi oksida besi menggunakan citra *hyperspectral* dan multispektral. Pemetaan potensi oksida besi dilakukan menggunakan indeks saluran inframerah dekat dan tengah pada citra multispektral di citra ASTER (Rajendran *et al.*, 2011; Soe *et al.*, 2005), Landsat TM (Ciampalini *et al.*, 2013), dan Landsat 8 OLI (Salem & El Gammal, 2015). Penggunaan indeks dengan saluran inframerah dekat dan tengah ini didasari dengan oleh serapan energi elektromagnetik yang tinggi pada saluran ini apabila terdapat indeks bijih besi (Bersi *et al.*, 2016).

Citra *hyperspectral* mampu digunakan untuk pemetaan mineral dengan menggunakan informasi pola spektral yang detail dan menggunakan pustaka spektralnya (*spectral library*). Sebagai contoh Kamal and Arjasakusuma (2010) menggunakan *spectral library* lapangan untuk pemetaan penutup lahan dengan citra Hyperion. Meskipun begitu, citra satelit *hyperspectral* yang tersedia secara gratis hanya memiliki *swath* yang kecil sehingga integrasinya dengan data multispektral perlu dikaji.

Studi ini bertujuan untuk menggunakan citra hiperspektral EO1-Hyperion sebagai dasar untuk pemetaan potensi bijih besi menggunakan citra Landsat 8 OLI. Integrasi melalui pemetaan multi-tingkat akan dilakukan dengan menggunakan dasar pemetaan dari klasifikasi *Spectral Angle Mapper* menggunakan pustaka spektral mineral oksida besi untuk mengidentifikasi *threshold* pada indeks oksida besi di citra Landsat 8 OLI.

METODE

Area kajian pada penelitian ini meliputi kerucut Gunung Merapi dan dua wilayah sampel Sungai Progo (**Gambar 1**). Area kerucut Gunung Merapi dipilih sebagai sumber bijih besi yang mengalir menuju Daerah Aliran Sungai (DAS) yang ada di sekitarnya. Salah satu DAS yang dialiri material vulkanik Gunung Merapi yaitu Sungai Progo, sungai ini memiliki panjang 140 km membentang dari utara (Kab. Temanggung dan Kab. Magelang) hingga bermuara ke Samudera Hindia. Dua wilayah sungai yang dipakai sebagai area kajian keberadaan bijih besi mempertimbangkan pertemuan DAS dengan sub-DAS yang menjadi jalur aliran material vulkanik Gunung Merapi. Material vulkanik dari sub-DAS akan terakumulasi di Sungai Progo membentuk endapan yang diduga memiliki kandungan bijih besi.



Gambar 1. Area kajian.

Landsat 8-OLI

Landsat 8 merupakan seri landsat generasi terbaru yang diluncurkan pada tanggal 11 Februari 2013 menggantikan Landsat 7. Landsat 8 memiliki sensor *Onboard Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) dengan jumlah kanal sebanyak 11 dimana kanal 1-9 berada pada OLI dan kanal 10 dan 11 pada TIRS. Data citra satelit Landsat 8 memiliki resolusi spasial 30 m untuk kanal 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan kanal 9 sedangkan kanal *panchromatic* memiliki resolusi spasial 15 m. Selain beresolusi spasial 30 m dan 15 m, pada kanal 10 dan 11 yang merupakan kanal TIR-1 dan TIR-2 memiliki resolusi spasial 100 m. Landsat 8 pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui karakteristik fisik wilayah kajian.

EO1-Hyperion

Citra satelit EO-1 Hyperion merupakan citra hiperspektral yang dilengkapi sensor pengindera dengan resolusi spasial 30 x 30 meter, resolusi spektral setiap 10 nm secara kontinu dengan jangkauan antara 0,4–2,5 μ m yang terdiri dari 220 band, resolusi radiometrik 12 bit (Griffin *et al.*, 2005), dan resolusi temporal 200 hari (Beck, 2003). Adanya jumlah band yang banyak menyebabkan penggunaan informasi untuk klasifikasi penutup/penggunaan lahan secara digital menjadi lebih luas daripada penggunaan data multispektral seperti Landsat. Selain itu, data hiperspektral dapat memberikan tingkat akurasi dan tingkat kedetailan objek yang tinggi. Citra satelit EO-1 Hyperion memiliki beberapa saluran yang sudah tidak aktif

dan tidak bisa digunakan untuk merekam objek. Dari Citra satelit EO-1 Hyperion yang digunakan dalam merekam daerah kajian, terdapat 198 band yang masih berfungsi dari total 242 band secara keseluruhan, artinya ada 44 band yang rusak atau sudah tidak berfungsi lagi pada Citra satelit EO-1 Hyperion.

Pemrosesan Citra

Tahap pra-processing citra penginderaan jauh dilakukan dengan koreksi radiometrik Citra Landsat 8-OLI pada perekaman 30 Agustus 2014 serta koreksi geometrik pada Citra EO1-Hyperion pada perekaman 30 Juli 2014 yang diunduh melalui laman Ilmu Pengetahuan dan Observasi Sumber Daya Bumi di bawah koordinasi United States Geological Survey (USGS). Koreksi radiometrik citra digunakan untuk memperbaiki kualitas visual citra sekaligus memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral (Danoedoro, 2012). Koreksi radiometrik pada Citra Landsat 8 dilakukan secara otomatis menggunakan metode FLAASH melalui perangkat lunak pengolah citra, sedangkan citra EO1-Hyperion menggunakan level L1-T yang telah terkoreksi radiometrik.

Koreksi geometrik pada citra EO1-Hyperion dilakukan untuk mengurangi distorsi posisi pada citra sehingga posisi absolut citra lebih akurat. Metode koreksi geometrik ini menggunakan metode registrasi GCP *image-to-image* dengan menampilkan dua citra yakni EO1-Hyperion versi L1 (sebagai dasar citra yang memiliki geometri lebih baik) dan EO-Hyperion versi 1R (sebagai citra yang akan dikoreksi). Terdapat 10 GCP (*Ground Control*

Point) yang disebarkan secara merata di citra. Nilai RMS error dari tahap koreksi geometrik yang diperoleh adalah 0,57.

Pengolahan Citra Penginderaan Jauh

Pengolahan citra dimulai dengan tahap *masking* awan dan vegetasi pada kedua citra. Tahap ini bertujuan untuk memisahkan objek yang diperlukan dalam kajian dengan objek yang tidak diperlukan. Citra Landsat-8 menunjukkan beberapa tutupan awan di daerah kerucut Gunung Merapi, oleh sebab itu diperlukan *masking* awan. *Masking* awan sangat penting karena tutupan awan dapat mempengaruhi klasifikasi mineral di mana awan akan teridentifikasi sebagai objek di permukaan bumi.

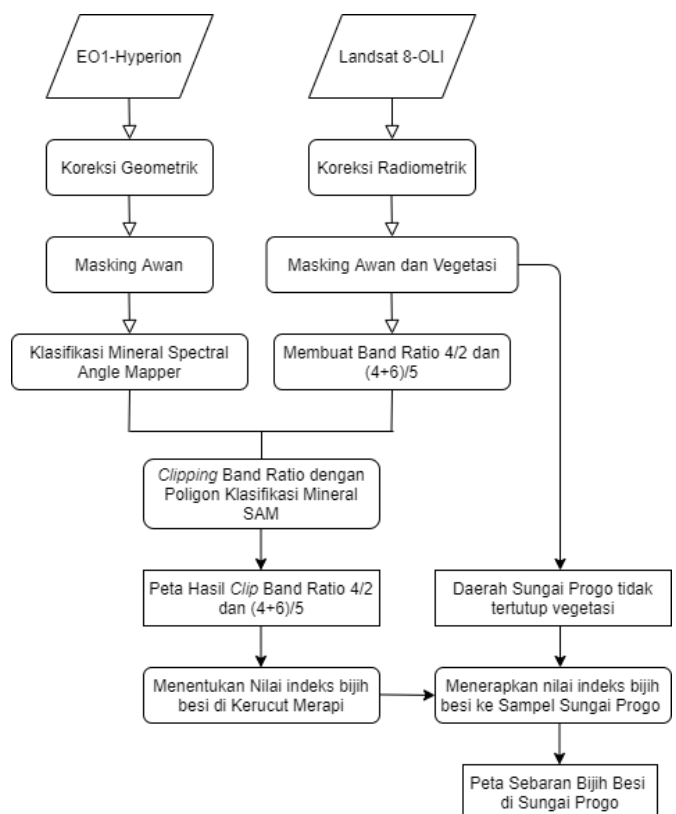
Masking vegetasi pada area kerucut Gunung Merapi dan Sungai Progo juga diperlukan agar identifikasi kandungan oksida besi pada permukaan bumi dapat terlihat lebih jelas. Hal tersebut dikarenakan eksplorasi mineral bijih besi menggunakan penginderaan jauh hanya bisa dilakukan pada daerah lahan terbuka yang tidak tertutupi oleh tutupan lahan. Pendeteksian mineral besi dengan Landsat 8-OLI menggunakan *Band Ratio* untuk mendeteksi kelompok mineral dengan pita serapan yang kuat pada panjang gelombang yang sama. Kelompok mineral pertama yaitu *Hematite* dan *Goethite* yang memiliki serapan di band 2 dan 5 dan memiliki pantulan di band 4 dan 6. Oleh sebab itu terdapat dua *Band Ratio* yang dipakai untuk mendeteksi area mineral bijih besi yaitu $4/2$ dan $(4+6)/5$. *Band Ratio* $4/2$ berguna untuk mendeteksi penyerapan transfer muatan oksida besi di wilayah spektral biru (band 2), sedangkan *Band Ratio* $(4+6)/5$ berguna untuk mendeteksi penyerapan medan kristal oksida besi di band 5 (Ducart, Silva, Toledo, & Assis, 2016).

Klasifikasi citra menggunakan *Supervised* algoritma *Spectral Angle Mapper* (SAM) digunakan untuk menentukan kesamaan spektral antara dua spektrum dengan menghitung sudut antara kedua spektrum (Aziizah *et al.*, 2017). Algoritma tersebut menyebabkan sudut spektral antara objek satu dengan objek lainnya yang sejenis berhimpitan sehingga analisis objek menjadi lebih akurat. *Spectral Angle Mapper* memungkinkan klasifikasi mineral dari data *spectral library*. *Spectral library* merupakan kumpulan informasi pantulan spektral dari berbagai material yang telah diteliti di laboratorium dimana digunakan untuk mengidentifikasi dan memetakan mineral, vegetasi, serta objek buatan manusia. Oleh sebab itu, pada penelitian ini *spectral library* berguna dalam pemilihan jenis mineral bijih besi yang akan dideteksi. Dalam penelitian ini mineral yang akan dipetakan yaitu *Hematite*, *Magnetite*, dan *Goethite* sebagai kombinasi penyusun mineral bijih besi. Pustaka spektral atau *spectral library* telah banyak

digunakan untuk pemetaan, contohnya ada studi pemetaan penutup lahan dengan menggunakan input spektral pengukuran spectrometer lapangan sebagai input data (Dudley *et al.*, 2015; Kamal & Arjasakusuma, 2010).

Tahap selanjutnya yaitu melakukan *clipping* hasil klasifikasi mineral bijih besi dengan *Band Ratio* $4/2$ dan $(4+6)/5$ dari Landsat 8 yang sudah bebas awan dan vegetasi menggunakan *software* ArcGIS 10.5. Hasil klasifikasi mineral bijih besi dikonversi menjadi *shapefile* (.shp) agar bisa dilakukan *clip* dengan data raster berupa dua *Band Ratio* Landsat 8. Histogram hasil *clip* digunakan sebagai dasar pembuatan nilai indeks bijih besi area kerucut Gunung Merapi. Penentuan nilai indeks bijih besi di area kerucut Merapi menggunakan *threshold* nilai Quantile 1 (Q1) sampai Quantile (Q3), nilai indeks yang berada pada rentang Q1 sampai Q3 maka diidentifikasi sebagai bijih besi/oksida besi.

Tahap terakhir yaitu melakukan korelasi nilai indeks bijih besi di area kerucut Merapi yang telah didapatkan ke sampel wilayah satu dan wilayah dua Sungai Progo. Hal ini dilakukan sebagai bentuk pengaplikasian nilai indeks kandungan bijih besi yang telah terdeteksi citra pada kerucut Merapi terhadap nilai indeks lahan terbuka pada area Sungai Progo. Nilai indeks di Sungai Progo yang termasuk ke dalam nilai indeks bijih besi area kerucut Merapi akan diidentifikasi sebagai bijih besi. Langkah pemrosesan pada studi ini tersedia pada diagram alir pada **Gambar 2**.

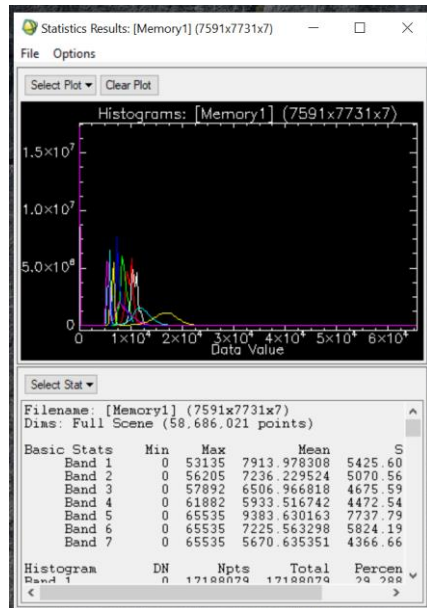


Gambar 2. Diagram alir penelitian.

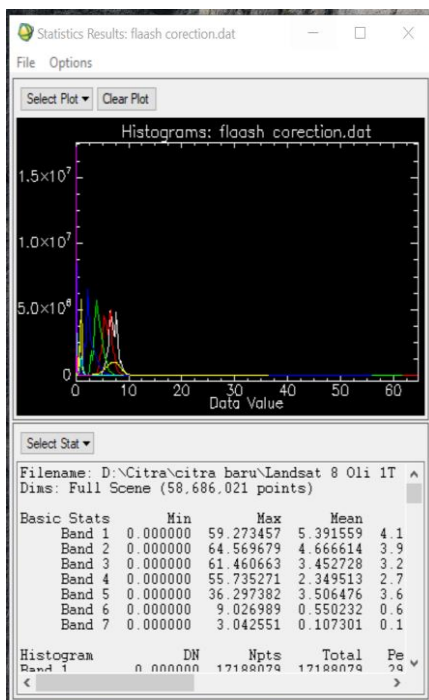
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pra-pemrosesan citra

Koreksi radiometrik citra yang dilakukan pada Citra Landsat 8-OLI digunakan untuk memperbaiki adanya penambahan nilai piksel objek akibat gangguan atmosfer yang terjadi pada saat perekaman permukaan bumi. Koreksi radiometrik dapat dilakukan secara otomatis menggunakan metode FLAASH dan ada yang dilakukan dengan mengubah format citra secara bertahap menggunakan formula tertentu.



(a)



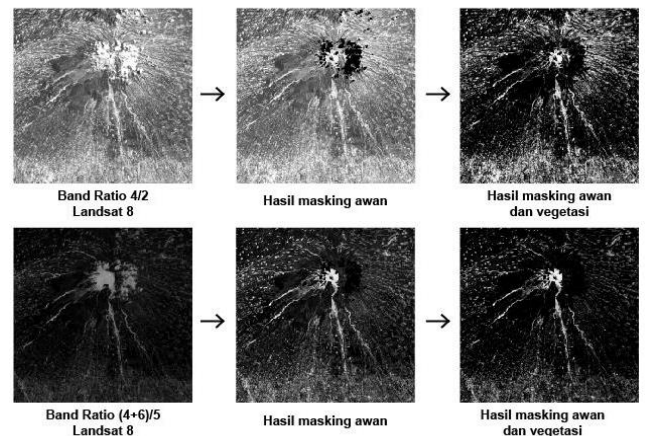
(b)

Gambar 3. (a) Histogram sebelum dikoreksi, dan (b) Histogram setelah dikoreksi.

Berdasarkan **Gambar 3** sebagai hasil koreksi radiometrik menggunakan FLAASH, histogram yang ditampilkan mengalami perubahan nilai minimum pantulan tiap band di mana ketika sebelum dilakukan koreksi, kurva belum menunjukkan nilai nol. Setelah dilakukan koreksi, terjadi pergeseran histogram ke kiri mendekati nilai nol, artinya penyimpangan nilai *Digital Number* (piksel) telah diperbaiki melalui koreksi FLAASH. Koreksi FLAASH merupakan salah satu metode koreksi radiometrik.

Masking Awan dan Vegetasi pada Citra

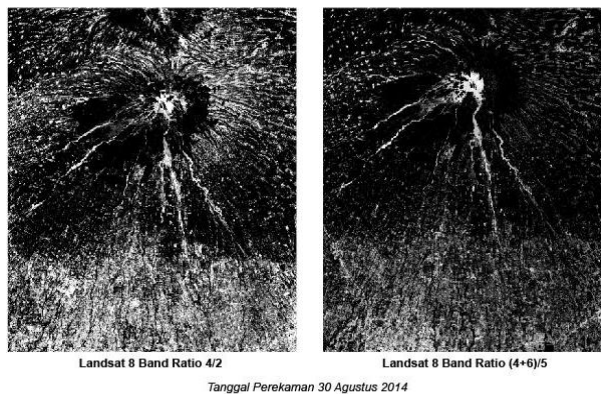
Masking awan dilakukan untuk menghapus objek awan yang menutupi permukaan bumi. Hal tersebut menyebabkan citra kehilangan objek awan ditandai dengan area awan terisi oleh piksel hitam yang bernilai nol (0). *Masking* vegetasi dilakukan untuk menghilangkan objek vegetasi karena tidak diperlukan dalam analisis pemetaan bijih besi. Proses *masking* ini menyebabkan adanya lubang piksel hitam (bernilai 0) pada citra hasil *masking* vegetasi. Hasil *masking* awan dan vegetasi ditampilkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hasil masking awan dan vegetasi.

