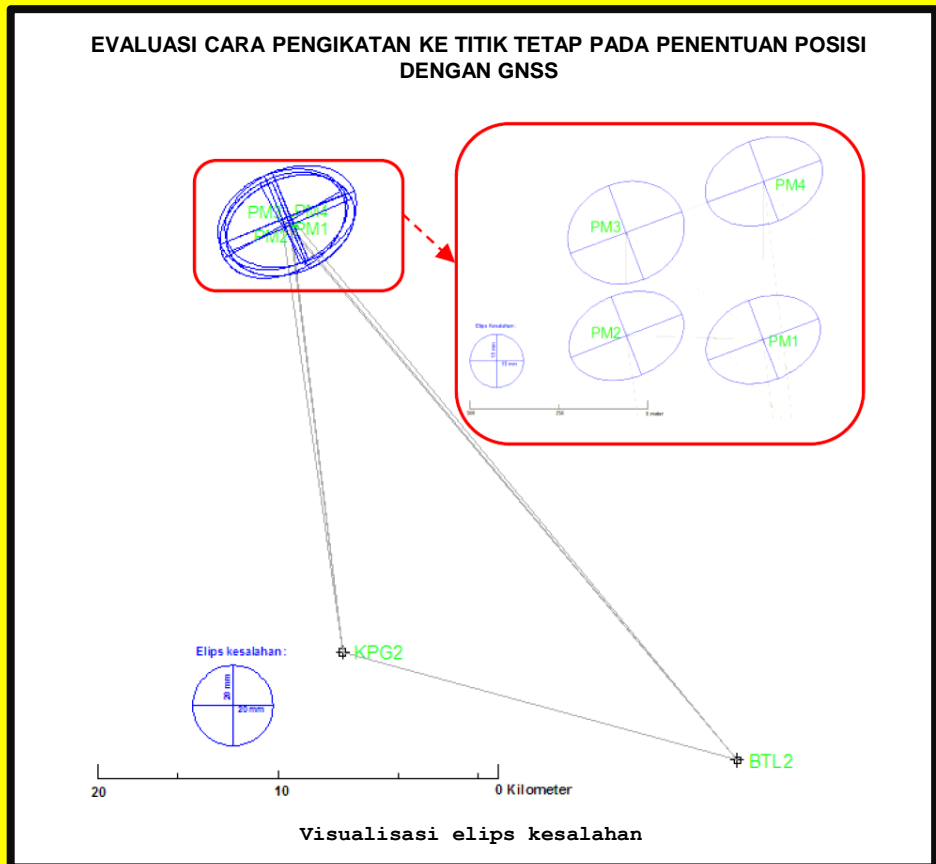


GEOMATIKA

Vol. 25 No. 2, November 2019



Geomatika | Volume 25 Nomor 2 | November 2019 | Hal. 55 - 120



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 25 No. 2, November 2019

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
Leni Sophia, M.Sc, D.Sc
Nurrochmat Widjajanti, M.Sc, Ph.D
Dr. Agustan
Dr. Akhmad Riqqi, M.Si
Dr. Dwi Lestari, S.T., ME.

Kepakaran :

Geodesi Batas Wilayah
Penginderaan Jauh
Geomorfologi
Penginderaan Jauh - SIG
Geodesi Kelautan
Geodesi Fisik
Geodesi
Penginderaan Jauh
NSDI
Geodesi dan Geodinamika

Instansi :

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

Dewan Editor:

Nama :

Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
Heri Sutanta, M.Sc, Ph.D
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. 25 No. 2, November 2019

Redaktur Pelaksana:

Nama :

Rizka Windiastuti, B.Sc, M.IT
Fahrul Hidayat, ST
Hanik Nurdiana S., SIP.
Intan Pujawati, S.Si
Yustisi Ardhitasari, ST
Agung Syetiawan, ST
Tia Rizka Nuzula Rachma, ST
M. Irwan Haryono, ST
Nugroho Purwono, S.Si
Munawaroh, S.Si
Ayu Nur Safii, ST
Aninda Wisaksanti Rudiastuti, S.Pi
Ellen Suryanegara, S.Sos
Danang Budi Susetyo, ST
Prayudha Hartanto, ST
Nadya Oktaviani, ST
Utami Yulaila, S.E

Jabatan

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

Instansi

Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
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. 25 No. 2, November 2019

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
LEMBAR ABSTRAK (ID)	v
LEMBAR ABSTRAK (EN)	vii
PENGANTAR REDAKSI	ix
EVALUASI CARA PENGIKATAN KE TITIK TETAP PADA PENENTUAN POSISI DENGAN GNSS <i>(Evaluation of the Use of Reference Points in GNSS Positioning)</i> Anindya Sricandra Prasidya, Muhamad Iqbal Taftazani, Wahyu Marta Mutiarasari, Annisa Farida Hayuningsih, Ni Putu Praja Chintya, dan Rochmad Muryanto Program Studi D-III Teknik Geomatika, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada.....	55-62
PENGUNAAN FOTO UDARA FORMAT KECIL UNTUK IDENTIFIKASI KERENTANAN LINGKUNGAN TERHADAP BENCANA TSUNAMI DI YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT (YIA) <i>(Use of Small Format Aerial Photograph for Environmental Vulnerability Identification of Tsunami Disaster at Yogyakarta International Airport (YIA))</i> Yulian Fauzi, Hartono, Kirbani Sri Brotopuspito, dan Widjo Kongko Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu.....	63-72
ALGORITMA PENENTUAN DAN REKONSTRUKSI ARAH KIBLAT TELITI MENGGUNAKAN DATA GNSS <i>(Algorithm of the Determination and Reconstruction of the Accurate Qibla Direction using GNSS Data)</i> Irwan Gumilar, Nur Fajar Trihantoro, Brian Bramanto, Heri Andreas, Hasanuddin Z. Abidin, dan Mohamad Gamal Kelompok Keilmuan Geodesi, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.....	73-84
MODEL ESTIMASI NILAI TANAH MENGGUNAKAN ANALISIS GEOSTATISTIKA <i>(Land Value Estimation Model using Analysis Geostatistics)</i> Nanin Trianawati Sugito, Irawan Soemarto, Sadikin Hendriatiningsih, dan Bambang Edhi Leksono Departemen Pendidikan Geografi, Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial, Universitas Pendidikan Indonesia.....	85-94
pyGABEUR-ITB: A FREE SOFTWARE FOR ADJUSTMENT OF RELATIVE GRAVIMETER DATA <i>(pyGABEUR-ITB: Perangkat Lunak Gratis Perataan Data Gayaberat Relatif)</i> Dudy D. Wijaya, Norman A. Muhammad, Kosasih Prijatna, Vera Sadarviana, Dina A. Sarsito, Arisauna Pahlevi, Erfan D. Variandy, and Widy Putra Geodesy Research Group, Institut Teknologi Bandung (ITB).....	95-102
SPATIOTEMPORAL CHARACTERISTICS OF SEA LEVEL ANOMALY IN THE INDONESIAN WATERS <i>(Karakteristik Spasio-Temporal Anomali Muka Air Laut di Perairan Indonesia)</i> Dina Anggreni Sarsito, Dudy Darmawan Wijaya, Nur Fajar Trihantoro, Muhammad Syahrullah and Dhota Pradipta Geodesy Research Group, Faculty of Earth Sciences and Technology, Institut Teknologi Bandung.....	103-112

