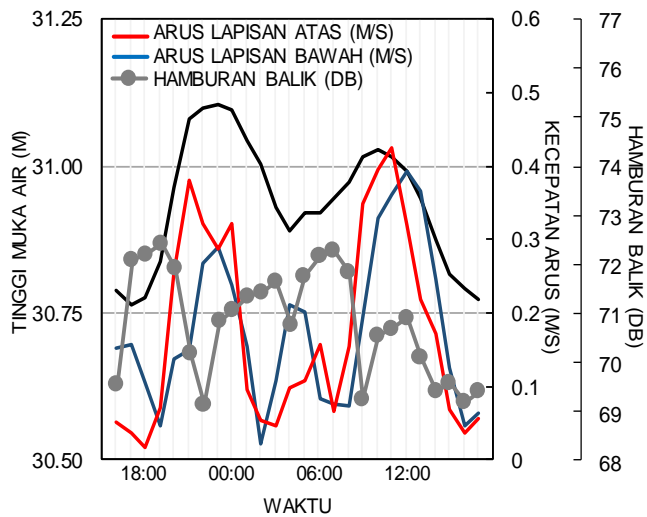


GEOMATIKA

Vol. 26 No. 2, November 2020

PENGAMATAN JANGKA PENDEK PERILAKU ARUS DAN KEKERUHAN RELATIF PADA KANAL ANTAR TERUMBU PASCA PASANG PERBANI



Perubahan tinggi muka air, kecepatan arus (di lapisan dan bawah), dan intensitas hamburan balik rata-rata

Geomatika | Volume 26 Nomor 2 | November 2020 | Hal. 55 - 114



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 26 No. 2, November 2020

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
Kementerian 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



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>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 26 No. 2, November 2020

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, ST
Aninda Wisaksanti Rudiastuti, S. Pi
Fahrul Hidayat, ST
Prayudha Hartanto, ST
Maslahatun Nashiha, S.SI
Utami Yulaila, S. E
Djoko Soesilo

Jabatan

Ketua Redaksi
Administrator
Journal Editor
Section Editor
Section Editor
Section Editor
Section Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Lay Out & Desain Grafis
Layout Editor
Layout Editor
Sekretaris
Sirkulasi

Instansi

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



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 26 No. 2, November 2020

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
LEMBAR ABSTRAK (ID)	v
LEMBAR ABSTRAK (EN)	vii
PENGANTAR REDAKSI	ix
KAJIAN TEKNIK STEREO PLOTTING PADA FOTO UDARA FORMAT KECIL UNTUK MENGHASILKAN DATA DTM <i>(Assessment of Stereoplotting Techniques for Small Format Aerial Photographs to Generate DTM Data)</i> Harintaka Departemen Teknik Geodesi, FT-UGM.....	55-62
PENGAMATAN JANGKA PENDEK PERILAKU ARUS DAN KEKERUHAN RELATIF PADA KANAL ANTAR-TERUMBU PASCA-PASANG PERBANI <i>(Short Term Observation of the Behaviour of Current and Relative Turbidity in an InterReef Channel during the Post-Spring Tide. Case Study: Nearshore Waters of Pramuka and Panggang Islands, Seribu Islands)</i> Poerbandono, Eka Djunarsjah, dan Wiwin Windupranata Kelompok Keahlian Hidrografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.....	63-70
IDENTIFIKASI ARAH SEBARAN DAN KETINGGIAN ERUPSI GUNUNG BERAPI MENGGUNAKAN CITRA RADAR CUACA <i>(Identification of Volcanic Ash Propagation and Height Using Weather Radar Imagery)</i> Nayla Alvina Rahma, Aprizal Verdyansyah, Muhammad Zakky Faza, Imma Redha Nugraheni, dan Gumilang Deranadyan Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.....	71-82
ANALISIS HASIL DELINEASI BATAS DESA DI KABUPATEN GUNUNGKIDUL PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA <i>(Analysis of The Results of Village Boundary Delineation in Gunungkidul Regency, Province of Daerah Istimewa Yogyakarta)</i> Heri Sutanta, Imasti Dhani Pratiwi, Dedi Atunggal, Bambang Kun Cahyono, dan Diyono Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.....	83-94
SURVEI DIMENSIONAL DAN KALIBRASI SISTEM MULTIBEAM LAUT DALAM DI KAPAL RISET BARUNA JAYA I <i>(Dimensional Survey and Calibration of Deep-water Multibeam System of RV Baruna Jaya I)</i> Dwi Haryanto, Hendra Kurnia Febriawan, Ahmad Fawaiz Safi, dan Muhamad Irfan Balai Teknologi Survei Kelautan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).....	95-106
GPS-DERIVED SECULAR VELOCITY FIELD AROUND SANGIHE ISLAND AND ITS IMPLICATION TO THE MOLUCCA SEA SEISMICITY <i>(Kecepatan Sekuler Kepulauan Sangihe Berdasarkan Data GPS dan Implikasinya Terhadap Seismisitas Laut Maluku)</i> Leni Sophia Heliani, Cecep Pratama, Parseno, Nurrohmat Widjajanti, Dwi Lestari, dan Hilmiyati Ulinuha Department of Geodetic Engineering, Universitas Gadjah Mada.....	107-114

LEMBAR ABSTRAK (ID)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2020
<p>Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya</p>	
<p>DDC 526.6 Harintaka (Universitas Gadjah Mada)</p> <p>Kajian Teknik Stereo Plotting pada Foto Udara Format Kecil untuk Menghasilkan Data DTM <i>Geomatika, Vol 26 No 2, Hal 55-62</i></p> <p>Penelitian ini mengkaji penggunaan kedua teknik tersebut pada Foto Udara Format Kecil (FUFK) untuk menghasilkan data DTM dan dibandingkan hasilnya. Pada penelitian ini digunakan satu blok pemotretan udara yang terdiri dari lima jalur terbang, dengan setiap jalur terdiri dari 40 foto.</p> <p style="text-align: right;">(Harintaka)</p> <p>Kata Kunci: stereo plotting interaktif, otomatis, kamera non metrik, foto udara format kecil, paralaks, foto stereo, epipolar foto</p>	<p>DDC 526.9 Poerbandono (Institut Teknik Bandung)</p> <p>Pengamatan Jangka Pendek Perilaku Arus dan Kekeuhan Relatif pada Kanal Antar-Terumbu Pasca-Pasang Perbani <i>Geomatika, Vol 26 No 2, Hal 63-70</i></p> <p>Penelitian ini membahas perilaku jangka pendek arus dan kekeuhan relatif. Pembahasan didasarkan pada analisis data dari pengamatan lapangan di satu titik pada kedalaman sekitar 30 m. Titik pengamatan terletak di kanal antar-terumbu sekitar 600 m timur laut Pulau Pramuka ke arah Pulau Panggang.</p> <p style="text-align: right;">(Poerbandono)</p> <p>Kata Kunci: <i>pengamatan lapangan, arah arus, kecepatan arus, kekeuhan relatif, tunggang pasut</i></p>
<p>DDC 526.9 Rahma (Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika)</p> <p>Identifikasi Arah Sebaran dan Ketinggian Erupsi Gunung Berapi Menggunakan Citra Radar Cuaca <i>Geomatika, Vol 26 No 2, Hal 71-82</i></p> <p>Penelitian ini memanfaatkan radar Gematronik dengan produk yang digunakan antara lain: CMAX, VCUT, dan CAPPI sehingga dapat menganalisis debu vulkanik yang dihasilkan oleh erupsi gunung berapi. Dalam kasus kejadian erupsi Gunung Agung tanggal 28 Juni 2018 didapatkan nilai reflektivitas maksimum mencapai 30-35 dBZ, sedangkan pada produk VCUT didapatkan ketinggian kolom debu vulkanik mencapai 7.5 km.</p> <p style="text-align: right;">(Rahma)</p> <p>Kata Kunci: Radar gematronik, CMAX, VCUT, CAPPI, debu vulkanik</p>	<p>DDC 526.8 Sutanta (Universitas Gadjah Mada)</p> <p>Analisis Hasil Delineasi Batas Desa di Kabupaten Gunungkidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta <i>Geomatika, Vol 26 No 2, Hal 83-94</i></p> <p>Penelitian ini menganalisis perbedaan batas dalam hal karakteristik segmen batas, pergeseran segmen batas, dan perbedaan luas wilayah. Terdapat perubahan karakteristik segmen batas yang berupa titik temu, segmen berbatasan dan segmen tidak berbatasan.</p> <p style="text-align: right;">(Sutanta)</p> <p>Kata Kunci: batas administrasi desa, pergeseran segmen, luas wilayah, Gunungkidul</p>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 26 No. 2, November 2020

<p>DDC 551.456 Haryanto (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) <i>Survei Dimensional dan Kalibrasi Sistem Multibeam Laut dalam di Kapal Riset Baruna Jaya I</i> <i>Geomatika, Vol 26 No 2, Hal 95-106</i></p> <p>Penelitian bertujuan untuk memperoleh nilai ketidaklurusan (<i>missalignment</i>) <i>transducer</i> MBES dan nilai offset sensor - sensor yang terpasang pada KR Baruna Jaya I terhadap suatu sistem koordinat kapal menggunakan metode survei dimensional. Selain itu, hasil survei dimensional tersebut diverifikasi secara dinamis menggunakan metode kalibrasi <i>patch test</i>.</p> <p>(Haryanto)</p> <p>Kata Kunci: batimetri laut dalam, <i>multibeam echosounder</i>, survei dimensional, <i>miss-alignment</i>, sensor <i>offset</i>, <i>patch test</i></p>	<p>DDC 529.22 Heliani (Universitas Gadjah Mada) <i>Kecepatan Sekuler Kepulauan Sangihe Berdasarkan Data GPS dan Implikasinya Terhadap Seismisitas Laut Maluku</i> <i>Geomatika, Vol 26No 1, Hal 107-114</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk menghitung pergeseran dipermukaan akibat dari gempa bumi digunakan model empiris global. Kemudian, setelah menghilangkan efek dari gempa bumi, kecepatan sekular dari setiap titik pengamatan dihitung kembali menggunakan hitung kuadrat terkecil.</p> <p>(Heliani)</p> <p>Kata kunci: GPS, Pulau Sangihe, seismisitas, sekular</p>
---	---

LEMBAR ABSTRAK (EN)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2020
<p>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</p>	
<p>DDC 526.6 Harintaka (Universitas Gadjah Mada)</p> <p><i>Assessment of Stereoplotting Techniques for Small Format Aerial Photographs to Generate DTM Data</i> <i>Geomatika, Vol 26 No 2, PP. 55-62</i></p> <p><i>This research examined the application of both stereo plotting techniques, either interactively or automatically, on small format aerial photography (SFAP) to generate DTM data and compared the results between two methods. This study utilized 1 block of aerial photo project which consisting of 5 runs, with each run consisting of about 40 photos.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Harintaka)</i></p> <p>Keywords: automatic and interactive stereo plotting, non-metric camera, small format aerial photography, parallax, stereo image, epipolar image</p>	<p>DDC 526.9 Poerbandono (Institut Teknik Bandung)</p> <p><i>Short Term Observation of the Behaviour of Current and Relative Turbidity in an InterReef Channel during the Post-Spring Tide</i> <i>Geomatika, Vol 26 No 2, PP. 63-70</i></p> <p><i>This paper discusses the short-term behavior of current and relative turbidity based on analyses of data from stationary field observation at an approximate depth of 30 m. The observation station is situated in an inter-reef channel roughly about 600 m northeast of Pramuka Island towards Panggang Island.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Poerbandono)</i></p> <p>Keywords: field observation, current direction, current magnitude, relative turbidity, tidal range</p>
<p>DDC 526.9 Rahma (Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika)</p> <p><i>Identification of Volcanic Ash Propagation and Height Using Weather Radar Imagery</i> <i>Geomatika, Vol 26 No 2, PP. 71-82</i></p> <p><i>This research utilizes the Gematronic radar with the following product: CMAX, VCUT, and CAPPI to analyze the volcanic ash. In the case of Mount Agung eruption on 28th June 2018, the maximum reflectivity we observed about 30-3 dBz, while from the VCUT product the height of the volcanic ash column reached 7.5 km.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Rahma)</i></p> <p>Keywords: Gematronic radar, CMAX, VCUT, CAPPI, volcanic ash</p>	<p>DDC 526.8 Sutanta (Universitas Gadjah Mada)</p> <p><i>Analysis of The Results of Village Boundary Delineation in Gunungkidul Regency, Province of Daerah Istimewa Yogyakarta</i> <i>Geomatika, Vol 26 No 2, PP. 83-94</i></p> <p><i>This research investigated differences in the characteristics and deviation of boundary segments, and changes in area size. We found that there are changes in the characteristics of boundary segments in terms of the border points location and adjacent and nonadjacent boundaries</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Sutanta)</i></p> <p>Keywords: village administrative boundaries, displacement, boundary segments, area, Gunungkidul</p>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 26 No. 2, November 2020

<p>DDC 551.456 Haryanto (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi)</p> <p><i>Dimensional Survey and Calibration of Deep-water Multibeam System of RV Baruna Jaya I</i> <i>Geomatika, Vol 26 No 2, PP. 95-106</i></p> <p><i>This paper is aimed to obtain miss-alignment values of MBES transducer estimation and offset values of sensors installed in RV Baruna Jaya I using dimensional survey method. In addition, the verification of the results was also carried out using patch test calibration method.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Haryanto)</i></p> <p>Keywords: <i>deep-water bathymetry, multibeam echosounder, dimensional survey, miss-alignment, sensor offset, patch test</i></p>	<p>DDC 529.22 Heliani (Universitas Gadjah Mada)</p> <p><i>Gps-Derived Secular Velocity Field Around Sangihe Island and Its Implication to The Molucca Sea Seismicity</i> <i>Geomatika, Vol 26No 1, PP. 107-114</i></p> <p><i>The study aims to calculate the offset that may be contained in the GPS site during its period. We remove the offset and estimate again the secular motion using linear least square. Hence, in comparison with the secular motion without considering the seismicity, we observe small change but systematically shifting the motion.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Heliani)</i></p> <p>Keywords: <i>GPS, Sangihe Island, seismicity, secular</i></p>
--	--

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Geomatika Volume 26 No. 2 November 2020 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 kebumih, teknologi *Global Navigation Satellite System* (GNSS), penginderaan jauh, sistem informasi geografis, batas wilayah dan lain-lain.

Jurnal Geomatika Volume 26 No. 2 November 2020 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari enam karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Universitas Gadjah Mada, Institute Teknik Bandung, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Penelitian pertama bertujuan untuk mengkaji penggunaan kedua teknik pada Foto Udara Format Kecil (FUFK) untuk menghasilkan data DTM dan dibandingkan hasilnya. Penelitian kedua membahas perilaku jangka pendek arus dan kekeruhan relatif. Pembahasan didasarkan pada analisis data dari pengamatan lapangan di satu titik pada kedalaman sekitar 30 m. Penelitian ketiga memanfaatkan radar Gematronik dengan produk yang digunakan antara lain: CMAX, VCUT, dan CAPPi sehingga dapat menganalisis debu vulkanik yang dihasilkan oleh erupsi gunung berapi. Penelitian keempat bertujuan untuk menganalisis perbedaan batas dalam hal karakteristik segmen batas, pergeseran segmen batas, dan perbedaan luas wilayah. Penelitian kelima bertujuan untuk memperoleh nilai ketidaklurusan (misalignment) transducer MBES dan nilai offset sensor - sensor yang terpasang pada KR Baruna Jaya I terhadap suatu sistem koordinat kapal menggunakan metode survei dimensional. Penelitian keenam untuk menghitung pergeseran dipermukaan akibat dari gempa bumi menggunakan model empiris global. 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, November 2020

Redaksi

KAJIAN TEKNIK *STEREO PLOTTING* PADA FOTO UDARA FORMAT KECIL UNTUK MENGHASILKAN DATA DTM

(*Assessment of Stereoplotting Techniques for Small Format Aerial Photographs to Generate DTM Data*)

Harintaka

Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
JL. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281 Indonesia
E-mail: harintaka@ugm.ac.id

Diterima: 21 Mei 2020; Direvisi :31 Mei 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 19 Agustus 2020

ABSTRAK

Pada fotogrametri, untuk menghasilkan data *Digital Terrain Model* (DTM) dari foto udara dilakukan dengan cara *stereo plotting*. Ada dua cara *stereo plotting*, cara interaktif dan otomatis. Cara interaktif memerlukan waktu yang lama bagi operator untuk melihat dan mendeliniasi dalam ruang 3D untuk menghasilkan posisi tiga dimensi (3D) objek dalam sistem koordinat tanah. Cara otomatis adalah melakukan proses *stereo matching* dengan salah satunya menggunakan algoritma korelasi silang. Pada cara otomatis ini, setiap pasangan foto stereo diidentifikasi objek yang sama secara otomatis, kemudian dihitung koordinat 3D-nya menggunakan persamaan *space intersection*. Penelitian ini mengkaji penggunaan kedua teknik tersebut pada Foto Udara Format Kecil (FUFK) untuk menghasilkan data DTM dan dibandingkan hasilnya. Pada penelitian ini digunakan satu blok pemotretan udara yang terdiri dari lima jalur terbang, dengan setiap jalur terdiri dari 40 foto. Setelah dilakukan hitungan triangulasi udara, pasangan – pasangan foto stereo dipilih dan dibentuk *epipolar image*. Kemudian proses *stereo plotting* secara interaktif dan otomatis diterapkan dan dibandingkan hasilnya. Hasil kajian menunjukkan data DTM yang dihasilkan antara teknik *stereo plotting* interaktif dan otomatis adalah mirip, tetapi tidak identik. Ini terjadi terutama di daerah campuran dengan tajuk pohon rapat. Keunggulan teknik *stereo plotting* interaktif adalah hasil sangat akurat dan tanpa memerlukan tahapan editing lagi, sedangkan teknik otomatis adalah kecepatan proses tetapi masih memerlukan editing.

Kata kunci: *stereo plotting* interaktif, otomatis, kamera non metrik, foto udara format kecil, paralaks, foto stereo, epipolar foto

ABSTRACT

On photogrammetry, to generate Digital Terrain Model (DTM) data from aerial photographs is by doing stereo plotting. There are two ways of stereo plotting, automatically and interactively. The Interactive method takes a long time for the operator to see and digitize objects in three-dimensional (3D) space to generate 3D position in the ground coordinate system. The Principle of automatic stereo plotting is to perform stereo matching using a cross-correlation algorithm. In this method, each stereo pair's photos automatically identified the same object, and then calculated its 3D position using the space intersection formula. This research examined the application of both stereo plotting techniques, either interactively or automatically, on small format aerial photography (SFAP) to generate DTM data and compared the results between two methods. This study utilized 1 block of aerial photo project which consisting of 5 runs, with each run consisting of about 40 photos. After aerial triangulation was performed, stereo pair's photos were selected and formed epipolar image. Then, interactive and automatic stereo plotting were applied to each selected stereo pairs photos. The results show that DTM data generated by interactive and automatic stereo plotting techniques are similar, but not identical. This occurs mainly in areas with a mixture of the dense tree canopy. The advantage of the interactive stereo plotting technique is accurate and does not require any more editing stages, while the automatic stereo plotting method has high-speed processing data to generate DTM data but still requires editing.

Keywords: *automatic and interactive stereo plotting, non-metric camera, small format aerial photography, parallax, stereo image, epipolar image*

PENDAHULUAN

Dalam bidang kajian sumber daya alam dan aplikasi rekayasa, *Digital Terrain Model* (DTM)

mempunyai peran yang sangat penting. Sampai saat ini, beberapa teknologi yang digunakan untuk menghasilkan data DTM berkualitas tinggi antara lain: survei terestris, teknologi fotogrametri, Lidar

(*Light Detection and Ranging*), dan InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) (Konecny, 2014). Di Indonesia, dari beberapa teknologi tersebut, teknologi fotogrametri masih menjadi salah satu pilihan utama untuk menghasilkan data DTM dengan ketelitian tinggi. Namun, sampai saat ini teknologi pemrosesan foto udara untuk menghasilkan informasi geospasial dasar (IGD) masih menggunakan pendekatan interaktif. Cara ini memang terbukti menghasilkan *geodatabase* atau IGD, termasuk DTM, yang berkualitas tinggi (mempunyai ketelitian tinggi). Di satu sisi, perkembangan teknologi saat ini mengarah ke arah otomatisasi, termasuk di bidang fotogrametri. Salah satu prosedur di fotogrametri, yaitu *stereo plotting*, juga mengarah ke arah otomatisasi yang unggul dalam kecepatan pemrosesan data. Hal ini makin ekstensif seiring dengan penggunaan algoritma *structure from motion* (SFM) untuk memproses data foto udara yang dipotret menggunakan wahana tidak berawak (UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*).

Beberapa kajian tentang menurunkan data Tiga Dimensi (3D) dari foto udara di wilayah Yogyakarta dilakukan oleh beberapa peneliti (Anggraini & Harintaka, 2015; Pranadita & Harintaka, 2013; Radiastuti et al., 2016). Radiastuti et al. (2016) melakukan kajian ketelitian posisi hasil *stereo plotting* interaktif dan otomatis pada foto udara hasil pemotretan dengan wahana UAV. Hasil kajian menunjukkan *stereo plotting* interaktif memiliki ketelitian horizontal dan vertikal yang memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1 : 2.500 kelas 2, sedangkan hasil *stereo plotting* otomatis untuk ketelitian horizontal memenuhi standar ketelitian peta dasar skala 1 : 2.500 kelas 3 dan untuk ketelitian vertikal memenuhi skala 1 : 5.000 kelas 3. Untuk proses *stereo plotting* interaktif menggunakan perangkat lunak DAT/EM Summit Evolution dan *stereo plotting* otomatis menggunakan pendekatan SFM.

Pranadita dan Harintaka (2013) membuat DTM dengan cara *stereo plotting* interaktif dari foto udara format medium (FUFM) DigiCam dengan hasil ketelitian tinggi sekitar 87 cm. Pada penelitian tersebut, sebagai pembanding digunakan data Lidar yang memiliki ketelitian posisi yang lebih baik. Hasil tersebut konsisten dengan hasil penelitian Anggraini dan Harintaka (2015).

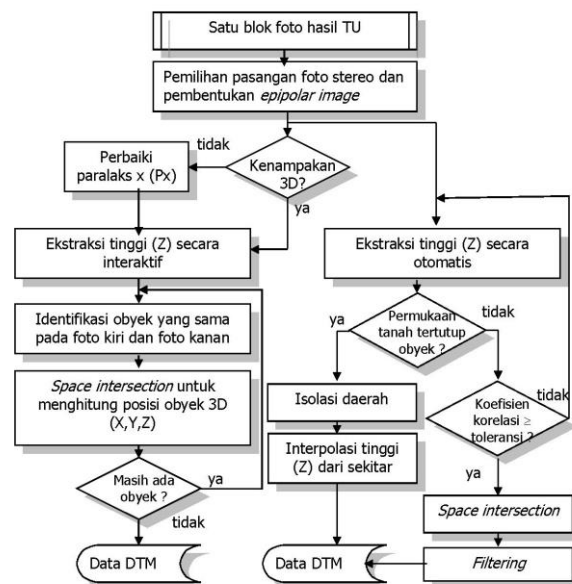
Data tinggi atau DTM dapat diturunkan dari foto stereo secara manual atau otomatis (Ackermann, 1996). Penurunan data tinggi secara manual dilakukan oleh operator dengan mendeliniasi Objek dalam ruang 3D menggunakan *plotter* analitis atau *softcopy photogrammetry*.

Penurunan data tinggi secara otomatis dilakukan dengan mengidentifikasi pasangan Objek yang sama secara otomatis menggunakan teknik pencocokan citra (*image matching*). Tiga metode

pencocokan citra yang cukup dikenal adalah (Schenk, 1996; Schenk, 1999) pencocokan berdasar area (*area based matching*), pencocokan berdasar Objek (*feature based matching*), dan pencocokan berdasar hubungan relasional antar Objek (*relational or symbolic based matching*). Dari ketiga metode pencocokan citra tersebut, metode pencocokan berdasarkan area yang dipergunakan pada penelitian ini.

METODE

Secara garis besar, penelitian dilakukan dalam 6 tahap, yaitu: pemilihan pasangan-pasangan foto stereo dari hasil triangulasi udara (TU), ekstraksi tinggi (Z) atau *stereo plotting* secara interaktif, ekstraksi tinggi (Z) atau *stereo plotting* secara otomatis, *space intersection*, *filtering* dan evaluasi hasil (**Gambar 1**). Pada **Gambar 1** tersebut, kunci utama pada ekstraksi tinggi ini adalah *stereo matching* untuk memastikan model 3D dapat terbentuk dengan sempurna dengan metode pencocokan area.



Gambar 1. Prosedur penurunan data DTM dari foto stereo.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari satu blok foto udara hasil pemotretan udara menggunakan kamera DSLR Nikon D2x di wilayah perbukitan utara Gunung Kidul dan perbatasan Kabupaten Klaten, 35 Titik Kontrol dan Titik Cek, dan hasil kalibrasi kamera. Sesuai dengan yang dinyatakan oleh Warner et al. (1996) pada penelitian ini digunakan lensa fix dengan panjang fokus 24 mm dengan tinggi terbang 1000 m, sehingga diperoleh GSD (*ground sampling distance*) sebesar 20 cm. Adapun perangkat lunak yang digunakan terdiri dari: perangkat lunak untuk pemrograman, *softcopy photogrammetry system*, kacamata 3D, dan perangkat lunak CAD.

Kamera yang digunakan termasuk dalam jenis kamera dengan lensa non metrik. Lensa non metrik adalah lensa yang tidak didesain untuk keperluan pemetaan teliti, nilai instrinsik (yang terdiri atas panjang fokus, titik pusat proyeksi, dan nilai distorsi) yang belum diketahui atau dikalibrasi, serta nilai instrinsik tersebut tidak stabil (Graham & Koh, 2002; Luhmann et al., 2011; Warner et al., 1996).

Prinsip utama metode pencocokan berdasarkan area adalah mengenali kesamaan derajat kecerahan sebuah piksel yang terdapat pada 2 foto. Secara operasional terdapat 2 teknik pencocokan citra berdasarkan area, yaitu korelasi silang (*cross-correlation*) dan korelasi kuadrat terkecil (*least squares correlation*). Metode pencocokan berdasarkan area menggunakan jendela korelasi (*correlation window*). Jendela korelasi berupa matriks piksel dengan ukuran ganjil, antara lain: 3x3, 5x5, dan 7x7.

Prinsip metode pencocokan korelasi silang adalah mencari pasangan piksel yang sama pada foto referensi dengan foto target. Pada foto referensi ditentukan jendela sasaran yang terdapat piksel yang akan dicari pasangannya pada foto target. Pada foto target ditentukan daerah selidik yang mempunyai ukuran lebih besar daripada daerah sasaran. Pada daerah sasaran dibentuk jendela sub selidik dengan ukuran yang sama dengan jendela sasaran. Jendela sub selidik ini bergerak sepanjang baris dan kolom di daerah selidik. Pada setiap posisi pergerakan jendela sub selidik dihitung nilai korelasi (ρ) antara jendela sasaran dengan jendela sub selidik.

Piksel dengan nilai korelasi (ρ) tertinggi merupakan piksel yang bersesuaian pada pasangan foto tersebut. Nilai ρ berkisar antara -1 sampai dengan 1. Nilai 1 menunjukkan korelasi yang sempurna (*perfect match*), nilai 0 menunjukkan total *miss match* (tidak terdapat korelasi), serta nilai -1 menunjukkan adanya korelasi yang berkebalikan atau berlawanan (Schenk, 1999). Bentuk Persamaan korelasi silang disajikan pada **Persamaan 1** sebagai berikut:

$$\rho = \frac{\sum_{i,j} [g_1(u_1, v_1) - \bar{g}_1][g_2(u_2, v_2) - \bar{g}_2]}{\sqrt{\sum_{i,j} [g_1(u_1, v_1) - \bar{g}_1]^2 [g_2(u_2, v_2) - \bar{g}_2]^2}} \dots\dots\dots (1)$$

dengan $\bar{g}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} g_1(u_1, v_1)$ dan $\bar{g}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} g_2(u_2, v_2)$

dimana:

- ρ : koefisien korelasi
- $g(u,v)$: nilai piksel pada posisi (u,v)
- u_1, v_1 : posisi piksel pada foto referensi
- u_2, v_2 : posisi piksel pada foto target
- n : jumlah piksel dalam satu jendela

Penggunaan metode korelasi silang mensyaratkan diketahuinya posisi kedua jendela

korelasi dan memiliki kekontrasan yang baik. Jika kedua jendela pada pasangan foto memiliki derajat kecerahan yang homogen maka nilai ρ mendekati nol atau korelasi akan gagal.

Dibandingkan dengan foto yang belum diproses dengan triangulasi udara (TU), maka foto yang telah diproses TU akan memiliki nilai EOP (*exterior orientation parameter*), dan secara teoritis seharusnya dapat menghasilkan nilai korelasi yang baik. Pada penelitian ini hasil TU memiliki ketelitian yang baik, ini diindikasikan dengan *sigma naut* dibawah 1 piksel, rerata residu posisi planimetrik *tie point* sebesar 15 mm, dan posisi tinggi 40 mm. Foto yang telah memiliki nilai EOP maka dapat dibuat geometri *epipolar* untuk setiap pasangan foto stereo.

Pada penelitian ini digunakan kamera jenis non metrik yang belum terbebas sepenuhnya dari efek distorsi lensa, sehingga dalam pembentukan *epipolar image* dapat terjadi model 3D yang tidak sempurna. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan pengaturan orientasi relatif lagi sehingga terbentuk model 3D yang baik.

Untuk meningkatkan hasil korelasi silang, dengan menggunakan nilai EOP tersebut dilakukan normalisasi pasangan foto stereo. Pada geometri normalisasi foto, proses pencarian pasangan titik/objek secara otomatis dengan teknik korelasi silang seharusnya berlangsung cepat dengan hasil yang akurat. Selain berdasarkan nilai kecerahan piksel, pada proses ini juga dikontrol oleh geometri pasangan foto tersebut.

Jika proses korelasi telah menghasilkan pasangan titik atau objek yang sama, dengan indikator nilai korelasi yang mendekati nilai 1, maka dengan hitungan *space intersection* dapat dihitung posisi koordinat tanah dari titik/objek tersebut. Prinsipnya persamaan *space intersection* diilustrasikan pada **Gambar 2**, yaitu melakukan transformasi dari sistem koordinat foto ke sistem koordinat tanah/peta, sehingga persamaannya dapat dituliskan sebagai (Eisenbeiß, 2009; Linder, 2006; Luhmann et al., 2011):

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{pmatrix}_{Tanah} = \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{pmatrix} + \lambda R \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ -f \end{pmatrix}_{Foto} \dots\dots\dots (2)$$

Pada proses *stereo plotting* untuk menghitung posisi 3D suatu objek dalam sistem koordinat tanah, baik secara otomatis atau interaktif, identifikasi objek pada foto dilakukan pada foto stereo, sehingga **Persamaan 2** berlaku untuk foto kiri dan foto kanan, sehingga dapat ditulis sebagai (Habib, 1997):

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{pmatrix}_{Tanah} = \begin{pmatrix} X'_o \\ Y'_o \\ Z'_o \end{pmatrix} + \lambda' \cdot R' \cdot \begin{pmatrix} x'_p \\ y'_p \\ -f \end{pmatrix}_{Foto} = \begin{pmatrix} X''_o \\ Y''_o \\ Z''_o \end{pmatrix} + \lambda'' \cdot R'' \cdot \begin{pmatrix} x''_p \\ y''_p \\ -f \end{pmatrix}_{Foto} \quad (3)$$

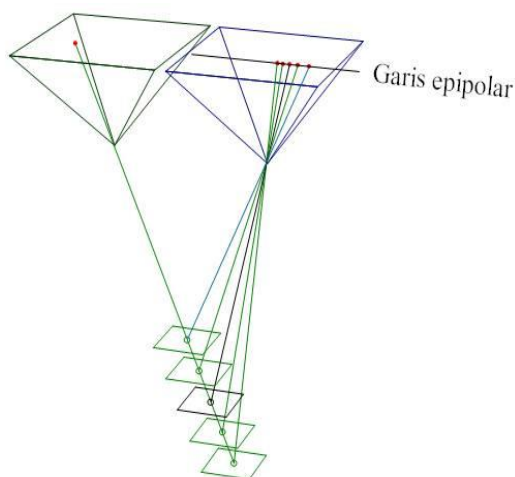
dimana:

- X'_o, Y'_o, Z'_o : posisi pusat proyeksi foto kiri
- X''_o, Y''_o, Z''_o : posisi pusat proyeksi foto kanan
- x'_p, y'_p : absis dan ordinat titik p dalam sistem koordinat foto kiri
- x''_p, y''_p : absis dan ordinat titik p dalam sistem koordinat foto kanan
- R', R'' : matriks rotasi untuk foto kiri dan foto kanan
- λ', λ'' : faktor skala foto kiri dan kanan

Dari **Persamaan 3**, perbedaan koordinat pada 2 persamaan tersebut dipergunakan untuk menghitung faktor skala pada foto kiri (λ') dan foto kanan (λ''). Jika $bx = (X''_o - X'_o)$ dan $by = (Y''_o - Y'_o)$, maka (Konecny, 2014):

$$\lambda' = \frac{bx \cdot R'' \cdot y''_p - by \cdot R'' \cdot x''_p}{(R' \cdot x'_p) \cdot (R'' \cdot y''_p) - (R' \cdot y'_p) \cdot (R'' \cdot x''_p)} \dots\dots\dots (4)$$

$$\lambda'' = \frac{by \cdot R' \cdot x'_p - bx \cdot R' \cdot y'_p}{(R' \cdot y'_p) \cdot (R'' \cdot x''_p) - (R' \cdot x'_p) \cdot (R'' \cdot y''_p)} \dots\dots\dots (5)$$



Sumber: Tempfli, (2001)

Gambar 2. Ilustrasi *space intersection* pada proses *stereomatching* untuk ekstraksi data tinggi.

Pada **Gambar 2** disajikan ilustrasi geometri *space intersection* pada proses *stereomatching* untuk menghasilkan data tinggi pada pasangan foto stereo. Jika pasangan titik/Objek tersebut tidak tepat (*match*) maka data tinggi yang dihasilkan merupakan data tinggi semu (tinggi tidak sebenarnya). Titik tinggi semu tersebut diindikasikan dengan posisinya yang "melayang" atau "menembus" permukaan tanah, yang seharusnya "menempel" di permukaan tanah.

Proses ekstraksi data tinggi secara otomatis dengan menggunakan metode korelasi silang menghasilkan data tinggi permukaan Objek, bukan tinggi permukaan tanah. Data tinggi

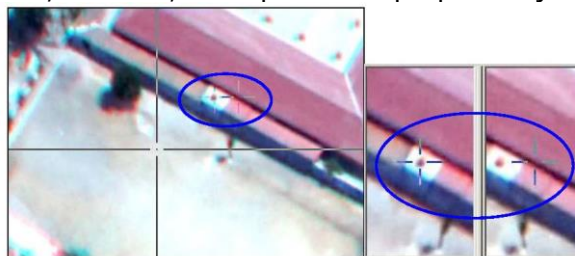
permukaan ini dikenal sebagai DSM (*Digital Surface Model*). Untuk melakukan konversi dari DSM menjadi DTM dapat ditempuh dengan berbagai cara, antara lain dengan *filtering* atau dengan isolasi daerah yang tertutup Objek (misal bangunan, vegetasi).

HASIL DAN PEMBAHASAN

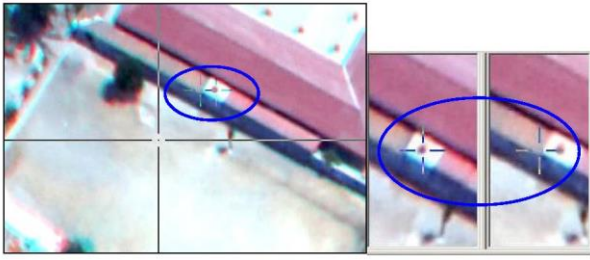
Ekstraksi tinggi (Z) secara interaktif

Cara menurunkan data 3D secara interaktif adalah operator mendigit secara langsung setiap Objek yang nampak secara 3D pada *epipolar image*. Jika secara visual telah diperoleh kenampakan 3D yang sempurna, dengan indikator *floating mark* foto kiri dan kanan telah berimpit dan 'menempel' pada permukaan tanah, maka proses digitasi objek secara langsung dapat dilakukan. Sebaliknya, jika dijumpai Objek yang sama di foto kiri dan kanan (misal jalan, rumah) tidak berimpit maka kenampakan 3D tidak akan diperoleh. Hal ini mengindikasikan masih adanya paralaks-x sehingga perlu dikoreksi. Pada FUFK yang menggunakan kamera non metrik, pada saat pembentukan model stereo seringkali dalam 1 model tidak akan terjadi kenampakan stereo yang sempurna, untuk mengatasi hal ini perlu dilakukan pengaturan paralaks setiap diketemukan kenampakan objek yang belum stereo.

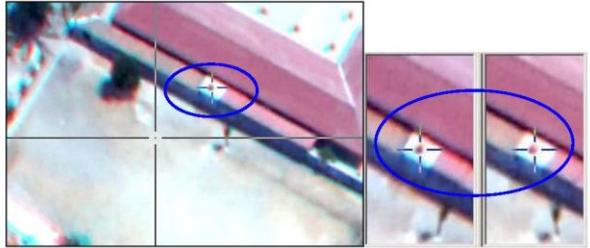
Pada model foto stereo, *stereo plotting* secara interaktif dapat dilakukan jika dipenuhi persyaratan: sudah tidak terdapat paralaks y (Py) dan paralaks x (Px). Jika masih terdapat Py maka model tersebut belum stereo. Py juga mengindikasikan akurasi hitungan TU. Jika ketelitian hitungan TU sangat tinggi, nilai Py sama atau sangat mendekati nol. Px merupakan fungsi tinggi objek. Pada saat *stereo plotting*, untuk mendapatkan posisi X,Y,Z yang benar maka kursor foto kiri dan foto kanan harus berimpit pada satu titik objek yang sama. Jika kursor foto kiri dan foto kanan belum berimpit maka yang diperoleh adalah tinggi di atas Objek. Sebaliknya, jika kursor belum berimpit dan berkebalikan (*reversal*) maka yang diperoleh adalah tinggi di bawah Objek. **Gambar 3**, **Gambar 4**, dan **Gambar 5** berturut-turut menyajikan kondisi kursor stereo yang berada di atas, di bawah, dan tepat menempel pada Objek.



Gambar 3. Kondisi kursor stereo yang berada di atas Objek.

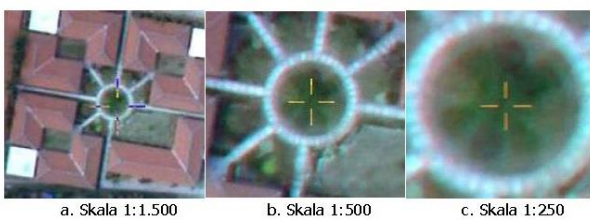


Gambar 4. Kondisi kursor stereo yang berada di bawah Objek.



Gambar 5. Kondisi kursor stereo yang tepat menempel pada Objek.

Pada saat ekstraksi posisi Objek dengan cara *stereo plotting* interaktif, selain pengaturan paralaks juga perlu diperhatikan faktor perbesaran (*zooming*). Dalam satu blok pemotretan, rata-rata rasio H/f adalah 40.000, jika *stereo plotting* dilakukan pada skala tersebut maka posisi Objek yang terekstrak tidak detail dan banyak posisi Objek yang tidak teridentifikasi. Sebaliknya jika faktor perbesaran terlalu besar, misal skala 1:250 seperti disajikan pada Gambar 6.c, maka tampilan foto menjadi kabur (*blur*). Pada **Gambar 6** disajikan contoh tampilan Objek yang sama pada 3 faktor skala, 1:1.500, 1:500, dan 1:250. Berdasarkan berbagai simulasi, perbesaran optimal pada penelitian ini adalah pada skala 1:500.