Penggunaan *Band Ratio* pada Citra Landsat 8-OLI

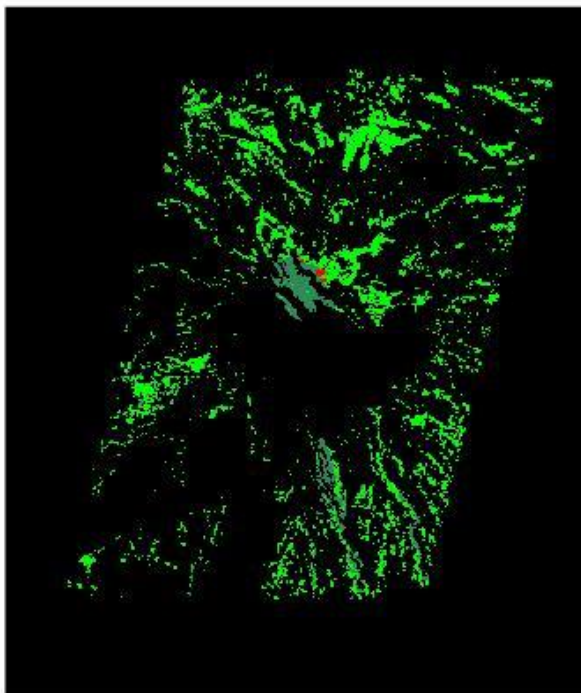
Band Ratio merupakan perbandingan antara band satu dengan band lainnya. *Band Ratio* digunakan untuk mengetahui kemampuan band pada Citra Landsat 8-OLI dalam menghasilkan kenampakan fisik permukaan bumi, terutama dalam menonjolkan objek tertentu, salah satunya adalah oksida besi. *Band Ratio* yang digunakan untuk mengetahui keberadaan oksida besi yaitu *Band Ratio* 4/2 dan *Band Ratio* (4+6)/5 (**Gambar 5**).



Gambar 5. Dua citra hasil *Band Ratio* Citra Landsat 8.

Citra Landsat 8 yang diberi *Band Ratio* 4/2 menunjukkan hasil dari pembagian antara pantulan band 4 dengan penyerapan yang terjadi pada band 2 sehingga memberikan kenampakan yang menonjol pada band 4 dimana kandungan besi dapat terdeteksi. Menurut Ducart et al. (2016) *Band Ratio* 4/2 memiliki kemampuan untuk mendeteksi bijih besi bahkan dalam konsentrasi rendah, sedangkan *Band Ratio* (4+6)/5 menonjolkan kandungan besi bermutu tinggi pada citra yang ditampilkan.

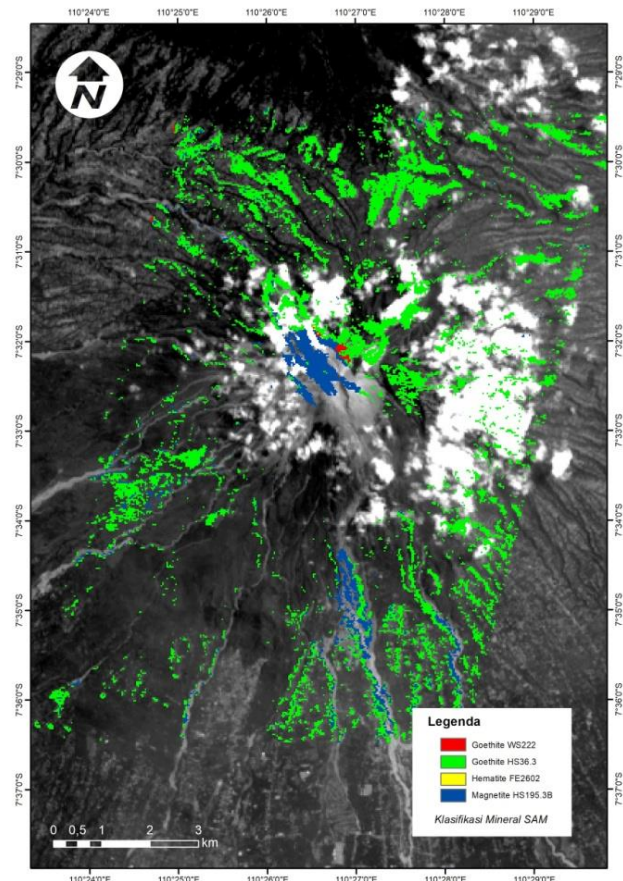
Klasifikasi *Spectral Angle Mapper*



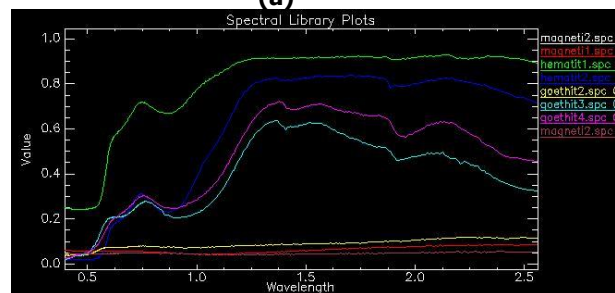
Gambar 6. Poligon hasil klasifikasi mineral berdasarkan *spectral angle mapper* citra hyperion.

Algoritma *Spectral Angle Mapper* (SAM) dilakukan pada Citra EO1-Hyperion untuk mengklasifikasikan objek citra berdasarkan sudut spektrum yang dihasilkan (**Gambar 6**). Pada SAM ini, persebaran berbagai jenis mineral besi didasarkan terhadap sudut pantulan spektral objek. Semakin kecil sudut nya maka semakin detail

kemiripan objek dengan mineral yang dipetakan, memperbesar sudut dari *Spectral Angle Mapper* dapat membantu mengetahui persebaran jenis suatu mineral secara spesifik **Gambar 7a**. Hal tersebut dikarenakan memperbesar sudut *Spectral Angle Mapper* akan membuat banyak objek di permukaan bumi memiliki rentang klasifikasi mendekati objek.



(a)



(b)

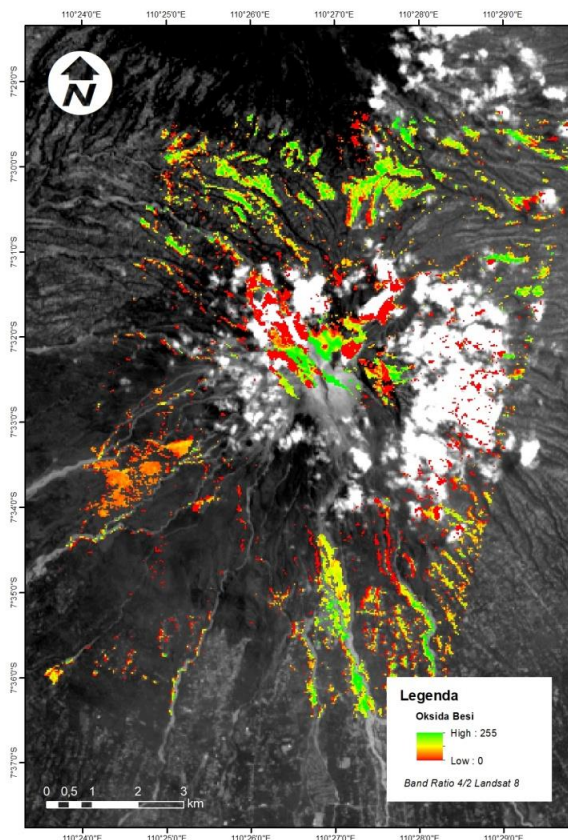
Gambar 7. (a) Hasil klasifikasi mineral berdasarkan *spectral angle mapper* pada citra EO1-hyperion. (b) Plot *Spectral Library* mineral.

Penentuan nilai *threshold* mineral bijih besi

Pemotongan (*Clipping*) citra dilakukan pada Citra Landsat 8 dengan *Band Ratio* 4/2 dan *Band Ratio* (4+6)/5. Masing-masing *Band Ratio* di-clip dengan poligon hasil klasifikasi mineral dari citra Hyperion. Proses pemotongan dilakukan untuk memisahkan bijih besi yang sudah teridentifikasi di

Band Ratio 4/2 (Gambar 8) dan **Band Ratio (4+6)/5 Landsat 8 (Gambar 9)**. Pemotongan hasil klasifikasi mineral yang dipotong dengan Landsat 8 memberikan informasi mengenai tingkat kandungan besi di kerucut Gunung Merapi. Hasil *clipping* citra tersebut kemudian digunakan untuk menampilkan histogram dalam menentukan nilai indeks sebagai *mapping threshold* untuk menganalisis potensi kandungan mineral bijih besi di Sungai Progo.

Penentuan nilai indeks pada poligon mineral besi dilakukan dengan menghitung rentang nilai kuartil atas (Q1) dan kuartil bawah (Q3) pada kedua **Band Ratio** hasil tampilan Citra Landsat dan batas poligon mineral. Hasil perhitungan Q1 dan Q3 pada **Band Ratio 1** memberikan rentang nilai pantulan antara 64 sampai 192. Hal itu dapat diartikan bahwa lokasi kandungan oksida besi pada **Band Ratio 1** terletak pada rentang nilai tersebut. Sementara itu, citra pada **Band Ratio 2** memberikan rentang nilai pantulan antara 26 sampai 128. Hasil penentuan indeks yang dilakukan pada kerucut Merapi tersebut kemudian diaplikasikan pada wilayah kajian Sungai Progo untuk menemukan korelasi kandungan mineral besi antara keduanya.

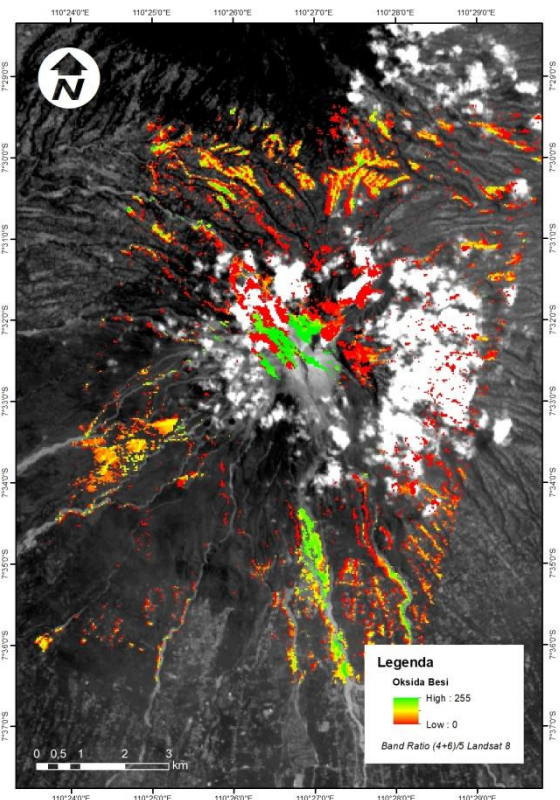


Gambar 8. Hasil Clipping Klasifikasi Mineral Bijih Besi dengan **Band Ratio 4/2** Landsat 8.

Hasil Pengolahan Citra

Citra Landsat 8-OLI dapat memberikan informasi mengenai distribusi kandungan oksida besi di kerucut merapi. Penggunaan **Band Ratio 1** dan **Band Ratio 2** memberikan hasil yang berbeda,

karena fungsi kedua **Band Ratio** berbeda pula. Citra Landsat 8 hanya dapat memberikan informasi fisik permukaan bumi secara general, dimana melalui gambar tersebut dapat terlihat bahwa Citra Landsat hanya dapat mengidentifikasi kandungan mineral besi dan membedakannya berdasarkan tingkat pantulan. Oleh sebab itu, untuk mengetahui jenis mineral besi yang terdapat di suatu wilayah perlu digunakan Citra Hyperion. Klasifikasi mineral pada Citra Hyperion dilakukan sesuai dengan data *spectral library*. Klasifikasi tersebut menyebabkan informasi pada citra menjadi lebih spesifik, seperti terlihat pada **Gambar 7b**.

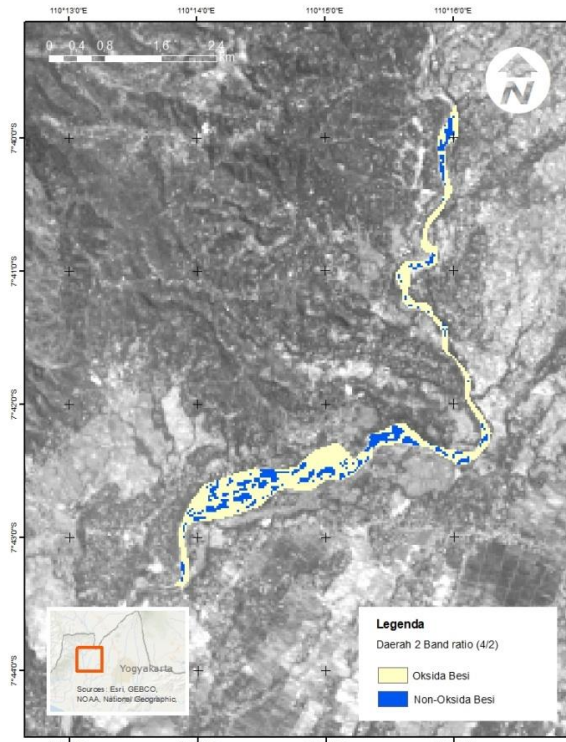


Gambar 9. Hasil Clipping Klasifikasi Mineral Bijih Besi dengan **Band Ratio (4+6)/5** Landsat 8.

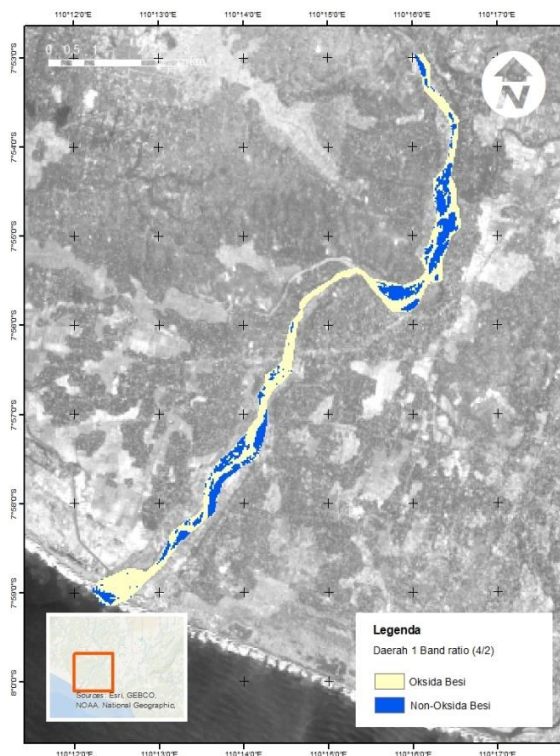
Berdasarkan kenampakan Citra Landsat 8-OLI, kerucut merapi memiliki banyak kandungan oksida besi yang potensial. Jenis mineral yang terkandung di dalamnya, yaitu *Goethite*, *Magnetite*, dan *Hematite*. Mineral *Goethite* paling banyak ditemukan pada kerucut merapi, tepatnya di sekitar lereng merapi. Mineral *Magnetite* paling banyak ditemukan di kawah merapi dan di lereng merapi. Sementara itu, mineral *Hematite* merupakan mineral yang paling sulit ditemukan karena hanya teridentifikasi pada beberapa piksel saja, salah satunya di dekat kawah merapi.

Keberadaan kandungan oksida besi yang melimpah pada gunungapi mengindikasikan bahwa area sungai juga memiliki kandungan oksida besi yang melimpah. Hal tersebut dikarenakan erupsi gunungapi mengeluarkan berbagai macam material

vulkanik yang kemudian dibawa oleh aliran sungai dan terendapkan di sekitarnya.



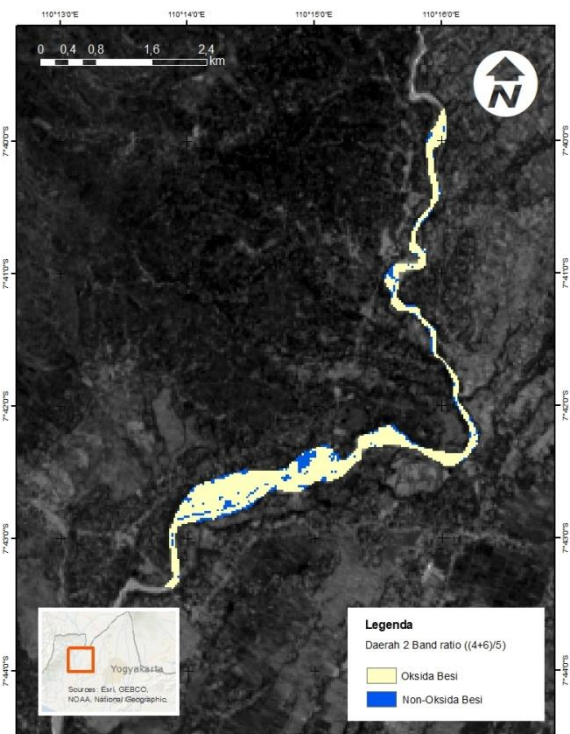
(a)



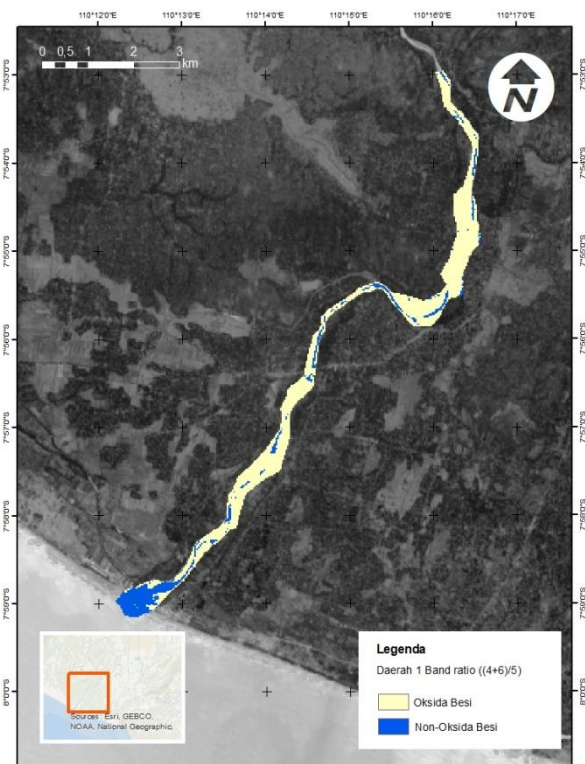
(b)

Gambar 10.