LEMBAR ABSTRAK (ID)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2019
<p>Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya</p>	
<p>DDC 526.6 Prasidya (Universitas Gadjah Mada)</p> <p>Evaluasi Cara Pengikatan Ke Titik Tetap Pada Penentuan Posisi Dengan GNSS Geomatika November, Vol 25 No 2, Hal 55-62</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk Evaluasi Cara Pengikatan Ke Titik Tetap Pada Penentuan Posisi Dengan GNSS. Berdasarkan analisis, diketahui bahwa dengan asumsi titik PABU fixed dan perambatan kesalahannya pada koordinat akhir tidak diperhitungkan, skema-2 memiliki ketelitian koordinat yang lebih tinggi (2,5 mm sampai dengan 8,3 mm) dibandingkan skema-1 (24,9 mm s.d. 67,9 mm). Nilai koordinat dari dua skema tersebut berbeda secara statistik (rentang kepercayaan = 95%) hanya pada komponen easting-nya sedangkan komponen northing dan height-nya tidak demikian.</p> <p style="text-align: right;">(Prasidya)</p> <p>Kata Kunci: Titik Ikat, GNSS, Perataan Jaring, Simpangan Baku</p>	<p>DDC 526.9 Fauzi (Universitas Bengkulu)</p> <p>Penggunaan Fto Udara Format Kecil untuk Identifikasi Kerentanan Lingkungan terhadap Bencana Tsunami di <i>Yogyakarta International Airport</i> (YIA) Geomatika November, Vol 25 No 2, Hal 63-72</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi dan analisis kerentanan lingkungan terhadap bencana tsunami di YIA menggunakan Foto Udara Format Kecil (FUFK). Kerentanan lingkungan dinilai dari kondisi topografi, keberadaan petunjuk evakuasi, akses evakuasi, sumber daya untuk evakuasi, dan kondisi jalur evakuasi.</p> <p style="text-align: right;">(Fauzi)</p> <p>Kata Kunci: YIA, tsunami, kerentanan lingkungan, FUFK, tempat evakuasi sementara</p>
<p>DDC 526.6 Gumilar (Institut Teknik Bandung)</p> <p>Algoritma Penentuan Dan Rekontruksi Arah Kiblat Teliti Menggunakan Data GNSS Geomatika November, Vol 25 No 2, Hal 73-84</p> <p>Tujuan penelitian ini yaitu menentukan mekanisme perhitungan arah kiblat dan rekonstruksinya menggunakan teknologi GNSS. Metodologi yang dilakukan yaitu dengan menerapkan beberapa metode penentuan posisi menggunakan GNSS untuk menentukan arah kiblat dan perhitungan arah kiblat di atas bidang elipsoid menggunakan metode Vincenty.</p> <p style="text-align: right;">(Gumilar)</p> <p>Kata Kunci: azimuth kiblat, RTK, RTPPP, azimuth, Vincenty, reduksi</p>	<p>DDC 526.8 Sugito (Universitas Pendidikan Indonesia)</p> <p>Model Estimasi Nilai Tanah Menggunakan Analisis Geostatistika Geomatika November, Vol 25 No 2, Hal 85-94</p> <p>Tujuan penulisan ini adalah menunjukkan bahwa model semivariogram terbaik berdasarkan perhitungan adalah model Gaussian, karena memiliki besaran standar deviasi terendah bila dibandingkan dengan standar deviasi yang dihasilkan oleh model Exponential dan Spherical. Model matematika nilai tanah hasil analisis geostatistika akan dimodifikasi dengan memasukkan bobot tata ruang.</p> <p style="text-align: right;">(Sugito)</p> <p>Kata Kunci: Model, nilai tanah, geostatistika</p>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 25 No. 2, November 2019

<p>DDC 551.456 Wijaya (Institut Teknik Bandung) pyGABEUR-ITB: Perangkat Lunak Gratis Perataan Data Gayaberat Relatif Geomatika November, Vol 25 No 2, Hal 95-102</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil kedua perangkat lunak yaitu pyGABEUR-ITB dan GRAVNET. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa kedua perangkat lunak tersebut memberikan hasil yang sama, dengan nilai RMS sebesar $5 \cdot \text{Gal}$. Terkait kebutuhan komputer, untuk menjalankan pyGABEUR-ITB diperlukan komputer dengan kebutuhan minimal sebagai berikut: x86 CPU, 1 GB RAM, WINDOWS 7 OS.</p> <p style="text-align: right;">(Wijaya)</p> <p>Kata Kunci: perangkat lunak gratis, python, gayaberat relatif, perataan terkendala-berbobot</p>	<p>DDC 529.22 Sarsito (Institut Teknik Bandung) Karakteristik Spasio-Temporal Anomali Muka Air Laut di Perairan Indonesia Geomatika November, Vol 25 No 2, Hal 103-112</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi akibat pengaruh letak geografis, kedalaman bathimetri serta pola musiman. Kecepatan SLA di wilayah Indonesia memberikan nilai yang bervariasi antara 3,4 mm/th sampai dengan 5,3 mm/th, dimana nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan kecepatan SLA global 3,2 mm/th. Dampak yang diakibatkan oleh fenomena tersebut pada saat ini perlu menjadi perhatian mengingat kerentanan dan bencana yang dapat membahayakan wilayah pesisir dan kepulauan di Indonesia.</p> <p style="text-align: right;">(Sarsito)</p> <p>Kata kunci: Indonesia, anomali muka air laut, altimetri</p>
--	--

LEMBAR ABSTRAK (EN)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2019
<p>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</p>	
<p><i>DDC</i> 526.6 <i>Prasidya</i> (Universitas Gadjah Mada)</p> <p><i>Evaluation of the Use of Reference Points in GNSS Positioning</i> <i>Geomatika November, Vol 25 No 2, PP 55-62</i> <i>This study aims to Evaluate to bind to a fixed point on the Determination of Position with GNSS. Based on analysis, it was known that with the assumption that PABU point was fixed and propagation of its error to final coordinate wasn't considered, then scheme-2 had better coordinate precision range (2.5 mm to 8.3 mm) than scheme-1 (24.9 mm to 67.9 mm). The coordinate values of the two schemes were statistically different (confidence level = 95%) only on their easting component while their northing and height component were not different.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Prasidya)</i></p> <p><i>Keywords: Reference Point, GNSS, Network Adjustment, Standard Deviation</i></p>	<p><i>DDC</i> 526.9 <i>Fauzi</i> (Universitas Bengkulu)</p> <p><i>Use of Small Format Aerial Photograph for Environmental Vulnerability Identification of Tsunami Disaster at Yogyakarta International Airport</i> <i>Geomatika November, Vol 25 No 2, PP 63-72</i></p> <p><i>The results of the identification and analysis showed that environmental vulnerability to deal with tsunami disasters at the study sites was still low. This could be seen from the presence of evacuation directions that were not well spreaded, limited roads for evacuation routes, and there were no higher grounds.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Fauzi)</i></p> <p><i>Keywords: YIA, tsunami, vulnerability environment, SFAP, temporary evacuation sites</i></p>
<p><i>DDC</i> 526.6 <i>Gumilar</i> (Institut Teknik Bandung)</p> <p><i>Algorithm of the Determination and Reconstruction of the Accurate Qibla Direction using GNSS Data</i> <i>Geomatika November, Vol 25 No 2, PP 73-84</i></p> <p><i>This research aimed to find out the procedure of Qibla determining and its reconstruction using GNSS. The methodology used in this research was by applying several methods in GNSS based point positioning to determine the Qibla direction.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Gumilar)</i></p> <p><i>Keywords: Qibla, RTK, RTPPP, azimuth, Vincenty, reductions</i></p>	<p><i>DDC</i> 526.8 <i>Sugito</i> (Universitas Pendidikan Indonesia)</p> <p><i>Land Value Estimation Model using Analysis Geostatistics</i> <i>Geomatika November, Vol 25 No 2, PP 85-94</i></p> <p><i>showed that the best semivariogram model based on calculations was the Gaussian model, because it had the lowest standard deviation magnitude when compared to the standard deviation produced by the Exponential and Spherical models. The mathematical model of land values resulting from geostatistical analysis would be modified by including spatial weighting.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Sugito)</i></p> <p><i>Keywords: Model, land value, geostatistics</i></p>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 25 No. 2, November 2019

<p>DDC 551.456 Wijaya (Institut Teknik Bandung) <i>pyGABEUR-ITB: A Free Software for Adjustment of Relative Gravimeter Data</i> <i>Geomatika November, Vol 25 No 2, PP 95-102</i></p> <p><i>This study aims to compare the results of both software namely pyGABEUR-ITB and GRAVNET. Comparison results show that both software gave the same result, with a value of RMS of 5Rinse Gal. Related computer needs, to run pyGABEUR-ITB required computers with minimal needs as follows: x86 CPU, 1 GB RAM, WINDOWS 7 OS.</i></p> <p style="text-align: right;">(Wijaya)</p> <p>Keywords: free software, python, relative-gravity, constrained adjustment</p>	<p>DDC 529.22 Sarsito (Institut Teknik Bandung) <i>Spatiotemporal Characteristics of Sea Level Anomaly in The Indonesian Waters</i> <i>Geomatika November, Vol 25 No 2, PP 103-112</i></p> <p><i>This study aims to find out variations due to the influence of geographical location, bathimetric depth and seasonal patterns. SLA speed in Indonesia provides values that vary from 3.4 mm/th to 5.3 mm/th, where the value is higher than the global SLA speed of 3.2 mm/th. The impact caused by this phenomenon at this time needs to be of concern given the vulnerability and disaster that can harm coastal areas and islands in Indonesia.</i></p> <p style="text-align: right;">(Sarsito)</p> <p>Keywords: Indonesia, sea level anomaly, altimetry</p>
---	--

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Jurnal Geomatika Volume 25 No. 2 November 2019 dapat kembali terbit. Dengan semangat untuk selalu memberikan yang terbaik, redaksi berharap agar setiap edisinya semakin berkualitas dengan memuat hasil penelitian yang berguna dan sesuai perkembangan di bidang Informasi Geospasial Dasar, melalui riset dan teknologi survei pemetaan dalam bidang-bidang ilmu kebumihan, teknologi *Global Navigation Satellite System* (GNSS), penginderaan jauh, sistem informasi geografis, batas wilayah dan lain-lain.