Gambar 6. Tampilan foto pada berbagai perbesaran.
(a) 320 x 320 piksel. (b) 105 x 105 piksel.
(c) 55 x 55 piksel.

Kualitas ketelitian posisi tinggi yang dihasilkan dari proses *stereo plotting* secara interaktif pada FUFK dipengaruhi oleh beberapa faktor. Beberapa faktor yang cukup signifikan adalah: kecermatan dan pengalaman operator, faktor perbesaran Objek pada *epipolar image* saat digitasi langsung, kondisi *floating mark/floating cursor*, dan strategi pemilihan Objek yang didigit.

Kecermatan dan pengalaman operator.

Dalam proses pemetaan secara fotogrametri, tahap *stereo plotting* adalah tahap yang memerlukan waktu paling lama dibandingkan dengan tahap lainnya, sehingga dikembangkan prosedur otomatisasi untuk mereduksi waktu proses secara drastis. Hal ini didukung fakta bahwa dalam satu proyek dapat terdiri atas puluhan atau bahkan ratusan model. Pada *stereo plotting* secara interaktif, kecermatan dan pengalaman operator menentukan kualitas dan kecepatan proses. Pada saat berkerja, operator harus memilih Objek yang representatif dan melihat Objek dalam kondisi tiga dimensi dalam waktu yang lama.

Faktor perbesaran Objek pada epipolar image saat digitasi langsung

Untuk kecepatan pemrosesan, umumnya file foto disajikan dalam mode *image pyramid*. Hal ini dilakukan karena jumlah sel CCD/CMOS yang diimplementasikan pada kamera DSLR dan resolusi radiometrik sangat tinggi (24 bit) maka satu file foto berukuran sekitar 7 MB pada mode terkompres dan sekitar 70 MB pada mode tidak terkompres. Pada mode *image pyramid*, operasi awal dilakukan pada tingkat terendah dan bila dilakukan perbesaran (*zooming*) maka dapat dilakukan sampai tingkat tertinggi (1:1). Teknik ini mengambil keuntungan dari proses operasi yang cepat dengan tetap mempertahankan ketelitian data asal. Perlu diingat, jika perbesaran melebihi 1:1 maka secara teknis piksel akan diduplikasi, sehingga secara visual foto akan terlihat kabur (*blur*).

Pada cara *stereo plotting* secara otomatis, pencocokan Objek yang sama pada foto kiri dan foto kanan dimulai pada tingkat *image pyramid* paling rendah. Jika nilai korelasinya sama atau lebih dari nilai ambang yang ditentukan maka dilanjutkan ke tingkat yang lebih tinggi. Proses pencocokan Objek dilanjutkan sampai pada tingkat *image pyramid* tertinggi.

Kondisi floating mark/floating cursor

Syarat utama saat melakukan *stereo plotting* secara interaktif adalah kondisi *floating mark* foto kiri dan kanan harus berimpit pada saat mendigit posisi Objek. Secara stereoskopis, kondisi ini menunjukkan kedua *floating mark* tepat menempel di Objek, tidak berada di bawah atau di atas Objek yang didigit, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.

Strategi pemilihan Objek yang didigit (sampling)

Pada saat melakukan *stereo plotting* secara interaktif, harus diperhatikan skala produk yang akan dibuat dan kondisi permukaan tanah. Misalkan akan dibuat peta skala 1:5.000 maka

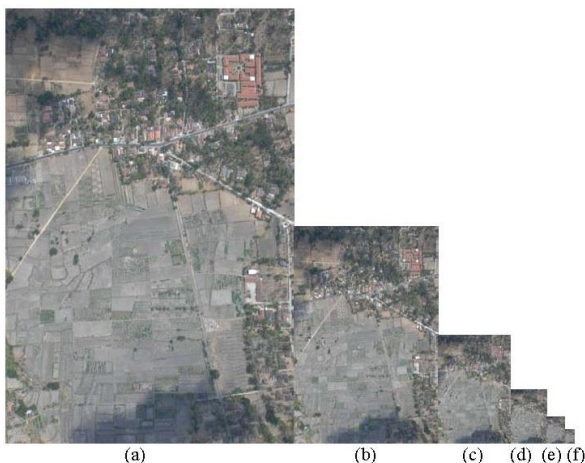
interval konturnya sekitar 2,5 meter maka Objek yang didigit harus memiliki perbedaan tinggi minimal 2,5 meter. Jika kondisi permukaan tanah datar maka jarak antar Objek yang didigit dapat jauh, tetapi jika permukaan tanah tidak datar maka harus lebih rapat (representatif).

Pada cara *stereo plotting* secara otomatis, strategi pemilihan Objek yang akan didigit tidak dapat dilakukan secara selektif. Hal yang umum dilakukan adalah mengatur interval antar titik *sampling* dengan tanpa memperhitungkan kondisi permukaan tanah, misalnya: daerah datar atau tidak datar, tertutup Objek atau terbuka.

Ekstraksi tinggi (Z) secara otomatis

Cara ekstraksi data DTM secara otomatis adalah melakukan *stereomatching* menggunakan algoritma *cross-correlation* untuk mendeteksi Objek yang sama pada pasangan foto stereo. Algoritma *cross-correlation* mengidentifikasi kemiripan Objek berdasarkan kesamaan nilai kecerahan piksel pada pasangan foto stereo. Indikator pasangan piksel dinyatakan sama (*match*) adalah jika nilai korelasinya (ρ) lebih besar dari nilai toleransi, dalam hal ini 0,8.

Untuk mempercepat proses komputasi saat *stereomatching* dengan tetap mempertahankan akurasi hasil, saat melakukan *cross-correlation* dapat digunakan *image pyramid* (Heno & Egels, 2002). Pada dasarnya *image pyramid* adalah menyimpan data raster dalam beberapa tingkat. Tingkat 1 adalah citra asli dengan perbandingan 1:1. Tingkat 2 adalah pengecilan 0,5 dari citra tingkat 1. Demikian seterusnya untuk tingkat selanjutnya.



Gambar 7. Enam tingkat image pyramid. (a) tingkat 1 (b) tingkat 2. (c) tingkat 3. (d) tingkat 4. (e) tingkat 5. (f) tingkat 6.

Pada penelitian ini, *image pyramid* yang digunakan sampai tingkat 6 (**Gambar 7**). Secara teoritis, saat pertama kali melakukan *cross correlation* diterapkan pada tingkat terendah, kemudian diulang sampai pada tingkat tertinggi

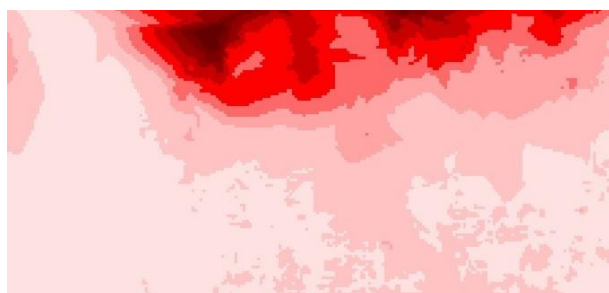
(tingkat 1:1) (Paparoditis & Dissard, 2002). Tetapi, jika jumlah kandidat pasangan Objek pada foto stereo cukup banyak, proses *cross-correlation* dapat langsung diterapkan pada tingkat tertinggi. Cara ini akan sangat efektif jika foto stereo telah dibuat sebagai *epipolar image* dengan akurasi TU yang sangat baik.

Jika permukaan tanah tertutup Objek, misal pepohonan atau bangunan, maka pasangan piksel yang terdeteksi adalah nilai piksel Objek tersebut, bukan nilai piksel permukaan tanah, sehingga yang diperoleh bukan data DTM atau DEM, tetapi DSM (*digital surface model*). Untuk mengatasi hal ini, daerah yang tertutup Objek dengan kerapatan tinggi dilakukan isolasi. Untuk menentukan nilai tinggi di daerah yang diisolasi tersebut dilakukan interpolasi terhadap nilai tinggi di sekitarnya. Meskipun demikian, dapat dijumpai nilai tinggi yang tidak wajar, misal nilai tinggi yang sangat berbeda dengan nilai sekitarnya. Dari berbagai percobaan, untuk mengatasinya diperlukan *filtering* pada data DTM.

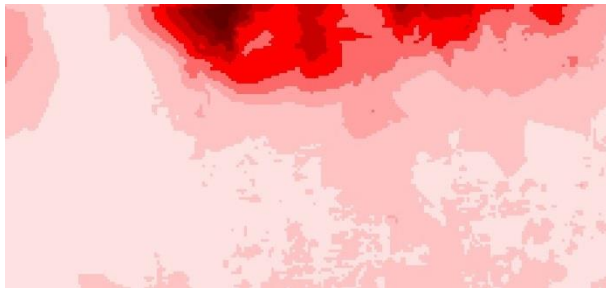
Kualitas ketelitian posisi tinggi yang dihasilkan dari proses *stereo plotting* secara otomatis pada FUFK dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dinyatakan oleh (Harintaka, 2010). Beberapa faktor yang cukup signifikan adalah sebagai berikut: nilai dan kualitas IOP (*interior orientation parameter*), nilai dan kualitas EOP, konfigurasi foto, daerah yang tertutup Objek, pertampalan yang lebar antar jalur terbang, pengabaian kondisi permukaan tanah, ketidakteraturan jalur terbang akibat *crab*, dan variasi tinggi terbang.

Perbandingan cara interaktif dengan cara otomatis

Hasil *stereo plotting* secara interaktif dan otomatis disajikan pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**. Adapun akurasi posisi tinggi yang dihasilkan untuk kedua cara tersebut disajikan pada Tabel 1. Pada **Gambar 9** hasil *stereo plotting* otomatis sudah dilakukan editing terlebih dahulu untuk memastikan data tinggi (Z) yang diekstrak sudah merepresentasikan *terrain*, bukan *surface*.



Gambar 8. Hasil *stereo plotting* secara interaktif.



Gambar 9. Hasil *stereo plotting* secara otomatis.

Data DTM yang dihasilkan antara teknik *stereo plotting* interaktif dan otomatis menunjukkan hasil yang mirip, meski tidak identik. Hasil ini sesuai dengan hasil uji akurasi posisi tinggi untuk 3 lokasi sebagaimana disajikan pada **Tabel 1**. Perbedaan yang cukup terlihat umumnya terletak di daerah campuran dengan tajuk pohon rapat (lokasi 2 dengan 71 titik uji).

Tabel 1. Rerata akurasi ekstraksi tinggi secara interaktif dan otomatis.

No	Jumlah Titik Uji	Rerata akurasi Posisi Vertikal (m)	
		Interaktif	Otomatis
1	Lokasi 1 (44 titik)	1,39	1,42
2	Lokasi 2 (71 titik)	1,71	1,75
3	Lokasi 3 (60 titik)	1,34	1,36

Pada proses ekstraksi data DTM, baik dengan cara interaktif maupun otomatis, masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahan. **Tabel 2** menyajikan perbandingan kedua metode ekstraksi tinggi tersebut. Keunggulan utama cara interaktif adalah data ketinggian yang terpercaya dan hampir tidak diperlukan editing, sedangkan cara otomatis adalah kecepatan pemrosesan data.

Hasil uji ketelitian diperoleh akurasi horizontal sebesar 1,5 m dan vertikal sebesar 1,7 m. Hasil ini cukup bagus mengingat hitungan perbandingan antara tinggi terbang dengan fokus kamera (H/f) menghasilkan angka 39.000 – 43.000. Nilai tersebut merepresentasikan pengertian skala yang sebenarnya, yaitu perbandingan ukuran Objek di permukaan bumi dengan ukuran Objek di foto.

Tabel 2. Perbandingan ekstraksi tinggi secara interaktif dan otomatis.

No	Aspek	Interaktif	Otomatis
1	Pemilihan Objek	Selektif	Berdasarkan kesamaan nilai piksel
2	Kecepatan proses	Lebih lama dan sangat tergantung kecermatan operator	Cepat dan tergantung ukuran jendela pencarian
3	Kontrol proses	Kondisi paralaks dapat dikoreksi	Nilai paralaks dihitung

4	Hasil akhir	Hampir tidak diperlukan editing	Diperlukan editing hasil, antara lain dengan <i>filtering</i>
---	-------------	---------------------------------	---

KESIMPULAN

Hasil kajian menunjukkan data DTM yang dihasilkan antara teknik *stereo plotting* interaktif dan otomatis mirip, tetapi tidak identik. Ini terjadi terutama di daerah campuran dengan tajuk pohon rapat. Keunggulan teknik *stereo plotting* interaktif adalah hasil sangat akurat dan tanpa memerlukan tahapan *editing* lagi, sedangkan teknik otomatis adalah kecepatan proses tetapi masih memerlukan tahapan *editing*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Departemen Teknik Geodesi FT-UGM yang telah memungkinkan menggunakan peralatan survei dan fasilitas laboratorium untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackermann, F. (1996). Techniques and Strategies for DEM Generation. In *Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry*. ASPRS.
- Angraini, H. N. S., & Harintaka. (2015). *Kajian Akurasi Dem Hasil Stereo plotting Interaktif Foto Udara Format Kecil*. 1–8.
- Eisenbeiß, H. (2009). *UAV Photogrammetry*. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zurich.
- Graham, R., & Koh, A. (2002). *Digital Aerial Survey: Theory and Practice* (1 edition). Whittles Publishing.
- Habib, A. (1997). *Advanced Topics in Photogrammetry: Photogrammetric Bundle Adjustment*. Department of Geomatics Engineering, Sculich School of Engineering, University of Calgary.
- Harintaka. (2010). Permasalahan Ekstraksi Tinggi Secara Otomatis Pada Foto Udara Format Kecil Pada Daerah Campuran. *Kongres Dan PIT MAPIN Tahun 2010*. <https://mapin.wordpress.com/2010/08/09/pit-dan-kongres-mapin-th-2010/>
- Heno, R., & Egels, Y. (2002). Digital Photogrammetric Workstations. In Y. Egels & M. Kasser (Eds.), *Digital Photogrammetry* (1st ed.). Taylor & Francis.
- Konecny, G. (2014). *Geoinformation Remote Sensing, Photogrammetry, and Geographic Information Systems* (2nd ed.). Taylor & Francis Group.
- Linder, W. (2006). *Digital Photogrammetry: A Practical Course* (2nd ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2011). *Close Range Photogrammetry*. Whittles Publishing.
- Paparoditis, N., & Dissard, O. (2002). 3D Data Acquisition From Visible Images. In *Digital Photogrammetry* (1st ed., pp. 168–220).
- Pranadita, S., & Harintaka. (2013). Pembuatan Model Elevasi Digital dari Stereo plotting Interaktif Foto

- Udara Format Sedang dengan Kamera Digicam. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 19(2), 101–105. <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM/issue/view/6>
- Radiastuti, A. R., Harintaka, & Djurdjani. (2016). Ketelitian Posisi Hasil Stereo plotting Interaktif dan Otomatis Pada Foto Udara Hasil Pemotretan dengan Wahana UAV. *Forum Ilmiah Tahunan Ikatan Surveyor Indonesia Dan CGISE 2016*, 378–383. <https://www.isi.or.id/papermakalah/>
- Schenk, T. (1996). Automatic Generation of DEM. In C. Greve (Ed.), *Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry* (4th ed., p. 260). ASPRS.
- Schenk, T. (1999). *Digital Photogrammetry: Vol. I: Background, Fundamentals, Automatic Orientation Producers*. TerraScience.
- Tempfli, K. (2001). *Digital Terrain Relief Modelling*. ITC.
- Warner, W. S., Graham, R. W., & Read, R. E. (1996). *Small Format Aerial Photography*. Whittles Publishing.

PENGAMATAN JANGKA PENDEK PERILAKU ARUS DAN KEKERUHAN RELATIF PADA KANAL ANTAR-TERUMBU PASCA-PASANG PERBANI

Studi Kasus: Perairan Pulau Panggang dan Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu

(Short Term Observation of the Behaviour of Current and Relative Turbidity in an Inter-Reef Channel during the Post-Spring Tide, Case Study: Nearshore Waters of Pramuka and Panggang Islands, Seribu Islands)

Poerbandono¹, Eka Djunarsjah¹, dan Wiwin Windupranata^{1,2,3}

¹Kelompok Keahlian Hidrografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung

²Pendidikan Hidrografi Kategori A, Sub-Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Program Studi - Program Profesi Insinyur, Institut Teknologi Bandung

³Laboratorium Riset Hidrografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia

E-mail: poerbandono@itb.ac.id

Diterima: 4 Februari 2020; Direvisi: 9 November 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 17 November 2020

ABSTRAK

Makalah ini membahas perilaku jangka pendek arus dan kekeruhan relatif. Pembahasan didasarkan pada analisis data dari pengamatan lapangan di satu titik pada kedalaman sekitar 30 m. Titik pengamatan terletak di kanal antar-terumbu sekitar 600 m timur laut Pulau Pramuka ke arah Pulau Panggang. *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) berfrekuensi 614,4 kHz digunakan dalam pengukuran selama 25 jam dan 50 menit, sekitar dua hari setelah pasang perbani. ADCP mengukur profil arus dan hamburan balik dengan interval 1 m. Analisis dilakukan dengan menghubungkan saat perubahan kecepatan arus dengan pasang. Selain itu, kekeruhan relatif dihitung dari hamburan balik menggunakan persamaan kalibrasi empiris. Dari analisis, diperoleh korelasi positif antara tunggang pasang dengan kecepatan arus. Kecepatan arus tertinggi (yaitu 0,42 meter per detik) berkorelasi dengan saat air tinggi yang lebih rendah (*lower high water*). Kecepatan arus terdistribusi secara merata di sepanjang kolom air. Dibandingkan dengan di lapisan bawah, kecepatan arus di lapisan atas meningkat lebih cepat. Kekeruhan relatif yang dihitung dari hamburan balik menunjukkan bahwa material padat tersuspensi lebih banyak terkumpul di lapisan bawah. Peningkatan kekeruhan relatif diidentifikasi terjadi saat air rendah setelah air pasang tinggi (*higher high water*). Arah gerak arus saling berkebalikan dengan jumlah kejadian yang dua kali lebih banyak dan kecepatan arus yang dua kali lebih kuat ke arah ke arah 33° dibandingkan dengan ke arah 226°.

Kata kunci: pengamatan lapangan, arah arus, kecepatan arus, kekeruhan relatif, tunggang pasang

ABSTRACT

This paper discusses the short-term behavior of current and relative turbidity based on analyses of data from stationary field observation at an approximate depth of 30 m. The observation station is situated in an inter-reef channel roughly about 600 m northeast of Pramuka Island towards Panggang Island. A 614.4 kHz frequency system of Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) is deployed for 25 hours and 50 minutes, about two days subsequent to spring tide. The ADCP measures the profile of current and backscatter at 1 m vertical interval. The analyses are done by correlating the timing of changes of current speed with respect to the tide. Moreover, relative turbidity is calculated according to the measured backscatter employing an empirical calibration formula. From the analyses, it is seen that the tidal range and the expected current speed is positively correlated. Apparently, the maximum current speed (i.e. 0.42 m/s) during the observation is correlated to the lower high water event. The speed of the current seems to be equally distributed throughout the water column. Compared to the lower layer, there is a slight time advance of increasing current at the upper layer. The relative turbidity calculated from the observed backscatter indicates that denser suspended solid is distributed at the lower layer. Increasing turbidity is identified during low water following higher high water. The direction of current is reversible. The corresponding occurrence and speed are twice much and twice strong as in the direction of 33° compared to the direction of 226°, respectively.

Keywords: field observation, current direction, current magnitude, relative turbidity, tidal range

PENDAHULUAN

Kepulauan Seribu disebut sebagai kompleks potongan terumbu karang (*patch reef complexes*) yang tersebar di perairan barat daya Laut Jawa di sebelah barat laut Teluk Jakarta (Tomascik et al., 1997). Tegakan-tegakan terumbu karang di wilayah ini membentuk batimetri yang rumit dan unik utamanya berupa rata-rataan terumbu, cekungan terumbu, dan kanal-kanal antar-terumbu (Brock et al., 2008; Leon & Woodroffe, 2013).

Pulau Pramuka adalah tempat kedudukan pusat pemerintahan Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu yang sekaligus menjadi bagian dari Taman Nasional Laut (Daerah Khusus Ibu kota Jakarta, 2002) yang dewasa ini dikungkung oleh budidaya perikanan laut (*mariculture*) dan wisata bahari yang kegiatannya terus meningkat dari tahun ke tahun (Nurjanah, 2012; Windupranata & Hayatiningsih, 2011). Kungkungan ini memberi tekanan terhadap kualitas perlindungan dan pengelolaan wilayah yang akan memerlukan penanganan yang lebih baik (Poerbandono, 2012). Untuk itu, dibutuhkan pengetahuan-pengetahuan yang terkini dan akurat yang dapat menjadi salah satu dasar dalam merencanakan program perlindungan dan pengelolaan kawasan. Salah satu pengetahuan tersebut adalah dinamika arus di perairan sekitar pulau-pulau di Kepulauan Seribu.

Arus merupakan gerakan massa air yang bertanggung jawab memindahkan materi melalui badan air. Sebagaimana diuraikan dalam literatur klasik, di perairan pesisir yang didominasi pasut kecepatan arus minimum biasanya terjadi pada kedudukan air terendah (atau tertinggi), sedangkan kecepatan arus maksimum biasanya terjadi saat muka air berada pada kedudukan rata-ratanya (Krümmel, 1911). Beberapa pendapat dan laporan teknis tentang perilaku arus di perairan sekitar Pulau Pramuka menyebutkan bahwa arus lebih dibangkitkan oleh angin (dibandingkan oleh pasut dan gelombang) dengan kisaran kecepatan dari beberapa cm/detik hingga beberapa dm/detik yang arahnya bergantung pada musim (Munier et al., 2012; Rahardjo, 2013). Walaupun demikian, hingga saat makalah ini disusun belum banyak yang dapat dikenali tentang pewaktuan dan hubungan perubahan kecepatan arus dengan pasut di lokasi kajian.

Pada makalah ini karakteristik perilaku arus di sekitar Pulau Pramuka akan dibahas, termasuk hubungannya dengan tinggi pasut. Pembahasan akan didasarkan pada hasil pengukuran lapangan menggunakan *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). ADCP memungkinkan pengumpulan data arus pada sepanjang kolom air. Selain itu, pada makalah ini juga akan dibahas perubahan persebaran materi padat tersuspensi yang mengikuti denyut perubahan kecepatan arus. Tujuan dari pembahasan tersebut dilakukan untuk

mendapatkan korelasi antara tunggang pasut dan kedudukan muka air dengan kecepatan arus, profil kecepatan arus di sepanjang kolom air, waktu perubahan kecepatan arus, distribusi arah dan kecepatan arus pasut, serta distribusi vertikal kekeruhan relatif yang dihitung dari hamburan balik akustik.

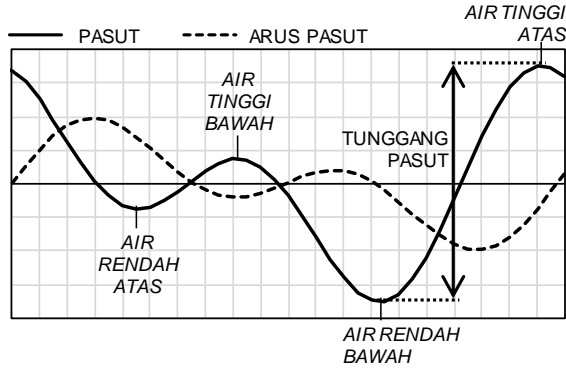
METODE

Penelitian ini menganalisis data pengukuran lapangan menggunakan ADCP yang merekam kecepatan arus dan hamburan balik akustik pada setiap lapisan kolom air. Untuk mengukur kecepatan arus, ADCP memanfaatkan materi padat tersuspensi di kolom air yang menghamburkan frekuensi gelombang akustik yang dipancarkannya. Karena arus, materi padat tersuspensi akan bergerak relatif terhadap ADCP, sehingga gelombang akustik yang terhamburkan balik akan mengalami efek Doppler dan berubah frekuensinya. Kecepatan arus akan sebanding dengan besarnya perubahan frekuensi karena efek Doppler (Gordon, 1996). Untuk mendapatkan arah arus, ADCP memanfaatkan geometri transduser yang mengarah ke sumbu-sumbu pengukuran yang saling tegak lurus. Dengan bantuan kompas, sumbu-sumbu tersebut ditera untuk mendapatkan komponen-komponen arus pada arah utara dan timur. Pengukuran di sepanjang kolom air didapatkan dari penggerbangan waktu dengan asumsi, hamburan balik yang tiba terlebih dahulu berasal dari lapisan pengukuran yang terdekat. Selain itu, ADCP juga mengumpulkan data tinggi muka air selama pengukuran berlangsung yang diperoleh dengan penghitungan berdasarkan data dari sensor tekanan. Data ini memungkinkan penghitungan muka air rata-rata secara aritmetika (Poerbandono, 2018).

Analisis data dari pengukuran ADCP dilakukan dengan melihat hubungan antara kecepatan arus yang berubah menurut waktu dengan perubahan tinggi muka air terhadap muka air rata-rata (MAR) yang dihitung dengan perata-rataan aritmetika dari data selama pengukuran berlangsung. Arus pasut minimum biasanya terjadi pada kedudukan air saat pasut terendah (atau tertinggi), sedangkan arus pasut maksimum biasanya terjadi saat muka air berada pada kedudukan rata-rata (Pugh & Woodworth, 2014). Pada **Gambar 1** diperlihatkan idealisasi hubungan menurut waktu (*time series*) antara tinggi pasut tipe campuran dengan kecepatan arus pasut yang terbangkitkan selama satu siklus pasut.

Walaupun demikian, perilaku arus di celah antar-daratan yang sempit dapat berbeda dengan idealisasi yang diperlihatkan pada **Gambar 1**. Perubahan kecepatan arus akan mengikuti kedudukan air tinggi (Pugh & Woodworth, 2014). Oleh karena itu, hubungan antara kecepatan dan

arah arus dengan perubahan tinggi muka air karena pasut akan diulas lebih rinci untuk mengungkap rentang kecepatan arus yang terjadi, distribusi kecepatan arus ke arah yang berbeda, perbedaan kecepatan arus antar-lapisan pengukuran, pertukaran perpindahan volume air, dan hubungan antara tunggang pasut dengan kecepatan arus yang dapat terjadi.



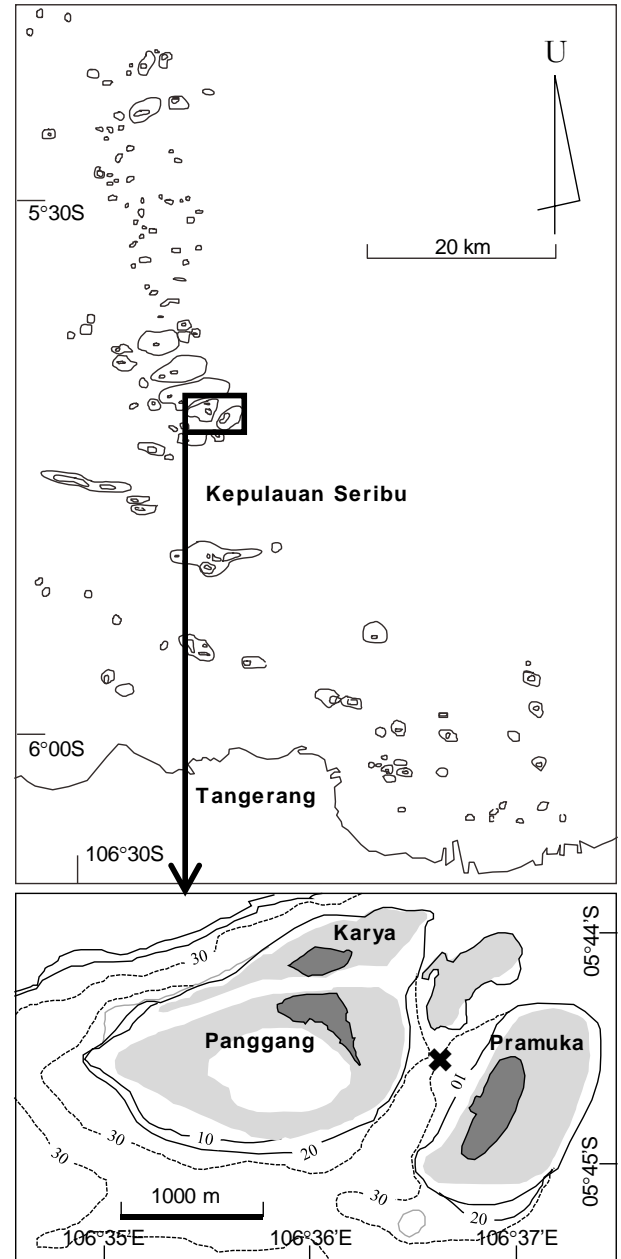
Gambar 1. Idealisasi pasut jenis setengah harian campuran dan hubungannya dengan arus pasut yang dibangkitkan.

Berbeda dengan arus dan tinggi muka air, peningkatan kekeruhan akan tertinggal beberapa saat setelah naiknya kecepatan arus karena efek keterlambatan dari *resuspension*. Ini adalah proses teraduknya sedimen dari dasar perairan kembali ke kolom air karena tegangan geser dasar (*bed shear stress*) yang bekerja di dasar perairan karena arus pasut tersebut (Dyer, 1986). Akibatnya, puncak konsentrasi kekeruhan tidak akan terjadi bersamaan dengan puncak kecepatan arus melainkan tertinggal beberapa menit hingga beberapa jam di belakang puncak kecepatan arus pasut.

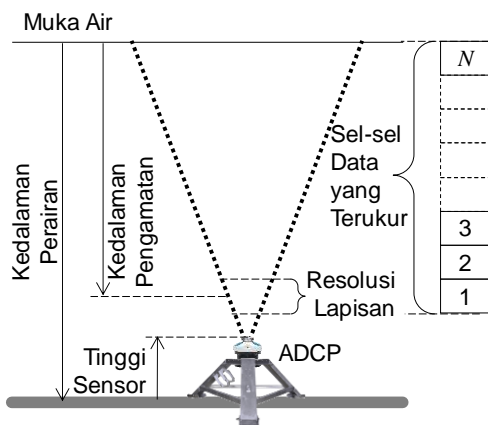
Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan di satu titik dengan posisi 5°44'31,53" LS dan 106°36'38,13" BT pada kedalaman sekitar 30 m di kanal antar-terumbu sekira 600 m timur laut Pulau Pramuka ke arah Pulau Panggang (**Gambar 2**). ADCP berfrekuensi 614,4 kHz digunakan dalam pengukuran selama 25 jam dan 50 menit dengan kerapatan antardata 10 menit, sekitar dua hari setelah pasang perbani (Hydrography Research Laboratory, 2019). ADCP tersebut diletakkan di dasar perairan dengan menghadap ke atas untuk mengukur profil arus dan hamburan balik dengan selang vertikal 1 m (**Gambar 3**).

Pada **Gambar 4** diperlihatkan foto ADCP yang telah dikonfigurasi dan rangka penyangga di atas perahu sebelum dipasang dan diletakkan di dasar perairan dan lokasi peletakan ADCP yang ditandai dengan pelampung putih dipandang ke arah sisi barat laut Pulau Pramuka. Dari pengukuran diperoleh sebanyak 156 *ensemble* (kumpulan data). Setiap kumpulan data terdiri atas data waktu (tahun, bulan, tanggal, jam, menit, detik), arah, tekanan, suhu, sudut angguk (*pitch*), sudut guling

(*roll*), serta arus dan intensitas hamburan balik akustik dari empat transduser dan 30 lapisan pengukuran. Data arus dan intensitas hamburan balik akustik direkam dari penerokan (*sampling*) sebanyak 50 kali per *ensemble* dengan waktu per terok sepanjang 12 detik. Saat pengukuran berlangsung, cuaca sangat cerah dan angin bertiup lemah.



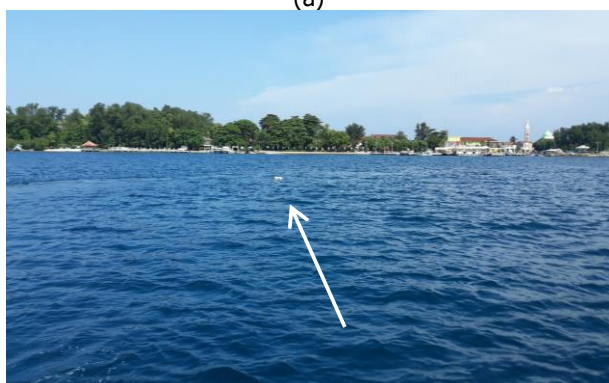
Gambar 2. Lokasi stasiun pengukuran pada kanal antar-terumbu di sisi timur laut dari Pulau Pramuka ke arah Pulau Panggang, Kepulauan Seribu.



Gambar 3. Rancangan peletakan ADCP di dasar perairan dan diagram lapisan pengukuran sepanjang kolom air (Poerbandono, 2018)



(a)



(b)

Gambar 4. (a) ADCP yang telah dikonfigurasi dan rangka penyangga sebelum dipasang dan diletakkan di dasar perairan, (b) lokasi peletakan ADCP yang ditandai dengan pelampung putih dipandang ke arah sisi barat laut Pulau Pramuka.

Selain kecepatan arus, pembahasan juga akan mencakup perilaku hamburan balik akustik. Hamburan balik akustik diinterpretasikan sebagai kepadatan materi padat tersuspensi. Nilai hamburan balik akustik menyatakan kepadatan materi padat tersuspensi secara relatif. Hubungan antara intensitas hamburan balik (*backscatter* - BS) dalam dB dengan konsentrasi materi padat tersuspensi (*C*) dalam mg/l dinyatakan sebagai (Gartner, 2004):

$$10\log C = a \times BS + b \dots\dots\dots(1)$$

dengan *C* = konsentrasi materi padat tersuspensi dalam mg/l, BS = intensitas hamburan balik dalam dB, serta *a* dan *b* adalah tetapan-tetapan empirik yang diperoleh melalui regresi dengan prinsip kuadrat terkecil. Dari **Persamaan 1**, akan dapat diketahui bahwa perubahan intensitas akustik sebesar 3 dB akan setara dengan perubahan densitas atau konsentrasi materi padat tersuspensi sebesar dua kali lipat. Untuk keperluan analisis, intensitas hamburan balik yang diukur oleh ADCP terlebih dahulu dikoreksi terhadap kehilangan intensitas saat perambatan dengan pendekatan (Poerbandono & Mayerle, 2005):

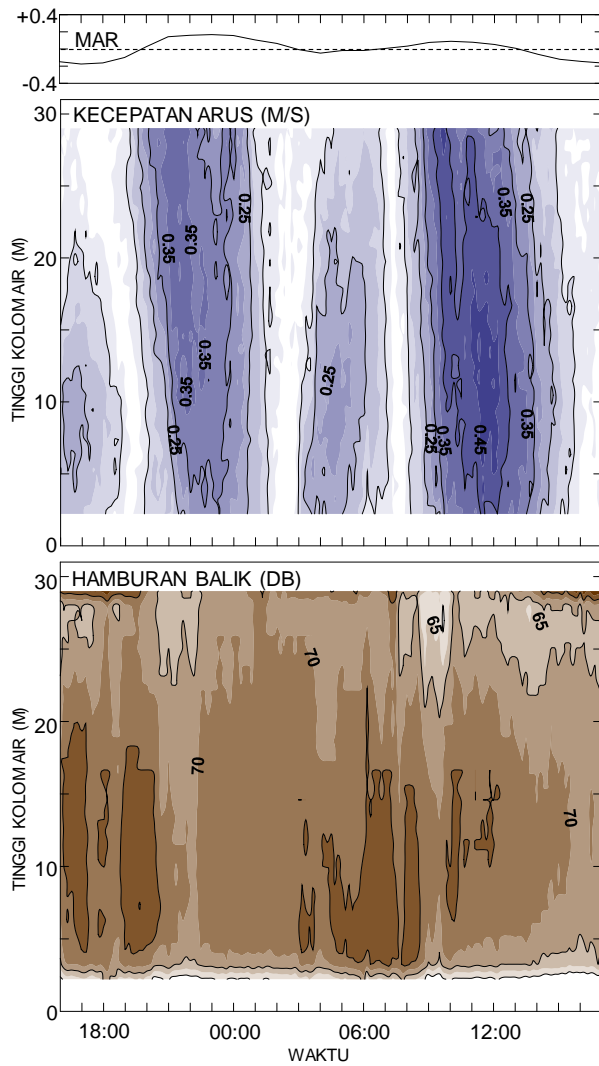
$$BS = 0,43 \times BS' + 2\alpha R + 20\log R \dots\dots\dots(2)$$

dengan *BS'* = intensitas hamburan balik yang terekam oleh ADCP dalam satuan *count*, serta α = laju pelemahan intensitas akustik yakni 0,224 dB/m (Lohrmann, 2001) dan *R* adalah jarak ke lapisan di kolom air yang diukur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada **Gambar 5** diperlihatkan hasil pengukuran tinggi muka air, kecepatan arus, dan intensitas hamburan balik akustik. Pengukuran dimulai saat menjelang kedudukan air rendah bawah dan berakhir pada air rendah berikutnya setelah sekitar hampir 26 jam kemudian. Dari **Gambar 5** dapat dilihat bahwa kecepatan arus mengalami peningkatan seiring dengan kedudukan pasut di atas muka air rata-rata (MAR). Kecepatan arus menurun bersamaan dengan kedudukan-kedudukan pasut menjelang air tinggi dan menjelang air rendah. Hal ini mencirikan fenomena perilaku arus di celah sempit yang mekanismenya menyerupai perilaku gelombang berdiri.

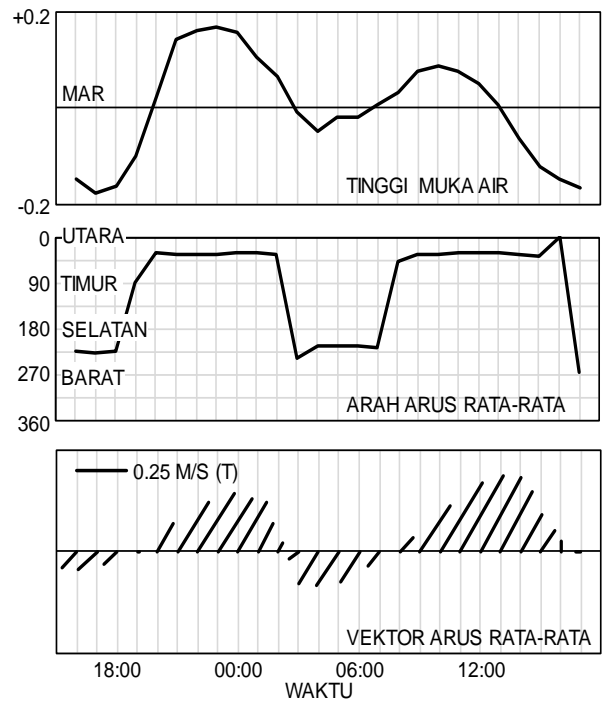
Peningkatan kecepatan arus terjadi saat air tinggi dan saat air rendah. Dari **Gambar 5** juga terlihat bahwa kekeruhan relatif terjadi dari ketinggian kolom air sekitar 3 m hingga sekitar 20 m atau di bagian tengah kolom air yang dapat diinterpretasikan sebagai mekanisme perpindahan materi secara lateral dan bukan pasokan materi secara vertikal dari dasar perairan. Peningkatan aktivitas kekeruhan relatif berlangsung saat terjadinya kecepatan arus yang lebih rendah. Saat kecepatan arus yang lebih tinggi, aktivitas kekeruhan relatif terlihat menurun. Hal ini memperlihatkan keterlambatan proses *resuspension* yang tidak serta merta mengikuti kecepatan arus puncak, melainkan terjadi berapa jam setelah kejadian kecepatan arus maksimum.