(a) Hasil pemetaan oksida besi pada wilayah 2 Sungai Progo menggunakan *Band Ratio* 4/2 Landsat 8 (b) Hasil pemetaan kandungan oksida besi pada area kajian wilayah 1 Sungai Progo menggunakan *Band Ratio* 4/2 Landsat 8.



(a)



(b)

Gambar 11.

(a) Hasil pemetaan oksida besi pada wilayah 2 Sungai Progo menggunakan *Band Ratio* (4+6)/5 Landsat 8. (b) Hasil pemetaan oksida besi pada area kajian Wilayah 1 Sungai Progo menggunakan *Band Ratio* (4+6)/5 Landsat 8.

Gambar 10 dan **Gambar 11** menunjukkan bahwa *Band Ratio* 1 (4/2) dan *Band Ratio* 2 ((4+6)/5) menghasilkan sebaran oksida besi yang

sedikit berbeda. *Band Ratio* 2 lebih banyak mengidentifikasi gosong sungai sebagai objek yang mengandung oksida besi dan beberapa aliran air sebagai non-oksida besi, sedangkan *Band Ratio* 1 mendeteksi beberapa bagian di gosong sungai sebagai non-oksida besi dan aliran sungai sebagai oksida besi. Hal tersebut menunjukkan bahwa *Band Ratio* 2 memberikan hasil yang lebih sesuai untuk mendeteksi mineral besi dibandingkan *Band Ratio* 1, namun keduanya memiliki kesalahan yaitu dalam mendeteksi badan air sebagai oksida besi. Kesalahan ini berkaitan dengan sensitivitas *spectral* yang rendah akibat wilayah kajian yang terlalu kecil.

Metode ini belum sesuai untuk daerah kajian Sungai Progo yang merupakan sistem yang dinamis dibandingkan penelitian mengenai pemetaan oksida besi menggunakan metode serupa di wilayah Serra Norte di Carajás, Brazil yang merupakan wilayah pegunungan yang luas (Ducart *et al.*, 2016). Oleh karena itu, masih diperlukan penelitian lebih lanjut dan validasi lapangan karena hasil yang dihasilkan masih berupa peta tentatif.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan pendekatan metode pemetaan potensi bijih besi dengan teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan kombinasi Citra Landsat 8/OLI dan Citra EO-1/Hyperion sebagai alternatif dalam eksplorasi sumber daya mineral di permukaan bumi. Metode *Band Ratio* 4/2 dan (4+6)/5 yang diterapkan pada Landsat-8/OLI memberikan informasi mengenai kandungan bijih besi secara umum. Sementara itu, penggunaan Citra EO1-Hyperion dapat memberikan informasi mengenai jenis mineral besi secara spesifik melalui klasifikasi terbimbing (*supervised Spectral Angle Mapper* (SAM). Berdasarkan hasil SAM, kerucut merapi memiliki potensi mineral yang tinggi dimana terdapat kandungan mineral besi seperti *Goethite*, *Hematite*, dan *Magnetite* dalam komposisi yang berbeda-beda walaupun sebagian besar didominasi oleh mineral *Magnetite*.

Pada penelitian ini, hasil klasifikasi mineral besi pada kerucut merapi digunakan sebagai pedoman dalam menentukan korelasi adanya potensi mineral besi di area sungai, yaitu Sungai Progo. Berdasarkan hasil pengolahan citra penginderaan jauh, Sungai Progo bagian tengah (wilayah 2) dan Sungai Progo bagian hilir (wilayah 1) memiliki potensi bijih besi baik di endapan sekitar teras sungai, gosong sungai, maupun endapan di bawah aliran sungai. Namun hal ini perlu dilakukan validasi menggunakan data lapangan mengingat banyaknya tubuh air yang ikut terdeteksi memiliki kandungan bijih besi yang tinggi.

Potensi pemetaan menggunakan data *hyperspectral* juga akan semakin meningkat dengan tersedianya data PRISMA *hyperspectral* (<http://prisma.asi.it/missionselect/>), sehingga ke

depan metode ini juga akan dapat diterapkan pada data tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada penyedia data citra Hyperion dan Landsat yang kami unduh dari website Earth Explorer, beserta reviewer yang telah memberikan masukan yang membangun dalam studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziizah, N. N., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2017). Penerapan algoritma *Spectral Angle Mapper* (sam) untuk klasifikasi lamun menggunakan citra satelit Worldview-2. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 13(2).
- Beck, R. (2003). EO-1 User Guide-Version 2.3. *Satellite Systems Branch, USGS Earth Resources Observation Systems Data Center (EDC)*.
- Bersi, M., Saibi, H., & Chabou, M. C. (2016). Aerogravity and remote sensing observations of an iron deposit in Gara Djebilet, southwestern Algeria. *Journal of African Earth Sciences*, 116, 134-150.
- Ciampalini, A., Garfagnoli, F., Antonielli, B., Moretti, S., & Righini, G. (2013). Remote sensing techniques using Landsat ETM+ applied to the detection of iron ore deposits in Western Africa. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11), 4529-4546.
- Danoedoro, P. (2012). Pengantar penginderaan jauh digital. *Yogyakarta: Andi*.
- Ducart, D. F., Silva, A. M., Toledo, C. L. B., & Assis, L. M. d. (2016). Mapping iron oxides with Landsat-8/OLI and EO-1/Hyperion imagery from the Serra Norte iron deposits in the Carajás Mineral Province, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 46(3), 331-349.
- Dudley, K. L., Dennison, P. E., Roth, K. L., Roberts, D. A., & Coates, A. R. (2015). A multi-temporal spectral library approach for mapping vegetation species across spatial and temporal phenological gradients. *Remote Sensing of Environment*, 167, 121-134.
- Griffin, M. K., Hsu, S. M., Burke, H.-h. K., Orloff, S. M., & Upham, C. A. (2005). *Examples of EO-1 Hyperion data analysis*. Retrieved from
- Kamal, M., & Arjasakusuma, S. (2010). Ekstraksi Informasi Penutup Lahan Menggunakan Spektrometer Lapangan Sebagai Masukan Endmember pada Data Hiperspektral Resolusi Sedang. *GEOMATIKA*, 16(2).
- Kusumowidagdo, M., Sanjoto, B., Banowati, E., Setyowati, L., & Semedi, B. (2008). Penginderaan jauh dan interpretasi citra: buku pengantar penginderaan jauh (bagi kalangan pendidik, praktisi, dan ilmuwan berbagai bidang). In: Jakarta: LAPAN.
- Rajendran, S., Thirunavukkarasu, A., Balamurugan, G., & Shankar, K. (2011). Discrimination of iron ore deposits of granulite terrain of Southern Peninsular India using ASTER data. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(1), 99-106.
- Ramanaidou, E. R., & Wells, M. A. (2012). *Hyperspectral imaging of iron ores*. Paper presented at the

- Proceedings of the 10th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM).
- Salem, S., & El Gammal, E. (2015). Iron ore prospection East Aswan, Egypt, using remote sensing techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 195-206.
- Schwertmann, U., & Cornell, R. M. (2008). *Iron oxides in the laboratory: preparation and characterization*: John Wiley & Sons.
- Soe, M., Kyaw, T. A., & Takashima, I. (2005). Application of remote sensing techniques on iron oxide detection from ASTER and Landsat images of Tanintharyi coastal area, Myanmar.

THREE-DIMENSIONAL TOPOGRAPHIC MAPPING OF VERTICAL AND OVERHANGING SURFACES OF COASTAL CLIFFS USING UAV-BASED LIDAR DATASET

A Case Study in South Kuta District, Bali Island

(Pemetaan Topografi Tiga Dimensi Permukaan Vertikal dan Menggantung Dari Tebing Pantai Menggunakan Data LiDAR Berbasis Wahana Tanpa Awak: Studi Kasus di Kecamatan Kuta Selatan, Pulau Bali)

Daniel Adi Nugroho

Master Program, Department of Geography,
Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Indonesia
JL. Lingkar Kampus Raya, Pondok Cina, Kec. Beji, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia 16424
E-mail: dnugroho@gmail.com

Diterima: 18 Februari 2021; Direvisi: 23 Mei 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 24 Mei 2021

ABSTRACT

The availability of high-density LiDAR datasets, enabled by UAV-based airborne laser scanning, has allowed topographic mapping surveyors to see unprecedented details on the earth's surface. One of the problems faced in large-scale topographic mapping is generating proper three-dimensional contour lines for vertical cliffs, recesses, and overhangs, especially when the surface is covered by vegetation, which is quite common in the tropical area. This paper showcases the practical application of the LiDAR survey using an unmanned aerial vehicle and ground point classification process using the Simple Morphological Filter (SMRF) algorithm to produce high-fidelity, three-dimensional digital contour maps of coastal cliffs. By rotating the LiDAR dataset before the classification process to minimize overlapping surfaces, the entire dataset can be simulated as a 2.5-D surface. Therefore, the SMRF algorithm can be executed to classify all ground points on the cliff surface, including the overhangs and recesses. The resulting ground surface derived from this classification process provided a sufficient approximation of the real-world surface in overhanging cliffs and recesses while maintaining the conventional way to convey local landscape topography through three-dimensional contour lines.

Keywords: lidar, point cloud, simple morphological filter, ground classification, overhang, cliff modeling

ABSTRAK

Ketersediaan data LiDAR dengan kerapatan tinggi yang diperoleh dari pemindaian laser dari udara menggunakan wahana tanpa awak, telah memungkinkan surveyor pemetaan topografi untuk melihat tingkat detail yang belum pernah terlihat sebelumnya di permukaan bumi. Salah satu masalah yang dihadapi dalam pemetaan topografi skala besar adalah pembuatan garis kontur tiga dimensi yang akurat untuk tebing vertikal, relung, dan permukaan menggantung, terutama ketika permukaan tersebut tertutup oleh vegetasi yang cukup umum terjadi di daerah tropis. Kajian ini akan menunjukkan aplikasi praktis dari survey LiDAR menggunakan wahana tanpa awak dan proses klasifikasi titik tanah menggunakan algoritma Simple Morphological Filter (SMRF) untuk menghasilkan peta kontur digital tiga dimensi dengan ketelitian tinggi dari tebing-tebing pantai. Dengan melakukan rotasi dataset LiDAR sebelum proses klasifikasi untuk meminimalkan permukaan yang tumpang tindih, seluruh dataset dapat disimulasikan sebagai permukaan 2.5-D. Oleh karena itu, algoritma SMRF dapat dijalankan untuk mengklasifikasikan semua titik-titik tanah pada permukaan tebing, termasuk relung dan ceruk-ceruknya. Permukaan tanah yang dihasilkan oleh proses klasifikasi ini memberikan pendekatan yang cukup baik dari permukaan asli di tebing dan relung pantai sambil tetap mempertahankan pendekatan konvensional dalam penyajian topografi bentang alam lokal melalui garis kontur tiga dimensi.

INTRODUCTION

The classification of bare earth surface from the laser point cloud is essential in the post-processing stage of topographic surveys using LiDAR technology. The level of detail captured by high-density LiDAR scanning enables planners and designers to understand better the work area's

uniqueness, especially hard-to-reach terrain overgrown with vegetation. Recently, laser measurements through various techniques have been applied to obtain highly accurate Digital Elevation Models of sea cliffs, which is very important in reconstructing the three-dimensional surfaces of near-vertical sea cliffs surfaces overlooking the sea (Ruberti et al, 2020). These

physical models of the sea cliffs can be utilized to monitor landslide phenomena, characterize spatial discontinuity, and assess cliff stability by applying geomechanical models (Mancini et al., 2017). The precision monitoring of the coastal cliff is essential, especially when such sites are adjacent to buildings and infrastructures, since retreating coastal cliffs due to erosion from waves can be detrimental to such structures' stability. Very steep terrain and heavily vegetated cliffs are some of the factors that hinder the study of physical processes on shorelines, especially the acquisition of quantitative data (Hampton & Griggs, 2004).

Representing coastal cliff surfaces with acceptable accuracy is a challenge that needs to be overcome by scientists monitoring the coastal landforms (Xhardé et al., 2006) because vertical surfaces and recesses such as coastal cliffs, notches, and overhangs present a significant limitation to the completeness of the conventional airborne LiDAR survey in such areas. While a high-fidelity cliff surface can be generated from photogrammetric techniques (James & Robson, 2012), in some areas with vegetation overgrowth, the accuracy of such methods is limited since the surface modeled in photogrammetry is the topmost surface, which includes vegetation canopy, not the actual ground or the bare earth.

The advent of the off-the-shelf commercial-grade unmanned aerial vehicles (UAV) has revolutionized the geospatial industry as a whole, especially LiDAR topographic mapping. Coupled with the miniaturization of LiDAR scanners and precise positioning devices, UAVs can be used as a reliable vehicular platform to perform LiDAR surveys (Wallace et al., 2012). UAV-based LiDAR surveys have become a viable solution to survey areas that are too small or too dangerous to be surveyed using manned aircraft. One of the benefits of UAV-based LiDAR scanning is the capability to capture the point cloud of a cliff from the seaside, which will not be possible to be accomplished with a terrestrial laser scanner. Another advantage of the LiDAR survey using the UAV platform is the inherent versatility in flying much closer to the object of interest than conventionally-piloted aircraft platforms, hence increasing the details that can be captured through much higher point cloud density (Wallace et al., 2012).

A previous study by Pack et al., (2012) has shown that additional step can be done in TerraSolid software to achieve better point cloud classification results in such area by transforming surfaces that can only be represented in 3-D to surfaces that can be represented in 2.5-D space using a three-dimensional rotation of the LiDAR dataset.

This study aims to showcase the application of three-dimensional rotation of the LiDAR dataset to improve ground classification, and the final result will be produced as three-dimensional contour lines

instead of a meshed surface. The accuracy of the contour lines should satisfy the requirements for 1:1,000 scale topographic mapping. The three-dimensional contour lines allow users to visualize and spatially analyze vertical cliffs and overhangs while retaining contour lines as one of the defining characteristics of a topographic map.

METHODS

Study Area

The LiDAR datasets used in this case study were taken from two distinct locations in the southern part of Bali Island, Indonesia, specifically in the Pecatu village in South Kuta District, as presented in **Figure 1**. The LiDAR data acquisition was undertaken in 2019 (site B) and 2020 (site A) by utilizing a survey-grade, UAV-based laser scanner. These two datasets show beach cliffs being studied, ranging from 30 meters to 150 meters high, with various vegetation coverage levels and canopy density.

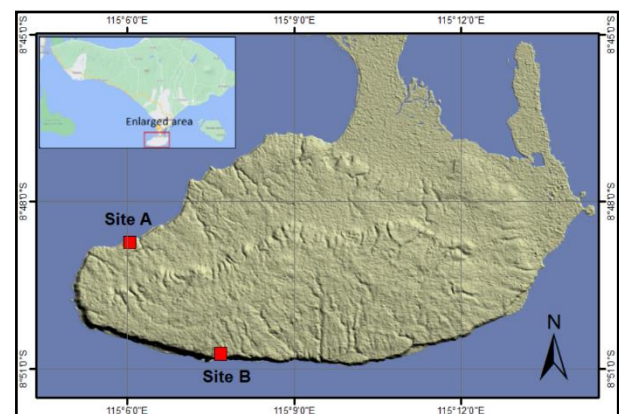


Figure 1. Study areas are located at the northern coast (site A) and southern coast (site B) of the Pecatu region, Bali. *Source: DEM Nasional (Badan Informasi Geospasial, 2020)*

These coastal cliffs at two opposite sides of the peninsula are part of the South Bali geological formation, consisting of partly bedded, recrystallized, and fossiliferous reef limestone (Purbo-Hadiwidjojo et al., 1998). Oblique aerial photos from the reconnaissance survey of the study areas are shown in **Figure 2** (Site A) and **Figure 3** (Site B).

The first dataset (from site A, located at 8° 48' 41" S, 115° 06' 02" E) contains a 30 meters tall, 430-meter wide cliff with a moderate degree of vegetation overgrowth, both on the top of the cliff and its midsection, and a significant amount of recesses and alcoves near to the sea surface. A large number of boulders scattered in the seawater in front of a bare section of the cliff indicated that a portion of the cliff has detached from the main body due to marine erosion in relatively recent times. The second dataset (from site B, located at 8° 50' 46" S,

115° 07' 39" E) contains a 150-meter tall cliff, with a minimum amount of superficial vegetation cover and a wide but slender recess. Due to the limits imposed on private property access, the cliff face studied in the second dataset is narrower than the first dataset, at only 150 meters wide.



Figure 2. The 30-meter tall vegetated cliff face at Site A, with a significant amount of overhanging rock face and recesses.



Figure 3. The 150-meter tall, almost vertical cliff face at Site B, with slight recess at the lower part.

Control Network and Test Points

The base station coordinates for the LiDAR acquisition for both areas were surveyed using a CHC X900B GNSS receiver, referenced to station CDPN (located at 8° 49' 05.18061" S, 115° 08' 44.35987" E), which is part of Indonesia's Continuously Operating Reference Station (CORS) network. The ground test points were measured by employing a Real-Time Kinematic (RTK) GNSS survey technique.