Jurnal Geomatika Volume 25 No. 2 November 2019 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari lima karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Universitas Gadjah Mada, Universitas Bengkulu, Institut Teknologi Bandung, Universitas Pendidikan Indonesia. Penelitian pertama bertujuan untuk mengevaluasi cara peningkatan ke titik tetap pada penentuan posisi dengan GNSS. Penelitian kedua bertujuan untuk melakukan identifikasi dan analisis kerentanan lingkungan terhadap bencana tsunami di YIA menggunakan Foto Udara Format Kecil (FUFK). Penelitian ketiga bertujuan untuk menentukan mekanisme perhitungan arah kiblat dan rekonstruksinya menggunakan teknologi GNSS. Penelitian keempat bertujuan untuk menunjukkan bahwa model semivariogram terbaik berdasarkan perhitungan adalah model Gaussian, karena memiliki besaran standar deviasi terendah bila dibandingkan dengan standar deviasi yang dihasilkan oleh model Exponential dan Spherical. Penelitian kelima bertujuan membandingkan hasil kedua perangkat lunak yaitu pyGABEUR-ITB dan GRAVNET dengan nilai RMS. Penelitian keenam bertujuan untuk mengetahui variasi akibat pengaruh letak geografis, kedalaman bathimetrik serta pola musiman. 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 2019

Redaksi

EVALUASI CARA PENGIKATAN KE TITIK TETAP PADA PENENTUAN POSISI DENGAN GNSS

(Evaluation of the Use of Reference Points in GNSS Positioning)

Anindya Sricandra Prasidya, Muhamad Iqbal Taftazani, Wahyu Marta Mutiarasari, Annisa Farida Hayuningsih, Ni Putu Praja Chintya, dan Rochmad Muryamto

Program Studi D-III Teknik Geomatika, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

Jl. Yacarana, Sekip Unit I, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

E-mail: anindya.sricandra.p@ugm.ac.id

Diterima: 08 November 2018; Direvisi: 08 April 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 28 Juni 2019

ABSTRAK

Pengikatan ke titik tetap dalam sebuah penentuan posisi dengan GNSS merupakan salah satu faktor yang berpengaruh pada hasil perataan jaring GNSS. Cara pengikatan ke titik tetap masih jarang dikaji, padahal hal ini sering terjadi. Jauhnya lokasi titik tetap dan pendeknya baseline yang disurvei membuat cara pengikatan secara langsung ke titik tetap menghasilkan geometri jaringan yang kurang ideal. Masalah ketelitian yang dihasilkan akibat kasus tersebut dikaji pada penelitian ini. Dua pendekatan cara pengikatan yang dipakai dalam studi ini yakni skema-1 dan skema-2. Skema-1 adalah pengikatan langsung dari dua titik tetap (KPG2 dan BTL2) ke titik uji (PM1, PM2, PM3, dan PM4), sedangkan skema-2 adalah cara pengikatan beranting dari titik KPG2 dan BTL2 ke titik perantara dekat lokasi (PABU) yang dipakai untuk mengikat titik-titik uji. Titik uji diamat selama 30 menit dan titik PABU diamati selama 3 jam menggunakan pengamatan GNSS diferensial statik. Berdasarkan analisis, diketahui bahwa dengan asumsi titik PABU *fixed* dan perambatan kesalahannya pada koordinat akhir tidak diperhitungkan, skema-2 memiliki ketelitian koordinat yang lebih tinggi (2,5 mm sampai dengan 8,3 mm) dibandingkan skema-1 (24,9 mm s.d. 67,9 mm). Nilai koordinat dari dua skema tersebut berbeda secara statistik (rentang kepercayaan = 95%) hanya pada komponen *easting*-nya sedangkan komponen *northing* dan *height*-nya tidak demikian. Ketelitian antara kedua skema pun berbeda secara statistik pada semua komponen koordinat. Dengan demikian, pada kasus ini, cara pengikatan beranting menghasilkan ketelitian koordinat yang lebih tinggi dibandingkan pengikatan langsung.

Kata kunci: Titik Ikat, GNSS, Perataan Jaring, Simpangan Baku

ABSTRACT

The binding to reference points in GNSS positioning is one of factors affected GNSS network adjustment result. The binding to reference point method is rarely studied, even though it frequently happens. The distant reference point and the short baseline surveyed cause the direct binding to reference point has less ideal network geometry. The precision problem of this case was investigated in this study. Two kinds of binding method were introduced in this study, namely scheme-1 and scheme-2. Scheme-1 was the direct binding method from two reference points (KPG2 and BTL2) to surveyed points (PM1, PM2, PM3, and PM4), while scheme-2 was the sequential binding method from KPG2 and BTL2 point to intermediary near sites point (PABU) which was used to bind the surveyed points. The surveyed points were observed for 30 minutes and PABU point was observed for 3 hours using GNSS static differential observation. Based on analysis, it was known that with the assumption that PABU point was fixed and propagation of its error to final coordinate wasn't considered, then scheme-2 had better coordinate precision range (2.5 mm to 8.3 mm) than scheme-1 (24.9 mm to 67.9 mm). The coordinate values of the two schemes were statistically different (confidence level = 95%) only on their easting component while their northing and height component were not different. Coordinate precisions of the two schemes were statistically different in all coordinate components. Therefore, in this case, sequential binding method produced higher coordinate precision than direct binding.

Keywords: Reference Point, GNSS, Network Adjustment, Standard Deviation

PENDAHULUAN

Dewasa ini, kebutuhan penentuan posisi titik secara teliti di atas permukaan bumi telah meningkat pesat. Sebuah titik di permukaan bumi dinyatakan dalam nilai koordinat tertentu sesuai

sistem koordinat yang dipakai. Pada keperluan rekayasa, posisi suatu titik di permukaan bumi harus ditentukan secara tepat dan teliti, sehingga penerapan rencana ke lapangan semakin baik. Penentuan posisi secara teliti untuk suatu titik

semakin diperlukan apabila terkait dengan pengadaan kerangka kontrol. Salah satu metode penentuan posisi yang teliti dan mampu memenuhi spesifikasi pengadaan kerangka kontrol dengan kemampuan cakupan luas adalah menggunakan metode pengamatan satelit navigasi GNSS (Abidin, 2007). Dalam mencapai tujuan tersedianya posisi titik yang teliti sesuai spesifikasi tertentu, perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi ketelitian saat pelaksanaan pengamatan. Faktor-faktor tersebut, yaitu metode pengamatan, waktu saat pengamatan, lama waktu pengamatan, dan pengikatan ke titik tetap (Abidin, 2007).

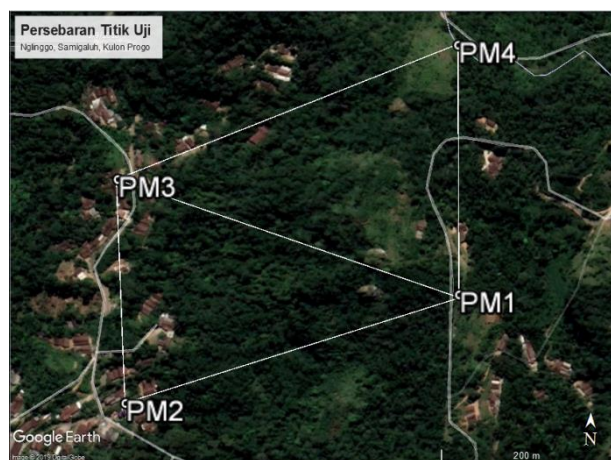
Strategi pengikatan ke titik tetap saat pengamatan GNSS menjadi hal yang penting untuk mendefinisikan datum dari kerangka acuan yang sesuai dengan sistem acuan yang berlaku di suatu wilayah dan memelihara konsistensi dan homogenitas akurasi titik terhadap kerangka acuan (Nugroho & Suntoko, 2011). Pengikatan ke titik tetap juga dijadikan standar dan spesifikasi survei dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) Jaring Kontrol Horizontal (JKH) dalam hal kontrol kualitas hasil perataan jaring terikat dan penentuan parameter transformasi koordinat (Badan Standardisasi Nasional, 2002). Dalam hal ini, jumlah, distribusi, dan ketelitian titik tetap yang dijadikan titik ikat sangat mempengaruhi ketelitian titik hasil perataan jaring GNSS saat proses pengolahan data (Artini, 2014; Ikbal, Yuwono, & Amarrohman, 2017; Rudianto & Yuhana, 2013).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak membahas pengaruh jumlah, distribusi, dan ketelitian titik ikat. Hasil yang diperoleh bahwa secara umum, hal-hal tersebut sangat mempengaruhi ketelitian posisi yang dihasilkan pada penentuan posisi dengan GNSS. Di sisi lain, dalam pelaksanaan pengikatan ke titik tetap, masalah yang muncul tidak hanya terkait dengan jumlah, distribusi, dan ketelitian titik ikat. Pada kasus tertentu, terkadang didapati bahwa titik ikat berada sangat jauh dari lokasi yang disurvei. Apabila lokasi yang dipetakan memiliki cakupan sempit, dapat menyebabkan geometri jaringan menjadi tidak ideal. Dalam hal ini, alternatif cara pengikatan ke titik tetap menarik untuk dikaji. Alternatif cara yang dibahas yaitu mendekatkan titik ikat yang jauh dengan cara pengikatan secara tidak langsung atau beranting (Abidin, Jones, & Kahar, 2016).