Gambar 5. Perubahan menurut waktu dari tinggi muka air (atas) relatif terhadap muka air rata-rata (MAR), kecepatan arus (tengah), dan intensitas hamburan balik akustik (bawah) dari pengukuran

Arah dan Kecepatan Arus

Perubahan arah arus rata-rata seiring dengan perubahan kedudukan muka air ditunjukkan pada **Gambar 6**. Dari **Gambar 6** dapat dilihat bahwa arah arus terbagi menjadi dua, sebagian besar ke arah timur laut dan sebagian kecil sisanya ke arah barat daya. Arus ke arah timur laut berlangsung selama kedudukan pasut di atas MAR, sedangkan arus ke arah barat daya berlangsung selama kedudukan pasut di bawah MAR. Ringkasan kejadian arah dan kecepatan arus selama pengukuran berlangsung dirangkum pada **Tabel 1**. Dari **Tabel 1** dapat dilihat bahwa 60% arus rata-rata bergerak ke arah timur laut dengan kecepatan maksimum 0,44 m/detik dengan sudut jurusan rata-rata 33°, sedangkan 32% arus rata-rata bergerak ke arah barat daya dengan kecepatan hingga 0,22 m/detik dengan sudut jurusan rata-rata 226°.



Gambar 6. Perubahan menurut waktu dari tinggi muka air (atas) relatif terhadap muka air rata-rata (MAR), arah arus rata-rata (tengah), dan vektor (kecepatan dan arah) arus rata-rata (bawah) dari pengukuran

Tabel 1. Catatan kejadian serta kecepatan dan arah arus rata-rata selama pengukuran dari jumlah data sebanyak 156.

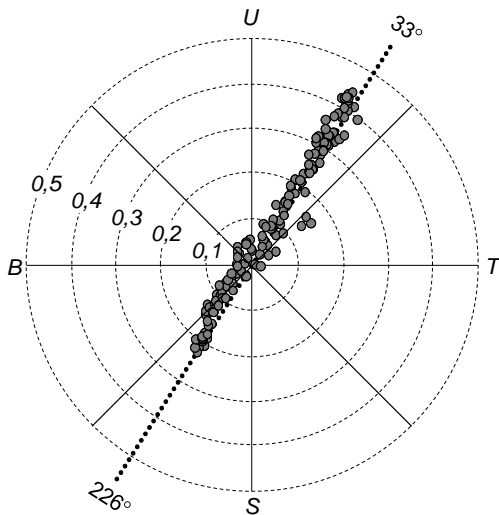
Arah Cacah %	Durasi		Kecepatan		
	(Jam:	Menit)	Maksimum	Rata-rata	
33°	94	60	15:34	0,44	0,23
226°	50	32	08:17	0,22	0,12

Dari **Gambar 6** dan **Tabel 1** menunjukkan bahwa arus dengan arah timur laut terjadi hampir dua kali lipat arus dengan arah barat daya. Jika dengan perkiraan durasi 15 jam dan 34 menit (**Tabel 1**), maka arus timur laut berperan dalam memindahkan air sebanyak sekitar $56 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{m}$, sementara itu dengan perkiraan durasi 8 jam dan 17 menit maka arus barat daya memindahkan air sebanyak sekitar $30 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{m}$. Dari penghitungan ini, diketahui bahwa lokasi yang dipilih sebagai tempat pengukuran merupakan wilayah yang mengalirkan lebih banyak air ke arah timur laut. Pengaliran tersebut berlangsung selama kedudukan pasut berada di atas MAR.

Pada **Gambar 7** diperlihatkan pencaran kejadian arus selama pengukuran berlangsung. Dengan penerapan regresi linier dan penguncian titik potong garis regresi di sumbu tegak sebagai nol, maka dapat diperoleh koefisien rata-rata perbandingan arah arus di komponen utara (v) terhadap arah arus di komponen timur (u) sebagai:

$$v = 1,56u \dots\dots\dots (3)$$

Garis regresi linier yang ditunjukkan di **Persamaan 3** memberikan ukuran koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,96. Ukuran ini memberikan gambaran bahwa garis regresi linier tersebut sangat mewakili sifat arah arus yang *bi-directional* atau secara bergantian menuju ke dua arah yang saling berkebalikan.



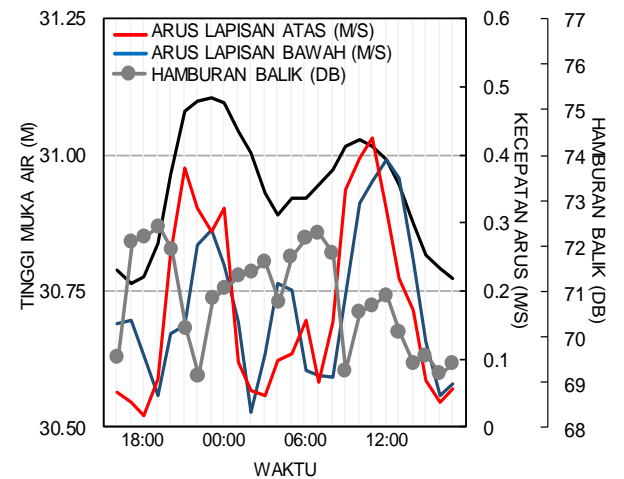
Gambar 7. Sebaran data kecepatan (dalam m/detik) dan arah (dalam derajat dari utara) arus rata-rata selama pengukuran

Aktivitas Kekeruhan Relatif dan Lapisan Kecepatan

Sebagaimana telah diperlihatkan pada **Gambar 5**, kekeruhan relatif (yang dideteksi dari intensitas hamburan balik akustik) lebih banyak terjadi di bagian tengah kolom air dibandingkan di lapisan atas atau bawah. Selain itu, peningkatan aktivitas kekeruhan relatif berlangsung saat terjadinya kecepatan arus yang lebih rendah. Saat kecepatan arus yang lebih tinggi, aktivitas kekeruhan relatif terlihat menurun. Aktivitas kekeruhan relatif menunjukkan perubahan menurut waktu dari tinggi muka air, kecepatan arus di lapisan atas, dan kecepatan arus di lapisan bawah, serta intensitas hamburan balik rata-rata selama pengukuran (**Gambar 8**). Kekeruhan relatif minimum terjadi bersamaan dengan kedudukan muka air tinggi (baik atas maupun bawah). Sementara itu, peningkatan kekeruhan relatif berlangsung dari kedudukan pasut di antara muka air rendah ke muka air tinggi atau pada fase menuju pasang dan dari kedudukan pasut di antara muka air tinggi ke muka air rendah atau pada fase menuju surut.

Dari **Gambar 8** dapat dilihat pula bahwa arus di lapisan atas relatif lebih kuat dengan peningkatan kecepatan yang mendahului arus di lapisan bawah. Dengan kata lain, arus di lapisan bawah relatif lebih lemah dengan peningkatan kecepatan yang

berlangsung setelah peningkatan kecepatan arus di lapisan atas. Fenomena ini terjadi pada kedudukan pasut di atas MAR. Pada kedudukan pasut di bawah MAR, terlihat bahwa arus di lapisan bawah lebih kuat dari arus di lapisan atas dan peningkatan kecepatannya mendahului.



Gambar 8. Perubahan tinggi muka air, kecepatan arus di lapisan atas (28 m dari dasar), dan kecepatan arus di lapisan bawah (8 m dari dasar).

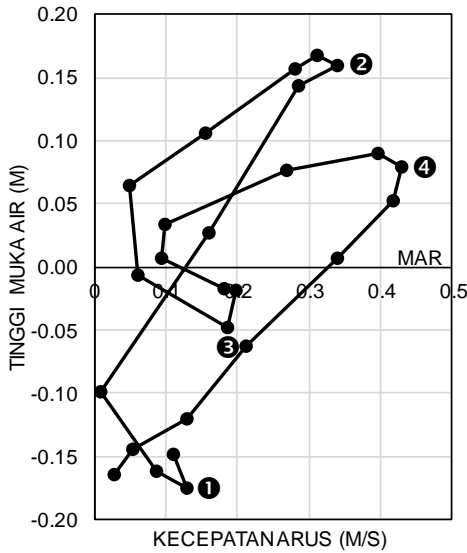
Pada **Gambar 8** terlihat bahwa peningkatan dan penurunan aktivitas kekeruhan relatif dapat mencapai selisih deteksi hingga 3 dB. Selisih ini menandakan kesetaraan perubahan konsentrasi materi padat tersuspensi hingga dua kali lipat sebagai akibat ayunan perubahan kecepatan arus yang terjadi.

Tanggung Pasut dan Kecepatan Arus

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara kecepatan arus rata-rata dengan beberapa kedudukan tinggi muka air (1 = air rendah bawah, 2 = air tinggi atas, 3 = air rendah atas, 4 = air tinggi bawah) dengan selang waktu sekitar enam jam. Dari **Gambar 9** dapat dilihat bahwa kecepatan arus maksimum terjadi pada saat air tinggi bawah. Kecepatan arus kembali meningkat hingga saat air tinggi atas, namun kecepatan arus pada saat air tinggi atas ini tidak sebesar kecepatan arus maksimum saat air tinggi bawah.

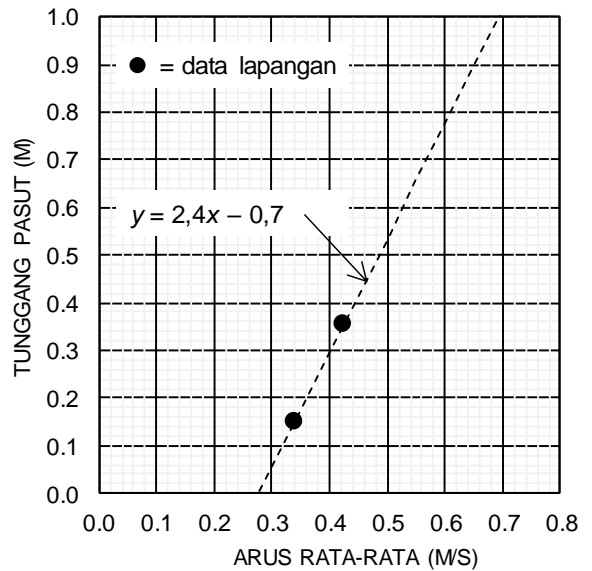
Pada **Gambar 10** ditunjukkan kurva empirik hubungan antara tanggung pasut dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata. Dari pengukuran diperoleh dua tanggung pasut, yakni: 0,15 m dan 0,35 m serta dua kecepatan arus maksimum yang berhubungan dengan dua tanggung pasut tersebut, yakni: 0,44 m/detik dan 0,34 m/detik. Hubungan ini divisualisasikan di **Gambar 10** sebagai kurva empirik yang menghubungkan tanggung pasut maksimum harian dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata maksimum yang dapat terjadi.

Seiring dengan naiknya muka air karena pasut, kecepatan arus di lapisan atas meningkat lebih cepat (mendahului hingga sekitar satu jam) dibanding dengan peningkatan kecepatan arus di lapisan bawah. Selain peningkatan kecepatan arus yang dihubungkan dengan naiknya muka air karena pasut, terdapat pula aktivitas peningkatan kecepatan arus yang terjadi saat air rendah dengan kecepatan mencapai 0,22 m/detik. Saat air rendah peningkatan kecepatan arus di lapisan bawah terjadi sebelum lapisan atas.



Gambar 9. Hubungan antara kedudukan tinggi muka air (1 = air rendah bawah, 2 = air tinggi atas, 3 = air rendah atas, 4 = air tinggi bawah) dengan kecepatan arus rata-rata.

Dari tunggang pasut harian dapat diperoleh perkiraan kecepatan arus maksimum yang dapat terjadi berdasarkan tunggang pasut 0,15 m dan 0,35 m yang berhubungan dengan kecepatan arus 0,44 m/detik dan 0,34 m/detik. Dari pasangan data kecepatan arus dan tunggang pasut harian yang divisualisasikan di **Gambar 10**, kemudian dihitunglah hubungan empirik antara tunggang pasut maksimum harian dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata maksimum (**Tabel 2**). Pasangan data tersebut memberikan konfirmasi tentang korelasi positif antara naiknya tunggang pasut dengan meningkatnya kecepatan arus rata-rata maksimum. Perlu diingat bahwa skenario yang diurutkan di **Tabel 2** harus dibaca sebagai perkiraan harian, mengingat kejadian arus maksimum tidak bersamaan dengan tunggang pasut maksimum, melainkan bersamaan dengan kejadian tunggang pasut minimum harian. **Gambar 10** dapat digunakan untuk memprediksi besarnya arus pasut maksimum yang dapat terjadi jika diketahui tunggang pasutnya seperti yang diperlihatkan di **Tabel 2**.



Gambar 10. Persamaan garis yang menghubungkan tunggang pasut maksimum harian dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata maksimum yang dapat terjadi.

Tabel 2. Skenario beberapa tunggang pasut (Y) harian maksimum dengan perkiraan kecepatan arus rata-rata maksimum (V) yang dapat terjadi.

Y(m)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90
V(m/det.)	0,32	0,36	0,40	0,44	0,49	0,57	0,65
V(knot)	0,62	0,70	0,78	0,86	0,95	1,11	1,26

KESIMPULAN

Perilaku arus ditandai oleh kecepatan rata-rata maksimum yang berkorelasi positif dengan tunggang pasut. Hal ini adalah ciri pembangkitan arus karena pasut yang ditandai dengan arah yang saling berkebalikan (*bi-directional*), yakni ke arah 33° (sekitar timur laut) dan 226° (sekitar barat daya). Kecepatan arus berubah seiring dengan perubahan kedudukan muka air. Kecepatan arus tertinggi, 0,42 m/detik, terjadi saat tunggang pasut tertinggi, 0,35 m. Kecepatan arus cenderung lebih tinggi saat kedudukan air tinggi. Kecepatan arus minimum cenderung terjadi saat kedudukan air rendah. Lokasi pengukuran yang berada di kanal antar terumbu menghasilkan distribusi kejadian arus yang tak simetris. Sebagian besar, 60%, arus menuju timur laut, sementara setengahnya, 32%, menuju barat daya. Perbedaan kecepatan arus sepanjang kolom air hampir tidak terlihat. Kecepatan arus cenderung seragam di sepanjang kolom air. Sementara itu, kekeruhan terlihat di kolom air bagian tengah yang berlangsung dengan kedudukan air rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

ADCP yang digunakan di penelitian ini didukung oleh PT Geotronix Pratama Indonesia. Logistik penelitian didukung oleh Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB dalam rangka praktik lapangan mata kuliah GD3202 Hidrografi II Semester II Tahun 2018/2019. Penulis berterima kasih kepada para mitra bestari yang telah melakukan pratinjau terhadap *draft* makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Brock, J. C., Palaseanu-Lovejoy, M., Wright, C. W., & Nayegandhi, A. (2008). Patch-reef morphology as a proxy for Holocene sea-level variability, Northern Florida Keys, USA. *Coral Reefs*, 27(3), 555–568. <https://doi.org/10.1007/s00338-008-0370-y>
- Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta. (2002). Surat Keputusan Nomor 6310/Kpts-II/2002 tentang Penetapan Kawasan Pelestarian Alam Perairan Taman Nasional Laut Kepulauan Seribu seluas 107.489 hektare di Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu Provinsi Daerah Khusus Ibu kota Jakarta, Tahun 2002.
- Dyer, K. R. (1986). *Coastal and Estuarine Sediment Dynamics* (2nd Editio). John Wiley and Sons.
- Gartner, J. W. (2004). Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California. *Marine Geology*, 211(3–4), 169–187. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.07.001>
- Gordon, R. L. (1996). *Acoustic Doppler Current Profiler: Principles of Operation*. RD Instruments.
- Hydrography Research Laboratory. (2019). *ADCP survey in an inter-reef channel of Pramuka and Panggang cays 22-23 March 2019*.
- Krümmel, O. (1911). *Handbuch der Ozeanographie: Die Bewegungsformen des Meeres*. Verlag von J. Engelhorn's Nachfolger.
- Leon, J. X., & Woodroffe, C. D. (2013). Morphological characterisation of reef types in Torres Strait and an assessment of their carbonate production. *Marine Geology*, 338, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.12.009>
- Lohrmann, A. (2001). Monitoring sediment concentration with acoustic backscattering instruments. *Nortek AS*, 3(I), 1–5.
- Munier, M. T., Soedharma, D., Prariono, T., & Damar, A. (2012). Analisis beban limbah dan pengayaan nutrisi pada kegiatan keramba jaring apung di perairan Pulau Panggang dan Pramuka, Kabupaten Kepulauan Seribu. *Omni-Akuatika*, 11(14), 18–27.
- Nurjanah, R. (2012). Studi persepsi dampak perubahan pemanfaatan lahan terhadap kunjungan wisata di Pulau Pramuka Kepulauan Seribu. *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 23(2), 139–156.
- Poerbandono. (2012). The seribu islands patch reef complexes: A geospatial revisit toward a compendium of risks on Indonesia's small islands. *11th International Symposium and Exhibition on Geoinformation*. Kuala Lumpur.
- Poerbandono. (2018). *Survei hidroakustik: Pengukuran dan deteksi kolom air di perairan dangkal*. Penerbit ITB.
- Poerbandono, & Mayerle, R. (2005). Effectiveness of acoustic profiling for estimating the concentration of suspended material. *Die Kuste*, 69, 393–407.
- Pugh, D., & Woodworth, P. (2014). *Sea level science: Understanding tides, surge, tsunamis, and mean sea-level changes*. Cambridge University Press.
- Rahardjo, P. (2013). Pendekatan ekosistem untuk mitigasi akibat perubahan iklim pada pulau kecil (Pulau Pramuka Kepulauan Seribu). *Seminar Nasional Penataan Ruang Berkearifan Lokal Dalam Pembangunan Berkelanjutan*. Denpasar.
- Tomascik T., Mah A.J., Nontji A., M. M. K. (1997). *The ecology of the Indonesian seas*. Periplus Editions.
- Windupranata, W., & Hayatiningsih, I. (2011). Optimization of mariculture sites in the tourism area of Seribu Islands, Java Sea, Indonesia. *Tourism in Marine Environments*, 7(3–4), 133–140.

IDENTIFIKASI ARAH SEBARAN DAN KETINGGIAN ERUPSI GUNUNG BERAPI MENGGUNAKAN CITRA RADAR CUACA

Studi Kasus Erupsi Gunung Agung, 28 Juni 2018

(*Identification of Volcanic Ash Propagation and Height Using Weather Radar Imagery, Case study: Mt. Agung Eruption, June 28, 2018*)

Nayla Alvina Rahma¹, Aprizal Verdyansyah¹, Muhammad Zakky Faza¹, Imma Redha Nugraheni¹, dan Gumilang Deranadyan²

¹Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

²Pusat Citra Radar BMKG Pusat

Jl. Perhubungan I No. 5, Pondok Betung, Tangerang Selatan, Indonesia 15221

E-mail: naylaalviena@gmail.com

Diterima: 1 Maret 2019; Direvisi: 9 November 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 20 November 2020

ABSTRAK

Erupsi vulkanik pada waktu yang lama dapat membahayakan keselamatan masyarakat dan aktivitas penerbangan. Radar cuaca dapat dimanfaatkan untuk monitoring dan identifikasi sebaran debu vulkanik secara *real time*. Penelitian ini memanfaatkan radar Gematronik dengan produk yang digunakan antara lain: CMAX, VCUT, dan CAPPI sehingga dapat menganalisis debu vulkanik yang dihasilkan oleh erupsi gunung berapi. Dalam kasus kejadian erupsi Gunung Agung tanggal 28 Juni 2018 didapatkan nilai reflektivitas maksimum mencapai 30-35 dBZ, sedangkan pada produk VCUT didapatkan ketinggian kolom debu vulkanik mencapai 7.5 km. Jenis material erupsi dapat diketahui dengan produk VCUT. Produk CAPPI V yang telah ditentukan batasnya yaitu 3 km, 5 km, dan 7 km menggambarkan arah gerakan debu vulkanik berdasarkan lapisannya. Arah sebaran debu vulkanik dominan ke barat dan barat daya. Dilihat secara horizontal maupun vertikal, debu vulkanik mempunyai karakteristik yang khas yaitu nilai *echo* reflektivitas menurun seiring menjauhi pusat erupsi.

Kata kunci: Radar gematronik, CMAX, VCUT, CAPPI, debu vulkanik

ABSTRACT

Volcanic eruption for a long period of time can endanger public safety and aviation activity. Weather radar can be used to monitoring and identify the propagation of volcanic ash for real time. This research utilizes the Gematronik radar with the following product: CMAX, VCUT, and CAPPI to analyze the volcanic ash. In the case of Mount Agung eruption on 28th June 2018, the maximum reflectivity we observed about 30-3 dBz, while from the VCUT product the height of the volcanic ash column reached 7.5 km. The eruption material could be identified from the VCUT product. The CAPPI V product which threshold have been specified sequentially into 3 km, 5 km, and 7 km, shows the volcanic ash propagation based on those layers. The direction of volcanic ash eruption is westerly to southwesterly. Observed horizontally and vertically, the volcanic ash has such unique characteristic which the echo reflectivity decreases as it moves away from the eruption center.

Keywords: Gematronik radar, CMAX, VCUT, CAPPI, volcanic ash

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang rawan mengalami bencana. Secara geografis, Indonesia terletak pada daerah pertemuan tiga lempeng utama bumi, yaitu pertemuan antara Lempeng Eurasia di bagian utara, Lempeng Indo-Australia di bagian selatan, dan Lempeng Pasifik di bagian timur. Pertemuan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia berada di sepanjang lepas pantai Sumatera–Jawa sampai dengan Nusa Tenggara (Hall, 2002). Jika terdapat dua lempeng yang bertabrakan, maka lempeng yang memiliki massa jenis yang lebih besar akan masuk ke bawah lempeng yang massa jenisnya lebih rendah,

sehingga batuan pada lempeng yang bawah akan melebur menjadi magma (Prima et al., 2018). Pertemuan atau tubrukan antara dua lempeng dinamakan zona subduksi, di mana daerah di sekitar zona ini mempunyai struktur geologi yang kompleks seperti terbentuknya jalur vulkanik (Ummah et al., 2018). Salah satu jalur vulkanik yaitu rangkaian gunung berapi pasifik atau disebut cincin api pasifik (*Pacific Ring of fire*). Daerah *ring of fire* umumnya mempunyai potensi panas bumi yang tinggi (Condie, 1997). Indonesia memiliki lebih dari 500 gunung berapi dengan 129 diantaranya aktif, yang tersebar di pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi Utara, dan kepulauan Maluku.

Gunung-gunung ini merupakan sekitar 30% dari sebaran gunung api aktif dunia (Pratomo, 2014).

Letusan gunung berapi merupakan hal yang patut diwaspadai. Abu vulkanik yang keluar saat letusan terjadi mengandung sejumlah zat berbahaya seperti Sulfur Dioksida (SO₂), gas Hidrogen Sulfida (H₂S), Nitrogen Dioksida (NO₂), serta abu dalam bentuk partikel abu (*Total Suspended Particulate* atau *Particulate Matter*). Partikel debu vulkanik yang berada di atmosfer dapat terbawa angin hingga jarak ratusan bahkan ribuan kilometer. Partikel yang berukuran lebih besar biasanya jatuh kembali ke tanah di dekat gunung berapi, sedangkan partikel yang ukurannya jauh lebih kecil dapat terbawa jauh dari gunung berapi, tergantung pada kecepatan angin, volume abu yang dihasilkan, dan ketinggian kolom erupsi (Setyawan & Putri, 2018). Dari segi kesehatan, abu vulkanik bisa menimbulkan gangguan pernafasan serta iritasi pada mata. Abu vulkanik juga dapat mengganggu aktivitas manusia, contohnya saat erupsi Gunung Tambora pada tahun 1815 yang menebarkan abu vulkanik hingga ke Jawa Barat dan Sulawesi Selatan. Abu vulkanik terbang sejauh 1.300 km dengan ketinggian 44 km dari permukaan tanah dan volumenya diperkirakan 400 km³. Karena tebalnya abu yang berterbangan di udara, dari lokasi erupsi hingga radius 600 km terlihat gelap gulita selama dua hari. Hal ini dikarenakan sinar matahari tak mampu menembus tebalnya abu (Heriwaseso, 2009).

Erupsi gunung berapi juga menjadi ancaman serius bagi dunia penerbangan. Radar dalam pesawat tidak dapat mendeteksi awan yang berisi abu vulkanik. Pasalnya, Abu vulkanik dapat menyebabkan kematian mesin seperti yang dialami oleh British Airways B-747-236B pada tahun 1982 saat melewati Gunung Galunggung. Bila pesawat terbang melintasi awan abu vulkanik dengan kecepatan tinggi, maka partikel-partikel abu dapat merusak badan pesawat yang dapat menimbulkan kebocoran-kebocoran hingga ke ruang kabin penumpang. Selain itu pesawat-pesawat yang sedang terparkir juga harus diperiksa secara seksama agar dapat dinyatakan layak untuk kembali terbang, karena partikel abu yang menyelimuti badan pesawat mungkin saja masuk ke dalam mesin pesawat. Hal lain yang sangat merugikan yaitu penutupan bandara udara sesaat dan setelah terjadi erupsi, seperti saat terjadi erupsi Gunung Agung tanggal 28 Juni 2018 di Bali yang menyebabkan penutupan Bandara I Gusti Ngurah Rai. Ancaman akibat Erupsi gunung berapi dapat diminimalisir dengan mengetahui arah dan radius sebaran abu vulkanik.

Penelitian tentang prakiraan sebaran abu vulkanik telah banyak dilakukan. Heriwaseso (2009) memprakirakan penyebaran dan ketebalan abu vulkanik dengan pemodelan menggunakan perangkat lunak Fall3d-5.1.1. Penggunaan

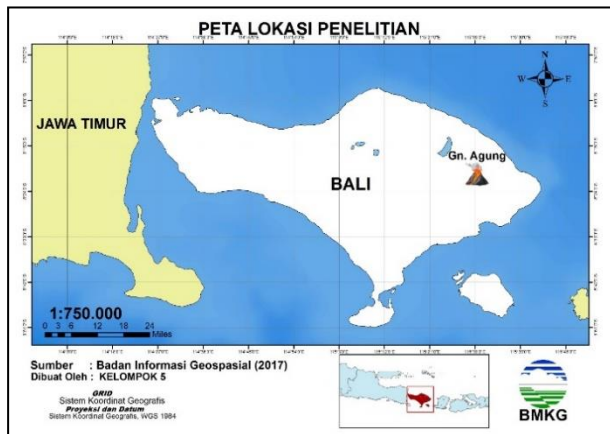
parameter yang sangat akurat seperti data-data vulkanologi, geomorfologi, dan meteorologi membuat model ini dapat digunakan sebagai alat untuk memitigasi bahaya abu vulkanik jika terjadi letusan besar berikutnya. Pengamatan sebaran abu vulkanik dapat juga dilakukan dengan satelit. Di Indonesia, abu vulkanik dipantau menggunakan satelit MTSAT menggunakan sensor visible dan infrared. Selain itu, pengamatan abu vulkanik dapat juga dilakukan menggunakan radar cuaca. Radar cuaca dapat memberikan informasi pada area yang relatif luas, pengamatan yang *real time* dan berkelanjutan dengan resolusi spasial dan temporal yang tinggi (Marzano et al., 2006).

Radar cuaca mampu mengamati partikel debu vulkanik yang berukuran sangat kecil dengan radius lebih dari 5 km dari pos pengamatan, namun ketinggian erupsi debu vulkanik yang teramati menggunakan radar selalu lebih tinggi daripada informasi ketinggian erupsi yang diberikan oleh PVMBG (Wardoyo, 2015b). (Wardoyo, 2013) melakukan penelitian tentang pemanfaatan radar cuaca untuk mendeteksi awan debu vulkanik pada saat erupsi Gunung Lokon di Sulawesi Utara, produk yang digunakan adalah MAX dan Cross Section Tools untuk menganalisis perbedaan karakteristik dan pola dari *echo* debu vulkanik dibandingkan dengan *echo* dari presipitasi. Dari analisis kedua produk tersebut dapat diketahui karakteristik erupsi, ketinggian erupsi, intensitas, dan pergerakan dari awan debu vulkanik yang diharapkan dapat digunakan sebagai dasar untuk memprakirakan arah sebaran debu vulkanik untuk pelayanan keselamatan penerbangan. Radar cuaca juga dapat menghasilkan informasi detail terkait wilayah jangkauannya yaitu lintang, bujur, dan ketinggian.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola dan sebaran debu vulkanik menggunakan radar cuaca pada saat erupsi Gunung Agung di Bali pada tanggal 28 Juni 2018. Hasil penelitian ini dapat menjadi pegangan bagi prakirawan dalam mengidentifikasi dan menganalisis serta memberikan informasi arah sebaran debu vulkanik sesaat setelah terjadi erupsi gunung berapi dalam cakupan wilayah pengamatan radar cuaca sehingga membantu memudahkan dinas terkait untuk melakukan tindakan evakuasi dan mitigasi bencana gunung meletus.

METODE

Lokasi Penelitian terletak di Gunung Agung yang terletak di Provinsi Bali pada koordinat 8°20'35" Lintang Selatan 115°30'25" Bujur Timur. Gunung Agung adalah gunung tertinggi di Pulau Bali dengan ketinggian 3.031 mdpl. Gunung ini terletak di Kecamatan Rendang, Kabupaten Karangasem, Bali, Indonesia. Waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 28 Juni 2018.



Gambar 1. Peta lokasi Gunung Agung.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *raw data* radar Gematronik Stasiun Meteorologi Selaparang Lombok dalam format .vol pada tanggal 28 Juni 2018. Radar cuaca Lombok adalah tipe C-Band *Single Polarization* yang memakai metode operasional VCP 21 dengan 9 *scan* elevasi (0.5°-19,5°). VCP 21 umum digunakan saat musim hujan ataupun masa pancaroba dengan peluang hujan yang tinggi (Wardoyo, 2015a). *Raw data* radar dapat menghasilkan 3 (tiga) data yaitu data reflektivitas (*reflectivity, Z*), data kecepatan radial (*radial velocity, V*), dan data lebar spektral (*spectral width, W*). *Raw data* yang didapat kemudian diolah menggunakan aplikasi RAINBOW yang kemudian akan menghasilkan produk yang dibutuhkan. Data radar didapat dari Stasiun Meteorologi Selaparang Lombok.

Data radar diolah menggunakan aplikasi RAINBOW sehingga dihasilkan produk VCUT, CMAX dBZ, CAPPI V, dan CAPPI Z. Produk CMAX memungkinkan kita mengetahui nilai reflektivitas maksimum *echo* (dBZ) pada setiap kolom. Produk ini digunakan untuk memperoleh data ketinggian puncak gunung yang dijadikan sebagai *Lower Limit* dan *Upper Limit* dan ditentukan setinggi 20 km untuk melihat ketinggian letusan yang sebenarnya. Perubahan *pallette* pada tampilan produk CMAX dilakukan untuk memudahkan identifikasi jenis debu vulkanik berdasarkan nilai reflektivitas maksimumnya.

Produk CAPPI (*Constant Altitude PPI*) V dan Z digunakan untuk melihat arah pergerakan dan sebaran awan abu vulkanik per lapisan ketinggian. Produk CAPPI akan menampilkan data pada ketinggian tertentu sesuai dengan keinginan pengguna. Untuk lapisan terbawah disamakan dengan ketinggian puncak gunung Agung (3 km), selanjutnya dibuat lapisan per 2 km hingga puncak ketinggian erupsi untuk menentukan arah pergerakan awan abu vulkanik. Produk yang dibuat yaitu produk 1 (satu) jam sebelum kejadian letusan

untuk memastikan apakah di lokasi gunung berapi tersebut terdapat *echo* presipitasi atau tidak dan 3 (tiga) jam setelah kejadian untuk melihat pergerakan dari awan abu vulkanik serta perubahan nilai *echo*. Produk *Vertical Cut* (VCUT) menampilkan suatu irisan tegak lurus dari suatu *volume scan* radar. Produk VCUT dapat digunakan untuk mengetahui ketinggian letusan dan struktur vertikal *echo* dari material letusan gunung berapi (Wardoyo, 2015a).

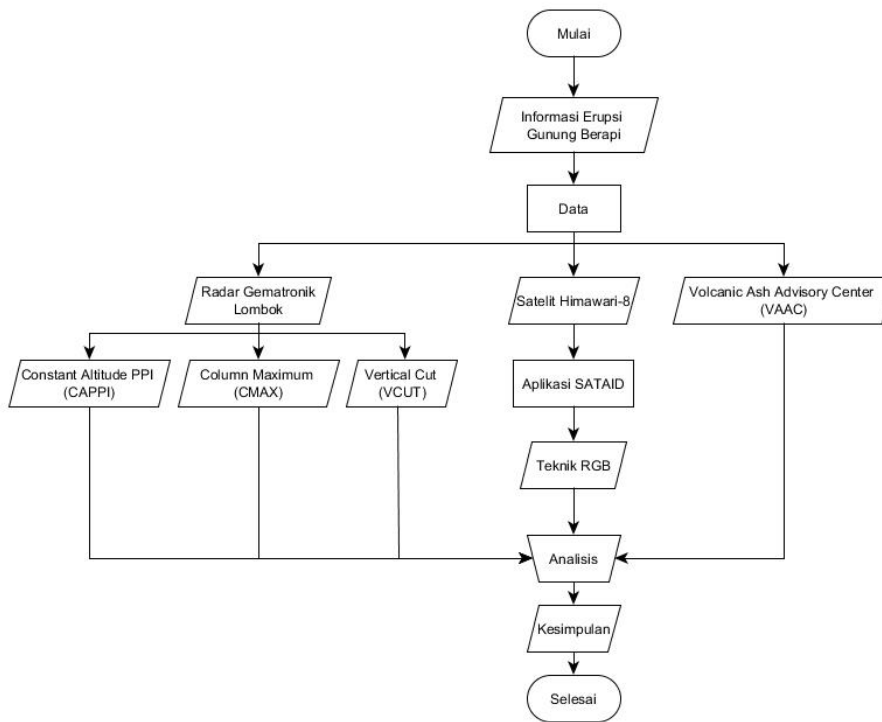
Tabel 1. Klasifikasi jenis material debu vulkanik berdasarkan nilai dBZ.

Jenis material debu vulkanik	dBZ
<i>Fine Ash, Tumbling</i>	-12.7484
<i>Fine Ash, Prolate</i>	-13.1592
<i>Coarse Ash, Tumbling</i>	17.1295
<i>Coarse Ash, Oblate</i>	17.8018
<i>Coarse Ash, Prolate</i>	16.8287
<i>Small Lapili, Tumbling</i>	47.0223
<i>Small Lapili, Oblate</i>	47.4860
<i>Small Lapili, Prolate</i>	46.7709
<i>Large Lapili, Tumbling</i>	63.0374
<i>Large Lapili, Oblate</i>	64.0786
<i>Large Lapili, Prolate</i>	63.2229

Sumber: SELEX Sistem Integrasi (2009)

Data lain yang digunakan adalah *raw data* satelit Himawari-8 tanggal 28 Juni 2018 dengan resolusi temporal 10 menit dalam format .Z. Data diolah menggunakan aplikasi SATAID dengan memanfaatkan kanal Visibel/I4, IR, dan I2. *Raw data* satelit diperoleh dari Sub Bidang Pengelolaan Citra Satelit BMKG Pusat. Informasi erupsi gunung berapi dari VAAC Darwin untuk letusan gunung Agung pada tanggal 28 Juni 2018 yang berisi informasi erupsi dan ketinggian debu vulkanik yang diperoleh dari Website Badan Meteorologi Pemerintah Australia (BOM, 2018).

Pengolahan data citra satelit Himawari-8 menggunakan aplikasi *SATellite Animation and Interactive Diagnosis* (SATAID). Pengolahan ini bertujuan untuk mengidentifikasi arah dan sebaran debu vulkanik gunung Agung. Data diolah menggunakan metode RGB dengan memanfaatkan kanal visibel/I4, I2 dan IR. Kanal visibel digunakan saat siang hari, sedangkan kanal I4 digunakan saat malam hari. Setelah itu, dilakukan perbandingan identifikasi debu vulkanik menggunakan citra radar dengan hasil citra RGB Satelit Himawari-8 dan dengan informasi sebaran debu vulkanik dari VAAC Darwin.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus dan deskriptif analisis. Penelitian studi kasus diterapkan untuk meneliti lebih dalam dari suatu fenomena tertentu di suatu wilayah. Analisa deskriptif adalah suatu metode yang berfungsi untuk mendeskripsikan atau memberi gambaran terhadap objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul kemudian melakukan analisis dan mendapatkan kesimpulan. Dalam penelitian ini, peneliti akan mengumpulkan data, mengolah data, dan menganalisis pola dan karakteristik debu vulkanik yang diperoleh dari radar Gematronik Lombok, serta menjelaskan kondisi luasan dan arah sebaran debu vulkanik saat erupsi gunung api. **10**

HASIL DAN PEMBAHASAN

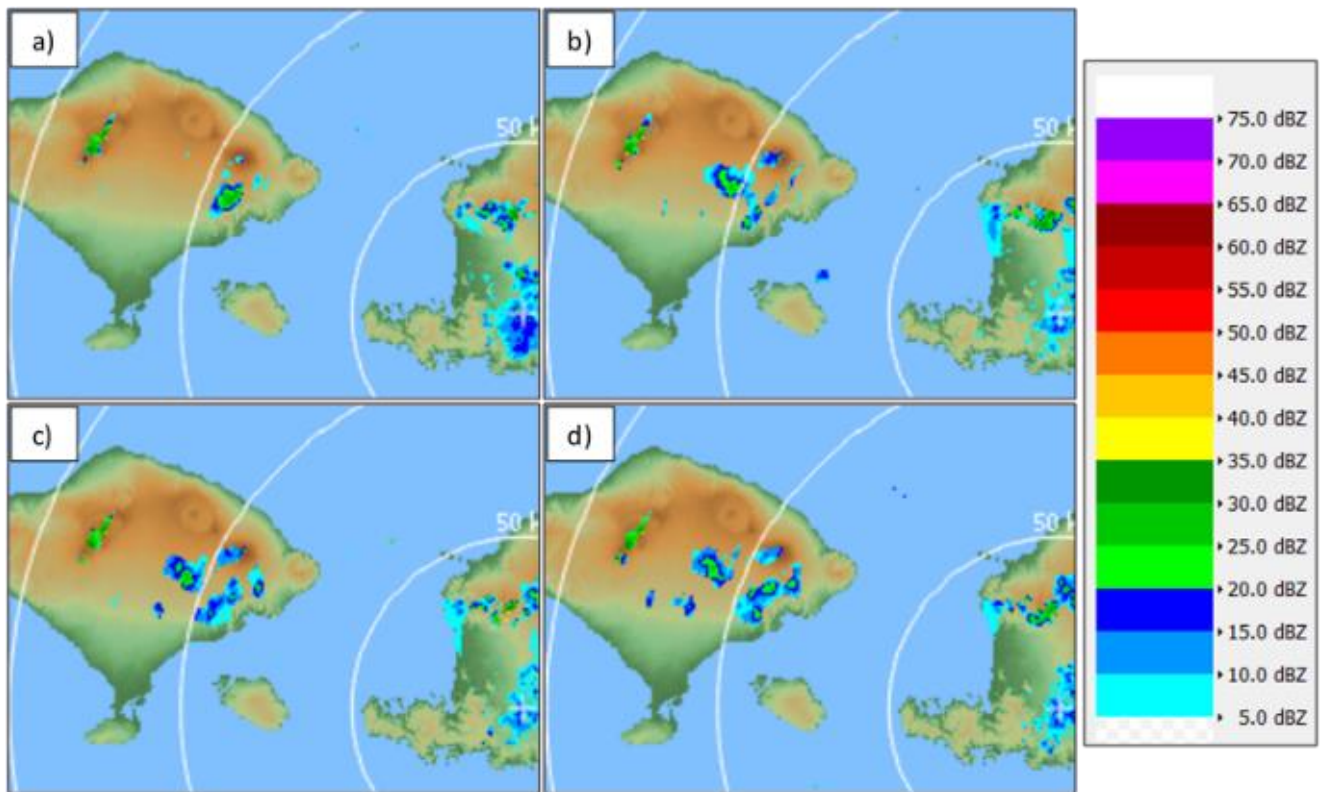
Analisis Sebaran Echo Erupsi Material Vulkanik

Terdapat 2 gambar yang masing-masing berisi sebaran *echo* erupsi material vulkanik Gunung Agung. Gunung Agung memiliki jarak kurang lebih 95 km dari pusat radar cuaca Gematronik Lombok. Jarak ini masih berada di wilayah cakupan area pengamatan radar cuaca Lombok. Berdasarkan **Gambar 3** dapat dilihat pola perkembangan *echo* material vulkanik erupsi Gunung Agung dari citra produk CMAX radar Gematronik Lombok pada tanggal 28 Juni 2018 pukul 11.00 UTC (*Coordinated Universal Time*) hingga pukul 12.20

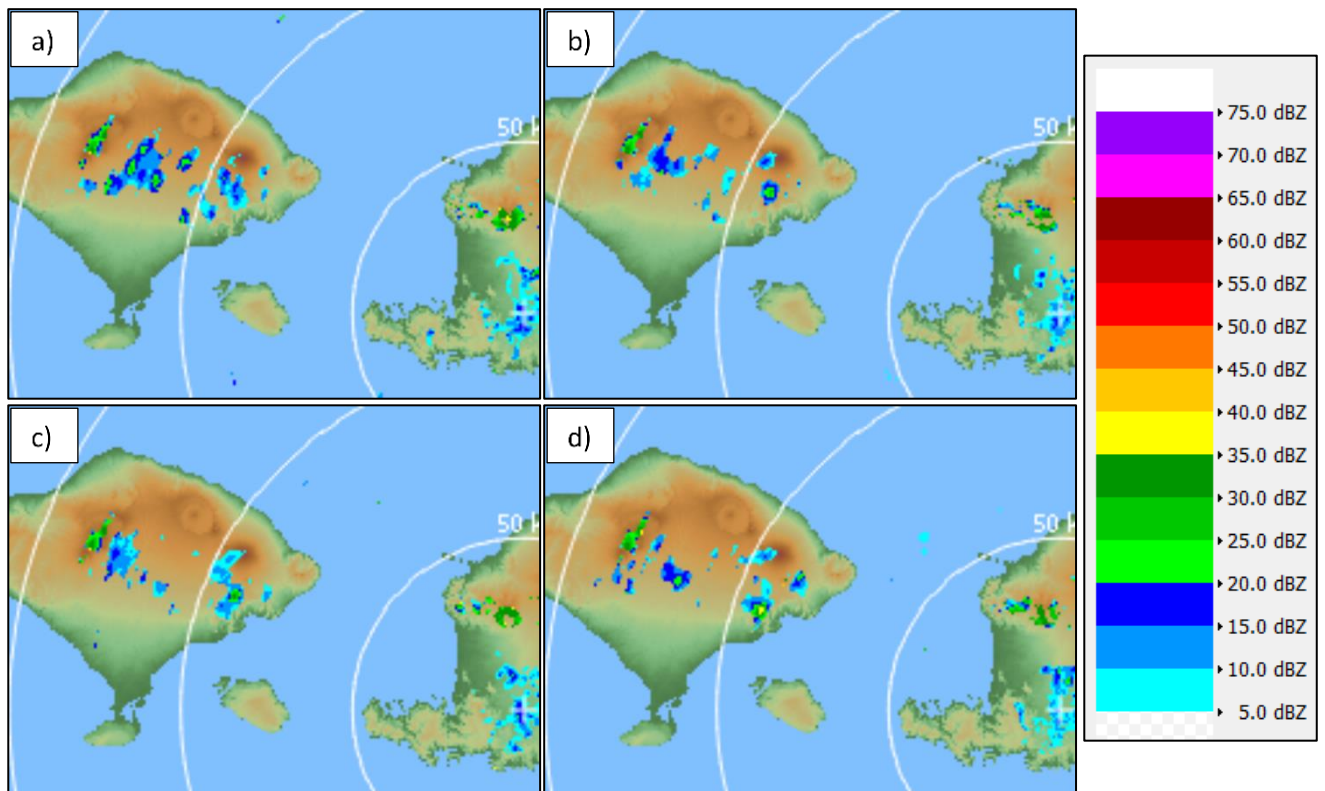
UTC yang dominan mengarah ke barat daya dan sedikit mengarah ke barat.