LiDAR Data Acquisition

Since the cliffs are almost vertical and contain several overhangs, conventional methods of employing airborne LiDAR from manned aircraft and terrestrial laser scanner (TLS) is deemed unsuitable. Furthermore, the cost of the LiDAR survey using manned aircraft is deemed inefficient given the small size of the project area. A topographic survey using TLS is unsuitable due to the difficulty in

covering the entire cliff surface, including its recesses and overhangs, from a safe observation point. The amount of vegetation overgrowth prevents cliff surface modeling through photogrammetry techniques. Therefore, a LiDAR survey from UAV platform is considered the best solution in this particular case.

Both LiDAR datasets were acquired using a Phoenix AL3-32 laser scanner equipped with KVH-1750 IMU and mounted on a DJI Matrice 600 UAV. For the GNSS base station, a CHC X900B GNSS receiver was used. The UAV was flown 50-60 meters in front of the rock-face at the seaside, running parallel to the coastline, to maximize the capture process of vertical surfaces on the coastal cliff. For Site B, multiple survey lines were made to cover the entire vertical distance of 150 meters from sea level to the top of the cliff. The kinematic GNSS survey method was employed in conjunction with IMU data to obtain the accurate flight trajectory of the UAV.

The ground coordinates of each point in the point cloud can be calculated by combining the information from the laser scanner, integrated GPS/INS navigation system, and the calibrated values of the laser scanner and its platform (Glennie, 2008). Such computation provides an unclassified point cloud as the basis for surface reconstruction and modeling. However, a ground classification process will need to be performed to ensure that the data points involved in the surface reconstruction actually represent the bare-earth surface. The established LiDAR georeferencing equation, according to Glennie (2008), is as follows

Formula 1:

$$p_G^l = p_{GPS}^l + R_b^l (R_s^l r^s - l^b) \dots \dots \dots (1)$$

where p_G^l are the coordinates of the target point in the global reference frame, p_{GPS}^l are the coordinates of the GNSS sensor in the global reference frame, R_b^l is the rotation matrix from the navigation frame to the global reference frame, R_s^l is the rotation matrix from the scanner's frame to the navigation frame, r^s is the coordinates of the laser point in the scanner's frame, and l^b is the lever-arm offset between the scanner's initial origin and the navigation's origin. In order to georeference a single LiDAR return, all parameters must be determined for each laser pulse. Typically, the position, attitude, and motion of the scanning platform, which are sampled at a much lower rate than the laser scanner's pulse rate, are interpolated to line up with the LiDAR measurements. This set of information of positions and attitudes is then combined via **Formula 1** to create a georeferenced point cloud (Bell et al., 2020).

Classification of Ground Points

Classification of lidar point clouds to separate bare-earth from vegetation and other non-ground

object is a crucial step in lidar mapping, and many lidar point filters have been developed for this purpose. Common bare-earth filters typically operate along a vector aligned with the LiDAR shot direction or referring to a vertical vector. These filters operate on a 2.5-D surface, which is suitable for creating 2.5-D products, such as digital elevation models and orthophotos (Pack et al., 2012). This 2.5-D space implies a planimetric position combined with a single value of height for each data point (Pfeifer, 2005), and most of the surface of the earth can be modeled in 2.5-D space.

Various studies on the ground-filtering algorithms, such as the study done by Zhang et al., (2003) on Progressive Morphological Filter (PMF) algorithm, (Zhang et al., 2016) on the Cloth Simulation Filter (CSF), and another study by Pingel et al., (2013) on the Simple Morphological Filter (SMRF) algorithm provides a viable open-source alternative to perform point cloud classification to established either commercial or proprietary software, such as TerraScan module in TerraSolid, LasGround tool in LASTools, and Auto Classify Ground Points tool in Global Mapper. These software packages can automatically distinguish ground points and non-ground points, in most cases. In reality, some areas on the earth's surface contain features that cannot be modeled satisfactorily in 2.5-D space, such as vertical cliffs and overhangs. When faced with such datasets, the ground classification algorithms in the aforementioned software packages will not produce realistic results since they will only look for the aerial low points and disregarding the overhanging surfaces. Valid bare-earth points that form the wall and the overhang surface will remain incorrectly classified as non-ground points.

As illustrated in **Figure 4**, the 2.5-D ground classification algorithms can be run directly for the first dataset (top) because only one possible Z-value can be inferred for each X-Y coordinates. In contrast, for the second dataset (bottom), there will be two Z-values for the overhanging part of the object, therefore typical ground class. To model vertical, near-vertical cliffs, and overhangs, additional steps need to be done to be classified appropriately by 2.5D classifiers. The automatic ground point classification tools integrated within leading LiDAR processing software suites such as Terrasolid, LASTools, PDAL, and CloudCompare works on 2.5-D space, in which only a single ground surface is considered within the classification algorithm.

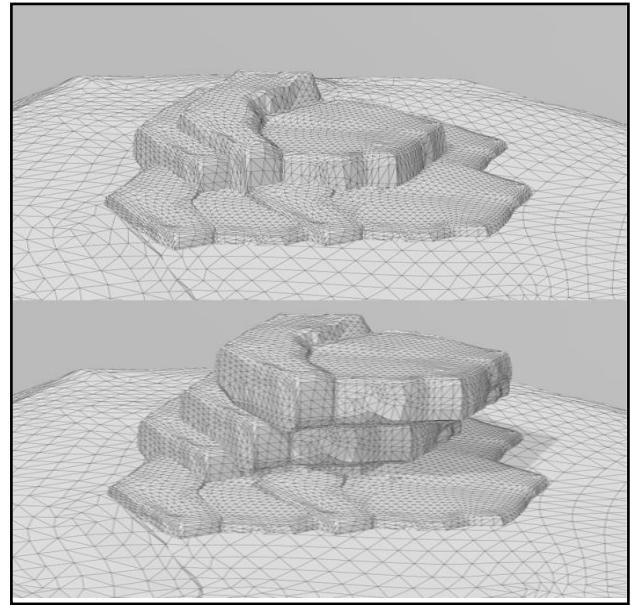


Figure 4. The object at the top can be modeled in 2.5-D, and the object at the bottom should be modeled in 3-D.

In this case study, the SMRF algorithm in the Point Data Abstraction Library (PDAL) software suite (Bell et al., 2020) is utilized. The SMRF algorithm consists of four conceptually distinct stages: 1) the creation of the minimum surface, 2) the processing of the minimum surface, in which grid cells from the raster are identified as either containing ground or non-ground points, 3) the creation of a DEM from these gridded points, and 4) the identification of the original LiDAR points as either bare earth or non-ground based on their relationship to the interpolated DEM (Pingel et al., 2013).

These stages are integrated into a single command in PDAL, with several parameters that can be set to adjust the algorithm's behavior. The SMRF algorithm is an improvement to the PMF algorithm, which was derived by K. Zhang et al. (2003) from a morphological filter originally proposed by Kilian et al. (1996), by gradually increasing the window size of the morphological filter to enable the filtering of all non-ground objects of various sizes.

First, the noises and outliers were removed from the LiDAR data by running the Noise Filter tool in CloudCompare. Only after all visible point data outliers from scanning artifacts are removed, subsequent processing can commence. Since the ground classification algorithm using the SMRF algorithm only works in 2.5-D space, a rotation of the dataset needs to be performed to enable the SMRF algorithm to classify bare ground on cliffs and overhangs, as illustrated in **Figure 6**. Rotation direction is determined by maximizing the surface of the cliff so that any overhanging surface is exposed towards the top view ground classifier algorithm works correctly. One of the simplest ways of determining the rotation is by fitting a planar surface to the LiDAR dataset block and then rotating

that planar surface to become completely horizontal.

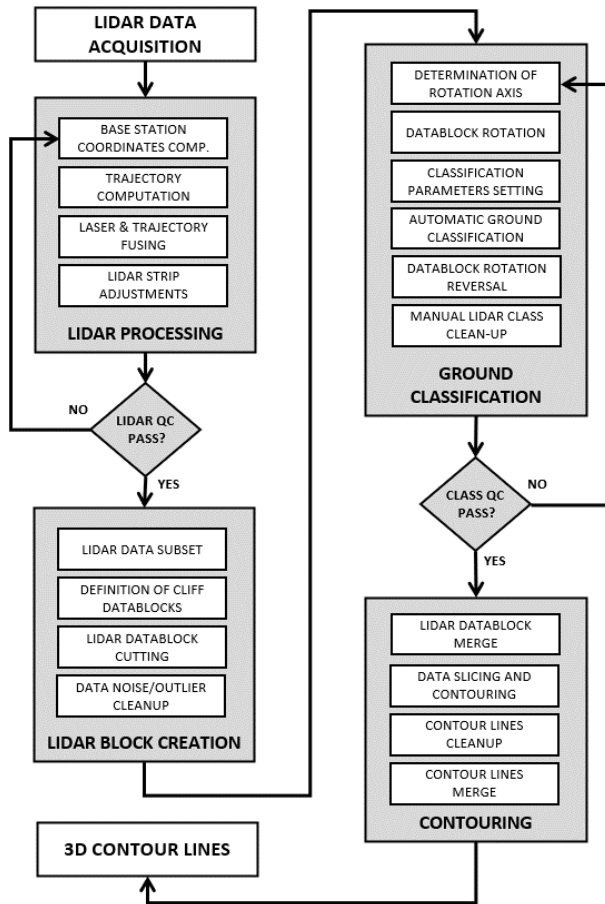


Figure 5. LiDAR data acquisition and processing workflow block diagram.

The Fit Plane tool in Cloud Compare software was used for each data block at the cliff area to obtain the rotation's magnitude and direction. The matrix that would make the fitted plane horizontal (normal towards Z+) can be found in the console area of CloudCompare after running the Fit Plane tool. The resulting rotation parameters were in the form of a 4x4 transformation matrix, which can be copied into the computer clipboard or exported into a text file for later use to restore the data block to its original position by using the inverse of the transformation matrix once the automated ground classification is completed. After the rotation parameters are determined by using the Fit Plane tool in CloudCompare, the subset of the LiDAR dataset can then be rotated with the center of the data segment as the point of origin. Using the Apply Transformation tool in CloudCompare, a transformation filter that applied an arbitrary rotation around a vector and represented as a 4x4 matrix to each XYZ triplet, blocks of LiDAR data can be rotated and ready to be processed further by the 2.5-D ground point classifier algorithm.

The 4x4 transformation matrix M can be expressed as a product of a rotation matrix R and translation matrix T , as shown in **Formula 2**.

$$M = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & 0 \\ R_{32} & R_{22} & R_{23} & 0 \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

The rotated coordinates for each point within the point cloud can be calculated by using **Formula 3** as follows:

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

where M is the transformation matrix; x_c , y_c , and z_c is the rotated coordinates of the point cloud; and x , y , z is the original coordinates. The elements of basic rotation matrix R around angle θ about an axis defined by a unit vector (l, m, n) can be expressed as the following set of equations (Szymanski, 1989):

$$\begin{aligned} R_{11} &= ll(1 - \cos \theta) + \cos \theta \\ R_{12} &= ml(1 - \cos \theta) - n \sin \theta \\ R_{13} &= nl(1 - \cos \theta) + m \sin \theta \\ R_{21} &= lm(1 - \cos \theta) + n \sin \theta \\ R_{22} &= mm(1 - \cos \theta) + \cos \theta \\ R_{23} &= nm(1 - \cos \theta) - l \sin \theta \\ R_{31} &= ln(1 - \cos \theta) - m \sin \theta \\ R_{32} &= mn(1 - \cos \theta) + l \sin \theta \\ R_{33} &= nn(1 - \cos \theta) + \cos \theta \end{aligned}$$

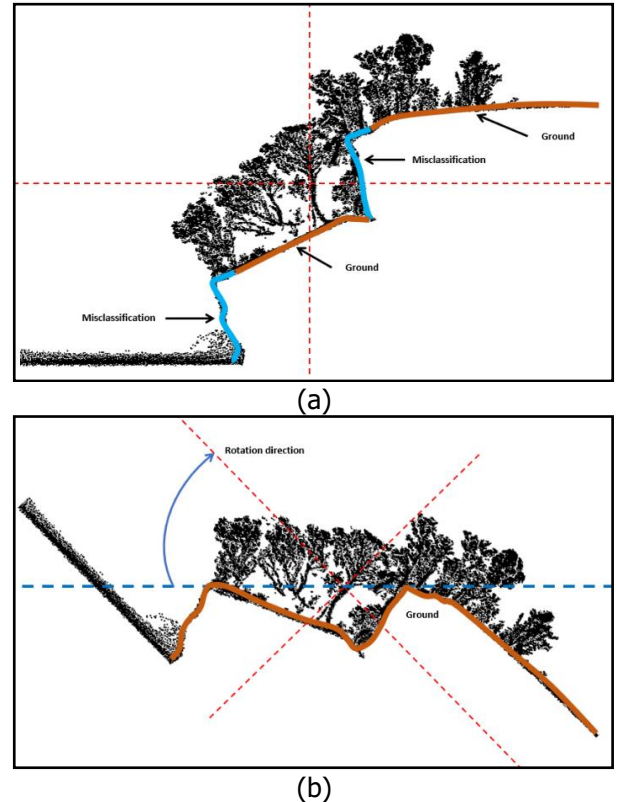


Figure 6. The original, unrotated dataset will have misclassified points due to overhanging parts (a); the rotated dataset will have correct ground classification since all overlapping terrain surfaces are eliminated temporarily during the classification process (b).

Rotating the whole LiDAR dataset for each study area may not be effective because 1) the variation of the terrain inclination over the entire width of the dataset was too much; consequently, the planar fitting algorithm will not reflect the inclination within localized surfaces, especially cliff surfaces; therefore, the resulting rotation matrix may not be sufficient to rotate the entire dataset and get proper 2.5-D space surface for all surfaces in the dataset; 2) large dataset will increase the requirement of free computer memory, the dense nature of LiDAR dataset collected using UAV tend to exhaust computer memory when the size is not appropriately managed. Hence, in most cases, it is necessary to compartmentalize the LiDAR dataset into smaller blocks to accommodate local terrain variation and to reduce computer memory requirement. These compartments or data blocks will be rotated individually to ensure every segment can be processed in 2.5-D space. The ground classification is done by employing the SMRF ground point filter in PDAL software suite (Bell et al., 2020) for each data segment. As soon as the automated ground point classification is completed in PDAL, an inverse rotation using the 4x4 transformation matrix that was saved previously will then performed to each data segment to return the LiDAR point cloud to its original position using Cloud Compare.

Point Classification Editing and Point Cloud Thinning

Based on visual inspection of the point cloud, it is apparent that the result of automated ground point cloud classification still contains artifacts or remnants of non-ground objects such as tree trunks or foliage, especially along the ridges and crests in the cliff surface. Manual intervention is needed by reclassifying such artifacts as noise points or other non-ground points. The manual reclassification was done by performing multiple visualizations of small cross-sections of a portion of the cliff to interpret ground and non-ground points and remove the artifacts manually. Professionally trained GIS data processing operators used the free Lasview module of the LASTools software (Isenburg, 2020) to perform this manual reclassification. Once the remaining artifacts were removed, a point-thinning algorithm was executed to get a thinned, uniform-density point cloud. The thinned point cloud will provide a more suitable surface for the contour line generation algorithm, which will help minimize the effort needed to edit the resulting contour lines manually. A voxel-based point-thinning algorithm in the PDAL software suite (voxel centroid-nearest neighbor) was used in this case study.

Three-dimensional Contour Line Generation

The Segmentation tool in CloudCompare software was used to generate contour lines with a

specific interval. By employing the Slice function in the Segmentation tool followed by generation of the contour lines along with the horizontal slices, the outline of each horizontal cross-section of the LiDAR dataset can be produced, effectively creating the contour lines in three-dimension. The resulting contour lines were then manually edited to remove superfluous lines, to join fragmented contour lines, and to connect the contour lines of the cliff face to the contour lines of the inland topography. Contour lines in a digital three-dimensional topographic map will never cross each other since they will always be on different elevation levels from the reference datum. When viewed from the top, digital three-dimensional contour lines will appear similar to conventional paper-based topographic maps, where contour lines are not supposed to touch, overlap, or cross, except in certain rare instances such as if there is a vertical or overhanging cliff (Deline et al., 2015). In the case of a vertical cliff, the contour lines will appear to merge because they are right on top of each other when viewed from above, and in the case of an overhang, the contour lines will cross each other. The overall workflow of this case study is illustrated in **Figure 5**.

While the three-dimensional contour lines can convey the shape of the surface very well, *Portion de Ciel Visible* (PCV) algorithm, a point-and-mesh-shading algorithm which was based on an algorithm developed by Tarini et al., (2003), was used to provide a more compelling simulated visualization of the cliff surface. The PCV algorithm simulates the natural illumination of the scene as if there were spotlights sampled all over a hemisphere or a sphere, while the point cloud is lying at the center of this sphere, and this algorithm is available as one of the plug-ins in Cloud Compare software.

RESULTS AND DISCUSSION

In this case study, two sets of results were produced: 1) the three-dimensional contour lines as the primary product and 2) the PCV-shaded surface made by the ground point cloud to qualitatively gauge the completeness of the bare terrain representation in the classified data. The cliff face's visualization reconstructed using the ground points indicated that the cliff face, including the recesses, has been successfully preserved. A few deep alcoves were not scanned thoroughly by the LiDAR due to its location, but overall the cliff was reconstructed quite well, with almost no artifacts remaining. In Site A, some recessed areas at the bottom of the cliff near the ocean surface could not be adequately modeled due to inadequate LiDAR coverage in such a location.