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi ketelitian cara pengikatan ke titik tetap saat pengamatan GNSS, khususnya pada studi kasus di mana baseline yang disurvei relatif sempit dan posisi titik ikat jauh dari lokasi. Cara pengikatan ke titik tetap yang dievaluasi adalah cara alternatif pengikatan ke titik tetap secara beranting dari segi efektivitas, perbedaan nilai koordinat dan ketelitian yang dihasilkan dari cara ini jika dibandingkan dengan cara pengikatan langsung.

METODE

Lokasi penelitian berada pada wilayah Kebun Teh Nginggo, Kecamatan Samigaluh, Kulon Progo. Pada lokasi ini terdapat titik-titik uji berupa *Ground Control Point* (GCP) pemetaan secara fotogrametris dengan UAV dalam cakupan sempit yang ditentukan posisinya, yaitu PM1, PM2, PM3, dan PM4. Jarak antar titik GCP maksimal sebesar 500 m. Adapun lokasi titik tetap masing-masing di Kabupaten Bantul dan Kabupaten Kulonprogo, yaitu titik stasiun CORS BTL2 dan KPG1. Jarak titik BTL2 dari lokasi survei sekitar 35 km, sedangkan KPG2 berjarak sekitar 21 km. Sketsa persebaran titik GCP yang dipakai pada penelitian ini disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Sketsa persebaran titik uji (PM1, PM2, PM3, dan PM4).

Alat dan bahan yang digunakan yaitu tiga unit GNSS dual-frekuensi merek Javad Triumph-1 dan dua unit GNSS merek Leica GS08, perangkat lunak GNSS komersial, dan data RINEX stasiun CORS BTL2 dan KPG2. Data GNSS direkam selama 30 menit pada masing-masing titik uji dan 3 jam pada titik pilar PABU, interval pengamatan 5 detik, dan *elevation mask* 10°. Metode yang dipakai adalah statik diferensial. Metode ini dipilih karena metode ini merupakan metode penentuan posisi GNSS yang paling teliti (El-Rabbany, 2002).

Pengolahan Data GNSS Diferensial

Pengolahan data GNSS secara umum dilakukan dengan tahapan berikut (H. Z. Abidin, 2007; Rizos, 1997): (1) Pemrosesan awal terdiri atas konversi data raw ke format RINEX (transfer dan pengkodean data), (2) pemeriksaan dan pengeditan data, (3) penentuan posisi awal dari data *pseudorange*, dan (4) penyiapan data. Hasil tahap ini dipakai pada pengolahan *baseline*. Pengolahan *baseline* bertujuan memperoleh solusi vektor *baseline* (dx, dy, dz) dan solusi ambiguitas fase (N) beserta matriks varian kovariansnya. Pengolahan tersebut terdiri atas beberapa tahap, yaitu dari pemrosesan awal, penetapan satu titik di

ujung *baseline* sebagai *monitor station*, *differential positioning* menggunakan data fase *triple-difference*, pendeteksian dan pengkoreksian *cycle slips*, *differential positioning* dengan data fase *double-difference* yang menghasilkan *ambiguitas fase free/float*, penentuan *cycle ambiguity (searching and fixing)*, terakhir dilakukan kembali proses *double-difference* fase untuk memperoleh nilai ambiguitas fase *fixed*. Proses-proses estimasi pada pengolahan *baseline* yang dipakai yaitu metode perataan kuadrat terkecil. Hasil tahapan ini dipakai pada proses perataan jaringan.

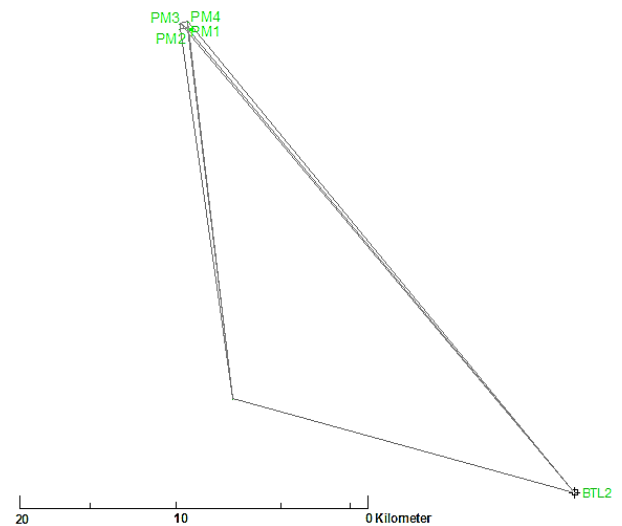
Data solusi *baseline* dijadikan data masukan dalam proses perataan jaring. *Baseline* yang belum terintegrasi dan koordinat titiknya belum unik diproses agar menghasilkan koordinat titik yang unik dan *baseline* terintegrasi dan konsisten (Abidin & Mugiarto, 2000). Proses perataan jaring terdiri atas perataan jaring bebas (*minimum constraint*) dan terikat (*full constraint*) (Rudianto & Izman, 2011). Koordinat akhir yang dipakai adalah koordinat dari hasil perataan jaring terikat dengan memakai semua titik ikat yang dianggap tanpa kesalahan. Perataan jaring terikat ini memberikan koordinat definitif untuk semua titik-titik yang baru. Konversi dilakukan untuk mendapatkan nilai koordinat yang sudah terproyeksi pada bidang datar dari koordinat pada bidang lengkung (RICS, 2010). Tujuannya adalah mendapatkan koordinat dalam satuan metrik yang siap dipakai untuk pemetaan di lapangan (El-Rabbany, 2002).

Pembuatan Skema Pengolahan

Pengolahan data GNSS dilakukan pada dua skema sesuai skema pengukuran. Penentuan dua skema ini didasarkan pada variabel bagaimana cara pengikatan titik uji yang berupa titik GCP seperti ditunjukkan **Gambar 1**. Dua skema ini mengikatkan titik uji secara langsung ke stasiun CORS dan secara tidak langsung melalui titik perantara.

Skema-1

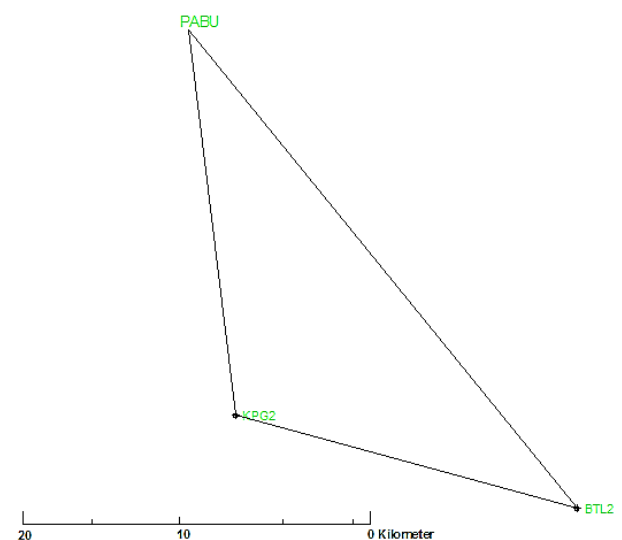
Pengolahan pertama dilaksanakan dengan cara pengikatan langsung titik-titik uji di lokasi survei ke titik tetap CORS BTL2 dan KPG2. Sketsa pengamatan GNSS disajikan pada **Gambar 2**. Berdasarkan **Gambar 2** terlihat bahwa panjang *baseline* titik uji PM1, PM2, PM3, dan PM4 di lokasi survei relatif pendek jika dibandingkan dengan *baseline* ke titik tetap. Panjang *baseline* di lokasi survei hanya berkisar 300 s.d. 500 meter saja, sedangkan *baseline* ke titik tetap panjangnya lebih dari 30 kilometer. Hal ini menyebabkan tidak idealnya geometri jaringan pengamatan GNSS.



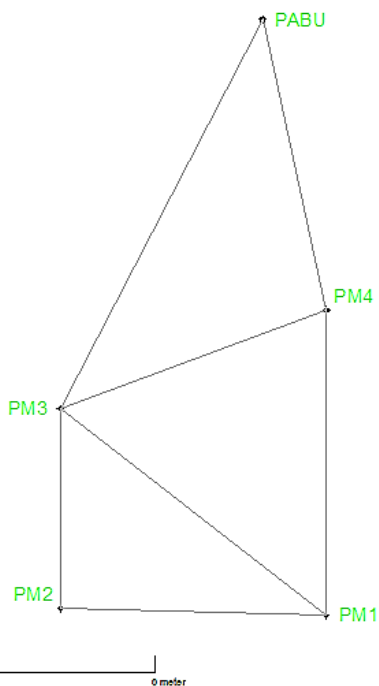
Gambar 2. Pengamatan jaring skema-1.