Pada pukul 11.00 UTC terlihat bahwa sebaran *echo* baru terlihat, hal ini mengindikasikan bahwa proses erupsi akan terjadi pada waktu ini dengan nilai *echo* reflektivitas maksimum mencapai 15 – 20 dBZ. Pukul 12.00 UTC *echo* sudah terlihat menyebar dan berkembang menjadi lebih luas dengan nilai *echo* reflektivitas maksimum relatif masih sama yaitu mencapai 15 – 20 dBZ. Selang 10 menit kemudian yaitu pukul 12.10 UTC terjadi peningkatan nilai reflektivitas maksimum menjadi 30 – 35 dBZ tetapi sebarannya kecil. Sebaran debu semakin meluas menuju ke arah tenggara. Pukul 12.20 UTC terjadi penurunan sebaran *echo* material erupsi Gunung Agung, terlihat sebaran makin mengecil dengan *echo* reflektivitas maksimum mencapai 15 – 20 dBZ.

Pada **Gambar 4** yaitu puncak erupsi kedua pukul 14.00 UTC terlihat sebaran *echo* yang kecil berada di puncak gunung dengan nilai nilai *echo* reflektivitas maksimum mencapai 5 – 10 dBZ. 20 menit setelah itu *echo* mulai menyebar ke arah dominan barat daya dengan diiringi peningkatan nilai *echo* reflektivitas maksimum sebesar 15 – 20 dBZ. Pukul 14.40 UTC perkembangan sebaran *echo* masih terus terjadi tetapi terjadi penurunan nilai *echo* reflektivitas maksimum mencapai 10 – 15 dBZ. Sedangkan pukul 15.00 UTC terjadi lagi peningkatan nilai *echo* reflektivitas maksimum sebesar 15 – 20 dBZ dengan pola sebaran *echo* yang masih sama.



Gambar 3. Perkembangan *echo* material vulkanik Gunung Agung citra produk CMAX pukul a) 11.00, b) 12.00, c) 12.10, d) 12.20 UTC.



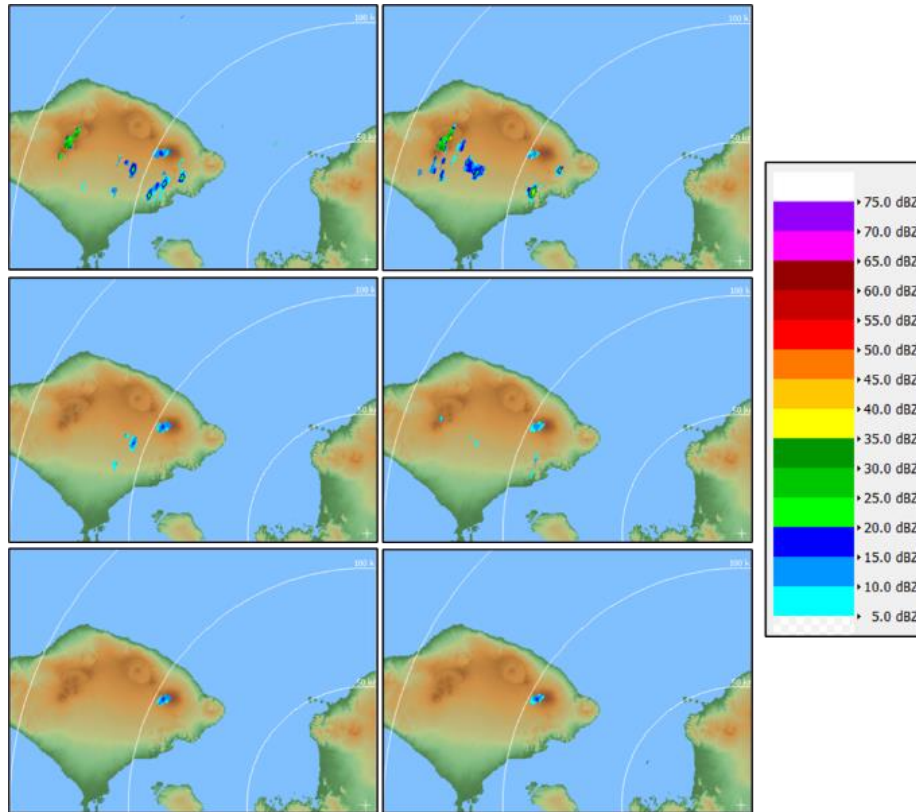
Gambar 4. Perkembangan *echo* material vulkanik Gunung Agung citra produk CMAX pukul a) 14.00, b) 14.20, c) 14.40, dan d) 15.00 UTC.

Pada **Gambar 4** terlihat bahwa nilai *echo* maksimum berada disekitar pusat erupsi Gunung Agung, semakin menjauhi pusat erupsi maka nilai *echo* akan berkurang atau semakin kecil. Untuk melihat sebaran *echo* debu vulkanik tiap level

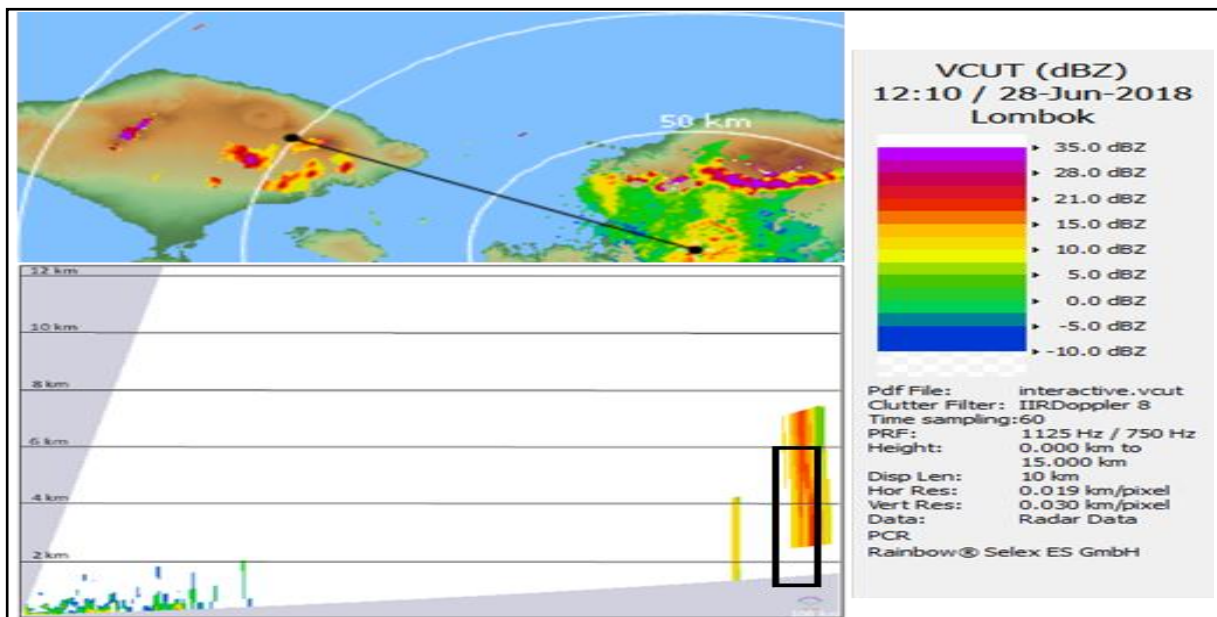
ketinggian, digunakan produk CAPPI Z dengan mengambil 3 level ketinggian yaitu ketinggian 3 km, 5 km, dan 7 km pada pukul 12.10 dan 15.00 UTC. Berdasarkan **Gambar 5**, pada ketinggian 3 km dari produk CAPPI Z terlihat *echo* disekitar

wilayah Gunung Agung dengan nilai reflektivitas 5 dBZ hingga 20 dBZ. Pukul 12.10 sebaran *echo* cenderung berkumpul di wilayah selatan hingga barat Gunung Agung. Sedangkan pada pukul 15.00 UTC sebaran debu vulkaniknya mulai menyebar menjauhi gunung menuju arah barat daya. Pada ketinggian 5 km pukul 12.10 dan 15.00 UTC terlihat

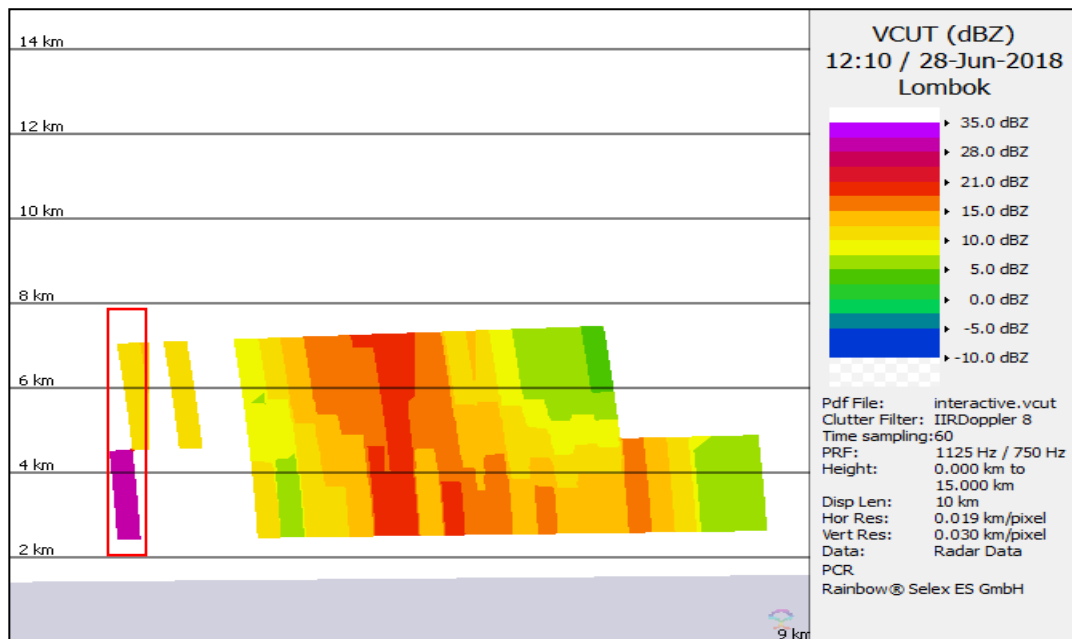
adanya *echo* dengan reflektivitas 5-20 dBZ hanya dibagian puncak gunung dan sebelah barat dayanya. Pada ketinggian 7 km pukul 12.10 dan 15.00 *echo* erupsi semakin sedikit dengan reflektivitas 5-20 dBZ. secara umum, nilai reflektivitas *echo* erupsi pada pukul 12.10 lebih tersebar dibanding pukul 15.00 UTC.



Gambar 5. Sebaran *echo* erupsi Gunung Agung pada ketinggian 3 km (atas), 5 km (tengah), dan 7 km (bawah) pukul 12.10 UTC (kiri) dan 15.00 UTC (kanan).



Gambar 6. Sebaran erupsi Gunung Agung dari citra produk CMAX (atas) dan VCUT (bawah) dengan perubahan palette pada jam 12.10 UTC.



Gambar 7. Struktur vertikal debu vulkanik Gunung Agung dari produk VCUT pada pukul 12.10 UTC.

Analisis Ketinggian dan Jenis Material Erupsi Gunung Agung

Analisis juga dilakukan secara vertikal dengan menggunakan *cross section* pada produk CMAX dBZ. Analisis secara vertikal dapat digunakan untuk mengetahui ketinggian maksimum kolom erupsi dan juga mengetahui jenis material erupsi Gunung Agung. **Gambar 6** menunjukkan skema VCUT yang dilakukan pada citra CMAX pada jam 12.10 UTC untuk mendapatkan struktur vertikal dan ketinggian *echo* erupsi material vulkanik Gunung Agung. Waktu ini dipilih karena mempunyai nilai reflektivitas yang paling maksimum. VCUT dilakukan pada pusat radar (116.249° BT dan 8.753° LS) sampai 115.438° BT dan 8.327° LS.

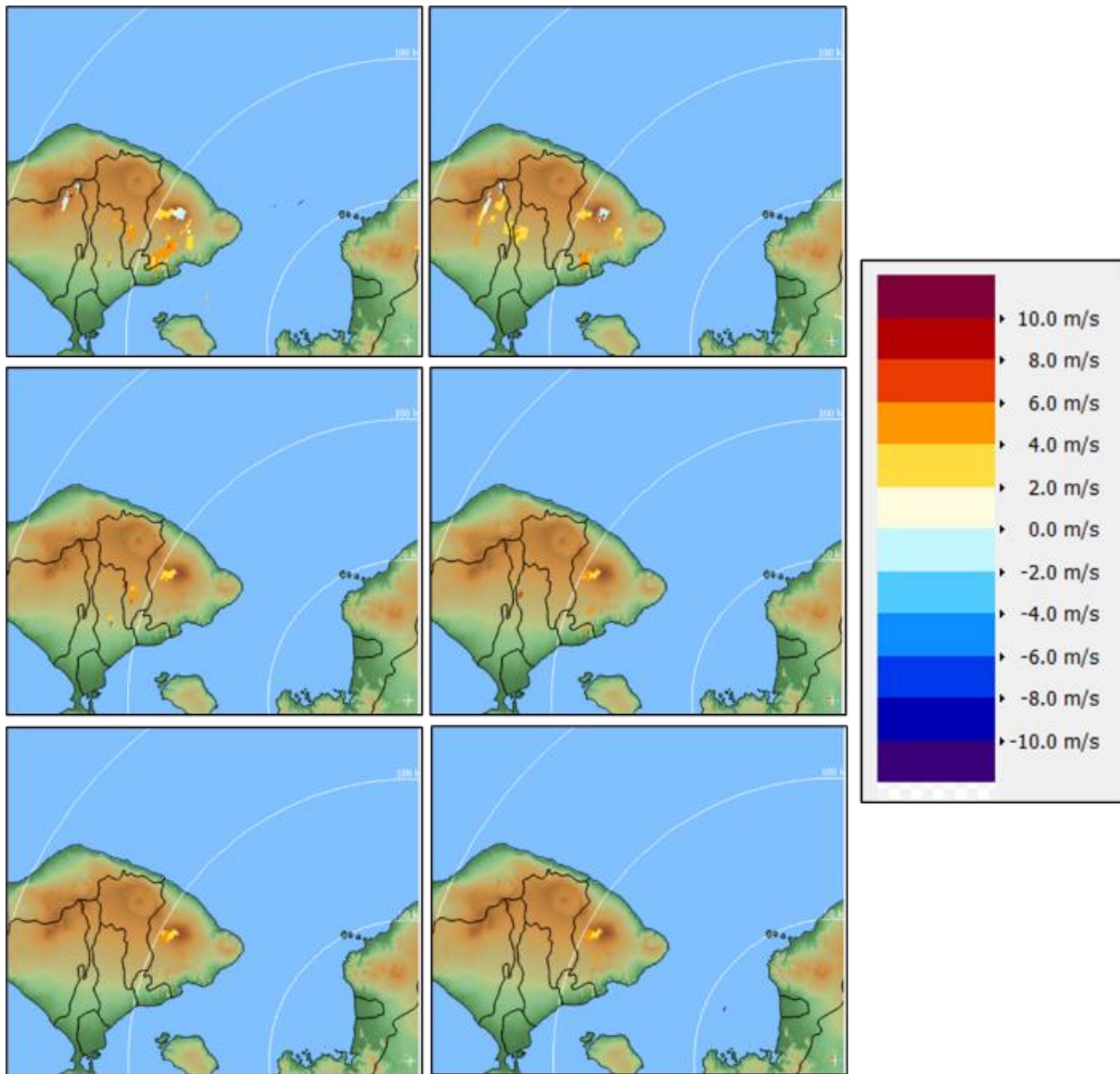
Pada **Gambar 6** menunjukkan bahwa ketinggian erupsi material vulkanik mencapai 7,53 km dari permukaan laut. Pada saat erupsi, lontaran material berukuran besar mencapai ketinggian 4,5 km dari permukaan laut yang direpresentasikan dengan adanya nilai *echo* maksimum sebesar 31 dBZ sedangkan lontaran material yang lebih halus mencapai ketinggian 7,5 km di atas permukaan laut (lihat **Gambar 7**). Daerah puncak gunung secara vertikal pada **Gambar 6** ditunjukkan oleh daerah yang dibatasi dengan kotak hitam. Secara vertikal, struktur *echo* erupsi mempunyai pola yang khas dimana ketinggian *echo* tidak dimulai dari permukaan namun di sekitar puncak gunung, pada kasus ini yaitu dimulai dari sekitar ketinggian 3 km yang merupakan ketinggian Gunung Agung. Pada produk VCUT dapat terlihat bahwa umumnya nilai reflektivitas maksimum semakin kecil seiring dengan pertambahan jarak vertikal dari puncak

gunung, namun sebagian *echo* erupsi terlihat hilang terutama pada daerah di atas puncak gunung.

Pada **Gambar 7** terlihat bahwa material erupsi vulkanik dominan memiliki nilai reflektivitas maksimum antara 10-20 dBZ yang menyebar jauh dari lokasi gunung. Diatas titik pusat gunung (kotak merah) dimana reflektivitas memiliki kisaran nilai antara 28-31 dBZ merupakan material *small lapilli* (kerikil kecil) yang mencapai ketinggian 4,5 km dari permukaan laut dan tersebar hingga jarak 0,5 km dari titik pusat gunung. Debu vulkanik halus dengan nilai reflektivitas maksimum lebih kecil dari 17 dBZ berada pada ketinggian yang lebih tinggi dan mencapai jarak 5,5 km dari titik pusat gunung sedangkan debu vulkanik yang lebih kasar dengan nilai reflektivitas maksimum lebih besar dari 17 dBZ hanya tersebar hingga jarak 3 km dari titik pusat gunung.

Analisis Pergerakan Debu Vulkanik

Arah dan kecepatan pergerakan debu vulkanik pada citra radar cuaca umumnya dapat dilihat menggunakan Produk *Constant Altitude Position Plan Indicator* (CAPPI V). Dimana produk CAPPI V akan memfokuskan citra dalam menangkap arah dan kecepatan partikel meteorologi khususnya debu vulkanik pada beberapa ketinggian yang diinginkan. Dalam kasus ini kami akan menganalisis pergerakan debu vulkanik pada tiga level ketinggian yang berbeda yaitu pada ketinggian 3 km, 5 km dan 7 km pada jam 12.10 UTC dan 15.00 UTC tanggal 28 Juni 2018.



Gambar 8. Analisis pergerakan debu vulkanik menggunakan produk CAPPI V pada ketinggian 3 km (atas), 5 km (tengah), dan 7 km (bawah) pukul 12.10 UTC (kiri) dan 15.00 UTC (kanan).

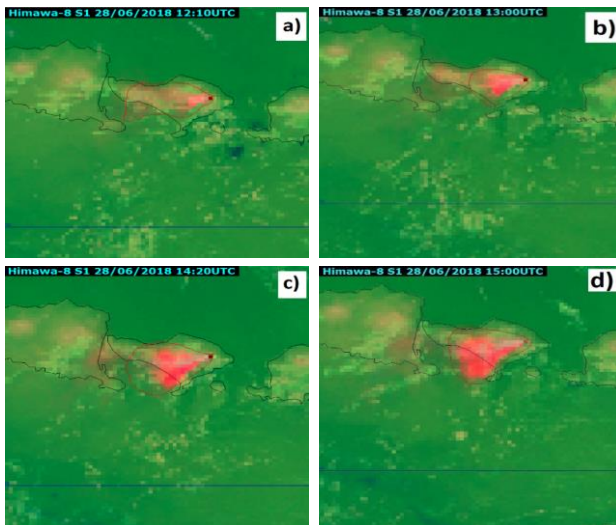
Berdasarkan **Gambar 8**, pada ketinggian 3 km jam 12.10 UTC dan 15.00 UCT tepat diatas Gunung Agung terlihat pergerakan debu vulkanik dengan warna biru muda yang berarti pergerakan debu vulkanik mendekati radar dengan kecepatan antara 2-5 m/s. Namun pada sebelah barat puncak Gunung Agung terlihat juga pergerakan debu vulkanik dengan warna kuning orange yang berarti pergerakan abu vulkanik menjauhi radar dengan kecepatan 0-3 m/s. Pada ketinggian 3 km terlihat adanya pergerakan partikel lain selain debu vulkanik yang terletak jauh dari Gunung Agung dengan pergerakan sebagian besar menjauhi pusat radar. Pada ketinggian 5 km di jam 12.10 UTC dan 15.00 UTC secara umum mempunyai pola yang sama, dimana terlihat pergerakan debu vulkanik dengan warna kuning orange yang berarti debu vulkanik bergerak menjauhi radar dengan kecepatan 2-5 m/s. Pada ketinggian 7 km di jam 12.10 dan 15.00 juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan 5 km, dimana pergerakan debu

vulkanik dengan warna kuning orange yang berarti debu vulkanik bergerak menjauhi radar dengan kecepatan 2-5 m/s. Citra radar dengan menggunakan produk CAPPI V menunjukkan semakin bertambahnya ketinggian menjadikan semakin berkurangnya *echo* selain *echo* debu vulkanik yang tampak.

Analisis Citra Satelit Himawari-8

Menurut BMKG (2011), identifikasi sebaran debu vulkanik menggunakan citra satelit Himawari-8 yang diolah dengan aplikasi SATAID metode RGB. Metode RGB adalah menggabungkan tiga kanal pada satelit Himawari-8 dengan *split window* dengan komposisi S1 (IR1-IR2) sebagai warna merah (*red*), S2 (IR4-IR1) sebagai warna (*green*), serta IR4 (malam hari) atau VS (siang hari) sebagai warna biru (*blue*) sehingga akan menampilkan warna merah muda untuk awan debu vulkanik.

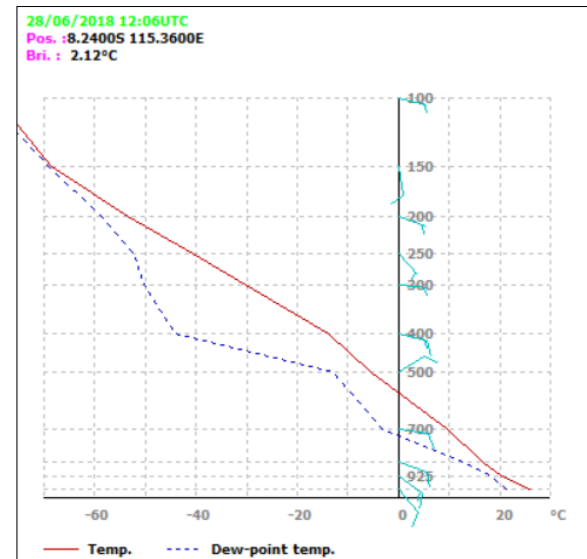
Nilai dari (IR1-IR2) akan bernilai negatif jika ditampilkan pada menu *contour line*.



Gambar 9. Citra RGB satelit Himawari-8 pukul a) 12.10 UTC, b) 13.00 UTC, c) 14.20 UTC, d) 15.00 UTC

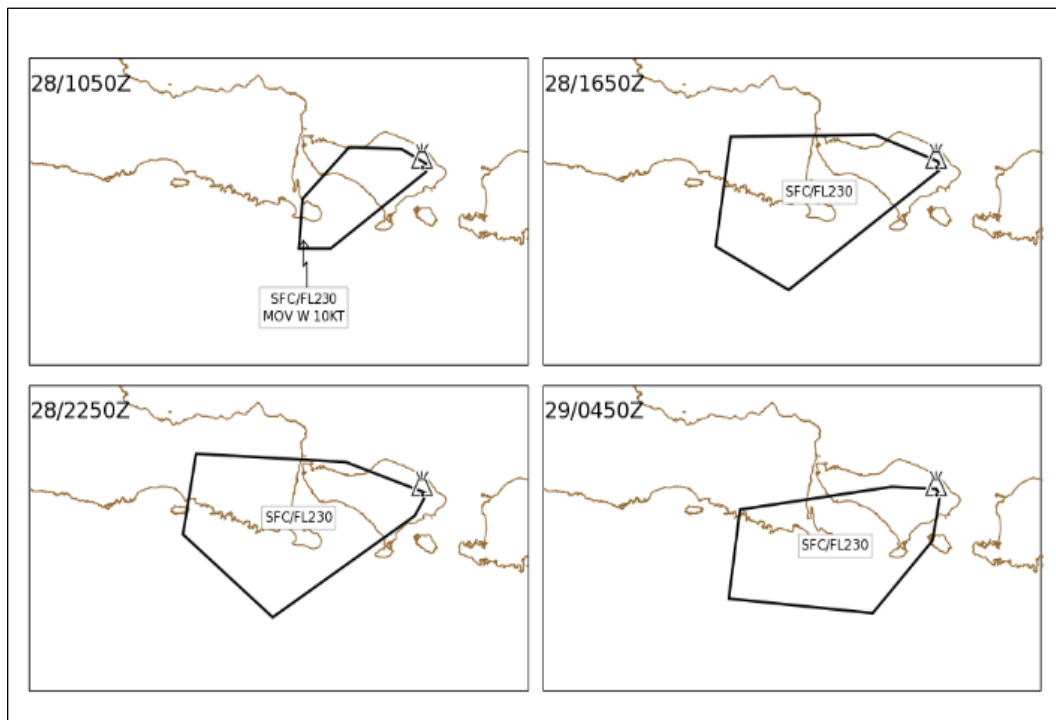
Pada **Gambar 9** terdapat 2 waktu yang berbeda yaitu pukul 13.00 UTC dan 15.00 UTC dimana jam tersebut menunjukkan waktu kejadian erupsi Gunung Agung. Secara umum sebaran debu vulkanik Gunung Agung dominan mengarah ke arah barat dan barat daya. Sebaran debu makin meluas dan menjauhi pusat erupsi gunung. Profil angin vertikal yang terdapat di lokasi Gunung Agung (koordinat 8.24 LS, 115.36 BT) pukul 12.10 UTC dapat dilihat pada **Gambar 10** yang

menunjukkan arah dan kecepatan angin per lapisan. Pada lapisan permukaan hingga sekitar 900 mb angin bergerak dari tenggara, sementara itu lapisan 700 milibar angin bergerak dari timur ke barat. Angin bergerak dari timur laut ke arah barat daya pada lapisan 500 mb, pada lapisan diatas 500 mb hingga 100 mb pergerakan angin dominan mengarah ke barat hingga utara.



Gambar 10. Profil angin vertikal di wilayah Gunung Agung tanggal 28 Juni 2018

Analisis sebaran debu vulkanik berdasarkan data VAAC Darwin



Gambar 11. Informasi VAAC Darwin tanggal 28 Juni 2018 pukul 10.50 UTC (kiri atas), 16.50 UTC (kanan atas), 22.50 UTC (kiri bawah), dan 29 Juni 2018 pukul 04.50 UTC (kanan bawah). Daerah yang dikelilingi garis merupakan daerah sebaran debu vulkanik.

Berdasarkan **Gambar 11** yang diperoleh dari informasi VAAC Darwin menunjukkan pola sebaran debu vulkanik erupsi Gunung Agung tanggal 28 Juni 2018. Informasi dari VAAC Darwin akan diupdate sesegera mungkin tetapi paling lambat sekurang-kurangnya 6 jam. VAAC Darwin akan memberikan informasi prakiraan sebaran debu vulkanik yang berbahaya bagi penerbangan per 6 jam. Pada pukul 10.50 UTC sebaran debu vulkanik mengarah ke arah barat dengan kecepatan 10 knots serta ketinggian dari permukaan hingga 23.000 *feet*. Pukul 16.50 UTC atau 6 jam kedepan setelah pukul 10.50 UTC arah sebarah debu vulkanik masih sama yaitu ke barat dan barat daya dengan ketinggian puncak sebaran masih sama 23.000 *feet* (7 km) tetapi sebaran debu makin meluas hingga mencapai wilayah Jawa Timur. Pukul 22.50 UTC tanggal 28 Juni 2018 dan tanggal 29 Juni 2018 pukul 04.50 UTC sebaran debu relatif masih sama mengarah ke barat dan barat daya dengan ketinggian dari permukaan hingga 23.000 *feet*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola sebaran *echo* yang dihasilkan dari material vulkanik menunjukkan bahwa nilai *echo* mempunyai karakteristik tersendiri dan berbeda dengan karakteristik *echo* yang dihasilkan oleh awan presipitasi. Pola reflektivitas berbentuk seperti awan sel tunggal dengan nilai reflektivitas maksimum berada pada daerah pusat erupsi yang diakibatkan oleh jenis material vulkanik relatif besar sehingga mempunyai massa yang berat dan akan jatuh disekitar gunung, sejalan dengan pernyataan Wardoyo (2015b). Semakin jauh dari lokasi pusat erupsi, maka nilai reflektivitas maksimum *echo* juga menurun dengan pola mengikuti sebaran debu vulkanik yang dipengaruhi oleh arah angin. Hal ini dikarenakan nilai *echo* reflektivitas maksimum mengikuti ukuran material debu vulkanik yang semakin kecil dan terbawa angin. Pada puncak letusan pertama yang dimulai pukul 11.00 mempunyai nilai reflektivitas maksimum sebesar 30-35 dBZ sedangkan puncak letusan kedua pukul 14.20 UTC sebesar 15-20 dBZ. Hal ini berarti puncak letusan pertama pukul 12.10 UTC kekuatannya lebih kuat daripada puncak letusan kedua.

Melalui VCUT dapat diketahui karakteristik material erupsi secara vertikal beserta ketinggian kolom erupsi. Menurut Satriyabawa & Wardoyo (2016), jika dilihat secara vertikal, material vulkanik yang memiliki nilai reflektivitas maksimum lebih besar berada pada ketinggian yang lebih rendah dan dekat dengan puncak gunung, sedangkan semakin keatas nilai reflektivitas maksimumnya berkurang. Pola ini dapat diartikan sebagai material vulkanik yang berukuran besar cenderung tidak tinggi dari pusat erupsi daripada

material yang lebih kecil dapat mencapai ketinggian yang lebih tinggi. VCUT juga memberi informasi kolom ketinggian erupsi secara objektif dan baik dibandingkan pengamatan visual yang memiliki banyak keterbatasan dan hanya mengandalkan estimasi. Struktur vertikal pada ketinggian terdapat beberapa *echo* yang hilang yang disebabkan oleh resolusi data yang kurang baik serta pengaruh dari *scanning* strategi yang digunakan.

Batas maksimum bawah nilai *echo* yang dapat ditangkap oleh radar adalah sebesar 5 dBZ pada produk CMAX, sementara pada VCUT dengan perubahan *pallette* nilainya tak kurang dari 1 dBZ yang dapat diamati. Radar cuaca dapat mengidentifikasi debu vulkanik dengan baik namun untuk debu vulkanik halus yang mempunyai nilai reflektivitas negatif tidak dapat teridentifikasi dengan baik. Menurut penelitian Wardoyo (2015b) nilai reflektivitas produk 3DVAD seharusnya radar cuaca dapat mendeteksi debu vulkanik hingga lebih kecil dari -10 dBZ. Penyebabnya adalah pada saat kejadian erupsi, radar Lombok menggunakan VCP 21 yang biasa digunakan untuk mengamati awan presipitasi. Sedangkan untuk debu vulkanik yang mempunyai ukuran partikel kecil diperlukan VCP yang lebih sensitif supaya dapat terdeteksi. Penyebab lain yaitu mode *filtering* yang diterapkan oleh sistem radar cuaca yang digunakan untuk menghilangkan *echo* yang berasal dari objek non meteorologi, sehingga memungkinkan system radar untuk menghilangkan *echo* yang bernilai sangat kecil karena dianggap tidak signifikan. Dilihat dari prinsipnya, radar cuaca *single polarization* belum dapat melakukan klasifikasi terhadap jenis partikel-partikel yang terdapat di atmosfer (Setyawan & Putri, 2018). Radar ini hanya mampu mendeteksi objek dengan menggunakan nilai reflektivitas (Z) yang dipantulkan sehingga radar tidak mampu memisahkan antara *echo* yang dihasilkan oleh presipitasi dengan debu vulkanik.

Berdasarkan citra Himawari-8 metode RGB untuk erupsi Gunung Agung tanggal 28 Juni 2018 mendapatkan hasil yang baik. Pada saat kejadian erupsi kondisi perawanan juga sedikit di sekitar lokasi sehingga sebaran debu vulkanik dapat terlihat dengan baik. Namun citra satelit memiliki kekurangan yaitu tidak bisa mengidentifikasi ketinggian debu vulkanik. Profil angin vertikal yang ditampilkan pada produk satelit memberikan gambaran arah sebaran debu vulkanik per lapisan sehingga dapat digunakan untuk memprakirakan sebaran debu vulkanik dengan akurat. Untuk ketinggian kolom erupsi, informasi VAAC Darwin mempunyai kesamaan dengan radar.

Analisis pergerakan debu vulkanik dapat dilakukan dengan menggunakan produk *radial velocity* pada radar cuaca. Pada kasus erupsi Gunung Agung, radar dapat membaca pergerakan arah dan kecepatan debu vulkanik dengan baik

sesuai dengan level ketinggian yang telah ditentukan. Informasi arah pergerakan dan kecepatan debu vulkanik ini nantinya dapat digunakan untuk memprediksi kapan dan dimana debu vulkanik akan tiba di suatu lokasi tertentu sehingga akan sangat bermanfaat untuk mengetahui informasi secepat dan seakurat mungkin. Namun, pergerakan ini terbatas hanya pada material debu vulkanik yang terbaca oleh radar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, Radar Cuaca C-Band *Single Polarization* mampu memberikan informasi terkait pola sebaran, ketinggian erupsi, karakteristik material vulkanik dengan baik secara real time menggunakan Produk MAX/CMAX. Secara horizontal dan vertikal, semakin menjauhi titik erupsi maka nilai reflektivitas maksimum semakin menurun. Ketinggian erupsi Gunung Agung mencapai ketinggian 7,5 km dengan nilai reflektivitas maksimum mencapai 30-35 dBZ. Penggunaan VCP 21 kurang cocok digunakan untuk mendeteksi debu vulkanik karena kurang sensitif terhadap partikel debu yang kecil terutama yang mempunyai nilai reflektivitas maksimum negatif.