LiDAR Accuracy Evaluation

A total of 140 ground test points were surveyed on both locations to provide reference data for the

accuracy evaluation in this case study. However, due to the inherent difficulty in measuring ground test points on the cliff wall, the test points were only placed on the cliff's top portion with a reasonable incline to ensure safe access by the surveying team. No test points were measured on the vertical wall and any overhanging surfaces. The root mean square error is used as a measure of LiDAR survey accuracy, which can be calculated based on **Formula 4** and **Formula 5** presented below:

$$RMSe_z = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(z_{laser} - z_{test})^2}{n}} \dots \dots \dots (4)$$

where $RMSe_z$ is the root mean square error, z_{laser} is the elevation of the terrain based on the laser ground points, z_{test} is the spot elevation of the terrain based on the terrestrial survey, and n is the number of observations. This formula can then be used to derive the linear error with 90% confidence (LE90) value by using the following equation (Badan Informasi Geospasial, 2014):

$$LE90 = 1.6499 \times RMSe_z \dots \dots \dots (5)$$

Based on the ground test points distributed on the bare area at the top side of the cliffs, vertical accuracy of 4.6 cm in RMSe was reported at site A, and vertical accuracy of 5.2 cm in RMSe was reported at site B, which translates to 6.9 cm of LE90 and 8.6 cm of LE90, respectively, according to **Formula 5**. This finding is on a par with the expected accuracy of the laser scanner (Phoenix LiDAR Systems, 2019) and well within the specification for a large-scale map in Indonesia on 1:1,000 scale maps, which limit the vertical error to 0.2 meter LE90, as defined by Indonesia's Geospatial Information Agency recent regulation on map accuracy standards (Badan Informasi Geospasial, 2014).

Only the vertical accuracy was evaluated in this case study. The horizontal accuracy was not evaluated due to the following factors: 1) no sufficient contrast provided by the laser intensity image to distinguish surficial features, 2) at the study area, there were no visibly identifiable angular features that can be detected in 3-D, such as building roofs, walls, and pavements edges, 3) time and budgeting constraints prevent the use of laser-reflective markers on ground test points to highlight their locations in the laser intensity image. Nevertheless, some of the ground test points were placed on top of the cliff ledges and the bottom of steep inclines to help point out any gross horizontal errors. In this case study, data from both areas do not show any gross horizontal positional errors.

Assessment of the Cliff Surface and Contour Lines

Visual examination of the contour lines produced by the CloudCompare segmentation tool

shown no artifacts leftover from non-ground points due to vegetation and overgrowths. Note that some of the contour lines presented in **Figure 7** and **Figure 8** may appear to be overlapping with each other due to overhanging cliff faces. The contour lines flow naturally throughout the cliff and the overhangs, with a minimum amount of data gaps; however, the contour lines were fragmented and split in various locations, which requires a manual join using software to edit contour line shapefiles, in this case, QGIS (QGIS.org, 2020) was used, to improve the contour lines to adhere to cartographic standards.

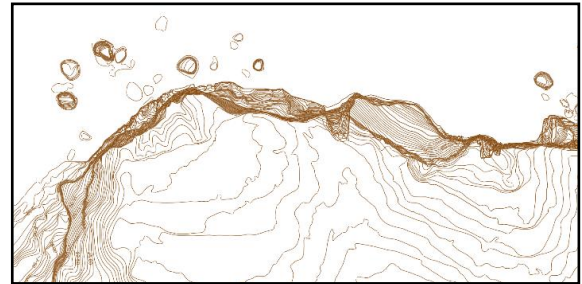


Figure 7. Contour lines of the cliff area at site A.

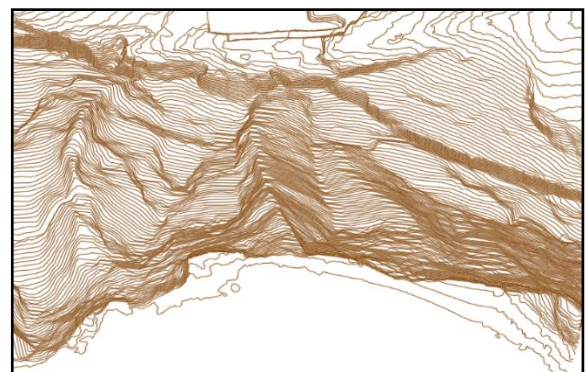


Figure 8. Contour lines of the cliff area at site B.

The edited contour lines of the cliff can then be joined with contour lines of the regular dataset from the main body of terrain to form a contiguous block of contour lines. Two sets of PCV-shaded visualization of the cliff area being studied were produced using CloudCompare software to assist in the qualitative assessment of the ground-filtering process. The oblique-angle visualization of the Site A is presented in **Figure 9**, and the visualization for Site B is presented in **Figure 10**. These visualizations can be rotated in CloudCompare to further examine the fidelity of the cliff surface reconstruction.

Employing the existing algorithm to classify ground points from the LiDAR dataset using the SMRF algorithm combined with the dataset's temporary rotation during algorithm execution has produced a satisfactory result. Manual efforts will still be needed to do the following steps: 1) orthogonally delineating approximate cliff face to derive segments used to rotate LiDAR points, 2) cleaning up the classified point cloud to remove artifacts from the automated classification

algorithm, and 3) editing and cleaning up the resulting contour lines to achieve acceptable standards in cartography.

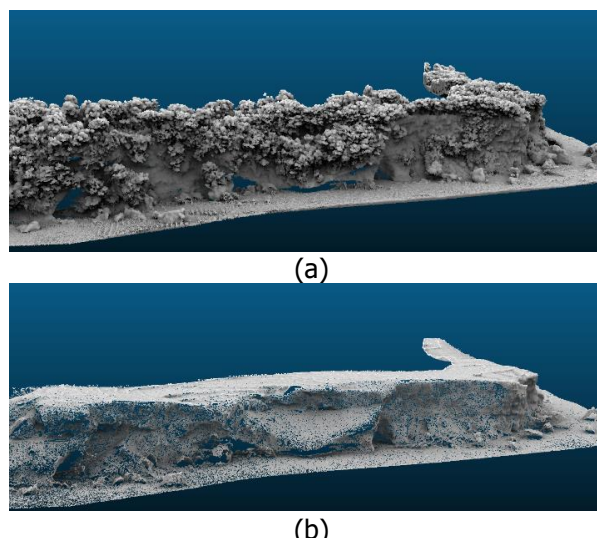


Figure 9. Perspective view of the raw, unclassified point cloud (a) compared to the classified ground point cloud (b) in site A.

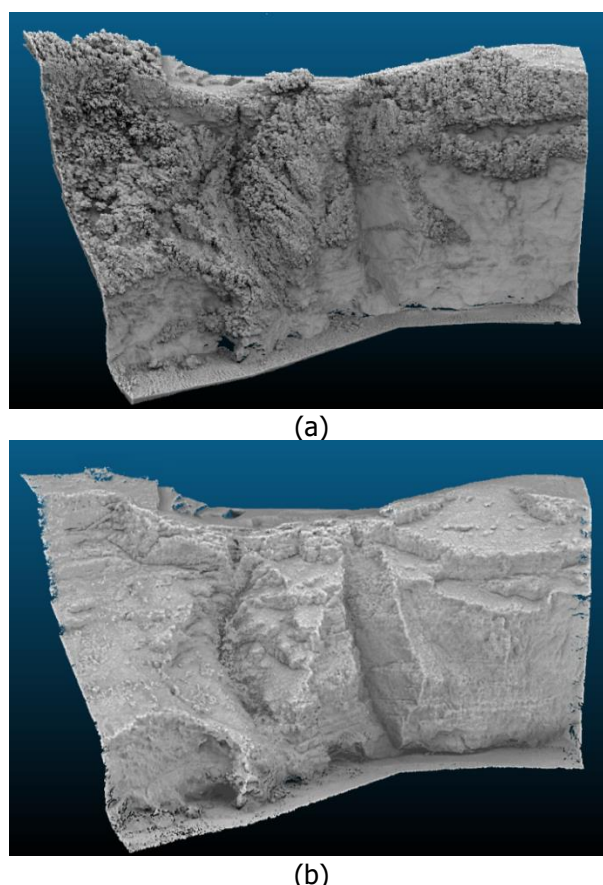


Figure 10. Perspective view of the raw, unclassified point cloud (a) compared to the classified ground point cloud (b) in site B.

The contour lines from the LiDAR dataset generated by slicing the point cloud in Z direction using CloudCompare software required a significant effort for cleaning up to meet cartographic standards. A more robust contouring tool that can

generate more consistent contour lines from a particular point cloud class from the LiDAR dataset will reduce the person-hour involved.

In this case study, simple polygons were drawn manually along the approximated cliff face to split LiDAR dataset into smaller blocks, and then the rotation to an optimum horizontal plane for 2.5-D ground classification is done by performing a two-dimensional planar fitting to the LiDAR data block using CloudCompare. For smaller datasets like in this case study, such approximation is considered practical enough, but for larger datasets, a better procedural method in identifying rotation magnitude and direction in the form of 4x4 transformation matrices needs to be established.

Mapping the difficult-to-reach areas, such as the alcoves and deep recesses close to the sea surface, is proven to be problematic since the intrinsic risk associated with flying UAV close to the rough sea surface and the inability of the pilot to maintain a safe distance to the cliff face when no line of sight is possible. When no sufficient LiDAR data was acquired over such areas, manual interpretation has to be performed to be able to continue the contour lines crossing the area with data void. The small number of laser points in such locations was often get discarded in the noise-cleaning algorithm step. This predicament could be alleviated by employing a water-resistant UAV with a more advanced positioning system so that a more precise flight and a closer laser scanning to both the cliff and sea surface can be performed; hence more laser pulses can strike the surface of alcoves and recesses.

CONCLUSION

Airborne LiDAR survey using a UAV platform followed by data processing employing dataset rotation techniques prior to automatic ground point classification with SMRF algorithm has provided satisfactory results in capturing three-dimensional topographic maps of cliff surfaces in the Pecatu region in Bali. The cliff surfaces in both study areas were reconstructed successfully with sufficient accuracy for topographic mapping at 1:1,000 scale, and the final result can be presented in the form of three-dimensional contour lines.

ACKNOWLEDGMENTS

The LiDAR dataset for the two locations in this case study is provided through the courtesy of PT Tritara Orbit Surya, a topographic surveying and consulting company in Jakarta, Indonesia. The author is grateful to Dr. Parluhutan Manurung, PhD., from the Department of Geography, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Indonesia, for providing suggestions that resulted in substantial improvement of the manuscript.

REFERENCES

- Badan Informasi Geospasial. (2014). Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. *Badan Informasi Geospasial. Bogor*.
- Badan Informasi Geospasial. (2020). DEMNAS. Retrieved 27 May 2021, from <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/#Info>
- Bell, A., Chambers, B., Butler, H., & Gerlek, M. (2020). *PDAL: Point cloud Data Abstraction Library Release 2.20*. Retrieved from <https://pdal.io/PDAL.pdf>
- Deline, B., Harris, R., & Teffend, K. (2015). *Laboratory Manual for Introductory Geology* (Vol. 80). Dahlonega, Georgia: University of North Georgia Press. Retrieved from <https://doi.org/10.2307/2482078>
- Glennie, C. (2008). Rigorous 3D error analysis of kinematic scanning LIDAR systems. *Journal of Applied Geodesy*, 1(3). Retrieved from <https://doi.org/10.1515/jag.2007.017>
- Hampton, M. A., & Griggs, G. B. (2004). *Formation, Evolution, and Stability of Coastal Cliffs – Status and Trends. Professional Paper 1693*. Denver, Colorado: U.S. Geological Survey.
- Isenburg, M. (2020). LASTools. <https://rapidlasso.com/>. Retrieved from <http://rapidlasso.com/LASools>
- James, M. R., & Robson, S. (2012). Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 117(3), 1–18. Retrieved from <https://doi.org/10.1029/2011JF002289>
- Kilian, J., Haala, N., & Englich, M. (1996). Capture and evaluation of airborne laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31, 383–388.
- Mancini, F., Castagnetti, C., Rossi, P., Dubbini, M., Fazio, N. L., Perrotti, M., & Lollino, P. (2017). An integrated procedure to assess the stability of coastal rocky cliffs: From UAV close-range photogrammetry to geomechanical finite element modeling. *Remote Sensing*, 9(12), 1–22. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs9121235>
- Pack, R. T., Blonquist, K., & Carter, B. (2012). Lidar Bare-Earth Modeling Of Overhanging Cliffs-Extending 2.5-D Lidar Classifiers To Handle 3d Surface Classification Problems. In *ASPRS 2012 Annual Conference*. Sacramento, California.
- Pfeifer, N. (2005). A subdivision algorithm for smooth 3D terrain models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2004.09.002>
- Phoenix LiDAR Systems. (2019). PLS AL3-32 Specification Sheet. Austin: Phoenix LiDAR Systems. Retrieved from www.phoenixlidar.com
- Pingel, T. J., Clarke, K. C., & McBride, W. A. (2013). An improved simple morphological filter for the terrain classification of airborne LIDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 77(March), 21–30. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.12.002>
- Purbo-Hadiwidjojo, M., Samodra, H., & Amin, T. C. (1998). Systematic Geological Map of Indonesia. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- QGIS.org. (2020). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Retrieved from <http://qgis.org/>
- Ruberti, D., Marino, E., Pignalosa, A., Romano, P., & Vigliotti, M. (2020). Assessment of tuff sea cliff stability integrating geological surveys and remote sensing. Case history from Ventotene Island (Southern Italy). *Remote Sensing*, 12(12). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs12122006>
- Tarini, M., Cignoni, P., & Scopigno, R. (2003). Visibility based methods and assessment for detail-recovery. *Proceedings of the IEEE Visualization Conference*, 457–464. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/VISUAL.2003.1250407>
- Wallace, L. O., Lucieer, A., & Watson, C. S. (2012). Assessing the Feasibility of Uav-Based Lidar for High Resolution Forest Change Detection. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B7(September), 499–504. Retrieved from <https://doi.org/10.5194/isprarchives-xxxix-b7-499-2012>
- Xhardé, R., Long, B. F., & Forbes, D. L. (2006). Accuracy and limitations of airborne LiDAR surveys in coastal environments. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2412–2415. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2006.625>
- Zhang, K., Chen, S. C., Whitman, D., Shyu, M. L., Yan, J., & Zhang, C. (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4 PART I), 872–882. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.810682>
- Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., & Yan, G. (2016). An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. *Remote Sensing*, 8(6). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs8060501>

Halaman ini sengaja kami kosongkan

ANALISIS SUBSIDENCE MENGGUNAKAN METODE MULTITEMPORAL DINSAR DAN ANOMALI BOUGEUR DI WILAYAH PERKOTAAN

Studi Kasus Kota Samarinda

Subsidence Analysis using Dinsar Multitemporal Method and Bougeur Anomaly in Urban Areas
Case Study at Samarinda City

Aprilia Puspita^{1,2}, Yosef Prihanto³, Sukendra Martha¹, Rudy.A.G.Gultom¹

¹ Teknologi Penginderaan, Fakultas Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan

² Pusat Gempabumi dan Tsunami, BMKG

³ Pusat Penelitian, Promosi dan Kerjasama BIG

Jl. Angkasa 1 No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat

E-mail: aprilpuspita86@gmail.com

Diterima: 17 Februari 2021; Direvisi: 22 Mei 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 25 Mei 2021

ABSTRAK

Fenomena penurunan tanah di kota-kota besar di Indonesia sangat berdampak terhadap kerusakan infrastruktur bangunan, dan bahkan dapat menjadi pemicu bencana geologi seperti longsor dan *sinkhole*. Oleh sebab itu diperlukan upaya mitigasi untuk meminimalisir dampak kerusakan yang ditimbulkan, salah satunya dengan memetakan beberapa wilayah yang teridentifikasi mengalami *subsidence* di wilayah penelitian (kota Samarinda), sebagai informasi awal dalam pengembangan tata ruang wilayah perkotaan. Pada penelitian ini menggunakan penginderaan jauh yang memanfaatkan citra radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*), yang diolah dengan metode DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) dan dianalisis secara multi temporal untuk mengidentifikasi *subsidence* di wilayah penelitian. Dikombinasikan dengan metode gravitasi dengan penentuan nilai *anomaly* Bougeur sederhana (SBA) untuk menentukan struktur bawah permukaan di wilayah penelitian. Data yang digunakan adalah citra SAR Sentinel 1A tipe SLC band C (5.405 GHz), dalam kurun waktu 2015-2019 dan data model *anomaly* gravitasi *Free Air Anomaly* (FAA) yang diperoleh dari data satelit GGMplus. Hasil yang diperoleh menunjukkan wilayah yang teridentifikasi mengalami *subsidence* (penurunan tanah) sebagian besar berada di sekitar DAS Mahakam, dan merupakan pusat kegiatan penduduk dengan tingkat kerapatan bangunan yang tinggi. Nilai *subsidence* tertinggi sebesar 11,93 cm dalam periode tahun 2016-2017 di Kecamatan Samarinda Ilir, dan laju penurunan tanah rata-rata tertinggi sebesar 9,62 cm/tahun. Wilayah yang teridentifikasi terjadi *subsidence* umumnya memiliki nilai SBA yang relatif lebih rendah sehingga mempunyai struktur tanah yang lebih lemah.

Kata kunci: *Anomaly bougeur, DInSAR, subsidence, Samarinda*

ABSTRACT

Land subsidence phenomenon that occurs in major cities in Indonesia given a significant impact on damage of building infrastructure, and can trigger geological disasters such as landslides and sinkholes. Therefore, mitigation efforts are needed to minimize the impact of this damage, one of them by mapping the areas identified as experienced land subsidence in the study area (Samarinda city). As initial information in the development of urban spatial planning. This study uses a remote sensing method of SAR (Synthetic Aperture Radar) radar imagery, which is processed by the DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar) method and analyzed multi-temporal to identify subsidence in the study area. Combined with the gravity method by estimating the Simple Bougeur Anomaly (SBA) value to determine the subsurface structure in the study area. The data used are SAR Sentinel 1A type SLC band C (5.405 GHz) imagery for the period 2015-2019 and the gravity anomaly model data Free Air Anomaly (FAA) obtained from GGMplus satellite data. The results obtained indicate that the areas identified as having land subsidence are mostly around the Mahakam watershed, and become centers of population activity with a high level of building density. The highest subsidence value is 11.93 cm occur in the 2016-2017 period in Samarinda Ilir District, and the highest average land subsidence rate is 9.62 cm / year. Areas that experience land subsidence generally have a relatively lower SBA value so they have a weaker soil structure.