Skema-2

Pengolahan skema kedua dilakukan dengan cara pengikatan secara beranting/tidak langsung, yakni membuat titik perantara atau titik tetap baru (titik PABU) di dekat lokasi pengukuran berdasarkan pengikatan ke titik tetap BTL2 dan KPG2, kemudian hasilnya dapat dipakai untuk melakukan pengolahan titik-titik uji. Berbeda dengan skema sebelumnya, skema ini menyediakan titik perantara dahulu sebelum dipakai untuk pengikatan titik uji. Pengamatan GNSS untuk pengikatan titik perantara ini dilakukan lebih lama dibandingkan pengamatan titik uji, yaitu selama 3 jam. Titik perantara ini berupa pilar cor beton, sehingga relatif lebih stabil dibanding titik uji. Skema ini dijelaskan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



Gambar 3. Penentuan posisi titik perantara (PABU) berdasarkan titik CORS BTL2 dan KPG2 pada skema-2.



Gambar 4. Pengamatan titik uji berdasarkan titik PABU pada skema-2.

Uji Statistik Perbandingan Nilai Koordinat dan Simpangan Baku

Selanjutnya analisis perbandingan dilakukan terhadap hasil koordinat dan simpangan baku masing-masing titik uji yang diperoleh dari dua skema yang berbeda. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui apakah nilai koordinat hasil skema-1 dan skema-2 berbeda signifikan atau tidak. Dalam hal ini, uji signifikansi beda dua parameter dilakukan dengan distribusi *student* pada tingkat kepercayaan 95% dengan derajat kebebasan ∞ . Kriteria pengujiannya pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** (Ulinuha, 2015).

$$t = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2}} \dots\dots\dots(1)$$

$$t \leq t(\alpha/2, df) \dots\dots\dots(2)$$

di mana:

x_1, x_2 : koordinat komponen skema-1 dan skema-2

$\sigma_{x1}^2, \sigma_{x2}^2$: varian koordinat skema-1 dan skema-2

Dalam persamaan tersebut, penolakan hipotesis nol (H_0) jika kriteria pada **Persamaan 2** tidak terpenuhi, sehingga kedua parameter berbeda secara signifikan. Selain uji signifikansi beda dua parameter, perbandingan ketelitian koordinat hasil kedua skema tersebut juga diuji signifikansi perbedaannya secara statistik. Dalam hal ini, uji *Fisher (F-test)* dilakukan dengan distribusi *Fisher* pada tingkat akurasi 95% dan derajat kebebasan tertentu. Kriteria pengujiannya tertera pada

Persamaan 3 dan **Persamaan 4** (Ghilani & Wolf, 2006).

$$F = \frac{\sigma_{x1}^2}{\sigma_{x2}^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$F > F_{\alpha/2, v1, v2} \dots\dots\dots(4)$$

di mana,

v_1, v_2 = derajat kebebasan dari skema-1 dan skema-2

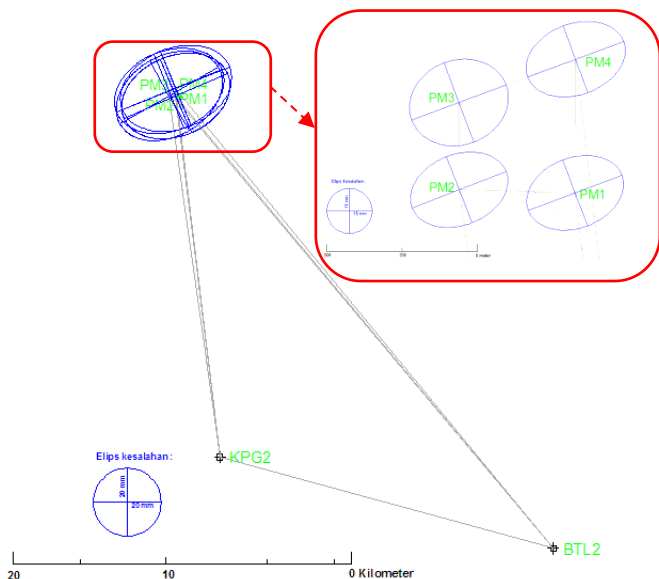
$\sigma_{x1}^2, \sigma_{x2}^2$ = varian nilai koordinat skema-1 dan 2

Dalam **Persamaan 4**, jika kriteria tidak terpenuhi, maka terjadi penolakan hipotesis nol (H_0). Hal ini berarti bahwa secara statistik ketelitian komponen koordinat pada kedua skema berbeda secara signifikan. Dalam penelitian ini, perbedaan dari segi nilai dan ketelitian ini menjadi kajian utama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perataan Jaring Skema-1 dan Skema-2

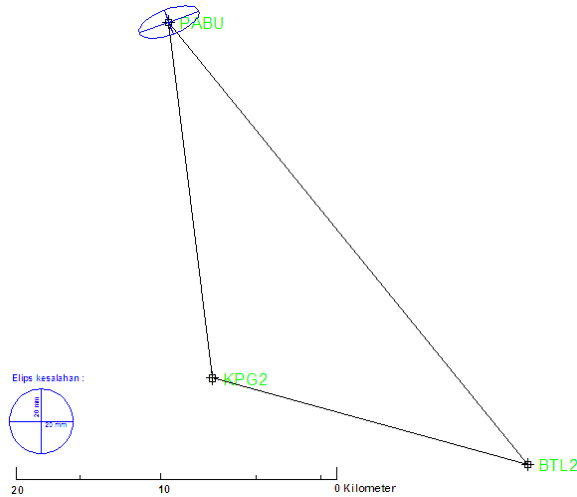
Analisis hasil perataan jaring dilakukan pada kedua skema. Pada skema-1, titik uji PM1, PM2, PM3, dan PM4 dilakukan perataan jaring terikat pada stasiun CORS KPG2 dan BTL2. Dalam hal ini, pengikatan dilaksanakan langsung dengan *baseline* ikatan sejauh 21 dan 35 km. Posisi antar titik uji yang sangat dekat membuat bentuk jaring titik yang diikat terlihat saling menumpuk. Bentuk jaring hasil perataan pada skema-1 beserta elips kesalahannya disajikan pada **Gambar 5**.



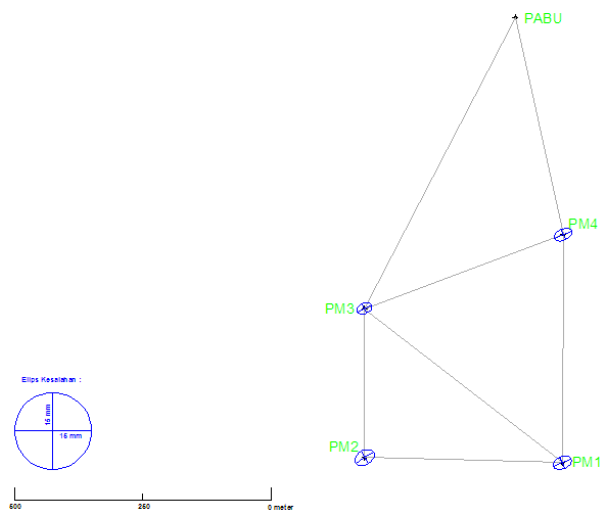
Gambar 5. Visualisasi elips kesalahan hasil pengolahan skema-1.

Pada skema-2, titik uji diolah melalui proses perataan jaring terikat ke titik PABU. Titik PABU merupakan titik yang diadakan dekat area yang

dipetakan untuk proses pengikatan secara beranting. Titik PABU diolah terikat pada titik yang sama pada skema-1, yaitu titik CORS KPG2 dan BTL2. Berdasarkan cara ini, titik KPG2 dan BTL2 tidak langsung dipakai untuk mengikat titik PM1, PM2, PM3, dan PM4. Dengan demikian, geometri jaring titik PABU dan titik-titik uji menjadi lebih baik. Hasil perataan jaring terikat titik PABU disajikan pada **Gambar 6**, sedangkan hasil perataan jaring terikat pada titik-titik uji disajikan pada **Gambar 7**.



Gambar 6. Visualisasi elips kesalahan titik perantara (PABU) hasil pengolahan skema-2.



Gambar 7. Visualisasi elips kesalahan titik uji (PM1, PM2, PM3, dan PM4) hasil pengolahan skema-2.