Radar juga mampu memberikan informasi arah sebaran debu vulkanik yang lebih detail sesuai dengan ketinggian yang diinginkan. Debu vulkanik Gunung Agung menyebar dominan ke arah barat dan barat daya. Dengan membandingkan trayek sebaran debu vulkanik antara produk radar dengan citra satelit maka dapat diketahui arah dan sebaran debu vulkanik sebenarnya dimana informasi tersebut sangat bermanfaat untuk kepentingan publik maupun penerbangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada dosen kami, Imma Redha Nugraheni dan bapak Gumilang Deranadyan (Pusat Citra Radar BMKG) karna telah bersedia membimbing dan menyediakan data radar cuaca sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- BMKG. (2011). *Pedoman Operasional Pengolahan Satelit Cuaca*. Jakarta: Pusat Meteorologi Publik Deputi Bidang Meteorologi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- BOM. (2018). Darwin Volcanic Ash Advisory Centre. Bureau of Meteorology. Retrieved from <http://www.bom.gov.au/info/vaac/>.
- Condie, K. C. (1997). *Plate Tectonics and Crustal*

- Evolution* (4th Oxford). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075063386-4/50000-8>
- Hall, R. (2002). Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer-based reconstructions, model and animations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(4), 353–431. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(01\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(01)00069-4)
- Heriwaseso, A. (2009). Model Prakiraan Penyebaran Dan Ketebalan Abu Vulkanik Akibat Letusan Gunungapi, (Studi Kasus Di G. Galunggung, G. Merapi Dan G. Tambora). *Jurnal Vulkanologi Dan Bencana Geologi*, 4(3), 1–9.
- Marzano, F. S., Barbieri, S., Ferrauto, G., Vulpiani, G., & Rose, W. I. (2006). Can we use weather radar to retrieve volcanic ash eruption clouds? A model and experimental analysis. *Proceedings of ERAD 2006*, 1–4.
- Pratomo, I. (2014). Klasifikasi gunung api aktif Indonesia, studi kasus dari beberapa letusan gunung api dalam sejarah. *Indonesian Journal on Geoscience*, 1(4), 209–227. <https://doi.org/10.17014/ijog.vol1no4.20065>
- Prima, E. C., Eliyawati, Halimatul, S. H., Nugraha, I., & Rusyati, L. (2018). *Pendalaman Materi Bumi, Mitigasi Bencana, Antarkisa, Pemanasan Global, dan Teknologi Ramah Lingkungan*. Direktorat Pembelajaran, Dit Belmawa, Kemenristekdikti RI.
- Satriyabawa, I. K. M., & Wardoyo, E. (2016). Identifikasi Debu Vulkanik dan Ketinggian Erupsi Menggunakan Citra Radar Sebagai Data Input Model Hysplit (Studi Kasus Letusan Gunung Sangeang Api Tanggal 30 Mei 2014). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*.
- SELEX Sistemi Integrati. (2009). Instruction Manual Rainbow® 5 – Products & Algorithms. In *SELEX Sistemi Integrati GmbH*.
- Setyawan, T., & Putri, R. J. A. (2018). Penggunaan Radar Cuaca untuk Mengidentifikasi Sebaran Debu Vulkanik (Studi Kasus Letusan Gunung Sinabung 10 Januari 2014). *Prosiding PIT Ke-5 Riset Kebencanaan IABI*, 500–513.
- Ummah, K., Darmawan, D., & Nugroho, B. W. (2018). Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Tinatar-Karangrejo Kabupaten Pacitan Berdasarkan Pemodelan 3D Metode Geomagnet. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 451–458.
- Wardoyo, E. (2013). Detecting Volcanic Ash with C-Band Weather Radar (Case Study Eruption of Mount Lokon December 6, 2012). *1st Asian Conference on Radar Meteorology, Jeju Island, South Korea*.
- Wardoyo, E. (2015a). *Radar Meteorologi*.
- Wardoyo, E. (2015b). The Capability of Single Polarization C-Band Radar to detect Volcanic Ash (some cases of Volcanic Eruption in Indonesia). *37th Conference on Radar Meteorology, Oklahoma, U.S.*, 2015.

Halaman ini sengaja kami kosongkan

ANALISIS HASIL DELINEASI BATAS DESA DI KABUPATEN GUNUNGKIDUL PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

(Analysis of The Results of Village Boundary Delineation in Gunungkidul Regency, Province of Daerah Istimewa Yogyakarta)

Heri Sutanta, Imasti Dhani Pratiwi, Dedi Atunggal, Bambang Kun Cahyono, dan Diyono

Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 Indonesia

Email: herisutanta@ugm.ac.id

Diterima: 21 Mei 2020; Direvisi: 10 November 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 20 November 2020

ABSTRAK

Batas administrasi desa memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai kegiatan pemerintahan. Batas desa di Kabupaten Gunungkidul didelineasi ulang pada tahun 2018 melalui kegiatan yang difasilitasi oleh Dinas Pertanahan dan Tata Ruang Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Acuan utama untuk membuat Peta Kerja Batas adalah Peta Desa Lama skala 1:5.000 yang dibuat antara tahun 1932-1938. Batas desa pada Peta Desa Lama tersebut diinterpretasi dan didigitasi di Citra Tegak Resolusi Tinggi dari Badan Informasi Geospasial. Penelitian ini menganalisis perbedaan batas dalam hal karakteristik segmen batas, pergeseran segmen batas, dan perbedaan luas wilayah. Terdapat perubahan karakteristik segmen batas yang berupa titik temu, segmen berbatasan dan segmen tidak berbatasan. Pergeseran posisi segmen batas yang terjadi sampai 1.773 m pada Peta RBI, dan 997 m pada hasil identifikasi peta desa lama. Luas wilayah Kabupaten Gunungkidul mengalami penurunan dibandingkan dengan luas menurut Peta RBI sebesar 287,79 hektar, dan 269,22 hektar jika dibandingkan dengan data BPS. Dalam hal luas wilayah desa terdapat 71 desa mengalami penambahan luas wilayah dibandingkan dengan Peta RBI dan 67 desa jika dibandingkan dengan data BPS. Perbedaan sumber data, skala, dan metode pembuatan batas di Peta RBI dan hasil kesepakatan menghasilkan perbedaan karakteristik batas, posisi garis batas, dan luas wilayah. Berdasarkan hasil ini, batas desa definitif perlu disegerakan penyediaannya untuk menggantikan jenis batas lain yang terpaksa digunakan.

Kata kunci: batas administrasi desa, pergeseran segmen, luas wilayah, Gunungkidul

ABSTRACT

Village administrative boundaries are very essential in government activities. Village boundaries in Gunungkidul Regency were re-delineated in 2018 through the facilitation of the Agency of Land Affairs and Spatial Planning, Province of Daerah Istimewa Yogyakarta. The primary reference to develop the Working Maps for the delineation is Old Village Maps produced between 1932-1938. Village boundaries drawn on these old maps were interpreted and digitized in High-Resolution Orthorectified Imagery (CSRT). This research investigated differences in the characteristics and deviation of boundary segments, and changes in area size. We found that there are changes in the characteristics of boundary segments in terms of the border points location and adjacent and nonadjacent boundaries. On the position of the boundary, the RBI map deviates by 1.773 m at the maximum, and up to 997 m on the Working Maps. The area size of the Gunungkidul Regency was found to be smallest in the agreed village boundary, smaller by 287,79 and 269,22 hectare compared to the RBI Map and the BPS data, respectively. 71 villages experience an increase in size based on RBI Map, and 67 villages according to BPS data. Differences in the data source, scale, and method to get village boundaries affect the characteristics of the boundary, position of the boundary, and area size. Based on the finding, we recommend to speed up the provision of definitive village boundaries to replace other types of boundaries that are currently forced to be used because there is no alternative.

Keywords: village administrative boundaries, displacement, boundary segments, area, Gunungkidul

PENDAHULUAN

Batas desa/kelurahan yang bersifat definitif perlu disediakan untuk menjadi acuan resmi berbagai kegiatan administrasi pemerintahan. Batas desa menjadi acuan penting bagi penetapan Bagian Wilayah Perkotaan (BWP) dan sub-BWP dalam penataan ruang (Trivinata, 2016; Pribadi, et al.,

2017). Bagi masyarakat, kejelasan batas wilayah akan membuat pelayanan dari pemerintah lebih mudah didapatkan (Hasudungan & Sujianto, 2012). Pemberian bantuan dari pemerintah sering menghadapi kendala terkait domisili resmi warga masyarakat. Dalam bidang pertanahan, batas desa memiliki peran penting dalam kejelasan identitas alamat bidang tanah (Mustofa, et al., 2018).

Mengadopsi konsep AAA yang pertama kali muncul di bidang administrasi pertanahan (Williamson, et al., 2015), batas desa harus memiliki atribut yaitu *Accurate, Assured, dan Authoritative*. Batas desa harus memiliki akurasi yang tinggi, sesuai dengan paraturan tingkat ketelitian peta yang ditetapkan, baik skala 1:5.000 atau skala 1:10.000. Selanjutnya, batas desa juga harus memiliki jaminan kebenarannya dan dikeluarkan atau ditetapkan oleh insititusi yang memiliki kewenangan. Penetapan batas desa dilaksanakan oleh bupati atau walikota.

Banyak kabupaten yang belum memiliki batas desa definitif, diantaranya adalah Kabupaten Gunungkidul. Pemerintah daerah memiliki keterbatasan dalam anggaran, kemampuan, dan sumber data untuk melakukan kegiatan penetapan dan penegasan batas desa. Penetapan batas desa bukanlah sebuah kegiatan yang rumit, walaupun cukup membebani keuangan daerah (Nadeak, et al., 2015). Ketiadaan batas yang definitif membuat apapun data yang ada digunakan sebagai batas. Salah satu data batas desa yang sering digunakan adalah batas yang terdapat di Peta Rupabumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000. Hal ini sebetulnya tidak sesuai dengan *disclaimer* yang ada di Peta RBI tersebut, yang menyatakan bahwa batas yang disajikan bukan merupakan acuan resmi batas wilayah administrasi.

Kegiatan penetapan dan penegasan batas desa sedang didorong pelaksanaannya untuk menjamin kepastian batas wilayah administrasi desa. Hal ini, misalnya, terkait dengan besaran alokasi dana untuk desa (Riadi, 2015; Asadi, 2016). Proses penetapan dan penegasan batas desa diatur dengan Peraturan Menteri Dalam Negeri (Permendagri) No. 45 Tahun 2016 tentang pedoman penetapan dan penegasan batas desa. pelaksanaan kegiatan meliputi tiga tahapan utama yaitu penetapan, penegasan dan pengesahan batas desa, sebagaimana diatur dalam Pasal 3 Permendagri tersebut.

Batas desa di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) belum memiliki status definitif. Dinas Pertanahan dan Tata Ruang Provinsi DIY memfasilitasi proses penetapan batas secara kartometrik di kabupaten/kota di DIY. Kegiatan pertama kali dilaksanakan di sebagian kecamatan di Kabupaten Sleman tahun 2016. Pada tahun 2017 kegiatan dilaksanakan di Kabupaten Kulon Progo yang meliputi 87 desa dan 1 kelurahan. Selanjutnya pada tahun 2018, kegiatan dilaksanakan di kabupaten Gunungkidul yang memiliki 144 desa.

Penetapan batas desa di seluruh Provinsi DIY dilakukan secara kartometrik. Metode kartometrik mencakup penelusuran/penarikan garis batas pada peta kerja dan pengukuran/perhitungan posisi titik, garis, jarak dan luas cakupan wilayah dengan menggunakan peta dasar dan informasi geospasial lainnya sebagai pendukung", seperti dijelaskan pada Pasal 1 Ayat 11 Permendagri 45/2016.

Penetapan batas desa secara kartometrik memberikan hasil yang efektif (Riadi & Makmuriyanto, 2014; Purwanti & Budisusanto, 2015; Riadi, 2015).

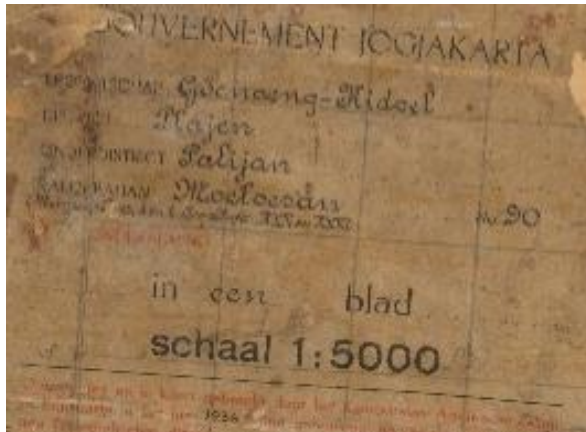
Penetapan batas desa sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf (a) Permendagri Nomor 45 Tahun 2016 tentang Pedoman Penetapan dan Penegasan Batas Desa adalah melalui tahapan berikut: (1) Pengumpulan dan penelitian dokumen, meliputi pengumpulan dokumen batas berupa dokumen yuridis pembentukan desa, dokumen historis, dan dokumen terkait lainnya dan penelitian dokumen; (2) Pemilihan peta dasar, berupa peta rupabumi Indonesia dan/atau citra tegak resolusi tinggi; (3) Pembuatan garis batas di atas peta, proses ini dilakukan dengan delineasi garis batas secara kartometrik melalui tahapan: pembuatan peta kerja, penarikan garis batas desa di atas peta, penentuan titik kartometris, dan peta penetapan batas desa.

Secara teknis, proses penetapan batas desa secara kartometrik di Kabupaten Gunungkidul diawali dengan membuat peta kerja pada skala 1:5.000. Peta kerja dibuat pada citra tegak satelit resolusi tinggi (CSRT) dengan unsur segmen batas desa yang jelas baik dari aspek skala, ketelitian dan kebenaran informasi yang ditampilkan (Joyosumarto, et al., 2013). CSRT merupakan sumber data yang sangat penting dan memudahkan proses penetapan batas desa (Bashit, et al., 2019; Wibowo, et al., 2019; Zarodi, et al., 2019). Hal ini juga didukung oleh peningkatan kemampuan perangkat desa dalam membaca peta dan menginterpretasi citra satelit. Peta kerja menyajikan batas administrasi desa referensi atau batas desa indikatif.

Acuan untuk batas desa indikatif dapat berasal dari berbagai sumber, namun yang paling sering digunakan dan dianggap mendekati batas desa yang sesungguhnya adalah batas desa pada peta Rupa Bumi Indonesia (Pratiwi & Sutanta, 2018). Skala batas referensi dari peta RBI 1:25.000 kurang tepat apabila digunakan untuk membuat peta kerja skala 1:5.000. Perbedaan skalanya terlalu besar. Oleh karena itu, di Kabupaten Gunungkidul batas desa dari Peta RBI hanya digunakan sebagai panduan awal penarikan garis batas indikatif, sebagaimana disampaikan oleh Riadi (2015). Pendetailan penarikan garis batas di peta kerja dilakukan menggunakan batas desa yang terdapat pada Peta Desa Lama.

Batas desa di Kabupaten Gunungkidul terbagi ke dalam batas antar desa dalam satu kecamatan, batas desa yang merupakan batas kecamatan, batas desa yang merupakan batas antar kabupaten dan batas desa yang menjadi batas provinsi. Kabupaten Gunungkidul berbatasan dengan Kabupaten Bantul dan Sleman di DIY, dan berbatasan dengan kabupaten Klaten, Sukoharjo, dan Wonogiri di Provinsi Jawa Tengah. Semua desa

di kabupaten Gunungkidul telah dipetakan pada Peta Desa Lama dengan skala 1:5.000. Peta desa tersebut dibuat pada periode 1936 - 1938. Batas desa dan objek-objek penting yang ada digambarkan secara akurat dan detail. Contoh identitas Peta Desa Lama disajikan pada **Gambar 1**.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. Identitas peta desa lama (a) informasi peta berbahasa Belanda 1936, (b) Peta yang dibuat kantor kasoeltanan (c) dibuat oleh kantor urusan tanah luar kota Jogjakarta.

Gambar 1a menunjukkan informasi peta berbahasa Belanda yang dibuat pada tahun 1936. **Gambar 1b** adalah peta yang dibuat oleh Kantor Kasoeltanan 'Paniti-Kismo' Jogjakarta pada tahun

1937. **Gambar 1c** dibuat oleh Kantor Urusan Tanah Luar Kota Daerah Istimewa pada tahun 1938. Terdapat juga peta-peta hasil penggambaran ulang oleh Djawatan Topografi Angkatan Darat, Kantor BPN, dan Kantor Pajak yang merupakan salinan dari peta desa lama. Peta kerja yang berisi batas desa indikatif digunakan sebagai bahan temu kerja penyepakatan batas desa. Hasil kegiatan memiliki empat kemungkinan yaitu sepakat tanpa perubahan atas batas indikatif (tetap), sepakat sesudah batas indikatif diperbaiki (berubah), sepakat sesudah dilakukan peninjauan lapangan (berubah), dan tidak sepakat.

Saat batas desa indikatif disepakati pada temu kerja, maka terdapat tiga versi batas desa yang tersedia. Versi pertama adalah batas versi kesepakatan yang merupakan batas yang benar. Versi kedua adalah batas dari Peta RBI yang selama ini digunakan oleh pemerintah daerah. Versi ketiga adalah batas di peta kerja yang merupakan hasil interpretasi batas desa pada peta desa lama. Batas versi ketiga ini hanya digunakan pada kegiatan temu kerja penyepakatan batas desa. Dalam penelitian ini, batas pada peta kerja dimasukkan dalam analisis untuk mengevaluasi kemampuan interpretasi pada kondisi lapangan yang beragam.

Pergeseran lokasi segmen batas desa berpengaruh kepada karakteristik segmen batas yang ada. Karakteristik yang dimaksud meliputi lokasi titik temu dan jumlah desa yang batasnya terletak di titik temu, serta perubahan kondisi berbatasan atau tidaknya desa-desa yang ada. Ada kemungkinan dua buah desa dinyatakan berbatasan di suatu versi batas, tetapi hasil kesepakatan menunjukkan bahwa kedua desa tersebut tidak berbatasan. Kondisi sebaliknya juga dapat terjadi. Data luas desa yang selama ini digunakan bersumber dari perhitungan luas di Peta RBI dan Data BPS. Data BPS tentang luas desa dimasukkan dalam publikasi Gunungkidul Dalam Angka yang terbit setiap tahun (Badan Pusat Statistik Kabupaten Gunungkidul, 2019). Secara khusus, luas desa di kabupaten Gunungkidul dimasukkan di publikasi Kecamatan dalam Angka. Terdapat 18 kecamatan di kabupaten Gunungkidul, sehingga data luas desa terdapat di 18 buku yang diterbitkan oleh BPS Kabupaten Gunungkidul. Pergeseran lokasi segmen batas menimbulkan perubahan pada luas desa.

Terdapat desa yang mengalami penambahan luas, dan sebaliknya terdapat desa yang luasnya berkurang. Perubahan luas setiap desa dapat berpengaruh pada luas kecamatan dan luas kabuapten. Luas kabupaten hanya berubah kalau terjadi pergeseran posisi batas desa yang juga merupakan batas kabupaten. Secara hukum, perubahan luas kabupaten dapat diakui kalau Permendagri yang mengatur posisi segmen batas antar kabupaten dalam satu provinsi dan batas antar provinsi yang terletak di batas kabupaten direvisi.

Penelitian ini mengkaji aspek-aspek yang terkait dengan deliniasi batas desa. Aspek pertama yang diteliti adalah perbedaan dan perubahan karakteristik segmen batas. Aspek berikutnya adalah tentang pergeseran garis batas antara garis batas desa yang selama ini digunakan dengan batas hasil kesepakatan. Bagian selanjutnya adalah menganalisis pengaruh lokasi segmen batas dalam proses penyepakatan batas. Aspek terakhir adalah mengevaluasi perbedaan luas wilayah antara data luas wilayah yang digunakan saat ini dengan luas desa hasil kesepakatan dengan.

METODE

Lokasi penelitian ini adalah Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kabupaten Gunungkidul memiliki 18 kecamatan, dan 144 desa. Jumlah segmen batasnya adalah 457 buah, yang terdiri atas 424 segmen batas internal, 14 segmen batas kabupaten di dalam provinsi, dan 19 segmen batas dengan Provinsi Jawa Tengah.

Terdapat dua sumber data awal yang digunakan untuk membuat garis batas indikatif yang digunakan sebagai bahan pembuatan Peta Kerja untuk didiskusikan pada Temu Kerja Penetapan Batas. Sumber data yang pertama adalah batas desa dari Peta Rupabumi skala 1:25.000. Batas desa yang ada di peta RBI ini memang bukan merupakan acuan resmi batas. Sumber data yang kedua adalah peta desa lama yang dibuat pada periode 1932-1938. Garis batas desa yang ada di peta desa lama tersebut digambarkan di atas CSRT yang dibuat oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tahun 2016.

Proses georeferensi dilakukan untuk memberi referensi koordinat pada sebagian peta desa lama. Tidak semua peta desa lama diberi referensi koordinat karena kondisi peta yang bervariasi. Ada peta desa lama yang lengkap satu desa, ada juga yang sudah berupa potongan-potongan kecil di bagian batas. Hasilnya georeferensi tidak selalu akurat, tetapi cukup tepat pada saat disajikan pada CSRT. Peta desa lama yang bergeoreferensi memudahkan proses penarikan garis batas indikatif pada peta kerja.

CSRT yang telah dilengkapi dengan garis batas indikatif, toponim, nama objek penting, dan informasi peta lainnya digunakan sebagai peta kerja. Peta kerja dibagikan ke desa-desa yang menjadi lokasi kegiatan. Pembagian dilaksanakan sekitar satu minggu sebelum pelaksanaan temu kerja supaya dapat dipelajari terlebih dulu.

Informasi toponim dan nama objek penting diperoleh melalui survei lapangan yang dilaksanakan selama tiga bulan. Tim survei sebanyak 18 orang berkeliling merekam koordinat objek dan memotret tampak depan objek tersebut. Objek-objek tersebut meliputi fasilitas pemerintah, pendidikan, sosial, ekonomi, keagamaan, wisata, dan olahraga. Posisi objek-objek tersebut

membantu proses identifikasi lokasi batas pada saat temu kerja penyepakatan batas.

Temu kerja penyepakatan batas desa dilaksanakan di setiap kecamatan dengan mengundang perangkat desa di kecamatan tersebut dan desa-desa yang berbatasan, baik di kecamatan lain, kabupaten lain, maupun provinsi Jawa Tengah. Jika batas desa juga merupakan batas kabupaten atau provinsi, maka pemerintah kabupaten tetangga juga diundang untuk hadir dalam temu kerja.

Batas indikatif pada peta kerja dapat disepakati langsung, baik dengan atau tanpa perubahan di temu kerja. Lebih dari 90% batas indikatif dapat disepakati langsung di temu kerja. Jika tidak terdapat kesepakatan, maka dilakukan peninjauan lapangan. Untuk batas yang belum disepakati dan lokasinya berdekatan dengan kantor kecamatan, peninjauan lapangan dilakukan diantara waktu temu kerja. Apabila lokasinya jauh, peninjauan lapangan dilakukan pada hari lain. Hasil peninjauan lapangan dibawa lagi untuk disepakati secara formal di temu kerja tahap kedua. Pada saat kegiatan berakhir, terdapat dua segmen batas yang belum bisa disepakati.

Segmen batas pertama adalah antara Desa Jatiayu di Kecamatan Karangmojo dan Desa Watusigar di Kecamatan Ngawen. Ketidaksepakatan terjadi pada seluruh batas yang panjangnya 1.500 m. Lebar wilayah tumpang-tindih antara 12-20 m. Persoalan tumpang-tindih klaim antara kedua desa ini sudah berlangsung selama puluhan tahun. Masalah batas ini sudah diselesaikan oleh Bupati Gunungkidul pada pertengahan tahun 2019. Segmen batas kedua yang belum bisa disepakati adalah antara Desa Girijati di Gunungkidul dengan Desa Parangtritis di Kabupaten Bantul. Sengketa terjadi pada bagian kecil batas sepanjang sekitar 600 m. Persoalan sudah berhasil diselesaikan di akhir tahun 2019.

Penyelesaian kegiatan menghasilkan tiga jenis data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu batas desa dari Peta RBI yang memiliki skala 1:25.000, serta peta kerja dan peta hasil kesepakatan yang memiliki skala 1:5.000. Pada kegiatan perbandingan luas wilayah desa, ditambahkan satu data lagi yaitu data luas wilayah dari BPS Kabupaten Gunungkidul. Pengolahan data spasial yang dilakukan dimulai dengan menampilkan tiga versi garis batas dengan simbol warna yang berbeda untuk diamati secara visual.

Pengamatan visual ini untuk mengidentifikasi lokasi terjadinya perbedaan posisi antara garis batas pada Peta RBI dan peta kerja dengan hasil kesepakatan. Karakteristik segmen batas yang ada diklasifikasi dan dihitung. Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah segmen batas yang bergeser, jenis segmen batas, dan objek yang dilalui segmen batas. Pengamatan objek yang dilalui garis batas dilakukan dengan memanfaatkan unsur-unsur

intepretasi visual. Hasil pengamatan kemudian dilengkapi dengan perhitungan besar perbedaan atau pergeseran.

Perhitungan pergeseran segmen batas dilakukan dengan menggunakan metode jarak *eucledian*. Segmen batas diubah dari *polyline* menjadi *point* dengan interval 5 m. Interval ini dipilih karena sesuai dengan jarak minimal yang dapat ditunjukkan pada skala 1:5.000. Perubahan dari *polyline* ke *point* dilakukan untuk mengetahui jarak terjauh pergeseran setiap segmen batas. Dalam hal perhitungan pergeseran, segmen yang digunakan sebagai acuan adalah segmen batas hasil kesepakatan di Kabupaten Gunungkidul 2018. Perhitungan pergeseran disajikan sampai tingkat meter.

Pengolahan berikutnya adalah perhitungan perbedaan luas wilayah desa antara luas menurut Peta RBI dan data BPS dengan luas hasil kesepakatan. Metode perhitungannya sama dengan yang dilakukan oleh Pratiwi dan Sutanta (2018). Hasil perhitungan luas disajikan sampai dua desimal hektar atau pada tingkat 100 m². Perbedaan luas dihitung untuk tingkat desa dan kabupaten.

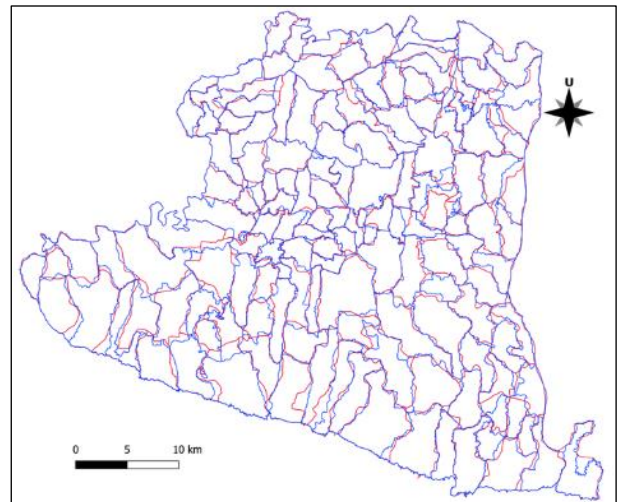
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini disajikan dalam empat bagian. Bagian pertama mengenai identifikasi jumlah segmen batas berdasarkan data RBI dan data hasil identifikasi dari peta desa lama dengan data hasil kesepakatan. Bagian kedua membahas pergeseran segmen batas terhadap batas kesepakatan. Bagian ketiga membahas mengenai lokasi dominan yang dilalui setiap segmen batas. Bagian terakhir mendiskusikan perubahan luas wilayah administrasi desa. Penggambaran garis batas dalam peta-peta menggunakan simbol sebagai berikut: biru untuk hasil kesepakatan, ungu untuk peta kerja, dan merah untuk peta RBI. Penyingkatan istilah yang digunakan adalah KSP untuk peta batas hasil kesepakatan, PKJ untuk Peta Kerja, dan RBI untuk Peta Rupabumi Indonesia. Dalam visualisasi peta-peta di makalah ini, garis batas Peta RBI disajikan dengan warna merah, garis batas pada peta kerja disajikan dengan warna ungun, sedangkan garis batas hasil kesepakatan disajikan dengan warna biru.

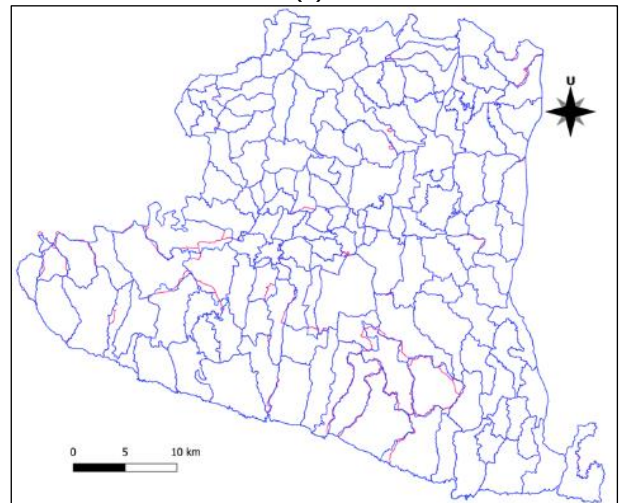
Karakteristik segmen batas

Identifikasi jumlah segmen batas dilakukan terhadap ketiga tipe segmen batas. Ketiga jenis segmen batas ditumpang susunkan dan diberi warna yang berbeda. Tahap pertama adalah menumpang susunkan batas desa hasil kesepakatan skala 1:5.000 dengan batas dari Peta RBI skala 1:25.000. Tahap kedua adalah menumpang susunkan batas desa hasil kesepakatan dengan batas desa hasil interpretasi dari peta desa

lama. Visualisasinya disajikan pada **Gambar 2a** dan **Gambar 2b**.



(a)



(b)

Gambar 2. Tumpang susun batas desa hasil kesepakatan dengan Peta RBI (a), dan dengan peta kerja (b).

Gambar 2a menunjukkan bahwa semua segmen batas desa di Peta RBI skala 1:25.000 mengalami pergeseran. Perbedaan skala yang signifikan merupakan salah satu faktor penting penyebab pergeseran ini. Faktor lain adalah bahwa delineasi batas desa di Peta RBI skala 1:25.000 tidak dilakukan dengan proses penyepakatan antar desa yang bersebelahan. Di samping itu, yang perlu ditekankan adalah bahwa batas wilayah administrasi yang ada di Peta RBI bukan merupakan, dan tidak untuk digunakan untuk acuan resmi batas wilayah. Ketiadaan sumber data lain yang bisa diacu membuat banyak pemerintah daerah tidak memiliki pilihan lain. Peta batas administrasi yang ada di Peta RBI terpaksa digunakan sebagai batas yang dianggap benar untuk kegiatan administrasi kewilayahan, misalnya dalam penyusunan rencana tata ruang.

Perbedaan lokasi garis batas pada peta kerja (**Gambar 2b**) hanya terjadi di beberapa tempat.

Perbedaan yang jelas terlihat terjadi di Kecamatan Tepus dan Kecamatan Semin. Di Kecamatan Tepus, perbedaan terjadi di enam desa dengan jumlah segmen sebanyak 14 buah. Perbedaan yang terjadi di Kecamatan Semin terdapat di 1 desa dengan jumlah segmen batas dua buah. Batas desa di Kecamatan Tepus lebih banyak yang berupa objek-objek alam, seperti punggung bukit dan lembah. Hal ini berbeda dengan sebagian besar segmen batas di kecamatan lain yang berupa campuran antara objek alam dan objek buatan manusia yang mudah diidentifikasi, seperti jalan, dan sungai. Kemampuan interpretasi terhadap garis batas pada peta desa lama dan kemampuan menarik garis batas indikatif pada CSRT tampak dipengaruhi oleh kondisi topografi tersebut.

Perbedaan posisi segmen batas tersebut berpengaruh terhadap informasi "segmen yang saling berbatasan" di setiap data. Segmen batas merupakan hal yang penting sehingga idealnya dari data apapun memiliki persamaan informasi mengenai hal tersebut. Segmen yang menunjukkan bahwa desa a dan desa b berbatasan pada satu versi peta seharusnya juga digambarkan sama pada peta versi lainnya. Hasil kesepakatan menunjukkan terdapat 457 segmen yang berbatasan, lebih banyak dari versi Peta RBI dan Peta Kerja. Rincian segmen batas disajikan dalam **Tabel 1**.

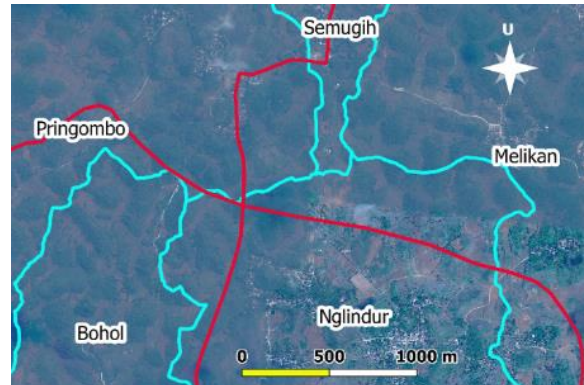
Tabel 1. Hasil identifikasi segmen batas desa.

Jenis segmen	RBI	PKJ	KSP
Berbatasan	443	455	457
Tidak berbatasan	18	12	11
Titik temu	8	2	1
Jumlah	469	469	469

Berdasarkan **Tabel 1** segmen batas hasil kesepakatan dengan peta kerja hanya memiliki perbedaan dua segmen pada segmen yang saling berbatasan, sedangkan dengan RBI memiliki selisih sebanyak 14 segmen. Selisih segmen yang tidak berbatasan antara peta kerja dengan kesepakatan hanya satu segmen, sedangkan pada peta RBI memiliki terdapat enam segmen. Segmen yang berupa titik temu pada peta RBI memiliki selisih sebanyak 6 segmen baik terhadap hasil kesepakatan maupun peta desa lama.

Peta RBI skala 1:25.000 memiliki keterbatasan dalam menyajikan segmen batas yang pendek. Segmen batas yang pendek disajikan sebagai titik temu, bukan sebagai segmen batas. Dampaknya adalah jumlah desa yang berbatasan menjadi lebih sedikit dari pada yang seharusnya. Salah satu contoh batas desa dalam Peta RBI yang berupa titik temu namun dalam hasil kesepakatan dan peta desa lama merupakan segmen garis batas disajikan pada **Gambar 3**. Menurut Peta RBI, batas antara Desa Semugih dengan Nglindur hanya berupa titik pertemuan. Titik pertemuan tersebut menghubungkan empat buah desa sekaligus. Namun hasil kesepakatan antara Desa Semugih

dengan Desa Nglindur menyatakan bahwa terdapat segmen batas dengan panjang 321,6 m. Data batas wilayah administrasi yang tersedia sebelumnya belum menunjukkan informasi yang sesuai kondisi di lapangan. Data segmen batas yang memiliki perbedaan di setiap versi segmen batas ditunjukkan dalam **Tabel 2**.



Gambar 3. Segmen batas antara Desa Semugih dan Desa Nglindur.

Tabel 2. Perbedaan segmen batas antara hasil kesepakatan, peta desa lama dan RBI.

No.	Desa 1	Desa 2	RBI	PKJ	KSP
1	Baleharjo	Pacarejo	TT	B	B
2	Baleharjo	Kepek	TT	B	B
3	Kedungpoh	Pilangrejo	TB	B	B
4	Kedungpoh	Mertelu	TB	B	B
5	Katongan	Mertelu	B	TB	TB
6	Katongan	Hargomulyo	B	TB	TB
7	Natah	Jurangjero	B	TB	TB
8	Getas	Dlingo	B	TB	TB
9	Logandeng	Siraman	TB	B	B
10	Banyusoca	Grogol	TB	B	B
11	Bleberan	Karangduwet	B	TB	TB
12	Nglegi	Girmimulyo	TT	TT	B
13	Nglanggeran	Beji	B	TB	TB
14	Putat	Salam	TB	B	B
15	Karangasem	Jetis	TB	TB	B
16	Giriharjo	Girimulyo	TT	B	TT
17	Purwodadi	Sumberwungu	TB	B	B
18	Giripanggung	Balong	TB	B	B
19	Bejiharjo	Piyaman	TT	B	B
20	Ngawis	Ngipak	TB	B	B
21	Ngipak	Ponjong	B	TB	TB
22	Sawahana	Kenteng	B	TB	TB
23	Sawahana	Ngandong	B	TB	TB
24	Tambakromo	Pundungsari	TB	B	B
25	Karangasem	Karangwuni	TB	B	B
26	Sidorejo	Genjahan	TB	B	B
27	Pringombo	Nglindur	TT	B	B
28	Semugih	Nglindur	TB	B	B
29	Candirejo	Karangwuni	B	TB	TB
30	Sambirejo	Bendung	TT	B	B
31	Sambirejo	Krajan	TT	B	B
32	Tegalrejo	Kampung	TB	B	B
33	Serut	Kerten	TB	B	B
34	Kepek	Karangduwet	B	TB	TB
35	Jepitu	Pringombo	TB	B	B
36	Songbanyu	Ketos	TB	B	B
37	Giriasih	Seloharjo	TB	B	B

Keterangan:

TT: Titik temu, TB: Tidak Berbatasan, dan B: Berbatas

Perbedaan jenis segmen batas antara Peta RBI dan Kesepakatan terjadi pada 37 segmen. Secara rinci perbedaan terdiri atas 7 Titik Temu yang

ternyata merupakan garis batas, 18 segmen yang dianggap tidak berbatasan walaupun sesungguhnya berbatasan, 11 segmen yang diklasifikasikan berbatasan tetapi hasil kesepakatan menyatakan tidak berbatasan. Persamaan antara Peta RBI dan hasil kesepakatan terjadi di titik temu antara Desa Giriharjo, Giriwungu, Girimulyo, dan Girisuko. Walaupun Peta RBI dan kesepakatan mengklasifikasikannya sebagai titik temu, tetapi lokasinya berbeda. Titik temu kesepakatan terletak sejauh 320 m di sebelah timur titik temu menurut peta RBI. Pada titik temu ini, di peta kerja batas digambarkan terdapat batas antara Desa Giriharjo dan Girimulyo. Dalam hal karakteristik batas, hanya di lokasi ini terdapat perbedaan antara peta kerja dengan hasil kesepakatan.

Pergeseran segmen batas

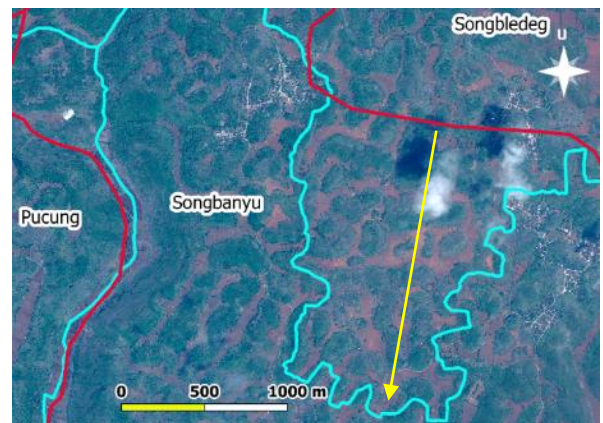
Proses tumpang susun menunjukkan bahwa terdapat perubahan posisi garis batas yang dianggap sebagai batas pada kedua tipe segmen batas yang diuji. Perubahan segmen batas selanjutnya akan disebut sebagai pergeseran baik dari data RBI menuju hasil kesepakatan maupun peta desa lama menuju hasil kesepakatan. Pergeseran segmen batas diidentifikasi dengan menggunakan jarak *euclidian* atau jarak antar titik.

Perbedaan skala dari batas versi peta RBI versi batas dan hasil kesepakatan menghasilkan rentang pergeseran yang cukup jauh. Pergeseran yang terjadi pada segmen batas RBI menuju hasil kesepakatan berada pada rentang 10 – 1.772 m sedangkan pergeseran segmen batas peta desa lama menuju hasil kesepakatan berada pada rentang 19 – 997 m.

Nilai acuan dalam perhitungan pergeseran mengacu pada ketelitian horizontal skala peta RBI 1:25.000. Dalam SNI Tahun 2010 tentang Penyajian Peta Rupa Bumi skala 1:25.000 ketelitian horizontal untuk peta skala tersebut adalah 7,5 m yang diperoleh dari nilai ketelitian sebesar 0,3 mm dan dikalikan dengan nilai skala peta. Segmen yang memiliki nilai di bawah 7,5 m ini dianggap tidak mengalami pergeseran. Sebaliknya, pergeseran yang nilainya sampai 1.700 m menunjukkan bahwa segmen batas tersebut memang tidak berada pada, atau dekat dengan, posisi yang seharusnya.

Pergeseran terbesar yang terjadi antara segmen batas peta RBI dengan hasil kesepakatan terjadi pada segmen batas antara Desa Songbanyu Kecamatan Girisubo, Kabupaten Gunungkidul dan Desa Songbledeg Kecamatan Pracimantoro, Kabupaten Wonogiri (lihat **Gambar 4**). Batas menurut Peta RBI berupa garis yang relatif lurus, masuk ke wilayah Kabupaten Wonogiri. Batas hasil kesepakatan memiliki posisi lain dan tingkat kedetailan yang lebih tinggi. Garis batas yang

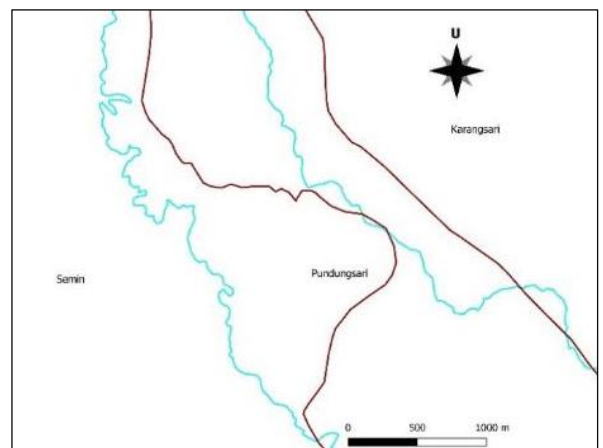
semula berupa garis lurus menjadi garis dengan 46 titik belok.