Keywords: *Bougeur anomaly, DInSAR, subsidence, Samarinda*

PENDAHULUAN

Fenomena penurunan tanah di kota-kota besar di wilayah Indonesia merupakan suatu '*silent killer*' yang memiliki dampak kerusakan terhadap infrastruktur, bahkan menjadi salah satu pemicu dari bencana geologi seperti longsor dan *sinkhole* di kota-kota besar (Al Akbar et al., 2015). Sehingga dapat menimbulkan korban jiwa dan kerugian material yang sangat besar apabila tidak dilakukan upaya mitigasi terhadap potensi penurunan tanah (*subsidence*). Terlebih di wilayah kota besar yang memiliki jumlah penduduk yang cukup tinggi dan infrastruktur pendukung yang besar.

Kota Samarinda merupakan salah satu kota termaju di provinsi Kalimantan Timur. Selain sebagai ibukota provinsi, kota Samarinda memiliki infrastruktur penunjang yang lengkap sebagai pusat pemerintahan, pusat bisnis dan ekonomi, pendidikan, sehingga kota ini memiliki kepadatan penduduk yang cukup tinggi dibandingkan kota-kota yang lain. Berdasarkan topografi kota Samarinda dibagi menjadi kawasan perbukitan Soeharto di bagian tengah ke utara, di bagian selatan merupakan wilayah dataran rendah DAS Sungai Mahakam, dan di bagian timur berupa wilayah cekungan dengan topografi yang rendah (Warsilan, 2019). Berdasarkan kondisi geologi, wilayah kota Samarinda merupakan bagian dari cekungan Kutai yang didominasi oleh batuan sedimen yang berumur miosen dan terdiri dari formasi Pulau Balang yang terdiri dari perselingan batu pasir, lanau dan lempung serta formasi alluvial (Makatita, Pratiknyo, & Nugroho, 2014).

Sebagai *urban area* dengan tingkat kepadatan penduduk dan pembangunan infrastruktur yang tinggi, wilayah kota Samarinda memiliki potensi tinggi terjadi penurunan tanah (*subsidence*). Hal tersebut sangat dipicu oleh aktivitas manusia seperti pengambilan air tanah yang cukup tinggi, pembebanan tanah yang disebabkan oleh tingkat kerapatan bangunan dan infrastruktur pendukung, serta kondisi topografi dan geologi wilayah Samarinda (Yang et al., 2018). Oleh sebab itu diperlukannya suatu metode untuk dapat mengidentifikasi dan memetakan daerah-daerah yang rawan terjadi *subsidence* (penurunan tanah). Langkah tersebut sebagai salah satu upaya mitigasi terhadap bencana geologi, sekaligus dapat memberikan informasi awal dalam perencanaan pembangunan infrastruktur di wilayah penelitian. Perkembangan teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan citra radar SAR (*Synthetic Aperture Radar*) cukup efektif digunakan untuk mendeteksi dan memantau penurunan tanah di suatu wilayah dari segi waktu dan biaya. Metode yang digunakan adalah multitemporal analisis DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) dengan menggunakan citra radar

SAR sentinel 1A tipe SLC band C. Pada penelitian sebelumnya, para peneliti telah mengaplikasikan metode DInSAR untuk mendeteksi penurunan tanah (Blasco et al., 2019; Kurniawan & Anjasmara, 2016). Hasil yang diperoleh berdasarkan analisis multitemporal mampu menunjukkan adanya pergerakan/deformasi tanah dengan akurasi yang tinggi dalam orde sentimeter bahkan milimeter (Miky, 2019). Karena metode DInSAR ini mempunyai keterbatasan hanya dapat menjangkau di permukaan dan kedalaman yang dangkal. Oleh sebab itu diperlukan metode lain yang dapat menjangkau lapisan bawah permukaan sampai kedalaman yang lebih dalam. Untuk memperoleh gambaran struktur bawah permukaan daerah penelitian, maka penelitian ini mengkombinasikan dengan metode gravitasi untuk memperoleh nilai *Anomaly Bouguer* (SBA) di wilayah penelitian. Dimana nilai SBA dapat mengindikasikan struktur batuan bawah permukaan yang kuat maupun yang lemah berdasarkan kontras densitas batuan (Sarkowi, 2014). Parameter output dari hasil pengolahan menggunakan metode DInSAR dan metode gravitasi ini akan dipetakan menggunakan software QGIS. Pemetaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi wilayah-wilayah yang mengalami *subsidence* dan juga zona-zona lemah yang nantinya dapat berpotensi menimbulkan *subsidence* berdasarkan nilai *anomaly Bouguer* (SBA) wilayah kota Samarinda.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan kombinasi metode penginderaan jauh DInSAR dan metode gravitasi. Teknik yang digunakan adalah *two pass* DInSAR (Hanssen, 2001). Dalam menentukan perubahan deformasi pada *differential interferogram*, yang merupakan fungsi dari empat faktor yaitu: Perubahan fase yang disebabkan oleh perubahan oleh arah satellite *line of sight* (LOS), Error phase topografi, *phase delay* akibat atmosfer, residual phase yang disebabkan oleh error orbit dan gangguan phase (Agustan et al., 2019; Gaber et al., 2017) (**Persamaan 1**).

$$\phi\Delta t = \phi_{def} + \phi_h + \phi_{atm} + \phi_\beta + \phi_\eta \dots \dots (1)$$

di mana

$\phi\Delta t$	= Perubahan <i>ground deformation</i>
Nilai ($\phi\Delta t$)	= positif (+) kenaikan muka tanah negatif (-) penurunan muka tanah
ϕ_{def}	= Perubahan <i>phase</i>
ϕ_h	= <i>Error phase</i> topografi
ϕ_{atm}	= <i>Phase delay</i> akibat atmosfer
ϕ_β	= <i>Residual phase</i>
ϕ_η	= Gangguan <i>phase</i>

Perubahan *ground deformation* ($\phi\Delta t$) dalam besaran phase, sehingga masih memiliki tingkat ambiguitas yang tinggi, sehingga perlu dikonversikan dalam besaran jarak (**Persamaan 2**).

$$\phi\Delta t = 4\pi dR / (\lambda) \dots \dots \dots (2)$$

di mana

dR = Selisih beda tinggi yang diukur dari dua pengamatan citra radar

λ = Panjang gelombang radar

Metode gravitasi pada penelitian digunakan untuk mengidentifikasi dan menggambarkan bentuk struktur geologi bawah permukaan berdasarkan anomaly medan gayaberasat bumi, yang dihasilkan oleh adanya perbedaan densitas antar batuan. Pada penelitian ini data gravitasi yang digunakan merupakan data model anomaly gravitasi FAA (Free Air Anomaly /FAA) yang diperoleh dari data satelit GGMplus (Anisa, H dkk, 2018). Oleh sebab itu dilakukan koreksi udara bebas (FAA) seperti pada **Persamaan 3**.

$$FAA = g_{obs} - g_0 + 0.3085h \dots \dots \dots (3)$$

di mana :

g_{obs} = harga gravitasi yang telah dikoreksi

g_0 = harga gravitasi normal di titik pengamatan

h = elevasi

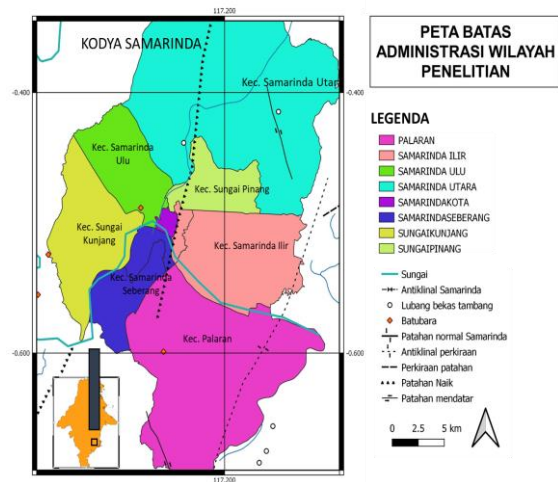
Anomali Bouger (*Simple Bouguer Anomaly* /SBA) merupakan selisih dari harga percepatan gravitasi observasi dengan harga normalnya. Nilai *anomaly* Bouger positif mengindikasikan adanya kontras densitas yang besar pada lapisan bawah permukaan, sedangkan *anomaly* negatif menggambarkan kontras densitas yang kecil, sehingga lapisan batuan cenderung lebih seragam. Wilayah dengan nilai SBA yang tinggi berasosiasi dengan densitas batuan yang relatif lebih kuat dan kompak strukturnya, dibandingkan dengan wilayah dengan anomaly Bouguer bernilai lebih rendah (Nurwidyanto et al., 2019). Perhitungan anomaly Bouguer adalah sebagai berikut (**Persamaan 4**).

$$g_b(x,y,z) = 2\pi G\rho h = 0,04193h\rho \dots \dots \dots (4)$$

Dengan $g_b(x,y,z)$ adalah koreksi Bouguer (mGal), ρ rapat massa (densitas) slab Bouguer, h ketinggian titik amat (m).

Pada penelitian ini, lokasi penelitian ditunjukkan pada peta **Gambar 1**, berada di Kodya Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis wilayah penelitian dibatasi pada koordinat $0,690^\circ$ LS – $0,345^\circ$ LS dan $117,038^\circ$ – $117,299^\circ$ BT. Secara administratif batas wilayah penelitian adalah: Sebelah Utara berbatasan Kecamatan Tenggarong dan Kecamatan Muara badak, Barat berbatasan dengan Kecamatan Tenggarong, Timur berbatasan dengan Kecamatan

Anggana dan Selatan berbatasan dengan Kecamatan Muara Jawa.



Gambar 1. Peta administrasi wilayah penelitian.

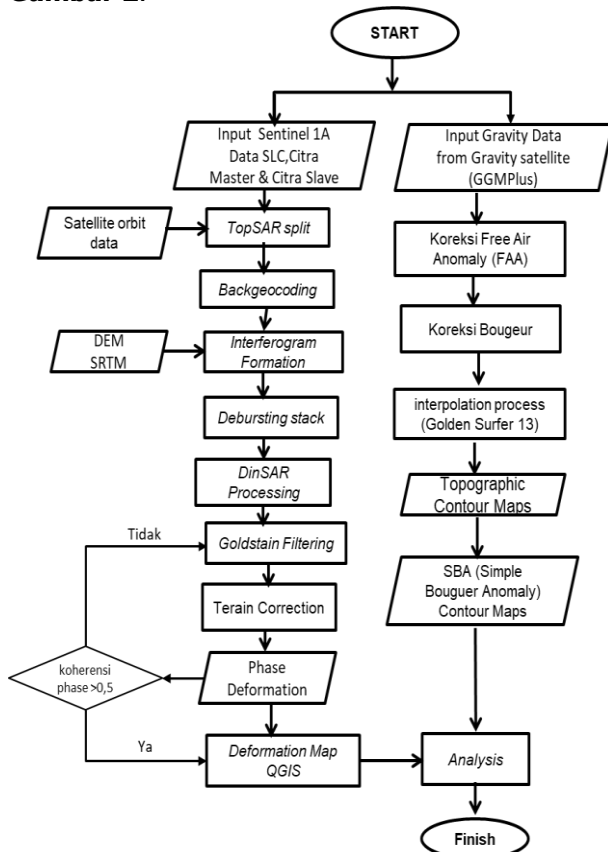
Tabel 1. Data citra satelit Sentinel 1A yang digunakan.

Tahun Pengolahan	Mst /Slv	ID Scene	Akusisi	
2015-2016	Mst	S1A_IW_SLC_1SDV_20151213T215045_20151213T215112_009029_00CF3C_47F1	13	Des 2015
	Slv	S1A_IW_SLC_1SDV_20161207T215052_20161207T215119_014279_0171A9_E4E2	7	Des 2016
2016-2017	Mst	S1A_IW_SLC_1SDV_20161207T215052_20161207T215119_014279_0171A9_E4E2	7	Des 2016
	Slv	S1A_IW_SLC_1SDV_20171202T215051_20171202T215118_019529_021262_E608	2	Des 2017
2017-2018	Mst	S1A_IW_SLC_1SDV_20171202T215051_20171202T215118_019529_021262_E608	2	Des 2017
	Slv	S1A_IW_SLC_1SDV_20181221T215057_20181221T215124_025129_02C65E_2C74	21	Des 2018
2018-2019	Mst	S1A_IW_SLC_1SDV_20181221T215057_20181221T215124_025129_02C65E_2C74	21	Des 2018
	Slv	S1A_IW_SLC_1SDV_20191204T215104_20191204T215131_030204_0373CD_857E	4	Des 2019

Data yang digunakan meliputi: Data set citra satelit sentinel 1-A dengan C band (bekerja pada frekuensi 5.405GHz dan panjang gelombang 5,6 cm), tipe SLC (Single Look Complex) level 1 tahun 2015-2019. Data dapat di download dari ASF Canada melalui <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>. (**Tabel 1**); Data gravitasi GGMplus dari satelit *altimetry* dan *gravimetric* dengan resolusi titik 200 m yang dapat diunduh melalui <http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/> GGMplus.; Data DEMNAS (Digital Elevation Model Nasional) yang

digunakan sebagai validasi model DEM yang dihasilkan dari pengolahan DInSAR. Data DEMNAS memiliki resolusi spasial 0.27-arcsecond , dapat diunduh melalui <http://tides.big.go.id/DEMNAS/>.

Adapun perangkat lunak (*software*) yang akan digunakan pada penelitian ini adalah: *Software* SNAP (*Sentinel Application Platform*) versi 7.0, *software* Snaphu, *software* Golden Surfer 13, dan *software* QGIS versi 3. Tahapan pengolahan data dibagi menjadi pengolahan dengan metode DInSAR dan pengolahan dengan metode gravitasi sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alur pengolahan data.

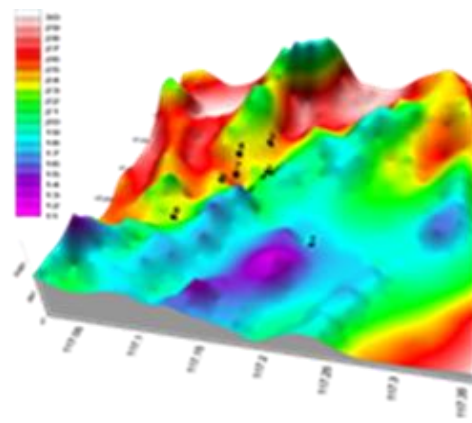
Pengolahan dengan DInSAR tahapan awal dilakukan proses *TopSAR Split* untuk membagi 1 scene citra satelit dalam 3 *subwath* (IW) dan mode burst (1-9) yang mencakup area penelitian. Pada penelitian ini *subwath* yang digunakan adalah IW3 dengan burst 6-9. Setelah dilakukan proses *TopSAR Split*, kemudian masukkan data nilai orbit satelit. Proses selanjutnya adalah pembentukan interferogram, dan memasukkan nilai DEM yang digunakan, yaitu SRTM 30 meter 3 *second*. Untuk mereduksi noise dan mempertajam fringe pada interferogram dilakukan proses filtering yaitu *enhance spectral diversity*. Langkah selanjutnya dilakukan *TopSAR Deburst* dilanjutkan dengan proses menghilangkan phase topografi (*Thopo phase removal*), dan mereduksi error phase dengan proses *multi-looking*. Proses selanjutnya adalah Goldstain *phase filtering*, untuk menghilangkan noise dan meningkatkan nilai

koherensi. Tahapan akhir adalah melakukan koreksi terrain.