Hasil pengolahan secara umum pada skema-1, ketelitian horizontalnya adalah 34,1 mm dan ketelitian vertikalnya adalah 67,9 mm. Adapun nilai koordinat dan simpangan baku setiap titik disajikan pada **Tabel 1**. Dari **Tabel 1** diketahui bahwa rentang ketelitian (yang ditunjukkan dengan nilai simpangan baku) koordinat dari hasil perataan

jaring skema-1 adalah 24,9 mm s.d. 67,9 mm. Dalam hal ini, nilai ketelitian masing-masing titik hampir memiliki nilai yang sama.

Tabel 1. Nilai koordinat geodetik dan simpangan baku pada skema-1.

Titik		Lintang	Bujur	Tinggi [m]
BTL2	Koordinat	S7° 53' 43,74217"	E110° 20' 46,90369"	78,438
	S.Baku. (mm)	0,0	0,0	0,0
KPG 2	Koordinat	S7° 50' 47,33427"	E110° 10' 04,58830"	59,609
	S.Baku. (mm)	0,0	0,0	0,0
PM1	Koordinat	S7° 39' 13,68022"	E110° 08' 40,83171"	885,805
	S.Baku. (mm)	24,9	32,3	67,3
PM2	Koordinat	S7° 39' 13,31970"	E110° 08' 28,23746"	799,771
	S.Baku. (mm)	25,1	32,4	67,8
PM3	Koordinat	S7° 39' 03,84601"	E110° 08' 28,23006"	821,515
	S.Baku. (mm)	25,0	32,4	67,4
PM4	Koordinat	S7° 38' 59,17971"	E110° 08' 40,91479"	918,480
	S.Baku. (mm)	25,2	33,0	67,9

Pada skema-2, hasil dibedakan menjadi dua jenis, yaitu hasil perataan jaring pada titik ikat PABU terhadap CORS KPG2 dan BTL2 dan hasil perataan jaring pada titik-titik uji terhadap titik PABU. Hasil perataan jaring pada titik ikat PABU, diperoleh ketelitian horizontal sebesar sebesar 19,1 mm dan ketelitian vertikal (tinggi elipsoid) sebesar 21,4 mm. Sedangkan ketelitian pengolahan titik uji terikat pada PABU sebesar 4,1 mm pada komponen horizontalnya dan sebesar 8,3 mm pada komponen vertikalnya. Hasil koordinat dan simpangan baku setiap titik uji disajikan pada **Tabel 2**.

Berdasarkan **Tabel 2** diketahui bahwa pada pengukuran selama 30 menit dengan jarak titik tetap sejauh 21 km dan 35 km, skema-2 mampu menghasilkan ketelitian koordinat titik uji antara 2,5 mm s.d. 8,3 mm. Pola ketelitian koordinat berdasarkan hasil pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** menunjukkan pola yang sama, yaitu ketelitian komponen vertikal 2 s.d. 3 kali ketelitian komponen horizontalnya (Abidin, 2007). Ketelitian dalam bentuk simpangan baku ini nantinya dipakai dalam uji statistik menentukan beda koordinat dan ketelitian.

Tabel 2. Nilai koordinat geodetik dan simpangan baku pada skema-2.

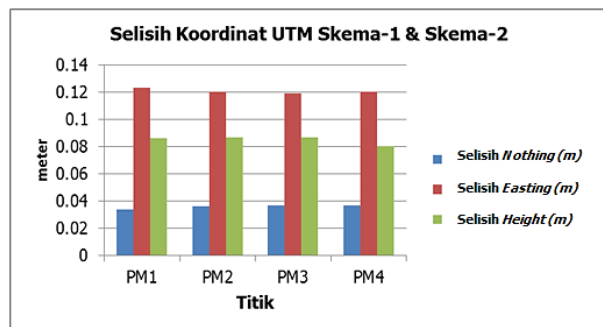
Titik		Lintang	Bujur	Tinggi [m]
PABU	Koordinat	S7° 38' 45,36937"	E110° 08' 37,89138"	904,462
	S.Baku.(mm)	0,0	0,0	0,0
PM1	Koordinat	S7° 39' 13,68415"	E110° 08' 40,83055"	885,719
	S.Baku.(mm)	2,7	3,5	7,4
PM2	Koordinat	S7° 39' 13,32363"	E110° 08' 28,23633"	799,684
	S.Baku.(mm)	3,1	3,7	8,3
PM3	Koordinat	S7° 39' 03,84995"	E110° 08' 28,22892"	821,428
	S.Baku.(mm)	2,2	3,0	6,3
PM4	Koordinat	S7° 38' 59,18358"	E110° 08' 40,91364"	918,400
	S.Baku.(mm)	2,5	3,5	6,8

Tabel 3. Hasil uji signifikansi beda dua parameter.

Titik		<i>Northing</i>	<i>Easting</i>	<i>Height</i>
PM1	Nilai t-hitung	1,36	3,78	1,27
	Hasil uji-t	Ho diterima	Ho ditolak	Ho diterima
PM2	Nilai t-hitung	1,42	3,68	1,27
	Hasil uji-t	Ho diterima	Ho ditolak	Ho diterima
PM3	Nilai t-hitung	1,47	3,66	1,27
	Hasil uji-t	Ho diterima	Ho ditolak	Ho diterima
PM4	Nilai t-hitung	1,46	3,62	1,17
	Hasil uji-t	Ho diterima	Ho ditolak	Ho diterima

Evaluasi Hasil Perbandingan Koordinat dan Simpangan Baku

Koordinat titik-titik uji pada skema-1 dan skema-2 dibandingkan untuk memperoleh tingkat perbedaan nilai dan ketelitiannya. Nilai koordinat geodetik dikonversi menjadi koordinat UTM. Hasil perbandingan koordinat pada setiap titik di setiap komponennya disajikan pada **Gambar 8**.



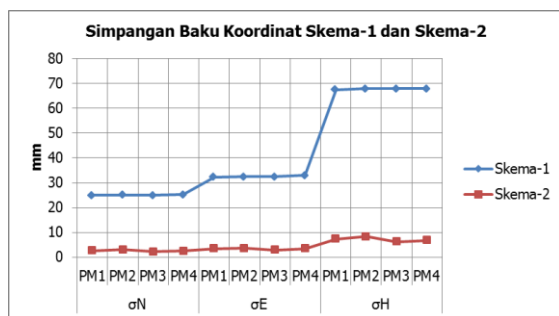
Gambar 8. Selisih koordinat UTM skema-1 dan skema-2.

Berdasarkan **Gambar 8**, diketahui bahwa selisih komponen *Northing* kurang dari 4 cm, sedangkan pada komponen *Easting* kurang dari 13 cm. Dalam hal ini, selisih komponen koordinat *Easting* memiliki selisih nilai yang lebih besar dari komponen *Northing*-nya. Perbedaan ini nampak cukup besar, tetapi untuk melihat apakah keduanya berbeda signifikan, maka perlu dikaitkan dengan ketelitiannya. Hasil perbandingan nilai koordinat dengan ketelitiannya dalam uji statistik menggunakan distribusi *student* dengan kriteria seperti **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** disajikan pada **Tabel 3**.

Berdasarkan **Tabel 3**, diketahui bahwa nilai t hitung pada komponen *Easting* dan *Height* memiliki nilai kurang dari t tabel, yaitu 1,96, sedangkan pada komponen *Northing* nilai t hitung lebih dari t tabel. Hal ini menunjukkan bahwa dalam tingkat kepercayaan 95% terjadi perbedaan nilai yang signifikan pada komponen *Easting*, dan tidak terjadi perbedaan signifikan secara statistik pada komponen *Northing* dan *Height*. Dengan demikian, hasil koordinat skema-1 dan skema-2 tidak sepenuhnya berbeda akibat perbedaan cara pengikatan yang diterapkan. Perbedaan signifikan hanya terlihat pada komponen *Easting* saja, meskipun secara nilai terjadi perbedaan dalam fraksi sentimeter dan desimeter. Perbedaan signifikan pada komponen *Easting* ini dikarenakan posisi titik ikat PABU relatif berada di utara titik-titik uji, sehingga kontrol komponen *Northing* lebih baik dibandingkan terhadap komponen *Easting*-nya. Dalam hal ini, pengaruh penggunaan titik ikat PABU yang memiliki kesalahan belum diperhitungkan. Selanjutnya, evaluasi ketelitian koordinat dilakukan terhadap kedua skema tersebut. Hasil perbandingan ini disajikan pada **Gambar 9**.