Gambar 4. Pergeseran garis batas RBI dan hasil kesepakatan di Desa Songbanyu dan Songbledeg.

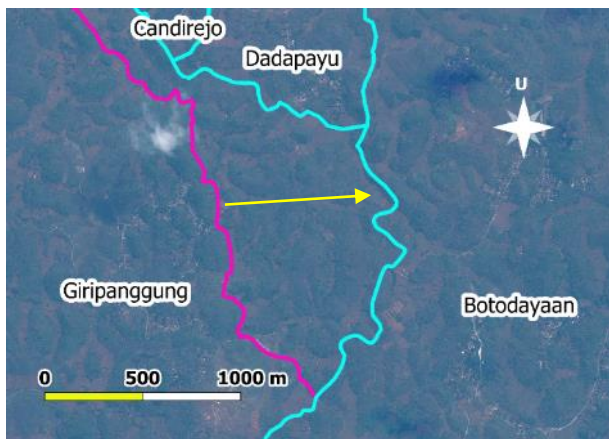
Pergeseran tersebut menyebabkan adanya perbedaan panjang segmen batas desa kedua desa tersebut. Pada Segmen batas RBI panjang segmen antara Desa Songbanyu dengan Desa Songbledeg adalah 5.927 m sedangkan pada hasil kesepakatan menjadi 14.147 m. Segmen batas hasil kesepakatan panjangnya lebih dari dua kali lipat panjang segmen batas dari segmen batas Peta RBI. Hasil tersebut menunjukkan bahwa skala sangat berpengaruh terhadap kedetailan informasi yang ditunjukkan, baik lokasi yang dilalui segmen batas hingga bentuk serta panjang segmen batas tersebut.

Di tempat lain terdapat pergeseran yang nilainya lebih kecil (1.300 m) tetapi sampai melebihi wilayah desa di sebelahnya. Desa Semin berbatasan dengan Desa Pundungsari yang terletak di sebelah timurnya. Di sebelah timur Desa Pundungsari terdapat Desa Karang Sari. Ketiga desa ini terletak di Kecamatan Semin. Batas desa hasil kesepakatan menunjukkan bahwa batas Desa Semin versi Peta RBI masuk jauh ke wilayah Pundungsari, dan bahkan melintasinya hingga masuk ke Desa Karang Sari sejauh sekitar 20 meter (**Gambar 5**).



Gambar 5. Pergeseran batas Desa Semin.

Pergeseran segmen terbesar pada peta kerja menuju hasil kesepakatan terjadi antara Desa Giripanggung Kecamatan Tepus dengan Desa Botodayaan Kecamatan Rongkop yaitu sebesar 997 m. Gambar pergeseran segmen disajikan pada **Gambar 6**. Batas desa di wilayah tersebut melewati punggung dan lembah bukit-bukit kecil di Pegunungan Seribu. Perangkat desa bisa mengenali lokasi batas yang melewati punggung bukit atau lembah dengan mudah, tidak harus menggunakan visualisasi 3D seperti yang digunakan oleh Bowo, et al (2019). Kondisi ini karena pengenalan wilayah dan kemampuan membaca peta yang cukup baik. Banyak ditemui perangkat desa yang berusia muda dengan pendidikan setingkat sarjana yang mampu membaca peta kerja dengan baik.



Gambar 6. Pergeseran segmen batas peta kerja dan hasil kesepakatan antara Desa Giripanggung dan Desa Botodayaan.

Penanda alam seperti sungai dan penanda buatan tidak banyak tersedia. Kondisi tersebut ditemui pada interpretasi CSRT 2006 maupun peta desa lama. Kondisi permukaan bumi yang digambarkan pada peta desa lama yang dibuat sekitar tahun 1930-an memiliki unsur buatan yang jauh lebih sedikit dibandingkan saat ini. Kondisi-kondisi tersebut menyebabkan terjadinya kesalahan interpretasi peta desa lama dan CSRT sehingga batas indikatif yang digunakan dalam peta kerja penyepakatan batas desa mengalami pergeseran yang cukup jauh.

Pergeseran kedua versi segmen batas antara tersebut selanjutnya dikelompokkan menjadi lima jenis, yaitu segmen yang tidak mengalami pergeseran, segmen dengan pergeseran kecil, pergeseran sedang, segmen dengan pergeseran besar, dan tidak diperhitungkan. Kelas tidak diperhitungkan berisi segmen batas yang memiliki perbedaan status dengan data pembanding, yaitu peta hasil kesepakatan. Jika data kedua segmen atau salah satu pembanding berstatus "tidak berbatasan" serta salah satu berstatus "titik temu" maka perhitungan pergeseran tidak dilakukan. Pembuatan rentang tersebut berdasarkan ketelitian horizontal dan skala peta.

Pada kelas yang tidak mengalami pergeseran berisi segmen yang memiliki nilai pergeseran kurang dari nilai ketelitian horizontal RBI skala 1:25.000 yaitu <7,5 m. Kelas kedua yaitu pergeseran kecil berada pada rentang antara 7,5 – 250 m. Nilai 250 m didasarkan pada skala peta RBI 1:25.000, setiap 1 cm dipeta mewakili 250 m di lapangan. Kelas ketiga merupakan kelas dengan pergeseran sedang yaitu berada pada rentang 250,1 – 500 m. Kelas pergeseran besar merupakan segmen yang mengalami pergeseran di atas 500 m. Rentang ini digunakan untuk mengetahui berapa jumlah segmen yang berada pada pergeseran di setiap kelas. Hasil klasifikasi pergeseran segmen batas ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Klasifikasi pergeseran segmen

Kelas	Rentang (m)	Jumlah segmen	
		RBI	PKJ
Tidak bergeser	< 7,5	2	422
Pergeseran kecil	7,5 – 250	118	21
Pergeseran sedang	250 – 500	126	4
Pergeseran besar	> 500	185	8
Tidak diperhitungkan	-	38	14
Jumlah		469	469

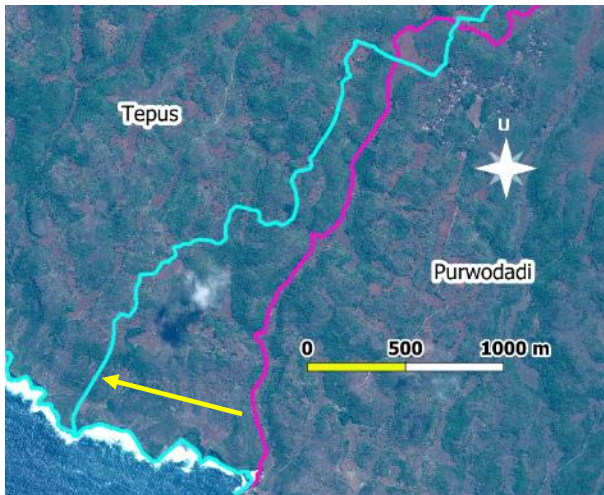
Segmen batas dari Peta RBI mengalami pergeseran segmen batas terbanyak pada rentang di atas 500 m. Hal tersebut disebabkan karena perbedaan skala yang terlalu jauh dari peta RBI dengan hasil kesepakatan. Akibatnya segmen batas pada Peta RBI tidak menunjukkan lokasi yang seharusnya. Batas desa indikatif dari interpretasi peta desa lama yang tidak mengalami pergeseran sebanyak 422 segmen atau 93%. Hanya 4% segmen batas indikatif yang mengalami pergeseran sedang atau besar. Hasil ini menunjukkan bahwa batas desa yang terdapat pada peta desa lama yang dibuat pada tahun 1930-an dengan skala 1:5.000 memiliki akurasi yang tinggi. Di sisi lain, interpretasi terhadap peta desa lama untuk membuat batas indikatif tersebut juga sangat baik.

Pengaruh lokasi segmen batas

Delineasi segmen batas di Kabupaten Gunungkidul dilakukan secara kartometrik menggunakan CSRT sebagai peta dasarnya. Dalam menentukan segmen batas indikatif digunakan peta desa lama sebagai sumber data yang diidentifikasi dan kemudian digambarkan di atas CSRT. Hasil identifikasi yang telah dilakukan pada seluruh segmen didominasi oleh objek alami. Objek alami yang dilalui berupa sungai, kehutanan, area perbukitan, dan area persawahan.

Topografi kabupaten Gunungkidul didominasi oleh objek alami berupa area perbukitan di bagian selatan. Kondisi wilayah yang hampir sama menyebabkan identifikasi lokasi batas menjadi sulit dilakukan baik pada peta RBI maupun peta kerja.

Hal tersebut menjadi salah satu faktor yang juga berpengaruh terhadap pergeseran segmen batas selain skala. Hal ini terbukti pada hasil identifikasi segmen dari peta kerja dengan hasil kesepakatan. Masih terdapat delapan segmen yang mengalami pergeseran diatas 500 m. Salah satu segmen peta kerja yang mengalami pergeseran besar adalah antara Desa Tepus dengan Desa Purwodadi (**Gambar 7**). Pergeseran yang terjadi di daerah tersebut tidak hanya jauh tetapi juga memiliki bentuk geometri yang berbeda.



Gambar 7. Pergeseran garis batas di peta kerja dengan hasil kesepakatan di wilayah perbukitan.

Batas antara Desa Tepus dan Purwodadi terletak di daerah perbukitan yang terletak di dekat pantai. Objek buatan manusia, seperti jalan dan saluran irigasi, hampir tidak ada. Hanya pematang tegalan yang berada di lembah dan lereng bukit yang dapat ditemukan. Pada saat melakukan interpretasi desa lama, batas indikatif disesuaikan dengan batas alam yang paling mungkin digunakan sebagai batas desa. Contohnya adalah punggung bukit dan lembah. Pemilihan fitur alam tersebut sudah sesuai, tetapi ternyata posisi garis batas yang disepakati berada pada lokasi yang cukup jauh dari garis batas indikatif. Terdapat kesamaan bentuk umum garis batasnya, tetapi orientasi dan posisinya berbeda. Kondisi ini cukup sering ditemui di wilayah pegunungan. Kondisi di luar DIY, apalagi di luar Pulau Jawa memiliki tantangan seperti ini dengan tingkat kesulitan yang lebih tinggi.

Perbedaan luas wilayah

Salah satu hasil yang diperoleh dari kegiatan penetapan dan penegasan batas desa adalah luas wilayah administrasi desa dengan skala 1:5.000. Luas wilayah administrasi desa saat ini menjadi penting karena merupakan salah satu aspek dalam perhitungan dana alokasi desa. Dalam penelitian ini dibandingkan luas hasil kesepakatan, luas RBI serta ditambah dengan data luas yang diperoleh dari BPS Gunungkidul. Metode perbandingan yang

digunakan sama dengan yang dikerjakan oleh Pratiwi & Sutanta, (2018) untuk luas desa di Kabupaten Kulon Progo.

Perbedaan luas di setiap desa tidak selalu membuat perbedaan luas untuk Kabupaten Gunungkidul. Perbedaan luas kabupaten dipengaruhi perubahan posisi segmen batas dengan Kabupaten Bantul, Sleman, Klaten, Sukoharjo, dan Wonogiri. Terdapat beberapa lokasi yang segmen batas kabupatennya mengalami pergeseran akibat proses pendetailan yang dilakukan. Acuan perhitungan perubahan luas yang digunakan adalah batas hasil kesepakatan. Hasil perhitungan luas wilayah Kabupaten Gunungkidul disajikan dari ketiga data disajikan dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Perbedaan luas kabupaten.

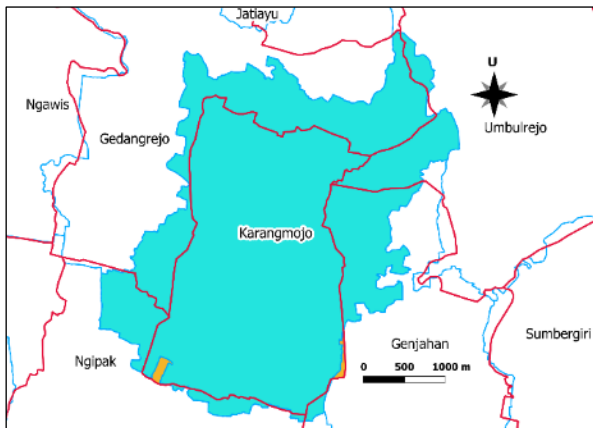
	RBI	BPS	KSP
Luas (Ha)	147.982,84	147.962,31	147.693,08
Selisih (Ha)	289,76	269,23	-
Persentase	0,20	0,18	-

Berdasarkan perhitungan, luas wilayah Kabupaten Gunungkidul hasil kesepakatan mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan oleh pergeseran garis batas kabupaten. Luas Kabupaten Gunungkidul hasil kegiatan penyepakatan batas desa merupakan yang paling kecil. Jika dibandingkan dengan luas menurut Peta RBI nilainya 289,76 Ha lebih kecil, dan 269,23 Ha lebih kecil dibandingkan dengan data dari BPS. Dalam persentase, luas berdasarkan batas desa hasil kesepakatan lebih kecil dari 0,20% dibandingkan dengan luas versi Peta RBI dan data BPS.

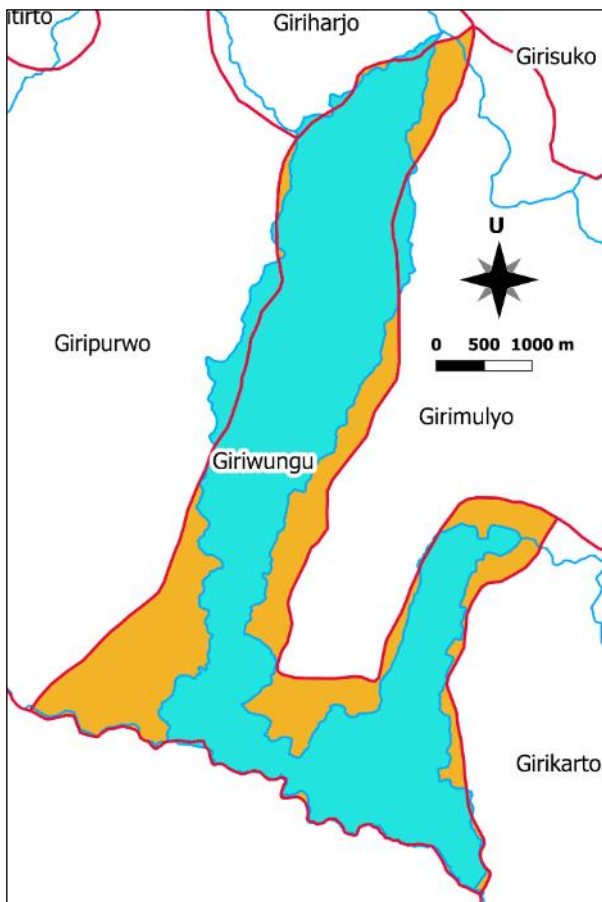
Luas wilayah desa bervariasi, dari yang paling kecil sebesar 177,80 hektar untuk Desa Sodo Kecamatan Paliyan sampai ke 2.828,12 hektar untuk Desa Pacarejo Kecamatan Semanu. Rata-rata luas desa di Kabupaten Gunungkidul adalah 1.025,65 hektar. Luas wilayah desa di Kabupaten Gunungkidul mengalami penambahan dan juga pengurangan jika dibandingkan dengan data dari Peta RBI dan BPS. Apabila dibandingkan dengan data dari Peta RBI sebanyak 71 desa mengalami penambahan luas wilayah dan sebaliknya 73 desa mengalami penurunan luas wilayah. Hasil perbandingan antara data luas wilayah hasil kesepakatan dengan data BPS menghasilkan sebanyak 67 desa mengalami penambahan luas dan sebaliknya 77 desa mengalami penurunan luas wilayah.

Penambahan luas wilayah administrasi desa terbesar dialami oleh Desa Karangmojo, Kecamatan Karangmojo yang mengalami penambahan luas wilayah sebesar 508,86 Ha, dari semula 663,33 Ha menjadi 1.172,19 Ha. Desa yang mengalami penurunan luas terbesar dari hasil perbandingan antara data Peta RBI dengan hasil kesepakatan adalah Desa Giriwungu Kecamatan Panggang sebesar 427,79 Ha, dari 1.552,04 Ha menjadi

1.124,21 Ha. Visualisasi penambahan luas wilayah disajikan pada **Gambar 8**, sedangkan pengurangan ditunjukkan dalam **Gambar 9**. Wilayah Desa Karangmojo dalam Peta RBI dibatasi oleh garis batas berwarna merah. Wilayah desa hasil kesepakatan dibatasi oleh garis biru dengan arsiran warna biru. Perubahan luas yang sangat signifikan, sebesar 77%, tampak dengan jelas pada **Gambar 8** tersebut.



Gambar 8. Penambahan luas wilayah antara batas RBI dan hasil kesepakatan di Desa Karangmojo.



Gambar 9. Pengurangan luas wilayah antara batas RBI dan hasil kesepakatan di Desa Giriwungu.

Besarnya perubahan luas setiap desa bervariasi, dari beberapa hektar sampai beberapa ratus hektar. Secara absolut perubahan luas, baik penambahan

maupun pengurangan, dapat diklasifikasi ke dalam beberapa kelompok seperti disajikan pada **Tabel 5**. Peta RBI dan Data BPS memiliki satu desa yang perbedaan luasnya lebih dari 500 hektar. Desa yang memiliki perbedaan luas lebih dari 500 hektar tersebut berbeda, yaitu Desa Karangmojo Kecamatan Karangmojo di Peta RBI dan Desa Beji Kecamatan Patuk untuk Data BPS. Kedua desa tersebut memiliki luas yang jauh berbeda dibandingkan kedua jenis data pembandingnya. Mayoritas desa memiliki selisih luas antara 10 – 100 hektar, baik di Peta RBI maupun di Data BPS. Data BPS memiliki lebih banyak jumlah desa yang selisih luasnya kurang dari 10 hektar. Perubahan luas yang terjadi memiliki proporsi yang beragam, tergantung kepada luas awal dan luas wilayah hasil kesepakatan. Persentase perubahan luas disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 5. Klasifikasi perubahan luas dalam hektar.

Perubahan luas (Ha)	Peta RBI	Data BPS
> 500	1	1
400 – 500	2	1
300 – 400	3	4
200 – 300	12	4
100 – 200	39	18
10 – 100	78	81
< 10	9	35

Tabel 6. Perubahan luas dalam persentase.

Perubahan luas (%)	Peta RBI	Data BPS
70 – 80	2	-
60 – 70	-	1
50 – 60	-	1
40 – 50	-	-
30 – 40	3	3
20 – 30	13	5
10 – 20	49	18
< 10	77	117

Persentase perubahan luas yang terbesar terdapat di Desa Bulurejo Kecamatan Semin sebesar 79,26%. Persentase yang besar ini terjadi karena luas Desa Bulurejo yang relatif kecil, yaitu 415,68 hektar yang merupakan urutan ke-132 dalam luas desa di Kabupaten Gunungkidul. Luas awal yang dihitung dari Peta RBI adalah 231,88 hektar. Persentase perubahan luas terbesar pada Data BPS terdapat di Desa Beji Kecamatan Patuk sebesar 52,71%. Desa Beji berada pada urutan ke-124 dalam hal luas wilayah desa. Data BPS menyebutkan bahwa luas desa tersebut adalah 1.010,80 hektar, sedangkan luas hasil kesepakatan adalah 475,05 hektar. Walaupun terdapat perubahan luas yang persentasenya cukup tinggi, sebagian besar desa di Kabupaten Gunungkidul hanya mengalami perubahan luas yang nilainya kurang dari 10%. Situasi ini terjadi baik di Peta RBI ataupun Data BPS.

KESIMPULAN

Ketersediaan batas wilayah administrasi desa yang bersifat definitif masih sedikit. Akibatnya banyak pemerintah daerah yang menggunakan data apapun yang menunjukkan batas desa, misalnya Peta RBI. Hal ini terpaksa dilakukan walaupun di dalam Peta RBI sudah dinyatakan bahwa batas yang digambarkan bukan merupakan acuan resmi batas wilayah administrasi. Batas yang belum definitif seperti itu memiliki beberapa kelemahan dan kekurangan. Pada aspek posisi, batas sementara tersebut mengalami pergeseran yang cukup signifikan. Pengaruh pergeseran ini terletak pada letak titik temu batas antara tiga atau empat desa, berbatasan atau tidaknya dua buah desa, serta panjang segmen batas. Dampak selanjutnya yang ditemukan adalah perubahan luas desa. Perubahan luas yang terjadi di Kabupaten Gunungkidul memiliki nilai yang signifikan, baik dilihat dari besaran absolutnya maupun dari persentasenya. Perubahan luas juga terjadi di tingkat kabupaten, walaupun nilainya relatif kecil yaitu kurang dari 300 hektar atau sekitar 0,2%.

Dalam kegiatan penetapan batas di Kabupaten Gunungkidul identifikasi batas peta desa lama relatif mudah dilakukan untuk sebagian besar desa. Penarikan garis batas indikatif di atas CSRT menghasilkan peta kerja yang akurasinya tinggi. Sebanyak 93% garis batas indikatif pada peta kerja diklasifikasikan tidak bergeser. Hanya 8 segmen batas (1,75%) yang memiliki pergeseran besar. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan penggunaan peta desa lama yang sudah dikenal baik oleh perangkat desa sangat membantu dalam kegiatan penetapan batas desa di Kabupaten Gunungkidul. Seluruh segmen batas yang disepakati mengacu pada peta desa lama tersebut. Namun demikian, ketersediaan peta desa lama belum tentu dimiliki oleh seluruh wilayah desa di Indonesia, sehingga penggunaan data RBI tetap relevan dan penting. Penggunaan data tambahan dapat pula berupa Undang-undang Pembentukan Daerah (UUPD) atau dokumen lain yang menjelaskan tentang wilayah desa serta dengan tambahan foto udara dan CSRT yang memadai untuk memudahkan identifikasi secara kartometrik. Peta lain yang dapat digunakan sebagai acuan pembuatan peta kerja adalah peta-peta yang diproduksi oleh Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional.

Pergeseran dan perubahan segmen batas pada peta yang memiliki skala yang berbeda merupakan hal yang wajar. Apabila garis batas desa pada skala besar sudah disepakati dan ditetapkan secara resmi, peta lain diharapkan segera menyesuaikan. Penggunaan batas desa yang bersifat sementara dan belum resmi perlu segera dikurangi dan diganti dengan batas yang resmi. Data mengenai luas desa yang berubah akibat perubahan posisi garis batas desa perlu ditindaklanjuti secara resmi. Hal ini

terutama terkait dengan alokasi dana untuk desa yang salah satu parameternya adalah luas desa. Mengingat desa-desa yang memiliki batas wilayah administratif yang bersifat definitif masih relatif sedikit, maka proses ini perlu dipercepat. Hal ini untuk meningkatkan akurasi perencanaan pembangunan dan menghindari potensi konflik yang mungkin terjadi. Partisipasi aktif dari pemerintah provinsi, seperti yang dilakukan di DIY, dan pemerintah kabupaten/kota perlu didorong dan ditingkatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dinas Pertanahan dan Tata Ruang Provinsi Yogyakarta yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk terlibat dalam kegiatan delineasi batas desa di Kabupaten Gunungkidul. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Tenaga Ahli dari Departemen Teknik Geodesi yang terlibat dalam kegiatan ini. Penghargaan disampaikan kepada tim operator PPIDS UGM yang terdiri atas Annisaa Mayangsari, Dwi Kuswiwin, Dwi Wahyuningrum, dan Siti Noor Chayati.

DAFTAR PUSTAKA

- Asadi, A. (2016). Penataan Batas Wilayah Administrasi Desa, Hambatan dan Alternatif Solusi dengan Pendekatan Geospasial. *Jurnal Borneo Administrator*, 12(2), 131-147. <https://doi.org/https://doi.org/10.24258/jba.v12i2.237>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Gunungkidul. (2019). *Kabupaten Gunungkidul dalam Angka 2019* (edisi kedua). Gunungkidul: BPS Badan Pusat Statistik Kabupaten Gunungkidul.
- Bashit, N., Prasetyo, Y., Firdaus, H. S., & Amarrohman, F. J. (2019). Penetapan Batas Desa Secara Kartometrik Menggunakan Citra Quickbird. *Jurnal Pasopati*, 1(1), 9-15. Retrieved from <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pasopati>
- Hasudungan, T. M., & Sujianto. (2012). Evaluasi Kebijakan Penetapan Batas Desa. *Jurnal Administrasi Pembangunan*, 1(1), 65-70. Retrieved from <https://jap.ejournal.unri.ac.id/index.php/JAP/article/view/875/868>
- Joyosumarto, S., Hadiyatno, L., & Batubara, H. (2013). Akselerasi Penegasan Batas Daerah di Indonesia dengan Metode Kartometris. *Forum Ilmiah Tahunan Ikatan Surveyor Indonesia 2013*, 1-8. Yogyakarta: Ikatan Surveyor Indonesia.
- Mustofa, F. C., Aditya, T., & Sutanta, H. (2018). Evaluation of Participatory Mapping to Develop Parcel-Based Maps for Village-Based Land Registration Purpose. *International Journal of Geoinformation*, 14(2), 45-55. Retrieved from <http://journals.sfu.ca/ijg/index.php/journal/article/view/1134>
- Nadeak, H., Dalla, A., Nuryadin, D., & Hadi, A. (2015). Batas Wilayah Desa Pasca Berlakunya Undang-undang Nomor 6 Tahun 2014 tentang Desa. *Jurnal Bina Praja*, 7(3), 239-250.

- <https://doi.org/10.21787/jbp.07.2015.239-250>
- Pratiwi, I. D., & Sutanta, H. (2018). Perubahan Jumlah Segmen Batas dan Luas Desa Hasil Penetapan di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Simposium Infrastruktur Informasi Geospasial 2018*, 48–56. Yogyakarta: Departemen Teknik Geodesi UGM.
- Pribadi, C. B., Hariyanto, T., & Puspita, A. I. (2017). Pembuatan Peta Dasar Skala 1:5000 Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi (CSRT) Pleiades 1-A Sebagai Acuan Pembuatan Peta RDTR Pada Bagian Wilayah Perkotaan (BWP) Lumajang, Kabupaten Lumajang. *Jurnal Geoid*, 12(2), 153–157. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v12i2.3629>
- Purwanti, R., & Budisusanto, Y. (2015). Studi Batas Wilayah Menggunakan Metode Kartometrik, Studi Kasus: Kecamatan Sukolilo, Kota Surabaya. *Jurnal Geomatika*, 21(Juni), 25–30. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24895/JIG.2015.21-1.463>
- Riadi, B. (2015). Implementasi Permendagri Nomor 76 Tahun 2012 dalam Penetapan dan Penegasan Batas Desa Secara Kartometris. *Jurnal Sosio Didaktika*, 2(1), 92–100. <https://doi.org/10.15408/sd.v2i1.1352>
- Riadi, B., & Makmuriyanto, A. (2014). Kajian Percepatan Penetapan dan Penegasan Batas Kecamatan/Distrik, Desa/Kelurahan secara Kartometris. *Majalah Ilmiah Globe*, 16(2), 109–116. Retrieved from <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL/article/viewFile/56/53>
- Trivinata, R. (2016). Perencanaan Tata Ruang Bagian Wilayah Perkotaan Kepanjen, Studi tentang Konsistensi Pelaksanaan Rencana Detail Tata Ruang Bagian Wilayah Perkotaan Kepanjen Tahun 2014-2034. *Jurnal Ilmiah Administrasi Publik (JIAP)*, 2(4), 138–146. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jiap.2016.002.04.2>
- Wibowo, T. W., Ambhika, N., & Pratama, A. P. (2019). Teknik Geovisualisasi untuk Percepatan Pemetaan batas Desa di Daerah Berbukit (Studi Kasus di Desa Terong, Kecamatan Dlingo). *Majalah Ilmiah Globe*, 21(1), 35–44. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24895/MIG.2016021-1-908>
- Williamson, I., Wallace, J., & Rajabifard, A. (2015). *Spatially enabling governments: A new vision for spatial information*. (September 2006), 1–12.
- Zarodi, H., Rofi, A., Anshori, M., & Widarto, M. (2019). Pemanfaatan Teknologi GIS & Penginderaan Jauh untuk Membuat Peta Batas Dusun Partisipatif di Desa Sumber, Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang. *Seminar Nasional GeoTIK*, (1), 136–145. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta. Retrieved from <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/handle/11617/10806>

SURVEI DIMENSIONAL DAN KALIBRASI SISTEM MULTIBEAM LAUT DALAM DI KAPAL RISET BARUNA JAYA I

(Dimensional Survey and Calibration of Deep-water Multibeam System of RV Baruna Jaya I)

Dwi Haryanto, Hendra Kurnia Febriawan, Ahmad Fawaiz Safi`, dan Muhamad Irfan

Balai Teknologi Survei Kelautan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

BPPT Gedung 2 Lantai 12 Jl. M.H. Thamrin No. 8 Jakarta Pusat, DKI. Jakarta 10340

E-mail: dwi.haryanto@bppt.go.id

Diterima: 3 Februari 2020; Direvisi: 9 November 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 20 November 2020

ABSTRAK

Wilayah laut Indonesia bagian tengah dan timur merupakan perairan laut dalam dengan informasi batimetri yang masih terbatas. Data batimetri laut dalam dapat diperoleh menggunakan alat survei khusus, yaitu *Multibeam Echosounder* (MBES). MBES laut dalam pada Kapal Riset (KR) Baruna Jaya I mampu menghasilkan data batimetri hingga kedalaman 11 km. MBES laut dalam tersebut mempunyai dimensi fisik yang relatif besar, sehingga *transducer* MBES harus dipasang secara permanen pada tunas kapal. Sistem MBES laut dalam terdiri dari beberapa sensor yang terintegrasi dalam satu sistem akuisisi MBES. Agar menghasilkan data batimetri berkualitas tinggi, perlu dilakukan survei dimensional untuk memperoleh informasi sudut *miss-alignment* *transducer* MBES dan posisi secara 3D (tiga dimensi) sensor sistem MBES laut dalam secara akurat dalam satu referensi sistem koordinat. Paper ini bertujuan untuk memperoleh nilai ketidaklurusan (*miss-alignment*) *transducer* MBES dan nilai *offset* sensor - sensor yang terpasang pada KR Baruna Jaya I terhadap suatu sistem koordinat kapal menggunakan metode survei dimensional. Selain itu, hasil survei dimensional tersebut diverifikasi secara dinamis menggunakan metode kalibrasi *patch test*. Hasil survei dimensional menunjukkan pemasangan *fairing* sebagai rumah *transducer* MBES memenuhi toleransi dengan nilai *roll*: $-0,089^\circ$ dan *yaw*: $0,292^\circ$ sedangkan nilai *pitch* ($-0,120^\circ$) tidak memenuhi toleransi. Hasil pemasangan *transducer* MBES menunjukkan nilai *roll* dan *yaw* memenuhi toleransi (*roll*: $0,012^\circ$ dan *yaw*: $0,200^\circ$), sedangkan nilai *pitch* di atas ambang toleransi (*pitch*: $0,698^\circ$). Nilai kesalahan pemasangan *transducer* diverifikasi dengan hasil kalibrasi *Patch Test* MBES dan mendapatkan nilai *roll*: $0,20^\circ$, *pitch*: $0,45^\circ$, dan *yaw*: $-1,43^\circ$.

Kata kunci: batimetri laut dalam, *multibeam echosounder*, survei dimensional, *miss-alignment*, *sensor offset*, *patch test*

ABSTRACT

The middle and eastern parts of Indonesia's water territory are deep-water ocean with very limited bathymetry information. That deep-water bathymetry information can be mapped using particular survey equipment, such as *Multibeam Echosounder* (MBES). The deep-water MBES system installed on RV Baruna Jaya I can produce bathymetry data that can reach the depth of 11 km. The MBES has a relatively huge physical dimension, thus the *transducer* must be installed permanently on the vessel hull. The MBES system consists of several sensors integrated into an MBES acquisition system. In order to produce a high-quality of bathymetry data, the dimensional survey needs to be carried out to obtain the *miss-alignment* angle information of the *transducer*. These values are commonly due to the *miss-alignment* and 3D position of the sensors based on the vessel reference frame (VRF). This paper is aimed to obtain *miss-alignment* values of MBES *transducer* estimation and *offset* values of sensors installed in RV Baruna Jaya I using dimensional survey method. In addition, the verification of the results was also carried out using *patch test* calibration method. The results of the dimensional survey indicated that the *fairing* installation was already below tolerance for *roll*: $0,088^\circ$ and *yaw*: $-0,292^\circ$ but out of tolerance for *pitch*: $-0,120^\circ$. The result of the *transducer* installation exhibited that the *roll* and *yaw* of the *transducer* were already below tolerance (*roll*: $0,012^\circ$ and *yaw*: $0,200^\circ$ respectively). In contrast, there was an out of tolerance of the *pitch* value ($0,698^\circ$). Those *miss-alignment* values of the *transducer* installation then were verified using a *Patch Test* calibration and showing a result of *roll*: $0,20^\circ$, *pitch*: $0,45^\circ$, and *yaw*: $-1,43^\circ$

Keywords: deep-water bathymetry, *multibeam echosounder*, dimensional survey, *miss-alignment*, *sensor offset*, *patch test*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan dua pertiga luas wilayahnya berupa perairan laut dengan luas kurang lebih mencapai 5,8 juta km² (Ramdhan & Taslim, 2013). Wilayah perairan laut Indonesia bagian tengah dan timur didominasi oleh perairan laut dalam. Hal tersebut dijelaskan dalam Riadi et al. (2014) yang melakukan pengambilan sedimen di Selat Makassar pada kedalaman sampai 2500 - 5000 m. Disamping itu, Manik et al. (2018) melalui studi mereka tentang sebaran ikan pelagis di Laut Banda juga menyebutkan bahwa Laut Banda memiliki kedalaman mencapai 5800 m. Salah satu peralatan yang banyak digunakan untuk memetakan kedalaman wilayah laut dalam tersebut adalah *multibeam echosounder* (MBES) karena kemampuannya dalam melakukan kegiatan survei secara efisien dan menghasilkan informasi kedalaman yang rapat.

Sebagian besar kegiatan survei batimetri di Indonesia menggunakan sistem MBES yang tidak terpasang permanen pada suatu kapal survei. Hal tersebut memungkinkan pada kegiatan survei MBES pada perairan laut dangkal ataupun dengan kedalaman di bawah 3000 m. Akan tetapi untuk melakukan survei MBES di perairan laut dalam dengan kedalaman di atas 3000 m, diperlukan alat MBES yang bisa menjangkau kedalaman tersebut. Tipe alat MBES dengan spesifikasi tersebut biasanya memiliki dimensi fisik yang relatif besar. Sebagai contoh, MBES tipe HydroSweep DS mempunyai dimensi *transducer* berukuran sekitar 5-10 m (RESON, 2019). Hal tersebut menyebabkan alat MBES tersebut harus dipasang permanen pada lunas (*hull mounted*) kapal survei. Di Indonesia, tidak banyak kapal survei yang dilengkapi peralatan MBES dengan kemampuan untuk memetakan laut dalam di atas 3000 m.

Salah satu kapal survei Pemerintah Indonesia yang dilengkapi peralatan MBES laut dalam adalah Kapal Riset (KR) Baruna Jaya I. Kapal tersebut dioperasikan dan dikelola oleh Balai Teknologi Survei Kelautan (Balai Teksurla), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Sejak tahun 2017, kapal tersebut telah dipasang sistem peralatan MBES laut dalam dengan kemampuan melakukan pengukuran kedalaman sampai dengan 11000 m (*full depth*). Sistem MBES tersebut dilengkapi sensor-sensor peralatan survei *multibeam* yang terpasang secara permanen pada KR Baruna Jaya I.

Sistem MBES yang terpasang permanen pada kapal survei terdiri dari *transducer* MBES dan beberapa sensor peralatan survei seperti GNSS receiver, *gyrocompass*, sensor pengukur pergerakan kapal (*motion reference unit*) (MRU), serta alat pengukur kecepatan gelombang suara yang terintegrasi ke dalam satu sistem. Agar dapat

menghasilkan data batimetri MBES dengan kualitas tinggi, diperlukan survei dimensional untuk mendapatkan posisi 3D (tiga dimensi) dari sensor-sensor (*sensor offset*) dan sudut *miss-alignment* transducer MBES (Roll, Pitch, dan Yaw) terhadap sistem koordinat kapal (*Vessel Reference Frame*) (VRF). Secara umum terdapat ketidakpastian (*uncertainty*) pada pengukuran posisi 3D tersebut.

Ketidakpastian ukuran *offset* sensor – sensor tersebut terhadap VRF dapat mempengaruhi keakuratan pengukuran posisi horizontal dan data kedalaman sewaktu survei (Nardez et al., 2011). Sehingga ukuran *offset* sensor – sensor dan sudut *miss-alignment* transducer (Roll, Pitch, dan Yaw) terhadap VRF penting untuk diukur secara akurat. Mereka menyebutkan bahwa pengukuran *offset* dan rotasi sensor tersebut harus dilakukan pada waktu kapal berada di dok kering untuk memastikan bahwa kapal berada pada posisi yang stabil. Maka dari itu, kegiatan pengukuran survei dimensional untuk mendapatkan informasi kemiringan lunas dan badan kapal sebelum pemasangan sensor peralatan survei dan informasi 3D sensor tersebut juga dilakukan pada KR Baruna Jaya I.

Secara global, studi dan prosedur survei dimensional sistem MBES secara detail dapat ditemukan pada beberapa referensi seperti White et al. (2007), Nardez et al. (2011), dan Picard et al. (2019). Akan tetapi, publikasi mengenai kegiatan, metode, dan hasil kalibrasi dan pengukuran *offset* sensor – sensor sistem MBES di Indonesia, terutama pada sistem *transducer* MBES yang terpasang pada lunas (*hull*) kapal, masih sangat terbatas.

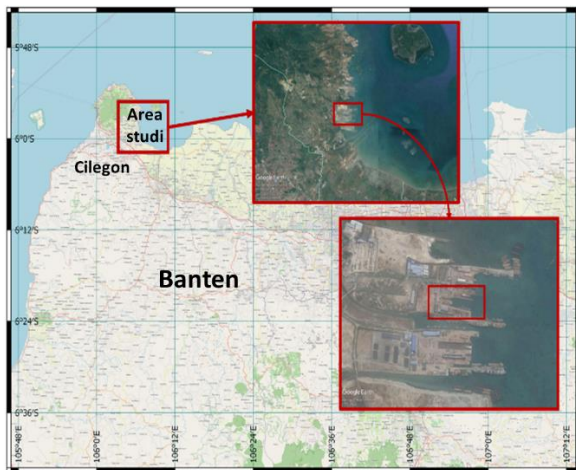
Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan nilai sudut ketidaklurusan (*miss-alignment*) *transducer* MBES dan nilai *offset* sensor-sensor yang terpasang pada KR. Baruna Jaya I terhadap VRF menggunakan metode survei dimensional. Setelah itu, dilakukan verifikasi hasil pengukuran tersebut secara dinamis dengan metode kalibrasi *patch test*. Hasil pengukuran yang akurat dari ketidaklurusan *transducer* MBES dan nilai *offset* sensor - sensor pada sistem MBES tersebut beserta kalibrasi *patch test* MBES merupakan faktor penting dalam mendukung aktivitas survei dan sebagai jaminan kualitas data yang didapatkan.