Proses pengolahan data gravitasi dimulai dengan melakukan koreksi data FAA; Tahapan ini dilakukan koreksi udara besar (FAA) dan koreksi Bouger, menggunakan perangkat lunak *microsoft excel*. Kemudian pembuatan peta kontur topografi dan peta kontur *anomaly* Bouguer (SBA). Pada tahapan ini dilakukan proses *gridding* dengan *software* *surfer 13* dengan metode statistik krigging. Proses ini menghasilkan peta kontur topografi dan peta *anomaly* Bouguer lengkap. Tahapan *post processing* adalah melakukan overlay layer hasil pengolahan dengan DInSAR menggunakan *software* QGIS versi 3 untuk menampilkan peta deformasi di wilayah penelitian

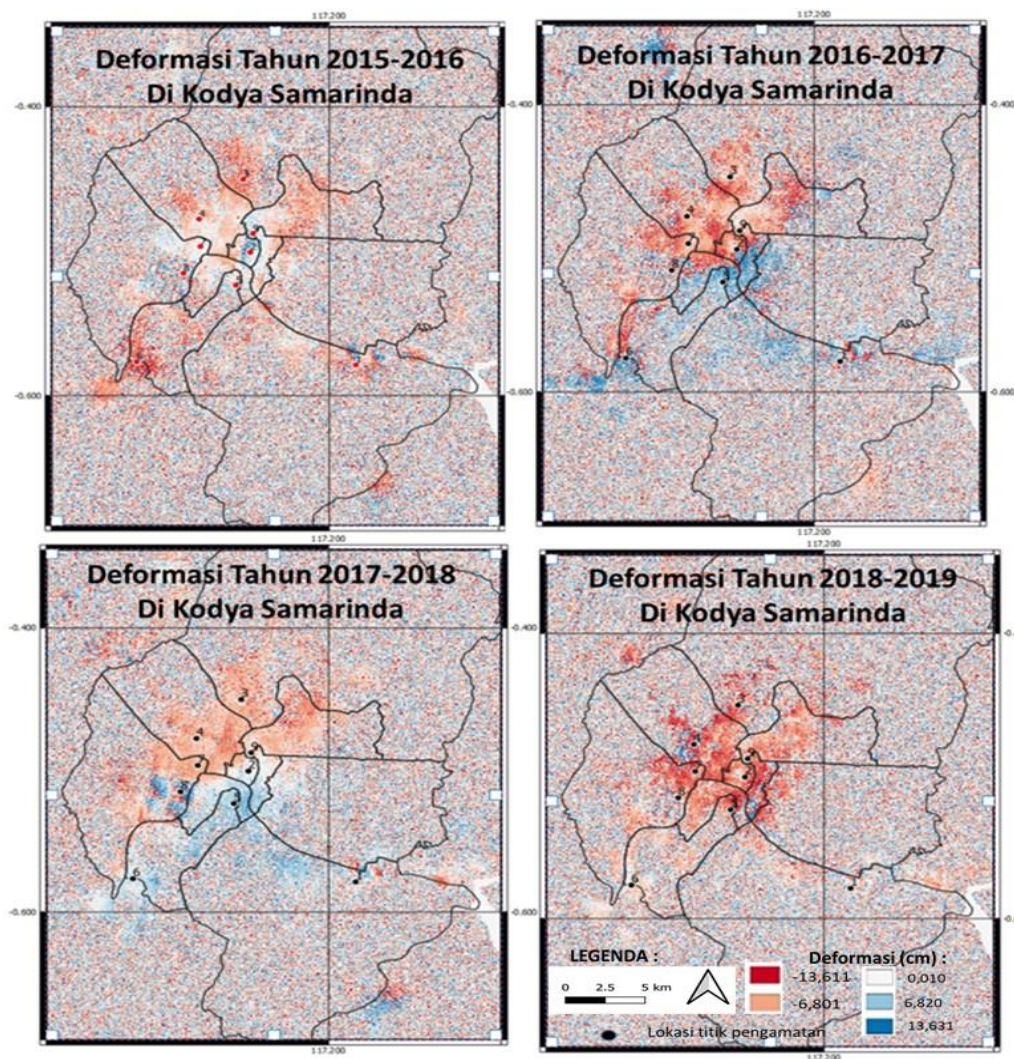
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini proses analisa menggunakan titik sampel, yang terdiri dari 10 titik pengamatan yang tersebar di beberapa kecamatan di Kodya Samarinda. Titik sampel dipilih berdasarkan wilayah yang mengindikasikan terjadi deformasi secara vertikal, serta memiliki nilai koherensi *phase* $> 0,5$. Nilai koherensi *phase* yang tinggi menunjukkan kualitas dari interferogram yang dibentuk, serta seberapa besar dua *phase* citra berkorelasi satu sama lain (Zwieback et al., 2016).



Gambar 3. Kontur 3D *overlay* topografi dan nilai SBA di wilayah penelitian.

Topografi wilayah penelitian berdasarkan **Gambar 3** merupakan wilayah yang memiliki relief yang relatif datar pada bagian tengah, dan merupakan wilayah perbukitan bergelombang di bagian utara dan selatan. Lokasi titik pengamatan di Kodya Samarinda hampir sebagian besar berada di DAS Mahakam, Samarinda Utara dan Samarinda Seberang. Wilayah yang teridentifikasi mengalami deformasi, baik berupa penurunan tanah (*subsidence*) ataupun kenaikan tanah *uplift* dari pengolahan data dengan metode DInSAR ditunjukkan pada **Gambar 4** area yang diidentifikasi mengalami *subsidence* ditunjukkan dengan blok warna merah yang bernilai negatif.



Gambar 4. Multi temporal phase displacement pada wilayah penelitian Tahun 2015-2019.

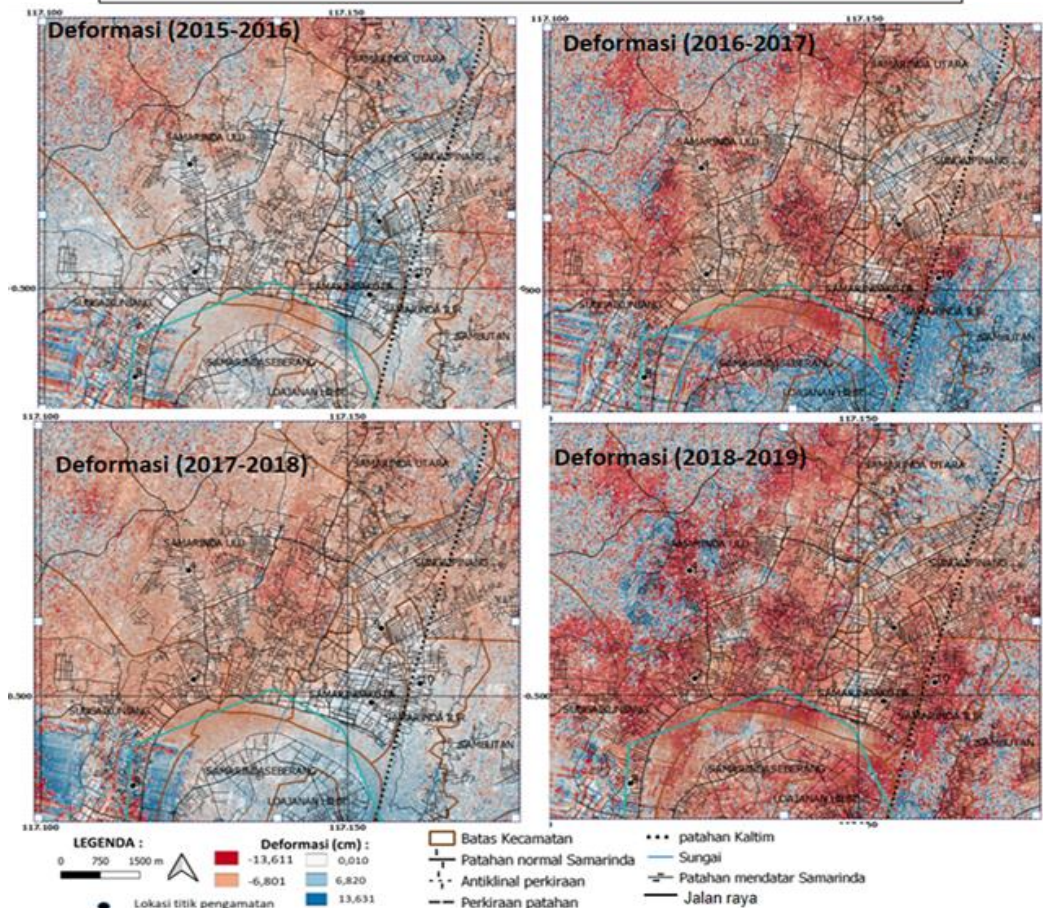
Sedangkan blok warna biru merupakan area yang mengalami kenaikan muka tanah (*uplift*) dan ditunjukkan nilai deformasi yang positif. Wilayah yang berwarna putih umumnya merupakan wilayah yang relatif stabil dan tidak mengalami perubahan/deformasi. Hasil dari pengolahan dengan multitemporal DInSAR (**Gambar 4**) menunjukkan area yang teridentifikasi terjadi deformasi baik *subsidence* maupun *uplift* setiap tahunnya mengalami perubahan, baik wilayah, luasan area dan besarnya deformasi (dalam cm). Pengamatan wilayah yang mengalami proses deformasi secara temporal dapat digunakan untuk mengetahui perkembangan pembangunan di suatu wilayah.

Berdasarkan hasil pengolahan data pada **Tabel 2**, wilayah yang mengalami penurunan tanah tertinggi adalah Kec. Samarinda Ilir di titik 10 sebesar 11,93 cm di tahun 2016-2017. Sedangkan wilayah dengan laju penurunan tanah rata-rata pertahun terbesar berada di Kec. Sungai Kujang (titik 8) sebesar 9,62 cm/tahun. Wilayah dengan laju penurunan tanah terendah berada di Kec. Samarinda Seberang (titik 5). Di lokasi titik 5 deformasi yang terjadi di tahun sebelumnya (2015-

2017) berupa kenaikan muka tanah (*uplift*), yang disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah sedimentasi yang cukup tinggi di sekitar DAS Mahakam, serta pengaruh dari struktur geologi berupa patahan naik yang berada di bagian timur. Namun lokasi titik 5 mengalami penurunan tanah yang cukup signifikan di tahun 2018-2019 sebesar 10,12 cm. Penyebab *subsidence* di wilayah tersebut salah satunya adalah pembebanan dari proses sedimentasi yang terjadi di tahun sebelumnya, dan ditambah dengan faktor bobot bangunan yang cukup tinggi, melebihi kapasitas kekuatan struktur tanah di wilayah tersebut.

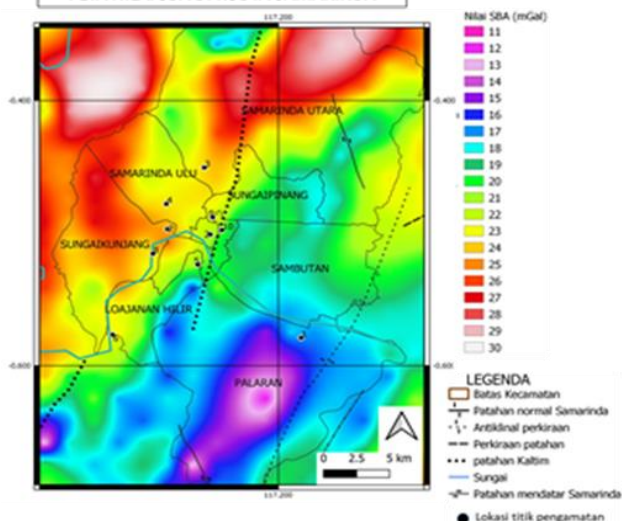
Fenomena *subsidence* di wilayah penelitian cukup kompleks, dan di setiap wilayah memiliki pola penurunan tanah dan faktor pemicu yang berbeda satu sama lain. *Subsidence* terjadi hampir di seluruh Kecamatan di Kodya Samarinda, hal tersebut umumnya disebabkan oleh kerapatan bangunan yang cukup tinggi, adanya aktifitas penduduk seperti pengambilan air tanah, serta proses sedimentasi yang besar sehingga terjadi pembebanan volume tanah yang menyebabkan *subsidence*.

PETA DEFORMASI DI TITIK 2,4,7,9 DAN 10 (KODYA SAMARINDA)



Gambar 5. Peta deformasi di titik 2,4,7,9 dan 10 (Kodya Samarinda).

PETA NILAI SBA DI KODYA SAMARINDA

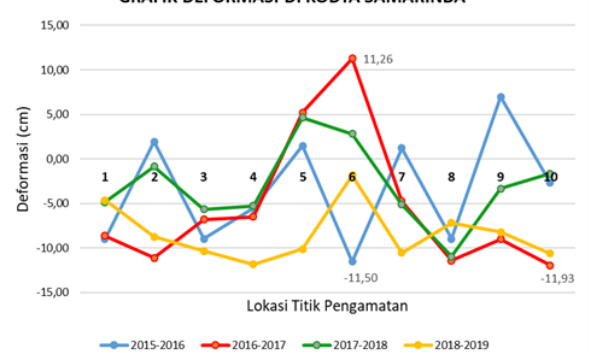


Gambar 6. Peta kontur anomaly bouger Sederhana (SBA) 2D di Wilayah Penelitian.

Berdasarkan kontur sebaran nilai anomaly Bouger (SBA) di wilayah penelitian, pada **Gambar 6** menunjukkan kisaran nilai 11-30 mGal. Nilai tersebut berasosiasi dominasi struktur batuan sedimen di wilayah penelitian. Lokasi titik pengamatan dengan nilai SBA paling rendah berkisar 16 mGal berada di Kec Palaran, sehingga wilayah tersebut berpotensi paling rentan

mengalami *subsidence* berdasarkan kondisi struktur tanah. Pada **Gambar 6** menunjukkan struktur geologi berupa patahan/sesar teridentifikasi di daerah dengan kontras *anomaly* Bouger yang cukup tinggi.

GRAFIK DEFORMASI DI KODYA SAMARINDA



Gambar 7. Grafik deformasi di Kodya Samarinda

Pada **Gambar 5** menunjukkan lokasi titik pengamatan yang berada di sekitar DAS Mahakam (titik 2,4,7,9,10). Lokasi titik 2 berada di wilayah kota Samarinda. Berdasarkan grafik deformasi **Gambar 7** menunjukkan lokasi titik 2 mengalami penurunan tanah terbesar di tahun 2016-2017 sebesar 11,11 cm, dan pola penurunan tanah yang signifikan terjadi dua tahun sekali. Wilayah ini

memiliki ciri khas deformasi yang menarik, yang disebabkan adanya perselingan terjadi kenaikan tanah (*uplift*) dalam rentan waktu setelah terjadi *subsidence*. Hal tersebut mengindikasikan adanya endapan alluvial yang cukup tebal di wilayah kota Samarinda. Subsidence yang terjadi di kota Samarinda lebih disebabkan oleh kerapatan bangunan yang cukup tinggi sehingga sehingga memberikan pebebanan yang melebihi kapasitas tanah dibawahnya. Kondisi morfologi DAS di lokasi titik 2 dapat mempengaruhi *subsidence* di lokasi tersebut, hal ini disebabkan lokasinya yang berada di jalur lekukan erosi sungai. Lokasi titik 4 berada di kecamatan Samarinda Ulu, dengan penurunan tanah rata-rata sebesar 7,28 cm/tahun. Wilayah ini mengalami *subsidence* terbesar pada tahun 2018-2019 sebesar 11,81 cm. Lokasi titik 4 (Kec. Samarinda Ulu) mempunyai nilai SBA 23,45 mGal, dimana nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan lokasi titik 2 (Kota Samarinda), sehingga struktur tanah di titik 4 relatif lebih kuat dibandingkan titik 2. Namun setiap tahunnya penurunan tanah yang terjadi di lokasi titik 4 lebih besar dibandingkan dengan penurunan tanah di titik 4. Hal tersebut disebabkan lokasi titik 4 merupakan kawasan pemukiman padat penduduk, hal tersebut memungkinkan penurunan tanah di wilayah tersebut terjadi setiap tahunnya yang disebabkan oleh pengambilan air tanah yang cukup tinggi.

Wilayah yang mengalami penurunan tanah yang signifikan juga terjadi di titik 10 yang berada di kec. Samarinda Ilir (**Gambar 5**). Wilayah ini mengalami penurunan tanah terbesar di tahun 2016-2017 sebesar 11,93 cm, dan kecepatan

penurunan tanah rata-rata sebesar 6,71 cm/tahun. Berdasarkan nilai anomaly Bouguer (SBA), titik 10 mempunyai nilai SBA sebesar 20,56 mGal, nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan area di bagian barat. Sehingga struktur tanah di titik 10 lebih lemah dan rentan mengalami *subsidence*. Lokasi titik 10 dilalui oleh struktur geologi patahan (sesar) naik, yang memungkinkan wilayah tersebut mengalami kenaikan tanah (*uplift*). Lokasi titik 10 memiliki jaringan infrastruktur berupa jalan raya dan bangunan yang cukup padat. Faktor pembangunan yang tinggi menjadi salah satu penyebab terjadinya penurunan tanah di wilayah tersebut. Lokasi lain yang teridentifikasi mengalami penurunan tanah berada di kec. Sungai Kujang, yaitu di titik 7 dan 8.

Berdasarkan **Tabel 2**, lokasi titik 8 mengalami penurunan tanah rata-rata per tahun sebesar 9,62 cm/tahun, dan penurunan tanah maksimum sebesar 11,41 cm di tahun 2016-2017. Lokasi titik 7 terjadi penurunan tanah tertinggi sebesar 10,5 cm di tahun 2018-2019, dan penurunan tanah rata-rata sebesar 5,1 cm/tahun. Pada grafik deformasi (**Gambar 7**) wilayah titik 8 mengalami penurunan tanah lebih besar setiap tahunnya (periode 2015-2019) dibandingkan di titik 7. Berdasarkan nilai anomaly Bouguer (SBA), titik 7 memiliki nilai SBA yang relatif lebih besar dibandingkan dengan titik 8 (**Tabel 2**). Hal tersebut mengindikasikan bahwa lokasi titik 7 memiliki struktur tanah yang lebih kuat dibandingkan dengan lokasi titik 8.

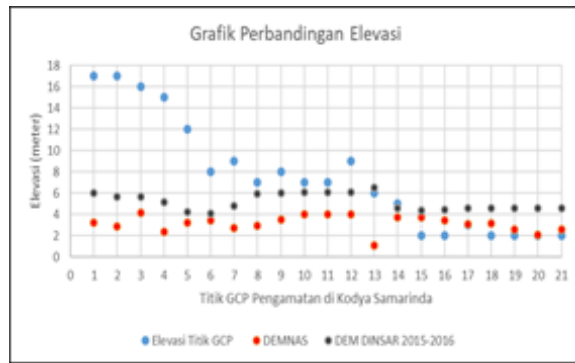
Tabel 2. Nilai hasil pengolahan data di titik pengamatan.