Berdasarkan **Gambar 9**, ketelitian koordinat titik-titik uji pada setiap komponennya pada skema-2 lebih teliti daripada skema-1 ditandai dengan grafik simpangan baku yang relatif di bawah grafik skema-2. Rentang ketelitian koordinat skema-1 antara 24,9 mm s.d. 67,9 mm, sedangkan rentang ketelitian koordinat skema-2 antara 2,5 mm s.d. 8,3 mm. Dengan demikian, skema-2 menghasilkan ketelitian koordinat yang lebih tinggi. Meskipun demikian, hal ini masih memiliki beberapa batasan. Pertama, bahwa ketelitian skema-2 ini dipengaruhi

juga oleh ketelitian titik PABU yang memiliki nilai simpangan baku seperti disajikan pada **Gambar 5**. Dalam hal ini, pengkajian seberapa besar pengaruh kesalahan titik PABU terhadap hasil koordinat PM titik uji belum spesifik dilakukan. Kedua, ketelitian skema-2 ini masih menggunakan perataan jaring *minimum constraint* dengan memakai satu titik ikat saja. Hal ini tentu mempengaruhi juga tingkat ketelitian koordinat yang diperoleh. Padahal apabila dilakukan penambahan jumlah titik ikat (lebih dari 1 titik), maka perataan jaring *full constraint* dapat dilakukan, sehingga dapat meningkatkan tingkat kepresisian koordinat (Abidin et al., 2016). Berdasarkan dua batasan ini, dimungkinkan nilai koordinat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** memiliki nilai yang hampir sama. Perlu penelitian lanjut untuk menjawab hal ini.



Gambar 9. Perbandingan simpangan baku koordinat skema-1 dan skema-2.

dimana:

- σN = Simpangan baku pada komponen *Northing*
- σE = Simpangan baku pada komponen *Easting*
- σH = Simpangan baku pada komponen *Height*

Berdasarkan **Gambar 9** terlihat perbedaan yang cukup signifikan ketelitian koordinat dari skema-1 dan skema-2. Dalam hal ini, uji statistik dilakukan untuk mengetahui apakah perbedaan ketelitian tersebut signifikan secara statistik atau tidak. Berdasarkan kriteria pada **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**, hasil uji seperti disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil uji-F.

Titik		σN	σE	σH
PM1	Nilai	85,049	85,166	82,957
	F-			
	hitung			
	Hasil	Ho	Ho	Ho
PM2	Uji-F	ditolak	ditolak	ditolak
	Nilai	65,558	76,681	66,727
	F-			
	hitung			
PM3	Hasil	Ho	Ho	Ho
	Uji-F	ditolak	ditolak	ditolak
	Nilai	129,132	116,640	116,160
	F-			
PM4	hitung			
	Hasil	Ho	Ho	Ho
	Uji-F	ditolak	ditolak	ditolak
	Nilai	129,132	116,640	116,160

Titik		σN	σE	σH
PM4	Nilai	101,606	88,898	99,706
	F-			
	hitung			
	Hasil	Ho	Ho	Ho
Uji-F		ditolak	ditolak	ditolak

dimana:

- σN = Simpangan baku pada komponen *Northing*
- σE = Simpangan baku pada komponen *Easting*
- σH = Simpangan baku pada komponen *Height*

Berdasarkan **Tabel 4**, diketahui nilai F hitung lebih besar dari pada nilai F tabel, yakni sebesar 3,651. Dengan demikian, hipotesis nol (Ho) ditolak, yang berarti pada tingkat kepercayaan 95% terdapat perbedaan ketelitian yang signifikan secara statistik antara skema-1 dan skema-2. Perbedaan ketelitian ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan cara penanganan terhadap efek kesalahan dan bias yang terjadi pada baseline yang panjang (seperti ditemukan pada skema-1 dan pengikatan titik perantara (titik PABU) pada skema-2).

Pada skema-2 dilakukan pengamatan yang lebih lama dibandingkan skema-1 untuk panjang *baseline* yang hampir sama. Skema-1 langsung mengikat titik uji yang hanya diamat selama 30 menit, sedangkan skema-2 mengikat titik perantara dahulu selama 3 jam baru mengikat titik uji selama 30 menit. Pengamatan selama 3 jam pada skema-2 ini menangani adanya fakta mengenai efek kesalahan orbit, bias ionosfer dan troposfer. Pengamatan yang lama ini akan meliputi variasi geometri satelit dan variasi kondisi atmosfer yang besar, sehingga menyebabkan randomisasi yang lebih baik terhadap efek kesalahan orbit, bias ionosfer dan troposfer pada data ukuran jarak (Wells et al., 1986). Berdasarkan hal ini, diketahui juga adanya perbedaan tingkat penanganan terhadap kesalahan dan bias dari skema-1 dan skema-2 yang mana secara nyata menghasilkan ketelitian data yang lebih baik. Selain lama pengamatan, pada skema-2 ini juga menggunakan receiver dual-frekuensi untuk menangani fakta adanya efek kesalahan dan bias pada panjang *baseline* tersebut (El-Rabbany, 2002).

Selain faktor tersebut, perbedaan ketelitian skema-1 dan skema-2 juga dapat disebabkan karena perbedaan jarak titik ikat dengan titik-titik ujinya. Pada skema-1 jarak titik uji ke titik ikat mencapai 20 s.d. 35 kilometer, sedangkan pada skema-2 titik ikat yang jauh tersebut didekatkan hingga hanya 700 meter saja dari titik uji. Hal ini tentu memperbaiki tingkat ketelitian koordinat titik uji, karena tingkat kontrol kesalahan terhadap titik yang lebih dekat dari titik ikat semakin baik dibandingkan titik yang lebih jauh darinya. Tingkat ketelitian koordinat pada suatu jaring akan relatif kurang baik pada bagian jaringan yang jauh dari titik ikatnya (Abidin et al., 2016). Selain itu, dari sisi

geometri jaringan yang terbentuk, skema-2 lebih menguntungkan karena pengikatan dilakukan dari titik ikat PABU dibandingkan dengan skema-1 yang membentuk geometri yang cenderung kurang ideal. Adapun jumlah dan sebaran titik ikat bantu selain PABU juga menarik untuk diteliti lanjut untuk meningkatkan ketelitian titik-titik uji.

Dengan demikian, meskipun ketelitian koordinat yang dihasilkan skema-2 berbeda secara signifikan dengan skema-1 dan ketelitiannya lebih tinggi dibandingkan skema-1, namun hal ini masih menggunakan batasan bahwa titik ikat PABU tanpa kesalahan dan perambatan kesalahannya tidak diperhitungkan terhadap nilai koordinat, serta perataan jaring-nya masih secara *minimum constraint*.

KESIMPULAN

Kajian ini menganalisis dua cara pengikatan yang punya karakteristik berbeda. Cara pengikatan pada skema-1 dilakukan secara langsung dari titik ikat BTL2 dan KPG2 yang berjarak > 30 kilometer ke titik-titik uji yang panjang *baseline*-nya hanya < 500 meter. Cara pengikatan pada skema-2 dilakukan secara beranting dari titik ikat BTL2 dan KPG2 ke titik perantara PABU, lalu dipakai mengikat titik-titik uji.

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis dapat disimpulkan bahwa cara pengikatan skema-2 pada kajian ini menghasilkan ketelitian koordinat yang lebih tinggi dibandingkan skema-1. Rentang ketelitian koordinat skema-2 antara 2,5 mm sampai dengan 8,3 mm, sedangkan skema-1 antara 24,9 mm s.d. 67,9 mm. Pada tingkat kepercayaan 95% ketelitian koordinat antara skema-1 dan skema-2 ini berbeda signifikan secara statistik. Tingginya ketelitian skema-2 ini masih dalam batasan tertentu bahwa titik ikat PABU tanpa kesalahan dan perambatan kesalahannya tidak diperhitungkan terhadap nilai koordinat, serta perataan jaringnya masih secara *minimum constraint*. Adapun pada uji beda nilai koordinat pada tingkat kepercayaan 95%, nilai koordinat yang dihasilkan skema-2 dan skema-1 berbeda signifikan secara statistik pada komponen *Easting* dan tidak berbeda signifikan pada komponen *Northing* dan *Height*-nya.