METODE

Lokasi Penelitian dan Sistem Koordinat Kapal

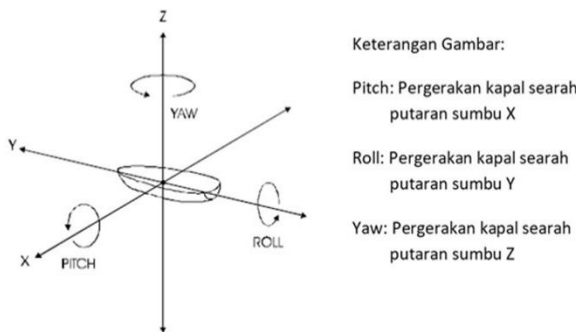
Lokasi penelitian berada di galangan kapal PT. Samudra Marine Indonesia, Bojonegara, Serang, Banten (**Gambar 1.**). Sebelum KR Baruna Jaya I melakukan kegiatan *docking* di galangan kapal, dilakukan survei batimetri untuk mengetahui kedalaman alur masuk dan keluar galangan. Sebagaimana *draft* lunas kapal akan bertambah karena pemasangan *fairing* dan *transducer* MBES,

informasi kedalaman tersebut sangat penting untuk keselamatan kapal.



Gambar 1. Lokasi galangan kapal PT. Samudra Marine Indonesia, Bojonegara, Serang, Banten.

Setiap sensor peralatan survei hidrografi yang terpasang di kapal memiliki titik acuan dan kerangka koordinat tertentu. Titik acuan dan kerangka koordinat ini digunakan untuk mendefinisikan data pengukuran secara valid. Dalam survei hidrografi terdapat banyak sensor yang digunakan dalam pengukuran. Untuk mendapatkan data survei yang terintegrasi maka diperlukan penentuan sistem koordinat kapal (*Vessel Reference Frame/VRF*), sehingga semua sensor pengukuran akan mengacu pada sistem koordinat tersebut. Seperti dalam penelitian Clarke (2003), sistem koordinat kapal ditentukan secara tiga dimensi. Sumbu X positif didefinisikan dari titik tengah kapal kearah kiri (*port*), sedangkan sumbu Y positif dari titik tengah kearah depan kapal (*fore*), dan sumbu Z positif dari titik tengah kearah bawah kapal (**Gambar 2**). Pada VRF tersebut secara umum terdapat tiga perputaran atau rotasi yang berefensi terhadap VRF. Perputaran atau rotasi pada sumbu Y disebut Roll, rotasi pada sumbu X disebut Pitch dan rotasi pada sumbu Z disebut Yaw (**Gambar 2**).



Sumber: Walter et al. (2017) (dimodifikasi)

Gambar 2. Sistem koordinat kapal dan perputaran pada sumbu koordinat.

Survei Dimensional Kapal

Pembuatan Titik Kontrol Horizontal dan Vertikal

Survei dimensional kapal diawali dengan pembuatan kerangka kontrol horizontal dan vertikal. Kerangka kontrol horizontal merupakan titik referensi posisi horizontal (X,Y) yang terdiri lebih lebih dari dua titik sehingga membentuk sebuah jaring poligon. Penentuan koordinat kerangka kontrol horizontal dilakukan dengan metode Bowditch (Ghilani & Wolf, 2012) dan diukur menggunakan alat Total Station Trimble M3. Koordinat titik – titik kontrol tersebut menggunakan sistem koordinat lokal. Terdapat empat titik kontrol sebagai titik – titik poligon (SMI-1, SMI-2, SMI-3, dan SMI-4) seperti pada **Gambar 3**. Titik kontrol SMI-1 dipilih sebagai acuan dengan koordinat lokal (X,Y,Z) 1000m, 1000m, 100m.

Kerangka kontrol vertikal merupakan titik yang dijadikan acuan untuk penentuan ketinggian (Z) titik lainnya dengan orde yang lebih rendah. Pengukuran kerangka kontrol vertikal dilakukan dengan menggunakan metode *levelling* teliti (metode pergi – pulang) (Yuwono & Prasetyo, 2019). Titik acuan koordinat vertikal (Z) mengacu pada titik SMI-1 yang sudah ditetapkan elevasinya yaitu 100 m. Pengukuran beda tinggi menggunakan alat waterpass otomatis Topcon AT-B4, ilustrasi metode pengukuran tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Ilustrasi poligon dan arah pengukuran kerangka kontrol vertikal.

Pengukuran Kemiringan Kapal

Ketika kapal melakukan dok kering, kapal berada diatas penyangga yang mengakibatkan kapal dalam keadaan stabil, sehingga adanya ketidaklurusan kapal (*roll, pitch dan yaw*) terhadap *water line* dapat diketahui secara akurat. *Water line* merupakan bidang semu sebagai acuan penentuan referensi horizontal pada kapal (Dodd, et al., 2010) Penentuan sudut dan orientasi kemiringan kapal terhadap *water line* (WL) diawali dengan menentukan objek yang dapat mewakili kondisi kapal ketika dok kering. Objek yang dapat mewakili kondisi kapal adalah bagian *top tank* kapal, sehingga kemiringan orientasi kapal ditentukan

dengan pengukuran kemiringan garis *top tank* kapal (**Gambar 4a**). Plat *top-tank* tampak atas berbentuk segi empat (**Gambar 5**) dan keempat sudut *top-tank* diukur koordinat tiga dimensinya (X,Y,Z). Pengukuran titik sudut *top-tank* kapal dilakukan dengan menggunakan alat Total Station Trimble M3 dengan ketelitian 2". Perhitungan koordinat tiga dimensi titik sudut *top tank* menggunakan metode tachimetri (Schofield & Breach, 2007).

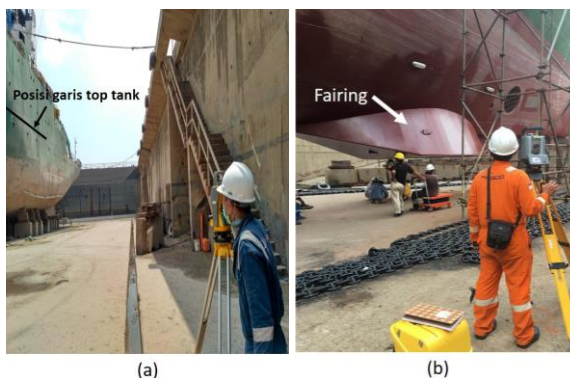
Metode trigonometri (Ghilani & Wolf, 2012) digunakan untuk menghitung simpangan nilai roll dan pitch. Metode tersebut membandingkan beda tinggi antar dua titik *top-tank* dengan jarak datar yang terbentuk dari dua titik tersebut sesuai dengan rumus berikut:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\Delta Z}{d}\right) \dots \dots \dots (1)$$

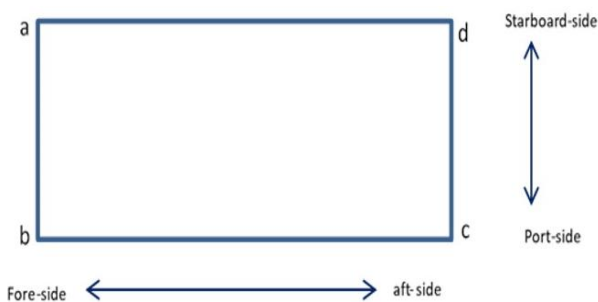
dimana:

- α : sudut kemiringan
- ΔZ : beda tinggi dari dua titik *top tank*
- d : jarak datar dua titik *top tank*

Nilai roll dihitung dari perbandingan beda tinggi antara dua titik *top tank* yang terletak pada satu garis arah kanan-kiri kapal (*starboard-port*) dengan jarak datar yang dibentuk dari dua titik tersebut, mengacu **Gambar 5** maka titik yang dimaksud adalah titik a-b atau c-d. Nilai *pitch* dihitung dari perbandingan beda tinggi antara dua titik *top tank* yang terletak pada satu garis arah depan-belakang kapal (*fore-aft*) dengan jarak datar yang dibentuk dari dua titik tersebut, mengacu **Gambar 5** maka titik yang dimaksud adalah titik a-d atau b-c. Sedangkan nilai *yaw* (*heading*) dihitung menggunakan metode perhitungan azimuth dari dua koordinat XY titik *top tank* yang terletak pada satu garis arah belakang-depan kapal (*aft-fore*), mengacu **Gambar 5** maka titik yang dimaksud adalah titik d-a atau c-b.



Gambar 4. Pengukuran titik sudut *top tank* (a), posisi *fairing* pada lunas kapal (b).



Gambar 5. Ilustrasi *top tank* tampak atas.

Pengukuran Kemiringan Fairing

Fairing merupakan struktur tambahan yang digunakan sebagai dudukan (*bracket*) *transducer* MBES dan melindungi alat dari benturan dan korosi secara langsung (Wright, 2019). Dalam kondisi ideal, *fairing* diharapkan dapat dipasang pada lunas kapal dengan toleransi nilai ketidaklurusan (*miss-alignment*) *roll*, dan *yaw* terhadap *water-line* sebesar $\pm 0,5^\circ$, sedangkan untuk *pitch* $0^\circ - +0,5^\circ$ (nilai *pitch* tidak boleh <0). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat TS Trimble M3 dengan ketelitian 2" (**Gambar 4b**). Metode pengukuran dan perhitungan nilai ketidaklurusan *fairing* menggunakan metode yang sama dengan yang digunakan pada perhitungan ketidaklurusan orientasi kapal. Pemasangan *transducer* MBES pada *fairing* dilakukan jika nilai ketidaklurusan *fairing* sudah memenuhi toleransi. Setelah nilai ketidaklurusan *fairing* terhadap *water line* diketahui, selanjutnya dihitung nilai ketidaklurusan *fairing* terhadap kapal. Nilai tersebut didapatkan dari perhitungan selisih nilai ketidaklurusan kapal terhadap *water line* dengan nilai ketidaklurusan *fairing* terhadap *water line*. Secara umum dapat ditulis dengan rumus berikut,

$$\Delta\alpha = \alpha' - \alpha \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

- $\Delta\alpha$: simpangan orientasi *fairing* terhadap kapal
- α' : simpangan orientasi *fairing* terhadap *water line*
- α : simpangan orientasi kapal terhadap *water line*

Pengukuran Offset Sensor

Terdapat beberapa sensor peralatan survei yang terpasang ataupun masih dalam rencana pemasangan (**Tabel 1**). Walaupun beberapa sensor belum dilakukan pemasangan, akan tetapi posisi dudukan sensor tersebut penting untuk diukur dan dipetakan.

Tabel 1. Sensor peralatan survei di KR Baruna Jaya I.

Sensor	Fungsi	Kondisi
GNSS Antenna L1 Phase	Positioning	Terinstal

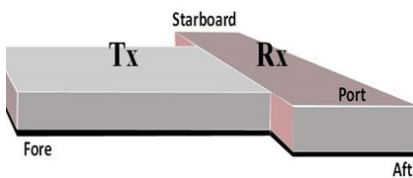
Sensor	Fungsi	Kondisi
HydroSweep DS TX Center	Depth	Terinstal
HydroSweep DS RX Center	Depth	Terinstal
Saturn-10 Reference Point	Motion sensor	Terinstal
Sub-bottom Profiler	Lapisan dasar laut	Belum terinstal
ADCP	Profiling arus	Belum terinstal

Pengukuran Kemiringan Transducer

Transducer MBES dipasang secara permanen di bawah *fairing* yang sudah terpasang pada lunas kapal dan dilakukan pengukuran ketidaklurusan (*miss-alignment*) sebelumnya (**Gambar 6a**). Pengukuran *alignment* posisi *transducer* tersebut perlu dilakukan untuk memastikan bahwa posisi *transducer* sudah searah dengan *fairing* dan sistem koordinat kapal ataupun jika terdapat ketidaklurusan (*miss-alignment*) sudah memenuhi toleransi yang ditentukan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat total station (TS) Trimble M3 Robotic dengan ketelitian 1" (**Gambar 4b**). Alat Total Station tersebut sudah terbukti dapat memberikan kualitas data yang teliti seperti digunakan pada studi tentang modeling 3D untuk keperluan navigasi dalam ruangan (Jamali, et al., 2017). Referensi pengukuran *transducer* MBES menggunakan titik kontrol horizontal dan vertikal yang sudah dibuat sebelumnya.



(a)



(b)

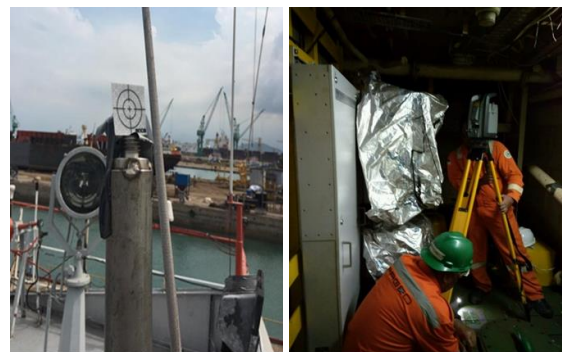
Gambar 6. Posisi transducer MBES yang terpasang pada *fairing* (a), transducer teledyne hydrosweep DS berbentuk *mills cross* (b).

Transducer MBES mengikuti konfigurasi "T" (*mills cross*), yaitu bentuk yang saling menyilang antara kedua *transducer* tersebut dan terdiri dari dua bagian yaitu *transmitter* (TX) dan *receiver* (RX) (**Gambar 6b**). *Transducer* yang berfungsi sebagai

penerima sinyal (RX) dipasang dengan arah kiri kanan kapal, sedangkan transducer pemancar sinyal (TX) dipasang searah haluan kapal. Pengukuran *alignment transducer* tersebut dimaksudkan untuk mengetahui nilai *pitch* dan *yaw* untuk *transmitter multibeam* (TX) dan nilai *roll* untuk *receiver multibeam* (RX).

Pengukuran Offset Sensor Peralatan Survei

Pengukuran *offset* sensor peralatan survei dilakukan untuk mendapatkan perhitungan ukuran *offset* sensor- sensor tersebut dan ketidaklurusan dari masing – masing peralatan survei dalam suatu sistem yang terintegrasi sehingga dapat menghasilkan data survei yang tergeoreferensi secara benar dan akurat. Dalam pengukuran *offset* sensor perlu ditetapkan bidang kerangka referensi kapal (*vessel reference frame/VRF*) sebagai referensi pengukuran. Sensor *Motion Reference Unit* (MRU) di KR Baruna Jaya I dipilih sebagai pusat VRF dan ditetapkan mempunyai koordinat VRF (0,0,0). Lokasi sensor MRU tersebut diasumsikan sudah sejajar dengan garis air (*water line*) dan sejajar dengan bidang horizontal dan vertikal kapal. Terdapat beberapa posisi sensor peralatan survei yang diukur posisinya terhadap VRF yaitu: *transducer transmitter* (TX) *multibeam*, *transducer receiver* (RX) *multibeam*, antena DGPS, *echosounder* navigasi, *singlebeam echosounder* kanan, *singlebeam echosounder* kiri, *transducer Sub-bottom Profiler* (SBP), dan *transducer Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP).



(a)

(b)

Gambar 7. Posisi antens DGPS yang terpasang target saat pengukuran *offset* (a), pembuatan poligon terbuka di dalam kapal (b).

Sensor - sensor tersebut diukur dengan metode terestris menggunakan alat Total Station Trimble M3 Robotic mengacu pada titik kontrol horizontal dan vertikal yang sudah dibuat sebelumnya. Koordinat masing - masing sensor tersebut dihitung dengan metode tachimetri. Pertama - tama, sensor – sensor yang terpasang pada luar badan kapal seperti *transducer multibeam*, antena DGPS, *transducer singlebeam*, SBP, dan ADCP diukur secara langsung menggunakan referensi titik – titik kontrol poligon

di sekeliling kapal (**Gambar 7a**). Hal tersebut akan menghasilkan koordinat posisi masing – masing sensor yang bereferensi terhadap koordinat lokal poligon. Setelah itu dilakukan pengukuran poligon terbuka ke arah dalam kapal untuk mendapatkan koordinat posisi sensor MRU (**Gambar 7b**). Setelah semua sensor terukur dan terpetakan berdasarkan sistem koordinat lokal poligon dan sesuai dengan akurasi yang sudah ditentukan, kemudian dilakukan perhitungan koordinat ulang (translasi) dengan posisi sensor MRU sebagai titik acuan VRF. Hal tersebut akan menyebabkan semua sensor – sensor yang terpasang pada kapal akan terintegrasi dalam satu VRF. Setelah itu dilakukan perhitungan ketidaklurusan (*miss-alignment*) ukuran *Pitch* dan Heading pada transducer *transmitter* (TX) *multibeam*, ukuran *roll* pada *transducer receiver multibeam*, serta ukuran *roll*, *pitch*, dan *heading* IMU terhadap bidang referensi kapal.

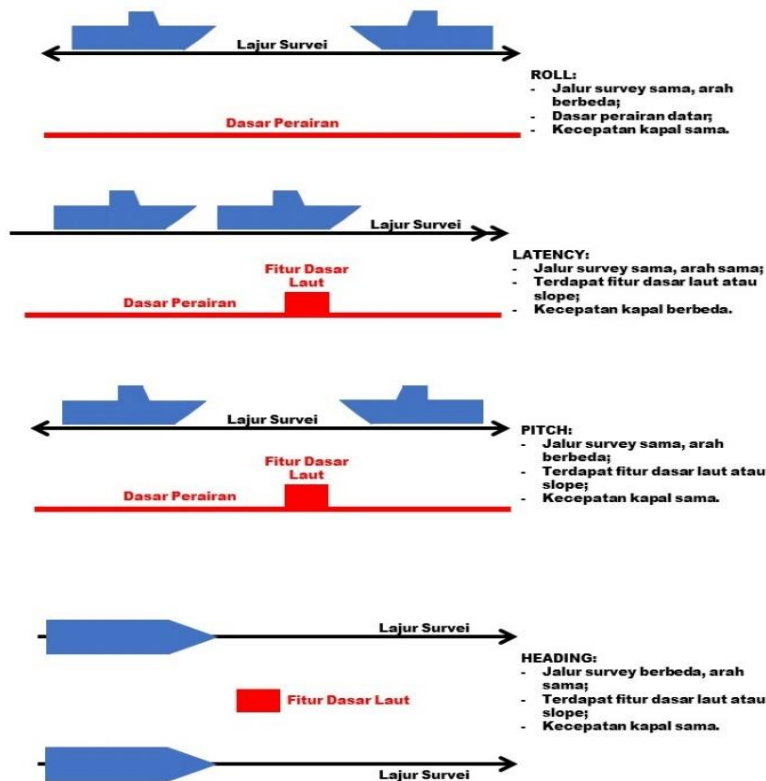
Kalibrasi Patch Test Multibeam

Kalibrasi *multibeam* (*Patch Test*) dilakukan untuk mengetahui koreksi ketidakejajaran (*miss-alignment*) dan *offset* pemasangan antara transducer (*sonar head*), *Motion Reference Unit* (MRU), dan kapal secara dinamis dan terintegrasi. Di dalam penelitian ini, kalibrasi *patch test* digunakan juga untuk memverifikasi nilai ketidaklurusan *transducer* MBES terhadap kapal yang sudah dilakukan pada kegiatan survei dimensional sebelumnya. *Patch test* dilakukan dengan merekam data *multibeam* melewati beberapa lajur survei yang paralel dan *overlap*

dengan kecepatan kapal, kedalaman, dan *terrain* dasar laut yang berbeda. Terdapat beberapa koreksi *miss-alignment* orientasi kapal yaitu: *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Prosedur *patch test* secara umum dapat dilihat pada **Gambar 8**.

Kesalahan *roll* dapat menyebabkan kesalahan dalam pengukuran kedalaman, terutama pada *beam – beam* terluar dan jauh dari nadir. Kesalahan *Pitch* menyebabkan kesalahan posisi sepanjang lintasan (*along-track*) yang disebabkan oleh *offset pitch* dan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Kesalahan *yaw* tidak terlalu berpengaruh pada beam di bawah nadir, tetapi mengakibatkan kesalahan posisi di beam terluar dan akan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Prosedur dan penjelasan tentang kalibrasi *patch test* sudah dijelaskan secara lengkap oleh Gueriot, et al. (2000).

Kalibrasi *patch test* dilakukan pada tanggal 25-29 November 2017 di Samudra Hindia dengan koordinat lokasi 6°20'30.00"S dan 104°46'30.00"E. Lokasi tersebut mempunyai kedalaman yang relatif curam dan berkisar antara 300-1000 m. Seluruh *offset* sensor – sensor yang sudah diukur pada waktu dok kering dimasukkan ke dalam sistem akuisisi *multibeam* sehingga data yang didapat telah terintegrasi dalam satu sistem. Terdapat dua lajur survei paralel dengan arah 270° dan 90° dan satu lajur silang dengan arah 180° yang dilakukan pada waktu kalibrasi. Pengukuran kecepatan gelombang suara dalam air (SVP) dilakukan sebelum kegiatan kalibrasi sebagai koreksi terhadap data batimetri yang direkam.



Sumber: Godin (1998) (dimodifikasi)
Gambar 8. Ilustrasi prosedur kalibrasi *patch test*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Survei Dimensional Kapal

Hasil pengukuran survei dimensional kapal berupa nilai simpangan orientasi kapal yang diwakili *top tank* terhadap *water line* yang digunakan untuk dasar pemasangan *fairing transducer multibeam* dan sensor lainnya. Selain itu juga dilakukan pengukuran *fairing* untuk menentukan simpangan orientasi *fairing* terhadap *water line*. Sehingga dari nilai simpangan orientasi kapal dan *fairing* terhadap *water line* dapat ditentukan nilai simpangan orientasi *fairing* terhadap kapal (**Tabel 2**).

Tabel 2. Hasil pengukuran orientasi kapal dan *fairing*.

Hasil Pengukuran	Nilai		
	Roll	Pitch	Yaw
Orientasi kapal terhadap <i>water line</i>	1,086°	0,413°	275,015°
Orientasi <i>fairing</i> terhadap <i>water line</i>	0,997°	0,293°	275,307°
Orientasi <i>fairing</i> terhadap kapal	-0,089°	-0,120°	0,292°

Pada **Tabel 2** ditunjukkan nilai *roll* orientasi *fairing* terhadap kapal bernilai negatif yang berarti sisi kiri (*port*) *fairing* lebih rendah dari sisi kanan (*starboard*) *fairing* terhadap kapal. Nilai *pitch*

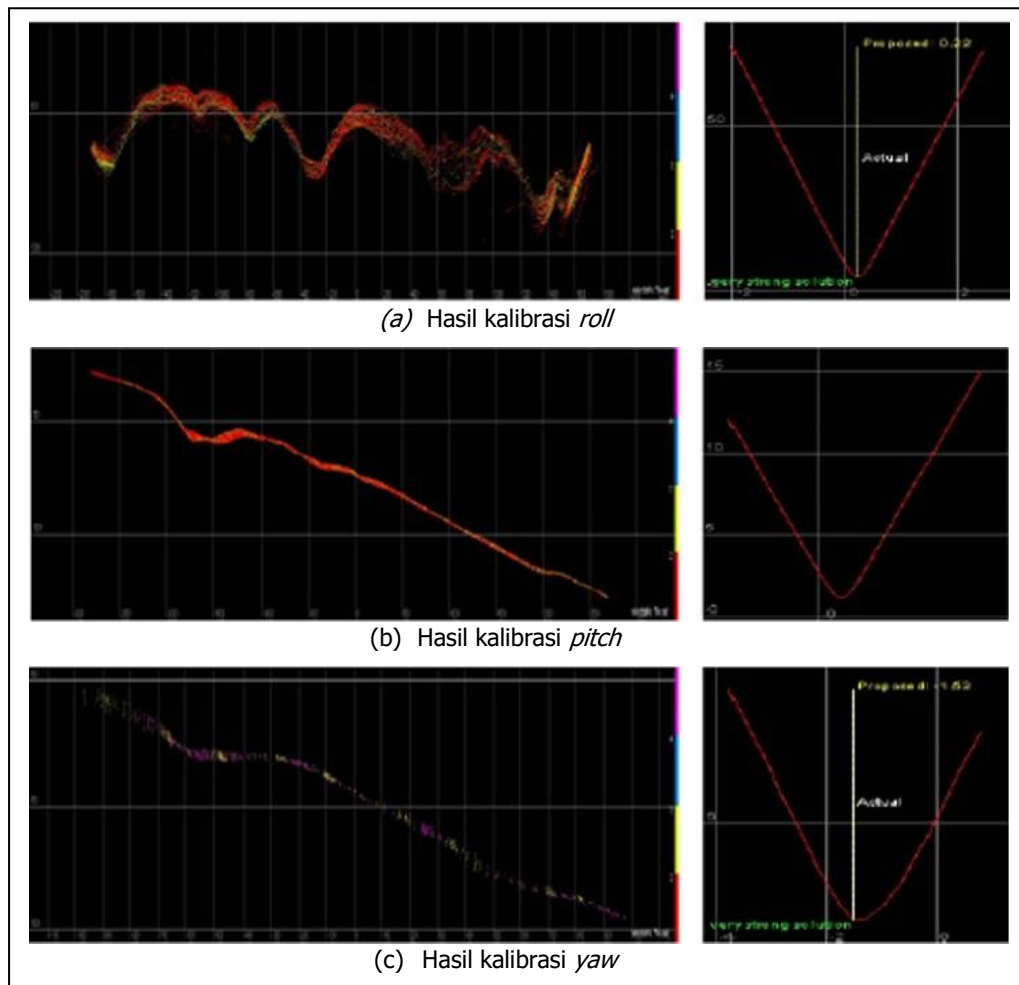
bernilai negatif yang berarti bahwa sisi depan *fairing* lebih rendah dari sisi belakang terhadap kapal. Nilai *yaw* positif yang berarti terdapat ketidaklurusan posisi *fairing* terhadap kapal sebesar 0,292° searah dengan arah jarum jam terhadap sumbu Y kapal. Keseluruhan, nilai orientasi *fairing* terhadap kapal menunjukkan nilai *roll* dan *yaw* memenuhi toleransi sedangkan nilai *pitch* tidak memenuhi toleransi, mengacu pada dokumen prosedur baku pemasangan *transducer* dari Teledyne yaitu nilai deviasi arah *roll* dan *yaw* maksimal ± 0,5° dan deviasi arah *pitch* antara 0° – +0,5°. Hal tersebut dimungkinkan karena adanya ketidaklurusan pada saat pemasangan *fairing* ke lunas kapal sehingga mengakibatkan adanya nilai ketidaklurusan yang melebihi toleransi.

Pengukuran Offset Sensor Alat Survei

Hasil pengukuran *offset* sensor peralatan survei yang terpasang pada KR Baruna Jaya I dapat dilihat pada **Tabel 3**. Untuk keperluan survei *multibeam* laut dalam, tidak semua ukuran *offset* sensor tersebut dimasukkan ke dalam sistem akuisisi *multibeam*. Posisi *offset* sensor – sensor yang diperlukan untuk sistem akuisisi MBES antara lain: posisi *offset* MRU, posisi *offset* antenna DGPS, posisi *offset* titik pusat *transducer transmitter* (TX), dan posisi *offset* titik pusat *transducer receiver* (RX).

Tabel 3. Hasil pengukuran *offset* sensor dan kemiringan *transducer* MBES.

Deskripsi titik referensi	Titik referensi <i>Motion Sensor</i> (IMU)			
Deskripsi kerangka referensi	Sumbu-Y ke arah depan kapal; sumbu-X ke arah kiri kapal; sumbu-Z ke arah atas/bawah kapal			
Sistem koordinat	Sistem koordinat tangan kanan (digunakan di Teledyne PDS)			
Sensor <i>Offset</i> VRF terhadap...	X	Y	Z	Keterangan
<i>Saturn-10 Refence Point</i>	0	0	0	-
<i>GNSS Antenna L1 Phase</i>	0,318	-0,025	13,875	-
<i>HydroSweep DS TX Center</i>	0,308	9,064	-3,473	-
<i>HydroSweep DS RX Center</i>	0,308	7,159	-3,490	-
<i>HydroSweep DS TX P1</i>	0,168	10,484	-3,464	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS TX P2</i>	0,462	10,483	-3,465	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS TX P3</i>	0,458	7,643	-3,492	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS TX P4</i>	0,158	7,645	-3,490	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS RX P1</i>	-1,108	7,314	-3,494	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS RX P2</i>	1,725	7,300	-3,495	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS RX P3</i>	1,720	7,004	-3,494	Sudut <i>array transducer</i>
<i>HydroSweep DS RX P4</i>	-1,108	7,017	-3,493	Sudut <i>array transducer</i>
<i>Navigation Echosounder</i>	0,931	10,308	-3,458	-
<i>Singlebeam Echosounder (port)</i>	0,560	9,179	-3,443	-
<i>Singlebeam Echosounder (stbd)</i>	1,131	9,172	-3,458	-
<i>Sub-bottom Profiler</i>	-0,601	8,134	-3,461	Belum terinstall
ADCP	1,124	8,078	-3,478	Belum terinstall
Sensor <i>Alignments</i> terhadap VRF	Roll	Pitch	Heading	Keterangan
<i>HydroSweep DS TX Array</i>	-	0,698°	0,200°	Diverifikasi dengan <i>patch test</i>
<i>HydroSweep DS RX Array</i>	0,012°	-	-	Diverifikasi dengan <i>patch test</i>
<i>Saturn-10 IMU</i>	-0,043°	1,882°	-1,682°	-



Gambar 9. Hasil kalibrasi *patch test*.

Dalam **Tabel 3** juga dapat dilihat posisi *offset* sudut – sudut *array transducer transmitter* (TX) dan *receiver* (RX) yang masing – masing diukur pada keempat sisi ujung – ujungnya (P1, P2, P3, dan P4). Pengukuran ujung – ujung *transducer* tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kemiringan (*roll*, *pitch*, dan *heading*) *transducer* TX dan RX terhadap bidang referensi kapal (VRF) dan *water line*. Dari hasil perhitungan *alignment transducer* juga dapat dilihat bahwa nilai kemiringan *transducer* MBES yaitu *roll*: 0,012°, *pitch*: 0,698°, dan *yaw*: 0,200°. Nilai orientasi *transducer* menunjukkan hanya nilai *roll* dan *yaw* yang memenuhi toleransi (maksimal ±0,5°), sedangkan nilai *pitch* di atas toleransi (0 – +0,5°). Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh faktor kesalahan acak pada waktu pengukuran survei dimensional. Untuk itu diperlukan pengecekan ulang dengan melakukan kalibrasi *patch test* MBES.

Kalibrasi Patch Test Multibeam

Pada proses kalibrasi *patch test* MBES tidak dilakukan kalibrasi *latency* karena sistem MBES Teledyne Hydrosweep DS menggunakan 1PPS untuk sinkronisasi waktu dan *string* NMEA ZDA untuk menghasilkan penyamaan waktu (*timestamp*) selama akuisisi MBES. Hasil kalibrasi *patch*

test ditunjukkan pada **Tabel 4** dan **Gambar 9**. Kualitas hasil pemasangan dan pengukuran *transducer multibeam* dan sensor peralatan survei lainnya didapatkan dari perbandingan nilai hasil kalibrasi *patch test* dengan nilai hasil pengukuran terestris (**Tabel 5**).

Tabel 4. Nilai Hasil Kalibrasi *Patch Test*.

Kalibrasi	Nilai	Orientasi
<i>Roll</i>	0,20°	Port Up (+)
<i>Pitch</i>	0,45°	Bow Up (+)
<i>Yaw</i>	-1,43°	-

Tabel 5. Perbandingan Nilai Kalibrasi *Patch Test* dengan Survei Dimensional.

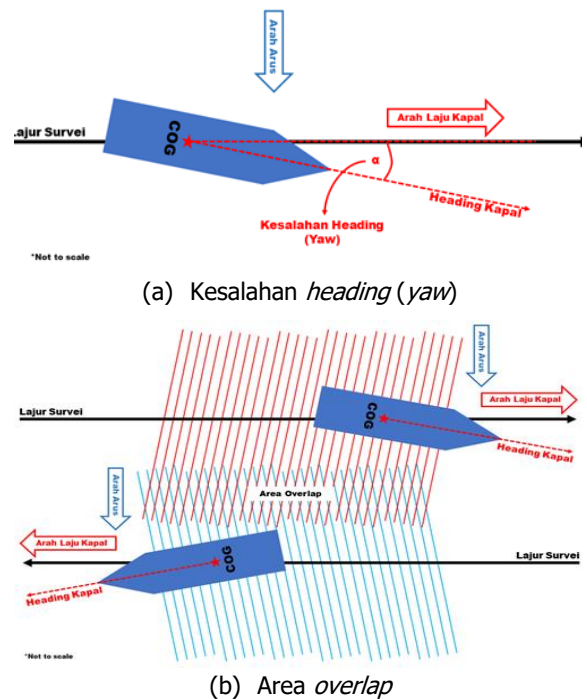
Komponen Kalibrasi	Hasil Survei Dimensional	Hasil Patch Test	Perbedaan (Resolusi)
<i>Roll</i>	0,015°	0,20°	0,19°
<i>Pitch</i>	0,698°	0,45°	0,25°
<i>Yaw</i>	0,200°	-1,43°	1,63°
<i>Latency</i>	-	0,00s	-

Pada **Tabel 5** ditunjukkan nilai hasil kalibrasi *patch test* memiliki nilai lebih besar dari hasil survei dimensional dengan perbedaan *yaw* mencapai 1,63°. Clarke (2003) menyebutkan bahwa ketidaklurusan sensor – sensor yang terpasang di

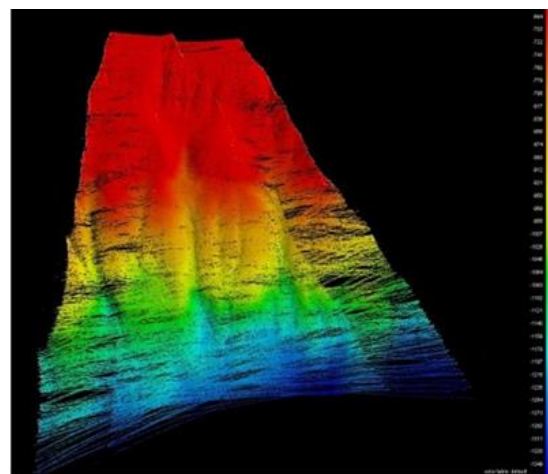
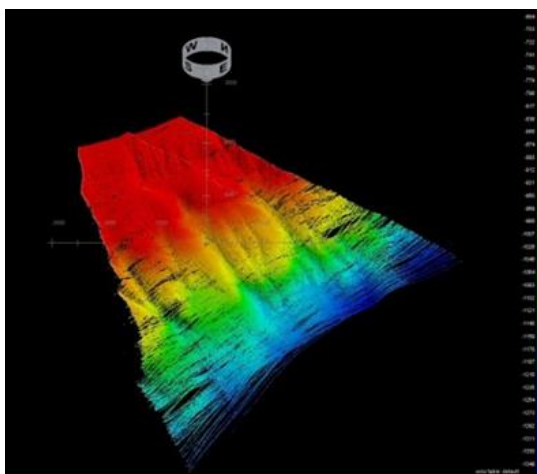
kapal secara umum tidak boleh melebihi 2° untuk nilai *yaw*, 1° untuk nilai *roll*, beberapa derajat untuk nilai *pitch*. Sehingga nilai ketidaklurusan nilai *yaw* pada penelitian ini ($1,63^\circ$) masih dianggap masuk toleransi. Perbedaan nilai *yaw* tersebut dimungkinkan disebabkan adanya ketidaklurusan kapal terhadap lajur survei pada saat kalibrasi *patch test*. Dalam kondisi survei ideal, sensor merekam data dengan *heading* searah dengan lajur survei. Tetapi kondisi angin dan arus mengakibatkan kapal tidak bisa diarahkan searah dengan lajur survei sehingga mengakibatkan adanya kesalahan sudut *heading* (*yaw*) kapal dan berpengaruh pada sapuan data MBES dan data *digital elevation model* (DEM) yang dihasilkan (**Gambar 10**).

Richardson (1997), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa faktor angin dan arus laut dapat berpengaruh pada pergerakan kapal dan dapat mengakibatkan kesalahan arah dan posisi. Pada kasus kalibrasi *patch test* MBES, dimana kapal merekam data kedalaman secara *overlap* dengan arah yang berbeda, kesalahan arah kapal dapat mengakibatkan dua kali lipat efek kesalahan pada data yang direkam karena dilakukan pada arah yang berbeda. Untuk mengetahui pengaruh nilai kalibrasi *patch test* terhadap data batimetri yang dihasilkan maka dilakukan perbandingan DEM antara data batimetri di lokasi tanpa nilai kalibrasi dan dengan menggunakan nilai kalibrasi, hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 11**. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa secara visual tidak terdapat perbedaan signifikan antara DEM sebelum dan sesudah diterapkan nilai kalibrasi. Hal ini dikarenakan nilai kalibrasi *roll* dan *pitch* yang relatif kecil ($0,20^\circ$ dan $0,45^\circ$), walaupun nilai kalibrasi *yaw* cukup besar ($-1,43^\circ$). Untuk keperluan survei dan akuisisi data selanjutnya, akan digunakan data hasil kalibrasi *patch test* tersebut. Data tersebut akan

dibandingkan dengan data hasil kalibrasi–kalibrasi selanjutnya yang akan dilakukan sebelum survei multibeam sebagai prosedur operasi baku. Perbedaan data hasil kalibrasi *patch test* selanjutnya harus lebih kecil dari $0,1^\circ$ (Gueriot et al., 2000). Nilai tersebut menunjukkan bahwa posisi *transducer* dan sistem sensor yang terpasang pada kapal masih terletak pada posisi yang sama. Perbedaan nilai hasil kalibrasi yang melebihi $0,1^\circ$, mengharuskan dilakukan pengulangan pengukuran survei dimensional. Hal tersebut dimungkinkan karena ada pergeseran posisi, rotasi, ataupun ketidaklurusan antar sensor – sensor dengan VRF.



Gambar 10. Ilustrasi pengaruh angin dan arus laut.



Gambar 11. Tampilan data batimetri sebelum diterapkan nilai *patch test* (a), tampilan data batimetri sesudah diterapkan nilai *patch test* (b).