No. ID Titik	Nama Kecamatan	Coordinate		Besarnya Deformasi (cm)				Rata-rata Subsidence (cm/year)	SBA (mGal)	Elevasi DEMNAS (meter)
		Latitude (o)	Longitud e (o)	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019			
1	Kec. Palaran	0,5790	117,2154	-9,01	-8,63	-4,83	-4,60	-6,77	16,99	5,34
2	Samarinda Kota	-0,5010	117,1539	1,93	-11,11	-0,83	-8,72	-5,17	21,20	4,76
3	Kec. Samarinda Utara	-0,4506	117,1498	-8,96	-6,78	-5,67	-10,36	-7,94	23,80	7,22
4	Kec. Samarinda Ulu	-0,4780	117,1241	-5,54	-6,51	-5,27	-11,81	-7,28	23,45	12,57
5	Kec. Samarinda Seberang	-0,5238	117,1455	1,47	5,23	4,63	-10,12	-2,53	20,87	2,64
6	Kec. Samarinda Seberang	-0,5767	117,0877	-11,50	11,26	2,81	-1,85	-3,34	22,91	65,30
7	Kec. Sungai Kujang	-0,4970	117,1249	1,20	-4,74	-5,12	-10,53	-5,10	24,45	3,41
8	Kec. Sungai Kujang	-0,5155	117,1150	-8,96	-11,41	-10,94	-7,16	-9,62	23,77	3,34
9	Kec. Sungai Pinang	-0,4881	117,1555	6,96	-9,00	-3,34	-8,21	-5,14	23,38	3,20
10	Kec. Samarinda Ilir	-0,4977	117,1618	-2,68	-11,93	-1,63	-10,59	-6,71	20,56	16,00

Pola deformasi yang terjadi di titik 8 memiliki kontras yang cukup besar antara daerah yang terjadi subsidence dan uplift, dan membentuk pola yang searah dengan jaringan jalan dan bangunan. Sehingga pola deformasi tersebut mengindikasikan adanya pembangunan infrastruktur di wilayah tersebut. Wilayah selanjutnya yang teridentifikasi mengalami penurunan tanah yang cukup signifikan setiap tahunnya adalah titik 3 di Kecamatan Samarinda Utara. Berdasarkan tabel 2 laju penurunan tanah di titik 3 sebesar 7,94 cm/tahun. Penurunan tanah terbesar terjadi dalam kurun waktu 2018-2019 sebesar 10,36 cm. Nilai anomaly Bouger di titik 3 sebesar 23,80 mgal, nilai ini relatif lebih tinggi dibandingkan di bandingkan wilayah bagian selatan, sehingga struktur tanahnya relatif lebih kuat. Sehingga kondisi penurunan tanah (*subsidence*) yang cukup tinggi di titik 3 lebih disebabkan oleh tingginya kerapatan bangunan yang memberikan pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan kekuatan struktur tanah yang menopangnya.

Wilayah yang teridentifikasi mengalami deformasi baik berupa penurunan tanah (*subsidence*) dan kenaikan muka tanah (*uplift*) di kodya Samarinda umumnya berada pada kisaran nilai SBA sekitar 16-25 mgal. Tidak terdapat kontras anomaly yang signifikan yang di wilayah yang teridentifikasi mengalami deformasi. Hal tersebut menunjukkan wilayah yang mengalami deformasi memiliki kondisi struktur tanah yang hampir sama. Sehingga faktor utama yang mempengaruhi besarnya penurunan tanah di wilayah penelitian adalah faktor manusia, diantaranya adalah beban kerapatan bangunan yang cukup tinggi, pembangunan infrastruktur yang tinggi, kepadatan penduduk yang tidak merata yang berkaitan erat dengan aktivitas pengambilan air tanah. Faktor alam yang berpengaruh terhadap deformasi di wilayah penelitian adalah adanya proses sedimentasi dan erosi yang cukup tinggi di wilayah sekitar DAS Mahakam, serta adanya struktur geologi berupa patahan di bagian timur yang membentang dengan arah Utara-Selatan yang mempengaruhi terjadinya *uplift* di wilayah penelitian.

Untuk menguji keakuratan pada metode DInSAR, dilakukan uji statistik komparasi. Dengan membandingkan nilai elevasi hasil DInSAR terhadap data DEMNAS yang diperoleh dari institusi Badan Informasi Geospasial (BIG) dan titik GCP Geodetik orde 3 diperoleh berdasarkan data citra satelit Quickbird di wilayah Kodya Samarinda. Jumlah titik GCP sebanyak 21 titik (Endayani & Derita, 2016), dengan pengukuran geodetik tersebut dilakukan di tahun 2014 (**Tabel 3**).



Gambar 8. Grafik perbandingan nilai elevasi.

Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan nilai elevasi dari hasil DInSAR, DEMNAS dan Pengukuran titik GCP. Terlihat adanya persamaan pola nilai elevasi pada lokasi titik 8 sampai titik 21, yang ditunjukkan dengan selisih nilai elevasi yang kecil pada antara DEM hasil DInSAR dan DEMNAS terhadap nilai elevasi titik geodetik (GCP). Sedangkan pada lokasi titik 1 sampai titik 7 terlihat adanya selisih nilai elevasi yang cukup signifikan antara hasil pengolahan DInSAR dan titik acuan GCP. Berdasarkan hasil tersebut dihitung nilai Nilai RMSE (*Root Means Square Error*) terhadap data acuan, yaitu elevasi titik geodetik GCP (Sun et al., 2019) Nilai RMSE untuk data DEMNAS sebesar 6,6964 meter, sedangkan RMSE elevasi hasil DInSAR periode tahun 2015-2016 terhadap acuan elevasi titik GCP sebesar 5,3667 meter.

Tabel 3. Perbandingan nilai elevasi.

Titik	Koordinat (UTM)		ELEVASI (meter)		
	UTM x	UTM y	GCP	DEMNAS	DEM DINSAR 2015-2016
1	517307	9944511	17	3,2285	6,0076
2	517338	9944496	17	2,8325	5,6654
3	517376	9944489	16	4,1334	5,6332
4	517404	9944589	15	2,3609	5,1244
5	517434	9944682	12	3,1960	4,2039
6	517467	9944678	8	3,4341	4,1061
7	517500	9944670	9	2,6908	4,7886
8	517580	9944649	7	2,9503	5,9392
9	517589	9944628	8	3,4851	5,9928
10	517584	9944617	7	4,0085	6,0463
11	517585	9944617	7	4,0085	6,0463
12	517583	9944617	9	4,0085	6,0463
13	517596	9944687	6	1,0788	6,5003
14	517474	9944711	5	3,6836	4,6111
15	517444	9944713	2	3,7414	4,3596
16	517424	9944719	2	3,4156	4,4034
17	517390	9944721	3	3,0642	4,5660
18	517395	9944756	2	3,1532	4,5952
19	517425	9944754	2	2,5765	4,5959
20	517453	9944749	2	2,0815	4,5965
21	517454	9944747	2	2,5529	4,5965

Sumber: Endayani & Derita, 2016

Nilai kesalahan tersebut dimungkinkan adanya perbedaan ketelitian antara metode yang digunakan dan waktu akuisisi yang berbeda, sehingga menyebabkan perbedaan nilai yang cukup signifikan. Faktor *noise* yang tinggi di wilayah penelitian juga menjadi salah satu penyebab error pada pengolahan DInSAR. Akurasi ketelitian nilai elevasi hasil DInSAR sebesar 66,67% terhadap nilai elevasi di titik GCP. Sehingga hasil elevasi DInSAR cukup mendekati hasil elevasi dari pengukuran geodetik

KESIMPULAN

Deformasi yang terjadi di Kodya Samarinda baik berupa penurunan tanah (*subsidence*) dan kenaikan muka tanah (*uplift*) dapat diidentifikasi dengan baik menggunakan metode DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) Analisis multitemporal DInSAR menggunakan citra sentinel 1A dapat digunakan untuk memetakan wilayah yang mengalami penurunan tanah dari waktu ke waktu, serta dapat mengetahui perkembangan pembangunan di suatu wilayah. Citra sentinel 1A memiliki resolusi spasial yang cukup baik sebesar 20 meter dan memiliki akurasi yang cukup tinggi. Sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi wilayah yang teridentifikasi mengalami *subsidence* di area yang cukup luas. Wilayah yang mengalami deformasi di kodya Samarinda memiliki kisaran nilai SBA sekitar 16-25 mGal. Nilai tersebut berasosiasi dengan struktur batuan sedimen di wilayah penelitian. Wilayah yang teridentifikasi terjadi *subsidence* umumnya memiliki nilai SBA yang relatif lebih rendah sehingga mempunyai struktur tanah yang lebih lemah, sedangkan wilayah yang mengalami *uplift* umumnya mempunyai nilai SBA yang relatif lebih tinggi.

Wilayah yang mengalami penurunan tanah tertinggi adalah Kecamatan Samarinda Ilir di titik 10 sebesar 11,93 cm di tahun 2016-2017. Sedangkan laju penurunan muka tanah rata-rata terbesar berada di titik 8 Kecamatan Sungai Kujang sebesar 9,62 cm/tahun. Wilayah yang dengan laju rata-rata penurunan tanah terendah berada pada titik 5 di Kecamatan Samarinda Seberang sebesar 2,53 cm/tahun. *Subsidence* terjadi hampir di seluruh Kecamatan di Kodya Samarinda, hal tersebut umumnya disebabkan oleh kerapatan bangunan yang cukup tinggi, adanya aktifitas penduduk seperti pengambilan air tanah, serta proses sedimentasi yang besar sehingga terjadi pembebanan volume tanah yang menyebabkan *subsidence*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Universitas Pertahanan Indonesia atas dukungan dana untuk penelitian ini. Tidak lupa penulis mengucapkan

terima kasih khususnya kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan (Puslitbang) BMKG atas akses penggunaan super komputer dalam pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustan, A., Hanifa, R. N., Anantasena, Y., Sadly, M., & Ito, T. (2019). Ground Deformation Identification related to 2018 Lombok Earthquake Series based on Sentinel-1 Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 280(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/280/1/012004>
- Al Akbar, T. O., Prasetyo, Y., & Wijaya, A. (2015). Analisis Dampak Penurunan Muka Tanah Terhadap Tingkat Ekonomi Menggunakan Kombinasi Metode Dinsar Dan SIG (Studi Kasus : Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 4(4), 136–143.
- Anisa, H. A. N. A., Indriyana, R. D., & Irham, M. (2018). Aplikasi Metode Gravity Dengan Data Satelit untuk Identifikasi Struktur Bawah Permukaan (Studi Kasus Semenanjung Muria. *Youngster Physics Journal*, 7(2), 90–100.
- Blasco, J. M. D., Foumelis, M., Stewart, C., & Hooper, A. (2019). Measuring Urban Subsidence in the Rome Metropolitan Area (Italy) with Sentinel-1 SNAP-StaMPS Persistent Scatterer Interferometry. *Remote Sensing*, 11(2), 129. <https://doi.org/10.3390/rs11020129>
- Endayani, S., & Derita, D. (2016). Pemanfaatan Citra Quickbird Untuk Pemetaan Ruang Wilayah Kecamatan Samarinda Kota Provinsi Kalimantan Timur, *Media Sains*. 9(1).
- Gaber, A., Darwish, N., & Koch, M. (2017). Minimizing the Residual Topography Effect on Interferograms to Improve DInSAR Results: Estimating land subsidence in Port-Said City, Egypt. *Remote Sensing*, 9(7), 752. <https://doi.org/10.3390/rs9070752>
- Hanssen, R. F. (2001). Stochastic model for radar interferometry. *Radar Interferometry. Data Interpretation and Error Analysis*, 81-159
- Huang, J., Xie, M., Farooq, A., & Williams, E. J. (2019). DInSAR Technique for slow-moving Landslide Monitoring Based on Slope Units. *Survey Review*, 51(364), 70–77. <https://doi.org/10.1080/00396265.2017.1380947>
- Kurniawan, R., & Anjasmara, I. M. (2016). Pemanfaatan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) untuk Pemantauan Deformasi Akibat Aktivitas Eksploitasi Panasbumi. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.17361>
- Miky, Y. H. (2019). Multitemporal Sentinel-1SAR Interferometry for Surface Deformation Monitoring Near High Dam in Aswan, Egypt. *American Journal of Geographic Information System*, 8(2), 96–102. <https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20190802.05>
- Nurwidyanto, M. I., Yulianto, T., & Widada, S. (2019). Modeling of Semarang Fault Zone Using Gravity Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1217(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012031>
- Makatita, W. D. C., Pratiknyo, P., & Nugroho A. R. B. (2014). Geologi dan Karakteristik Akuifer Daerah

- Mutiara , Kec Samboja , Kab Kutai Kartanegara , Prov Kalimantan timur. *Jurnal Ilmu Geologi PANGEA*, 1(2), 1-10.
- Sarkowi, M. (2014). Eksplorasi Gaya Berat *Yogyakarta. Graha Ilmu*.
- Suni, H. A., Yuwono, B.D., & Suprayogi, A. (2019). Analisis Ketelitian Dsm Kota Semarang Dengan Metode Insar Menggunakan Citra Sentinel-1. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(3), 17–26.
- Warsilan, W. (2019). Dampak Perubahan Guna Lahan Terhadap Kemampuan Resapan Air (Kasus: Kota Samarinda). *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 15(1), 70. <https://doi.org/10.14710/pwk.v15i1.20713>
- Yang, Q., Ke, Y., Zhang, D., Chen, B., Gong, H., Lv, M., Zhu, L., ...& Li, X. (2018). Multi-scale analysis of the relationship between land subsidence and buildings: A case study in an eastern Beijing Urban Area using the PS-InSAR technique. *Remote Sensing*, 10(7), 1006. <https://doi.org/10.3390/rs10071006>
- Zwieback, S., Liu, X., Antonova, S., Heim, B., Bartsch, A., Boike, J., & Hajnsek, I. (2016). A Statistical Test of Phase Closure to Detect Influences on DInSAR Deformation Estimates Besides Displacements and Decorrelation Noise: Two Case Studies in High-Latitude Regions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(9), 5588–5601. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2569435>

GEOMATIKA
VOLUME 27 TAHUN 2021

Indeks Penulis

A

Afif Ari Wibowo, 19
Aprilia Puspita, 61
Aries Dwi Wahyu Rahmadana, 19

D

Daniel Adi Nugroho, 51

F

Fajar Sutejo, 9

I

Iklila Rahmatika, 41
Iqbal Arrahman, 27

L

Leni Sophia Heliani, 9

M

M Ihsanur Adib, 41
Mohammad Kamal, 27
Muhammad Muhajir, 19

N

Nurrohmat Widjajanti, 1

P

Purnama Budi Santosa, 1
Puspita Indra Wardhani, 19

R

Rachmad Wirawan, 19
Rudy. A.G. Gultom, 61

S

Sanjiwana Arjakusuma, 41
Subagyo Pramumijoyo, 1
Sukendra Martha, 61
Syamsul Bachri, 19

Y

Yulaikhah, 1
Yosef Prihanto, 61

Z

Zulfa Andriansyah, 41

GEOMATIKA
VOLUME 27 TAHUN 2021

Indeks Subjek

A

Ambang pemetaan, 41
Anomaly Bougeur, 61,62,63,64,67
Area-based accuracy assessment, 27,
28,31,35,36,38,39

B

Baseline, 1,2,3,4,5,6,7,8,32
Bijih besi, 41,42,44,45,46,47,49

C

Cliff modeling, 51

D

Deformasi, 1,2,3,4,6,7,8,62,64,65,66,67,68,69
DEMNAS, 9,10,11,13,14,15,16,17,59,63,64,67,68
Digital Terrain Model, 9,11,17,18
DInSAR, 61,62,64,65,68,69,70

G

Geoid, 9,10,11,12,13,14,15,16,17,18
GPS, 1,2,3,4,5,7,8,17,18,25,26,53
Ground Classification, 51,52,53,54,55,56,58

I

Interpretasi,
21,27,28,29,30,31,32,33,35,36,37,38,49

L

Least Square Collocation, 9,12
Lidar, 38,51,52,53,54,55,56,57,58,59

O

Optimasi jaring, 1,2,3,4
Overhang, 51,52,53,54,56,57,59

P

Pan-sharpened, 27
Pengujian WebGIS, 19,20
Point Cloud, 51,52,53,54,55,56,57,58,59
Pustaka spektral, 41,42,44

S

Samarinda, 61,62,63,64,65,66,67,68,69,70
Segmentasi, 27,28,29,30,31,34,36,37,39
Sesar Sermo, 1,2,7,8
Simple Morphological filter, 51,54,59
Spectral angle mapper, 41,42,44,46,49
Subsidence, 61,62,64,65,66,67,68,69,70

U

Uji performa, 19,21,22,24
Uji tingkat stres, 19,21,24

W

Webserver stress tool, 19,20,21,22,24,

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA MITRA BESTARI GEOMATIKA
VOLUME 27 TAHUN 2021

1. Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil., Ph.D
2. Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
3. Dadan Ramdhani, S.T., M.T.
4. Dr. Dwi Lestari, S.T., M.E
5. Dr. Catur Aries Rokmana, S.T., M.T.
6. Dr. Ir. Wiwin Ambarwulan, M.Sc
7. Abdul Basith, S.T., M.Si., Ph.D
8. Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS
9. Dr. Susilo, S.T., M.T.

PEDOMAN PENULISAN GEOMATIKA

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

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

Sekretariat Redaksi Geomatika

Pusat Penelitian Promosi dan Kerja Sama, Badan Informasi Geospasial

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

Telp. 021-87906041 Fax 021-87906041

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

E-mail: jurnal.geomatika@big.go.id, 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 kutipannya tercantum dalam daftar pustaka. Referensi primer harus lebih dari 80% dan diterbitkan dalam 5 tahun terakhir. Referensi yang dicantumkan dalam naskah mengikuti pola baku dengan disusun menurut abjad berdasarkan nama (keluarga) penulis pertama dan tahun publikasi, dengan sistem sitasi American Physiological Association 6th Edition. Setiap artikel yang dikirimkan ke Geomatika harus menggunakan perangkat lunak pengelolaan referensi (reference management software) yang mendukung Citation Style Languages seperti Mendeley, Zotero, EndNote dan lainnya.

Contoh penulisan di dalam Daftar Pustaka adalah sebagai berikut:

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

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

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

(Contoh referensi **Naskah Online**)

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

(Contoh referensi dalam **Buku**)

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

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

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

340–406). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11741-1>

(Contoh referensi **bagian dari Buku**)

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

(Contoh referensi **Artikel dalam Jurnal**)

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

(Contoh referensi dalam **Naskah Prosiding**)

Catatan :

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

Sekretariat

Badan Informasi Geospasial

Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong

Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia

Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064

e-mail: jurnalgeomatika@gmail.com

Homepage: jurnal.big.go.id/index.php/GM

p-ISSN 0854-2759