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai ketidaklurusan *transducer* MBES dan nilai *offset* sensor – sensor yang terpasang pada KR. Baruna Jaya I. Metode survei dimensional digunakan dalam pengukuran tersebut dan dilanjutkan dengan pengukuran kalibrasi *patch test* sebagai verifikasi. Pada survei dimensional tersebut, dilakukan beberapa tahap pengukuran ketidaklurusan yaitu pengukuran kemiringan kapal terhadap *water line*, pengukuran orientasi *fairing* terhadap *water line*, dan perhitungan ketidaklurusan *fairing* terhadap kapal. Hasil pengukuran *fairing* terhadap kapal (*roll*: $-0,089^\circ$, *pitch*: $-0,120^\circ$, dan *yaw*: $0,292^\circ$) menunjukkan nilai *roll* dan *yaw* memenuhi toleransi $\pm 0,5^\circ$, sedangkan nilai *pitch* tidak memenuhi toleransi $0^\circ - +0,5^\circ$. Hasil pengukuran *transducer* MBES juga menunjukkan hanya nilai *roll* ($0,012^\circ$) dan *yaw* ($0,200^\circ$) yang sudah memenuhi toleransi, sedangkan nilai *pitch* tidak memenuhi toleransi ($0,698^\circ$), sehingga diverifikasi dengan hasil kalibrasi *patch test*. Hasil kalibrasi *patch test* menunjukkan *roll* $0,200^\circ$, *pitch* $0,45^\circ$ dan *yaw* $-1,43^\circ$, simpangan nilai *yaw* dimungkinkan karena pengaruh arus dan angin ketika proses kalibrasi *patch test* berlangsung. Arah penelitian lebih lanjut dapat mengkaji penggunaan metode *Real Time Kinematic* (RTK) GPS dalam pengukuran *offset* sensor–sensor tersebut. Metode pemetaan *laser scanning* juga dapat digunakan untuk mengetahui kemiringan kapal pada waktu *docking* dan juga kemiringan *transducer* MBES setelah pemasangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dan rekan mengucapkan terimakasih kepada Balai Teknologi Survei Kelautan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) atas terselenggaranya kegiatan pengukuran survei dimensional tersebut dan juga atas izin yang diberikan dalam menggunakan data dan laporan kegiatan untuk dipublikasikan dalam paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Clarke, J. (2003a). A Reassessment of Vessel Coordinate System: What Is it That We Are Really Aligning? In *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2003* (pp. 1–12).
- Clarke, J. (2003b). A reassessment of vessel coordinate systems: what is it that we are really aligning? *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2003*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Dodd, D., Mills, J., Battilana, D., & Gourley, M. (2010). Hydrographic Surveying Using the Ellipsoid as the Vertical Reference Surface. *FIG Congress 2010: Facing the Challenges-Building the Capacity*, (April 2010), 1–15.
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2012). *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics* (13th ed.). New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Godin, A. (1998). *The Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-Sounding Systems*. UNB Geodesy and Geomatics Engineering. Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Gueriot, D., Chedru, J., Daniel, S., & Maillard, E. (2000). The patch test: a comprehensive calibration tool for multibeam echosounders. *Proceedings of the OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition.*, 3, 1655–1661. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2000.882178>
- Jamali, A., Abdul Rahman, A., Boguslawski, P., Kumar, P., & Gold, C. M. (2017). An automated 3D modeling of topological indoor navigation network. *GeoJournal*, 82(1), 157–170. <https://doi.org/10.1007/s10708-015-9675-x>
- Manik, H. M., Sujatmiko, T. N., Ma'mun, A., & Priatna, A. (2018). Penerapan teknologi hidroakustik untuk pengukuran sebaran spasial dan temporal ikan pelagis kecil di laut banda. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 9(1), 39. <https://doi.org/10.29244/jmf.9.1.39-52>
- Nardez, N., Krueger, C. P., & Vargas, S. L. (2011). METHODOLOGY TO OBTAIN THE OFFSETS BETWEEN SENSORS OF HYDROGRAPHIC SHIPS. In JSTOR (Ed.), *PROCEEDINGS OF THE 11th INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM ICS2011* (pp. 1712–1717). Poland: Journal of Coastal Research.
- Nardez, N. N., Krueger, C. P., & Vargas, S. L. (2011). Methodology to Obtain the Offsets Between Sensors of Hydrographic Ships. *Journal of Coastal Research*, 1712–1717.
- Picard, K., Austine, K., Bergersen, N., Cullen, R., Dando, N., Donohue, D., ... Waterson, C. (2019). *Australian Multibeam Guidelines*. *Geoscience Australia* (Vol. 1.1). Retrieved from <https://doi.org/10.1080/23311975.2018.1492869> <https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1558351>
- Ramadhan, M., & Taslim, A. (2013). Aplikasi Sistem Informasi Geografis Dalam Penilaian Proporsi Luas Laut Indonesia (Application of Geographic Information System for Assessment of Indonesia Marine Proportion). *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 19(6), 141–146.
- RESON, T. (2019). Atlas hydrosweep DS. Retrieved from http://www.sea-landtech.com/wp-content/uploads/2018/07/Teledyne-Hydrosweep-DS_Data-Sheet.pdf
- Riadi, E., Zainuri, M., & Wijaya, P. H. (2014). STUDI KONDISI DASAR PERAIRAN MENGGUNAKAN CITRA SUB-BOTTOM PROFILER DI PERAIRAN TARAKAN KALIMANTAN TIMUR. *Jurnal Oseanografi*, 3(September 2012), 26–35.
- Richardson, P. L. (1997). Drifting in the wind: Leeway error in shipdrift data. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 44(11), 1877–1903. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(97\)00059-9](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(97)00059-9)
- Schofield, W., & Breach, M. (2007). *Engineering surveying. Construction Research and Innovation* (6th ed., Vol. 1). Elsevier Ltd.
- Walter, H., Wagman, J., Stergiou, N., Erkmen, N., & Stoffregen, T. (2017). Dynamic perception of dynamic affordances: walking on a ship at sea.

- Experimental Brain Research*, 235.
<https://doi.org/10.1007/s00221-016-4810-6>
- White, J., Jegat, V., Lancker, V. Van, Deleu, S., & Vanstaen, K. (2007). *Review of standards and protocols for seabed habitat mapping - Acoustic system techniques*.
- Wright, J. (2019). Fairing Basics. Retrieved February 19, 2020, from <https://www.epoxyworks.com/index.php/fairing-basics/>
- Yuwono, B. D., & Prasetyo, Y. (2019). Analysis Deformation Monitoring Techniques Using GNSS Survey and Terrestrial Survey (Case Studi: Diponegoro University Dam, Semarang, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 313(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/313/1/012045>

Halaman ini Sengaja Kami Kosongkan

GPS-DERIVED SECULAR VELOCITY FIELD AROUND SANGIHE ISLAND AND ITS IMPLICATION TO THE MOLUCCA SEA SEISMICITY

(Kecepatan Sekuler Kepulauan Sangihe Berdasarkan Data GPS dan Implikasinya Terhadap Seismisitas Laut Maluku)

Leni Sophia Heliani^{1,2}, Cecep Pratama¹, Parseno¹, Nurrohmat Widjajanti¹, Dwi Lestari¹, dan Hilmiyati Ulinnuha¹

¹Department of Geodetic Engineering, Universitas Gadjah Mada

²Head of Oceanic Resource and Technology Research Center, Universitas Gadjah Mada

Department of Geodetic Engineering, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika no 2 Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia

E-mail: cecep.pratama@ugm.ac.id

Diterima: 19 Maret 2020; Direvisi: 16 November 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 23 November 2020

ABSTRACT

Sangihe-Moluccas region is the most active seismicity in Indonesia. Between 2015 to 2018 there is four M6 class earthquake occurred close to the Sangihe-Moluccas region. These seismic active regions representing active deformation which is recorded on installed GPS for both campaign and continuous station. However, the origin of those frequent earthquakes has not been well understood especially related to GPS-derived secular motion. Therefore, we intend to estimate the secular motion inside and around Sangihe island. On the other hand, we also evaluate the effect of seismicity on GPS sites. Since our GPS data were conducted on yearly basis, we used an empirical global model of surface displacement due to coseismic activity. We calculate the offset that may be contained in the GPS site during its period. We remove the offset and estimate again the secular motion using linear least square. Hence, in comparison with the secular motion without considering the seismicity, we observe small change but systematically shifting the motion. We concluded the seismicity in the Molucca sea from 2015 to 2018 systematically change the secular motion around Sangihe Island at the sub-mm level. Finally, we obtained the secular motion toward each other between the east and west side within 1 to 5.5 cm/year displacement.

Keywords: GPS, Sangihe Island, seismicity, secular

ABSTRAK

Kepulauan Sangihe dan Maluku merupakan wilayah seismik yang aktif di Indonesia. Sejak tahun 2015 hingga 2018, terdapat empat gempa dengan kekuatan kelas magnitudo 6. Wilayah dengan seismisitas tinggi ini merepresentasikan deformasi aktif yang terekam dalam setiap titik pengamatan GPS baik dalam mode episodik maupun kontinu. Namun, sebab dari munculnya banyak gempabumi belum dipahami secara menyeluruh khususnya yang dihubungkan dengan pergerakan GPS secara sekular. Oleh karena itu, diperlukan estimasi gerakan sekular baik di dalam maupun di sekitar pulau Sangihe. Disamping itu, diperlukan juga evaluasi efek dari banyaknya gempa terhadap kondisi titik pengamatan GPS. Mengingat bahwa pengamatan GPS dilakukan setiap tahun, untuk menghitung pergeseran dipermukaan akibat dari gempabumi digunakan model empiris global. Kemudian, setelah menghilangkan efek dari gempabumi, kecepatan sekular dari setiap titik pengamatan dihitung kembali menggunakan hitung kuadrat terkecil. Maka, dengan membandingkan kecepatan sekular sebelum dan sesudah hilangnya efek dari gempabumi, didapat perubahan pergeseran yang kecil meskipun sistematis. Dapat disimpulkan seismisitas di laut Maluku selama 2015 hingga 2018 memberikan dampak perubahan kecepatan sekular di Pulau Sangihe dalam tingkat sub-milimeter. Akhirnya, kami memperoleh kecepatan sekular yang saling menuju satu sama lain dalam arah timur-barat dalam rentang kecepatan 1 sampai dengan 5.5 cm/tahun.

Kata kunci: GPS, Pulau Sangihe, seismisitas, sekular

INTRODUCTION

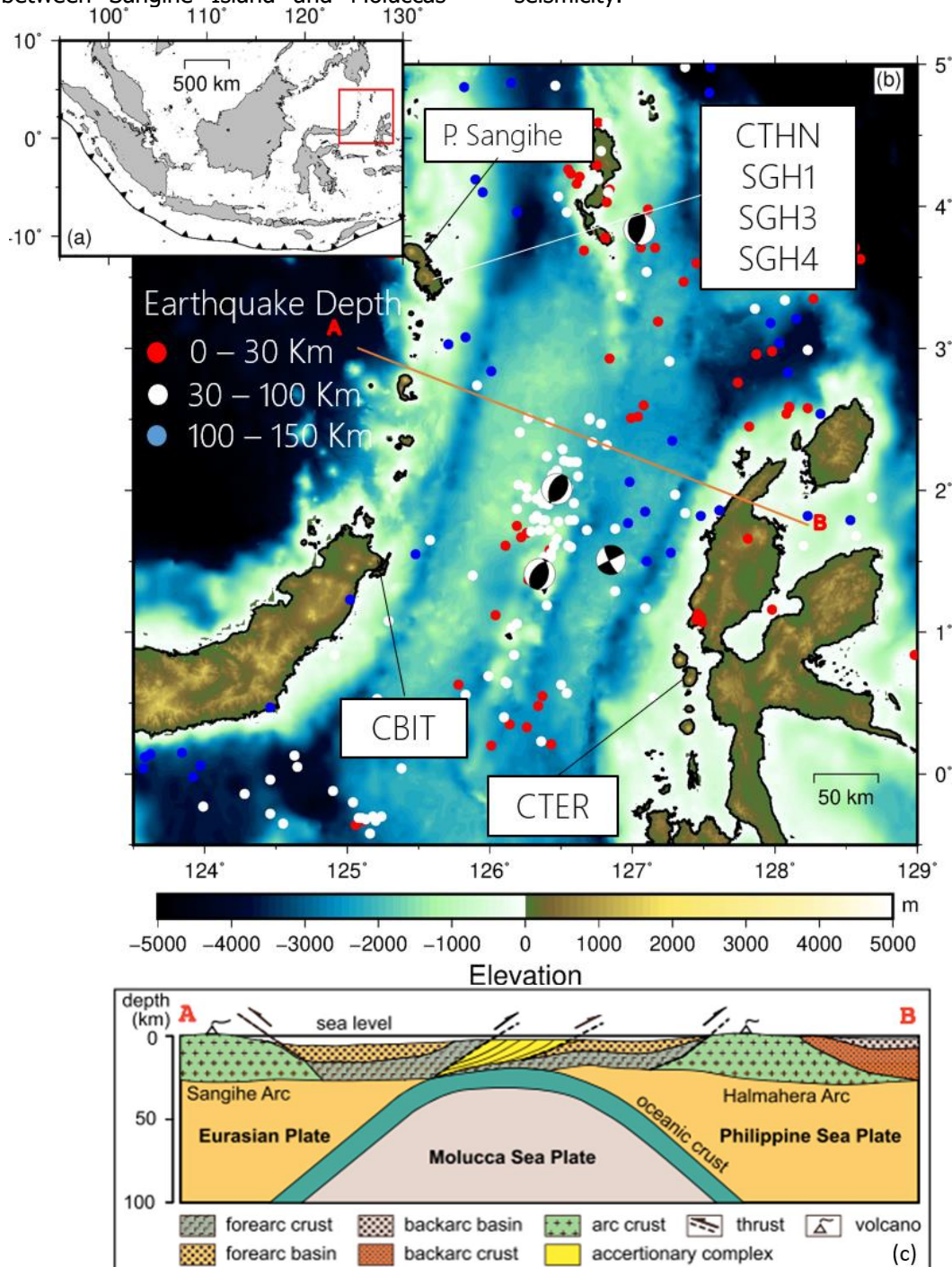
Indonesia archipelago is a country with prone to natural hazard such as an earthquake (Nguyen et al., 2015). One of the evidence of earthquake

hazard is seismicity distribution. Seismicity increases particularly in the junction of four macro plates in the world that is between the Philippines sea plate, Eurasian plate, Pacific plate, and Indo-Australian plate (Kreemer et al., 2014) located near

Moluccas region. The double subduction zone between the Moluccas region and the Sangihe arc has complex and unique tectonic features (Hall, 2018; McCaffrey et al., 2011) (**Figure 1**). The subduction zone formed closely separated by less than 200 km of Molucca sea (Di Leo et al., 2012). A Previous study reported this subduction zone was born 25 ma (Jaffe et al., 2004).

The active seismic region in the Molucca sea indicating broad deformation applied and continuing in this region. Understanding the deformation process between Sangihe Island and Moluccas

Island would give valuable information on current tectonic evolution. However, before 2014, there is no geodetic observation inside and around Sangihe Island. In 2014, we deployed several GPS sites to observe crustal dynamics in this region. We derive the secular velocity field to obtain a linear trend of crustal deformation (**Figure 1**). On other hand, we also investigate the effect of seismicity distribution on the GPS network to ensure the stability of data quality. In this study, we focus on estimating secular motion and its implication to the Molucca sea seismicity.



Source: modified from Hall & Smyth (2008)

Figure 1 (a) Red square denotes interest region located. (b) Sangihe Island around GPS and seismicity distribution. (c) Cross-section geologic profile between A and B line.

METHODS

We utilized six GPS stations consist of three campaigns and three continuous stations. The campaign station developed in 2014 (Heliani et al., 2018). Meanwhile, the other three stations were developed and maintained by the Geospatial Information Agency of Indonesia. We collect the raw data of each site and processed them using GAMIT Software suite (Herring et al., 2015) between 2015 to 2018. The Ocean Tide loading was corrected with Finite Element Solution 2004 (FES2004) (Lyard et al., 2006). The detailed GPS sites location shown in **Table 1**. CTHN, SGH1, SGH3 and SGH4 were located inside Sangihe island, while CBIT is located in northern Sulawesi, and CTER is located in the Ternate region (**Figure 1b**). Although the CTHN, CBIT, and CTER are continuous GPS sites, to shorten the GPS processing, we sampling the daily solution during the same period as long as campaign observation.

Table 1. GPS sites location in geographic system.

Site	Lon (°)	Lat (°)
CBIT	125.1867547010	1.4431259626
CTER	127.3827922856	0.7878953425
CTHN	125.5038031112	3.6127326939
SGH1	125.4437177332	3.7343262917
SGH3	125.5723171511	3.3391127934
SGH4	125.4433782890	3.6231408032

We used several IGS sites within the GPS processing to reflect International Terrestrial Reference Frame 2014 (ITRF2014) (Altamimi et al., 2016). To estimate the velocity field, we conduct a linear least square solution on the estimated daily

GPS coordinate. We used the first degree of a polynomial function to fit the GPS time series.

Empirical global law is used to estimate the surface displacement due to coseismic event (Okada, 1995). Its empirical relationship required magnitude M and hypocentral distance R to obtain coseismic offset U defined as follows:

$$\log U_{(cm)} = 1.5M - 2\log R_{km} - 6.0 \dots\dots\dots (1)$$

Based on **Formula 1** we calculate the coseismic offset on each GPS site. Also, to estimate correct offset, we calculate the positive and negative displacement for both horizontal and vertical components based on epicenter and GPS location. So, we have a different sense of East-West offset since there is A GPS site whose have an east side and west side of the epicenter. The empirical law does not consider the earthquake’s physical mechanism which is commonly known as thrust, normal, and strike slip-faulting.

RESULT AND DISCUSSION

In general, we obtained GPS velocities between 9 to 55 mm/year, 1 to 8 mm/year, and 22 to 99 mm/year for East-West, North-South and Up-Down direction (**Table 2, Table 3 & Table 4**), respectively. The vertical component shows significant subsidence for almost all GPS sites (**Table 4**). On the other hand, the north-south direction indicates slow-motion relative to the east-west direction. Thus, the plate motion clearly moving in an east-west direction. Since the CTER site is located on the west side moving toward the east and CBIT located on the east side moving toward the west, we can conclude that the Molucca sea region is shrinking as a collision zone which consistent with the seismic tomographic profile (Hall, 2018; Silver & Moore, 2008; Widiyantoro & Van der Hilst, 1997).

Table 2 Horizontal East-West direction according to original and corrected velocity.

Site	Original Velocity (mm/yr)		Corrected Velocity (mm/yr)	
	EW	σ_{EW}	EW	σ_{EW}
CBIT	18.362	2.031	17.466	1.972
CTER	-55.806	20.529	-54.752	19.475
CTHN	9.230	1.925	9.117	1.812
SGH1	14.773	7.815	14.150	7.596
SGH3	14.084	2.940	13.357	3.082
SGH4	15.989	-8.627	15.358	8.819

Table 3 Horizontal North-South direction according to original and corrected velocity

Site	Original Velocity (mm/yr)		Corrected Velocity (mm/yr)	
	NS	σ NS	NS	σ NS
CBIT	1.980	1.170	1.899	1.190
CTER	1.580	0.708	1.624	0.675
CTHN	3.080	1.510	3.080	1.510
SGH1	8.389	4.379	8.400	4.406
SGH3	2.194	0.736	2.135	0.726
SGH4	2.704	0.867	2.774	0.821

Table 4. Vertical direction according to original and corrected velocity.

Site	Original Velocity (mm/yr)		Corrected Velocity (mm/yr)	
	UD	σ UD	UD	σ UD
CBIT	-28.508	7.616	-27.611	7.691
CTER	-23.116	3.877	-22.062	3.943
CTHN	-99.545	6.032	-99.432	6.032
SGH1	-85.920	20.995	-85.298	21.034
SGH3	-37.190	5.225	-36.463	5.317
SGH4	-24.922	17.800	-24.291	17.849

Almost all GPS sites show fast subsidence up to 10 cm/year. The subsidence trend is very common on the GPS sites located near the trench such as the GPS network in the fore-arc Sumatra during the interseismic phase (Feng et al., 2015). For the subduction region, the trend will change to be opposite if an earthquake occurs and leave a dramatic postseismic deformation (Hu & Wang, 2012). However, since the SGH1 site shows fast subsidence due to a large variety of vertical displacement in 2018 (**Figure 2**), we need an additional year to validate.

The accuracy of each estimated velocity both horizontal and vertical components is good since the estimated errors are below the estimated velocity. We can improve the accuracy by using longer GPS time series and solve the multipath problem due to site obstruction. In addition, in this study, we did not consider to remove common-mode error in the network, then we can expect higher accuracy in future studies. In this study, we also investigate the coseismic effect on estimating secular motion. The corrected velocity refers to estimated secular motion assuming indispensable surface displacement due to four M6 class earthquakes during the GPS period while the original velocity vice versa. The earthquake catalog was taken from the United States of Geological Survey (USGS). We select the earthquake with a magnitude > 6 since

it's considered to be a significant earthquake relative to its distance from observation sites. Most of the GPS sites around Sangihe Island recorded those earthquakes, however, the CTHN site was only affected by one earthquake in 2017 (**Figure 2**).

According to the estimated error, we found the seismicity from 2015 to 2018 does not change the deformation significantly. We can detect an mm to sub-mm shifting on the secular motion. Therefore, from 2015 to 2018 we can neglect the seismicity effect on the GPS sites around Sangihe Island. As shown in **Figure 3**, we obtained fast subsidence for GPS sites in Sangihe Island but relatively slow subsidence in CBIT and CTER sites. One possibility to explain those features is interacting plates in the southern part may have partial locking rather than in the northern part of the Sangihe subduction region (Hanifa et al., 2014). Interplate locking strongly depends on the smoothness of the seafloor which can be seen using a bathymetry profile. Another possibility is different subduction rates. Different Subduction rates might be controlled by different plate motion speed.

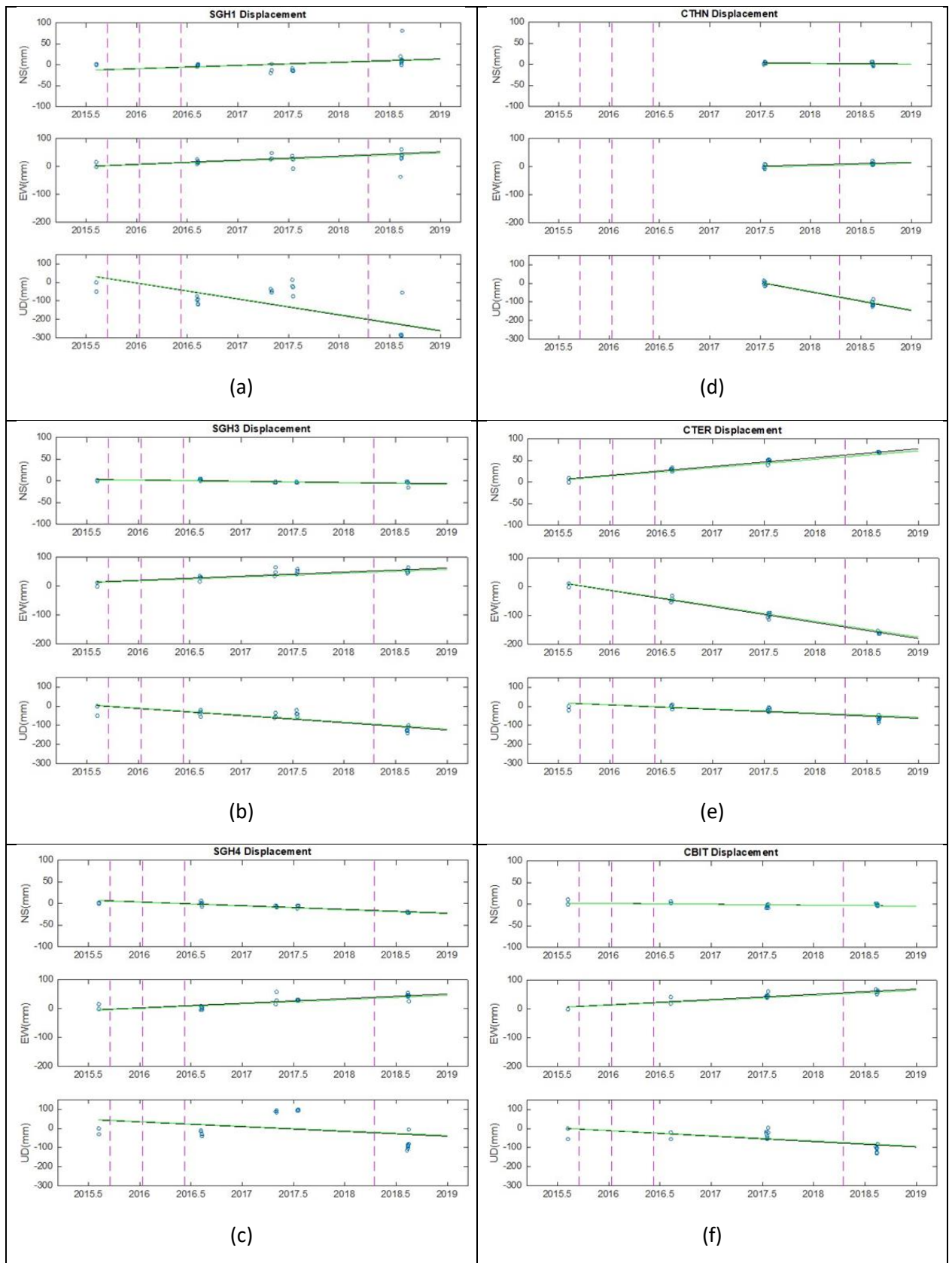


Figure 2. Time series of each GPS site and estimation of its secular motion inside and around Sangihe Island. Blue dot points denotes GPS observation. Meanwhile, black and green lines indicates original and corrected secular motion due to seismicity. Magenta dashed lines show the earthquake occurrence.

Horizontal velocities show moving toward each other. However, CTHN moving a little bit toward the northwest. It seems that local motion from the southern part to the northern part of Sangihe Island

moving in a clockwise sense. The northern part of Sangihe island, where Mt. Awu is located, is an active volcanic region. Based on the horizontal velocities, we might expect an extension between

the Mt. Awu region and the southern part of the Sangihe Island. In addition, the CTHN site is relatively farther than others to the trench. Therefore, the effect of slab dragging or suction may be relatively small (Forsyth & Uyedaf, 1975; Guillaume et al., 2009; Jarrard, 1986) We neglect the effect of Mt. Awu since we do not analyze continuous displacement on the CTHN site. Besides, our GPS analysis in this study cannot provide enough resolution to locate an active fault and its influence on the displacement trend in the northern region of Sangihe Island. Therefore, in further studies, we need to consider continuous observation inside and around Sangihe Island.

CONCLUSION

Crustal dynamics in the Sangihe-Moluccas region are interesting and important to understand.

One of the most active seismicity in Indonesia releases four M6 class earthquake occurred close to the Sangihe-Moluccas region between 2015 to 2018. We analyzed the deformation process based on geodetic data. We estimate the secular velocity field from six GPS stations. The secular motion toward each other between east and west side within 1 to 5.5 cm/year displacement implies the Molucca sea is shrinking and may vanish millions of years later to become a collision between Molucca island and Sangihe Island. On the other hand, we also investigate the influence of seismicity on GPS sites. We estimate the coseismic offset that may be contained in the GPS site. We concluded the seismicity in the Molucca sea from 2015 to 2018 is negligible but systematically changes the secular motion around Sangihe Island in the sub-mm level.

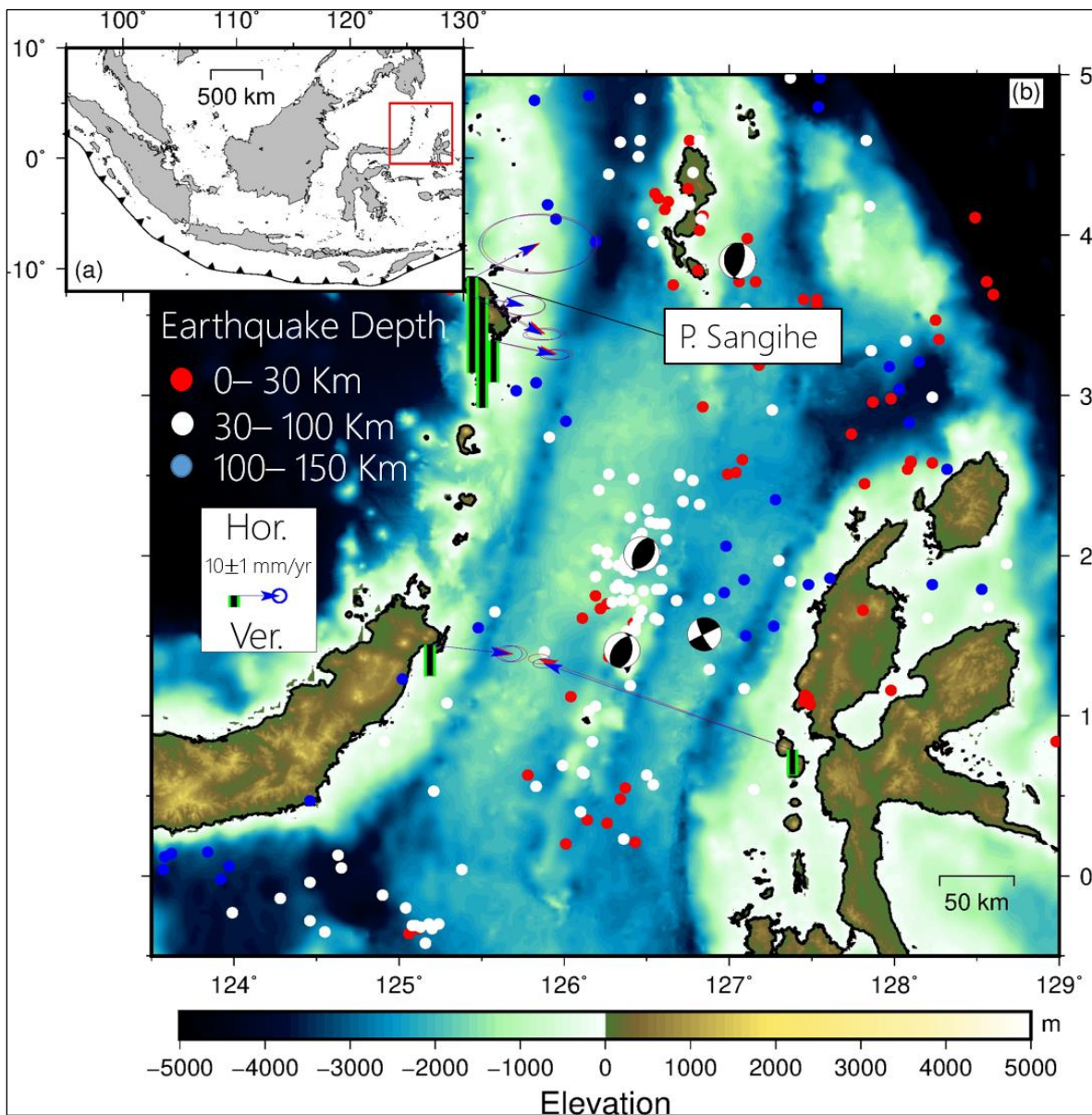


Figure 3. Secular velocity field inside and around Sangihe island. Red and blue vectors denote original and corrected velocity, respectively.

ACKNOWLEDGEMENT

We are grateful to the editor and anonymous reviewers. We thank for Geodesy Geometry and Physical Geodesy research division team member and Oceanic Resource and Technology Research Center team member for campaign support and assistance. This study was partially funded by Grants from Department of Geodetic Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada.

REFERENCES

- Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., & Collilieux, X. (2016). ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*.
https://doi.org/10.1002/2016JB013098
- Di Leo, J. F., Wookey, J., Hammond, J. O. S., Kendall, J. M., Kaneshima, S., Inoue, H., ... Harjadi, P. (2012). Deformation and mantle flow beneath the Sangihe subduction zone from seismic anisotropy. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*.
https://doi.org/10.1016/j.pepi.2012.01.008
- Feng, L., Hill, E. M., Banerjee, P., Hermawan, I., Tsang, L. L. H., Natawidjaja, D. H., ... Sieh, K. (2015). A unified GPS-based earthquake catalog for the Sumatran plate boundary between 2002 and 2013. *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, Vol. 120, pp. 3566–3598.
https://doi.org/10.1002/2014JB011661
- Forsyth, D., & Uyedaf???, S. (1975). On the Relative Importance of the Driving Forces of Plate Motion. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 43(1), 163–200.
https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1975.tb00631.x
- Guillaume, B., Martinod, J., & Espurt, N. (2009). Variations of slab dip and overriding plate tectonics during subduction: Insights from analogue modelling. *Tectonophysics*.
https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.09.043
- Hall, R. (2018). *Neogene history of collision in the Halmahera region, Indonesia*.
https://doi.org/10.29118/ipa.2461.g.014
- Hanifa, N. R., Sagiya, T., Kimata, F., Efendi, J., Abidin, H. Z., & Meilano, I. (2014). Interplate coupling model off the southwestern coast of Java, Indonesia, based on continuous GPS data in 2008–2010. *Earth and Planetary Science Letters*, 401, 159–171.
https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.06.010
- Heliani, L. S., Kurniawan, M. G., Kurniawan, A., & Swastiko, F. A. (2018). Quality Analysis of the Geodetic Control Networks for Purposes of Geodynamics Study of Sangihe Island. *Proceedings - 2018 4th International Conference on Science and Technology, ICST 2018*.
https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528598
- Herring, T., King, R., & McClusky, S. (2015). *GAMIT/GLOBK Reference Manuals, Release 10.6*. Cambridge.
- Hu, Y., & Wang, K. (2012). Spherical-Earth finite element model of short-term postseismic deformation following the 2004 Sumatra earthquake. *Journal of Geophysical Research*, 117(B5), 1–15.
https://doi.org/10.1029/2012JB009153
- Jaffe, L. A., Hilton, D. R., Fischer, T. P., & Hartono, U. (2004). Tracing magma sources in an arc-arc collision zone: Helium and carbon isotope and relative abundance systematics of the Sangihe Arc, Indonesia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*.
https://doi.org/10.1029/2003GC000660
- Jarrard, R. D. (1986). Relations among subduction parameters. *Reviews of Geophysics*.
https://doi.org/10.1029/RG024i002p00217
- Kreemer, C., Blewitt, G., & Klein, E. C. (2014). A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15(10), 3849–3889.
https://doi.org/10.1002/2014GC005407
- Lyard, F., Lefevre, F., Letellier, T., & Francis, O. (2006). Modelling the global ocean tides: Modern insights from FES2004. *Ocean Dynamics*.
https://doi.org/10.1007/s10236-006-0086-x
- McCaffrey, R., Silver, E. A., & Raitt, R. W. (2011). *Crustal structure of the Molucca Sea collision zone, Indonesia*.
https://doi.org/10.1029/gm023p0161
- Nguyen, N., Griffin, J., Cipta, A., & Cummins, P. R. (2015). *Indonesia's Historical Earthquakes: Modelled examples for improving the national hazard map*.
https://doi.org/10.11636/Record.2015.023
- Okada, Y. (1995). Simulated Empirical Law of Coseismic Crustal Deformation. *Journal of Physics of the Earth*, 43, 697–713.
https://doi.org/10.4294/jpe1952.43.697
- Silver, E. A., & Moore, J. C. (2008). The Molucca Sea Collision Zone, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*.
https://doi.org/10.1029/jb083ib04p01681
- Widiyantoro, S., & Van der Hilst Hilst, R. (1997). Mantle structure beneath Indonesia inferred from high-resolution tomographic imaging. *Geophysical Journal International*, 130, 167–182.
https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb00996.x

Halaman ini sengaja kami kosongkan

GEOMATIKA
VOLUME 26 TAHUN 2020

Indeks Penulis

A

Achmad Fachruddin Syah, 25
Ahmad Fawaiz Safi'
Aprizal Verdyansyah, 71

B

Bambang Kun Cahyono, 83

C

Cecep Pratama, 107

D

Dedi Atunggal, 83
Devica Natalia Br Ginting, 17
Diyono, 83
Dwi Haryanto, 95
Dwi Lestari, 107

E

Eka Djunarsjah, 63

F

Febrian Fitriyanik Susanta, 45

G

Gumilang Deranadyan, 71
Guntur Adhi Rahmawan, 1

H

Harintaka, 55
Hendra Kurnia Febriawan, 95
Hendriatiningsih Sudarman, 35
Heri Sutanta, 83
Hilmiyati Ulinnuha, 107

I

Imasti Dhani Pratiwi, 83
Imma Redha Nugraheni, 71

K

Koko Ondara, 1
Kosasih Prijatna, 35

L

Leni Sophia Heliani, 107

M

Muhamad Irfan, 95
Muhammad Zakky Faza, 71

N

Nayla Alvina Rahma, 71
Niken Dwi Wijayanti, 25
Ni Putu Praja Chintya, 9
Nurrohmat Widjajanti, 107

P

Parseno, 107
Poerbandono, 63

R

Rizky Faristyawan, 17

S

Sudarman, 35

T

Trias Aditya, 45

W

Walijiyanto, 9
Wiwin windupranata, 63

GEOMATIKA
Volume 24 Tahun 2018

Indeks Subjek

- A**
- Analisis Jaringan, 45,46,48,50
Angkutan Umum, 45,46,48,49,50,51, 53,54
Arah arus, 63,64,65,67, 68
Arus, 1,2,3,6,24,25,26,27,29,30,31,32,45,46
- B**
- Banjir Rob, 1,4,5
Batas administrasi desa, 83,84
Batimetri laut dalam, 95
- C**
- Cagar Budaya, 9,10,11,12,15
CAPPI, 71,73,75, 77, 78
CMAX, 71,73,74,75,76,77,80,81
- D**
- Debu vulkanik, 71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81
Demak, 1,2,4,7
Desain Lembar Peta, 35,36,37,38
- E**
- Epipolar foto, 55
Erosi, 1,7,17,18
- F**
- Foto stereo, 55,56,57,58,60
Foto udara format kecil, 55, 61
- G**
- GPS, 104,107,108,109,110,11,112,113
Gunung Kidul, 56,83,84,85,86,87,89,90,91,92,93
- H**
- HBIM, 9,11,16
- K**
- Kamera non metrik, 55,58
Kecepatan arus, 63,64,65,66,67,68,69
Kekeruhan relative 63,64,66,68
- L**
- Landsat-8, 17,18,19,20,24,25,26,27,30,31
Laser Scanning, 9,16
Luas wilayah, 83,86,87,91,92, 96
- M**
- Miss-alignment*, 95,96,99,100
Multibeam echosounder, 95,96,104
- O**
- Otomatis, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 97
- P**
- Paralaks, 55, 58, 59, 61
Patch test, 95, 96,100,101,102,103,104
Pemodelan, 1,9,10,11,12,13,14,15,45,46,48,49, 50,51,53
Pemodelan 3D, 9,13
Pengamatan lapangan, 63
Penginderaan Jauh, 17,18,20,25,26,32,33
Perairan Sidoarjo-Pasuruan, 25,26,27,28,30,31,32
Perbandingan Band, 17,20,21,23
Pergeseran segmen, 83,87, 89, 90, 91
Perubahan Garis Pantai, 17,18,22,23,25,26,27,28, 29,32,33
Peta RBI, 35,36,37,38,39,40,41,42,43
Peta Skala Besar, 35,36,37,44
- R**
- Radar Gematronik,71,73,74
Rangka Jala Metrik (Grid), 35,36,37,38,39,41,43
Reflektan, 18,20,21,27
- S**
- Sedimentasi, 1,2,6,17,25,26,29,32,33
Sensor offset, 95,96,101
Stereo plotting interaktif, 55, 56, 59, 61, 62
Survei dimensional, 95,96,97,100,101,102,103, 104
- T**
- Tipe Pantai, 17,18,20,21,22
Total Suspended Solid, 25,27,28,30,31,32
Transport Sedimen, 1
Tanggung pasut, 63,64,65,68,69
- U**
- Ukuran Muka Peta, 35,36,38,39,40,41,42
- V**
- VCUT, 71,73,76,77,80
Visualisasi Web, 45,49

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA MITRA BESTARI GEOMATIKA
VOLUME 26 TAHUN 2020

1. Prof. Bangun Mulyo Sukojo
2. Dr. Ati Rahadiati
3. Dr.rer.nat. Wiwin Windupranata
4. Dr. Ratna Sari Dewi
5. Dr. Ir. Jonson Lumban Gaol
6. Prof. Dewayany S
7. Dr. Akhmad Riqqi
8. Dr. Harintaka
9. Dr. Heri Sutanta
10. Prof. Fahmi Amhar
11. Dr. Catur Aries Rokhmana
12. Dr. Heri Andreas
13. Dadan Ramdhani, M.T
14. Dr. Abdul Basith
15. Dr. Widodo Pranowo
16. Dr. Agustan
17. Prof. Sumaryo

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 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 tandakoma yang menunjukkan subjek-subjek utama di dalam naskah.

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

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

Gambar, Grafik dan Foto harus tajam dan jelas agar cetakan berkualitas baik. Semua simbol di dalamnya harus dijelaskan. Gambar, grafik dan foto memiliki kedalaman minimal 300 dpi. Gunakan textbox untuk menyisipkan gambar. File gambar asli mohon disertakan pada lampiran terpisah (supplementary file).

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

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

Daftar Pustaka Referensi hendaknya dari sumber yang jelas dan terpercaya, minimal berjumlah 10 referensi. Setiap referensi yang tercantum dalam daftar pustaka harus dikutip (disitir) pada naskah dan sebaliknya setiap 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



0854 2759