Perlu penelitian lanjut mengenai pengaruh kesalahan titik perantara PABU terhadap nilai koordinat dan simpangan baku dari titik uji, serta efek penambahan titik ikat perantara. Hal ini dalam rangka menjawab pertanyaan apakah kesalahan titik PABU menyebabkan koordinat dan ketelitiannya berbeda signifikan terhadap cara pengikatan langsung atau tidak. Selain itu, juga untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kesalahan titik perantara terhadap titik uji pada pengikatan secara beranting.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada tim PPM Program Studi Teknik Geomatika SV UGM dalam penyediaan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z., Jones, A., & Kahar, J. (2016). *Survei dengan GPS*. Bandung: ITB Press.
- Abidin, H. Z., & Mugiarto, F. T. (2000). Pengaruh Geometri Jaringan Terhadap Ketelitian Survey GPS. *Jurnal Surveying dan Geodesi*, 10(January 2000). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21707.69923>
- Artini, S. R. (2014). Penggunaan Titik Ikat GPS Regional dalam Pendefinisian Stasiun Aktif GMU1 yang Diikatkan pada ITRF 2008. *PILAR Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 124–131.
- Badan Standardisasi Nasional. Standar Nasional Indonesia (SNI) Jaring Kontrol Horizontal (2002). Indonesia.
- El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS: The Global Positioning System*. London: Artech House, Inc.
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2006). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, Fourth Edition* (Fourth Edi). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Ikkal, M. C., Yuwono, B. D., & Amarrohman, F. J. (2017). Analisis Strategi Pengolahan Baseline GPS Berdasarkan Jumlah Titik Ikat dan Variasi Waktu Pengamatan. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 8(1), 228–237.
- Nugroho, A., & Suntoko, H. (2011). The Effect of Time Duration in the Network and Radial Method Toward the Accuracy in Measuring the Deformation At Muria. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 13(2), 92–101. Diambil dari <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jpen/article/view/1467/1397>
- RICS. (2010). *Guidelines For the Use of GNSS in Surveying and Mapping* (2nd Editio). Coventry: Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS).
- Rizos, C. (1997). *Principles and Practice of GPS Surveying*. Sidney: The School of Gomatic Engineering, The University of New South Wales.
- Rudianto, B., & Izman, Y. (2011). *Analisis Komparatif Ketelitian Posisi Titik Hasil Pengukuran Dari Satelit GPS dan Satelit GLONASS*. Malang.
- Rudianto, B., & Yuhanafia, N. (2013). Pengaruh Penambahan Jumlah Titik Ikat terhadap Peningkatan Ketelitian Posisi Titik pada Survei GPS. *REKA GEOMATIKA, Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1(2), 80–89. <https://doi.org/10.1029/92GL02549>
- Ulinuha, H. (2015). *Analisis Deformasi Aspek Geometrik Segmen Mentawai Akibat Gempa Tektonik 10 Juli 2013*. Universitas Gadjah Mada.
- Wells, D. E., Beck, N., Delikaroglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E. J., Lachapelle, G., ... Vanicek, P. (1986). *Guide to GPS Positioning*. Fredericton, New Brunswick, Canada: Canadian GPS Associates.

PENGUNAAN FOTO UDARA FORMAT KECIL UNTUK IDENTIFIKASI KERENTANAN LINGKUNGAN TERHADAP BENCANA TSUNAMI DI YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT (YIA)

(Use of Small Format Aerial Photograph for Environmental Vulnerability Identification of Tsunami Disaster at Yogyakarta International Airport (YIA))

Yulian Fauzi^{1,2}, Hartono³, Kirbani Sri Brotopuspito⁴, dan Widjo Kongko⁵

¹ Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu

² Program Doktor Ilmu Geografi Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

³ Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

⁴ Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada

⁵ Balai Teknologi Infrastruktur Pelabuhan dan Dinamika Pantai BTIPDP-BPPT, Yogyakarta

Jl. WR. Supratman, Kandang Limun Bengkulu, Indonesia

E-mail: yulianfauzi@unib.ac.id

Diterima: 25 Februari 2019; Direvisi: 27 Juni 2019; Ditetapkan: 15 Juli 2019

ABSTRAK

Yogyakarta International Airport (YIA) terletak dalam zona rawan bencana tsunami dengan risiko tinggi. Wilayah ini berhadapan langsung dengan Samudera Hindia yang merupakan zona subduksi yang berpotensi menimbulkan gempa bumi megathrust dan tsunami besar. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi dan analisis kerentanan lingkungan terhadap bencana tsunami di YIA menggunakan Foto Udara Format Kecil (FUFK). Kerentanan lingkungan dinilai dari kondisi topografi, keberadaan petunjuk evakuasi, akses evakuasi, sumber daya untuk evakuasi, dan kondisi jalur evakuasi. Pengumpulan data melalui pemotretan FUFK menggunakan Wahana Udara Nir Awak (WUNA) dan pengamatan kondisi lingkungan. Hasil identifikasi dan analisis menunjukkan kerentanan lingkungan untuk menghadapi bencana tsunami di lokasi kajian masih rendah. Hal ini dapat dilihat dari keberadaan petunjuk arah evakuasi yang tidak tersebar dengan baik, terbatasnya jalan untuk jalur evakuasi, dan tidak adanya perbukitan. Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang sangat mungkin ditetapkan di YIA dan sekitarnya adalah bangunan perlindungan evakuasi.

Kata kunci: YIA, tsunami, kerentanan lingkungan, FUFK, tempat evakuasi sementara

ABSTRACT

Yogyakarta International Airport (YIA) is located in a high-risk tsunami prone zone. This area is directly facing the Indian Ocean, which is a subduction zone that has the potential to cause megathrust earthquakes and large tsunamis. This study aimed to identify and analyze environmental vulnerability to the tsunami disaster at YIA, using Small Format Aerial Photograph (SFAP). Environmental vulnerability was assessed from the topographic conditions, the presence of evacuation instructions, access to evacuation, resources for evacuation, and conditions of evacuation routes. Data collection through aerial photography using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and observation of environmental conditions. The results of the identification and analysis showed that environmental vulnerability to deal with tsunami disasters at the study sites was still low. This could be seen from the presence of evacuation directions that were not well spreaded, limited roads for evacuation routes, and there were no higher grounds. Temporary Evacuation Sites (TES) very likely to be set at YIA and its surroundings were evacuation shelter building.

Keywords: YIA, tsunami, vulnerability environment, SFAP, temporary evacuation sites

PENDAHULUAN

Kabupaten Kulon Progo merupakan salah satu kabupaten yang mempunyai risiko tinggi terhadap bencana tsunami di Laut Selatan Jawa (BNPB, 2013). Risiko ini timbul karena di sepanjang lepas pantai Kabupaten Kulon Progo berada pada zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia yang sangat aktif. Zona subduksi

Laut Selatan Jawa merupakan sumber gempa bumi tektonik yang dapat menjadi sumber potensial terjadinya tsunami (Hanifa et al., 2014; Kongko & Hidayat, 2014; Koulali et al., 2017). Gempa bumi tektonik di zona subduksi yang diimbangi oleh gerak vertikal menyebabkan dasar laut di atas sumber gempa bumi terangkat. Pengangkatan dasar laut inilah yang bisa menyebabkan tsunami. Semakin besar magnitudo gempa bumi di zona

subduksi, maka semakin luas area dasar laut yang terangkat, dan semakin besar juga volume air laut yang terdorong ke atas (Goda et al., 2015; Sepúlveda & Liu, 2016)

Risiko bencana tsunami di YIA Kulon Progo semakin tinggi seiring akan beroperasinya bandara tersebut tahun 2019. YIA berada di wilayah Pesisir Temon Kabupaten Kulon Progo. Lokasi YIA di Kulon Progo merupakan wilayah yang rawan terhadap bencana tsunami. Parameter yang mempengaruhi tingkat kerawanan bencana tsunami meliputi morfologi pantai, jarak dari sungai, jarak dari garis pantai, jarak dari sumber gempa, pulau penghalang, topografi daratan, dan kemiringan lereng (Mutaqin, 2009). Berdasarkan parameter tingkat kerawanan tsunami lokasi YIA merupakan wilayah yang sangat rawan terhadap bencana tsunami.

Sebagai wilayah yang memiliki tingkat kerawanan bencana tsunami yang tinggi, maka perlu disiapkan sistem mitigasi bencana tsunami di wilayah tersebut. Mitigasi merupakan tindakan-tindakan untuk mengurangi atau meminimalkan potensi dampak negatif dari suatu bencana. Tujuan utama mitigasi bencana adalah untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh bencana khususnya terhadap masyarakat. Langkah konkret yang harus disiapkan dalam upaya mitigasi bencana tsunami adalah menyiapkan rencana dan sistem evakuasi bagi masyarakat yang terkena dampak langsung bencana tsunami.

Dalam perencanaan mitigasi bencana tsunami sistem evakuasi memegang peranan penting dalam meminimalkan risiko kehilangan jiwa manusia (Dewi, 2012; Muhammad et al., 2017). Fasilitas dan tempat evakuasi harus tersedia di daerah rawan bencana. Fasilitas evakuasi meliputi keberadaan petunjuk evakuasi, akses evakuasi, sumber daya untuk evakuasi, dan kondisi jalur evakuasi (Marfai et al., 2017). Lokasi aman yang dijadikan sebagai sasaran evakuasi adalah lokasi yang berada di luar jangkauan genangan tsunami. Menurut Yunarto et al (2015) lokasi evakuasi ditentukan melalui perhitungan sejauh mana orang dapat mencapai area tersebut dalam waktu yang tersedia. Untuk mencapai lokasi aman tersebut diperlukan jaringan jalan sebagai jalur evakuasi. Jaringan jalan merupakan sarana utama yang digunakan dalam proses evakuasi dan perpotongan antara jaringan jalan dan batas genangan tsunami dijadikan sebagai sasaran evakuasi (Muhajir & Cahyono, 2013). Pembuatan jalur evakuasi tsunami merupakan bagian dari perencanaan evakuasi terutama di wilayah pesisir yang rawan bencana tsunami (BSNI, 2012). Prinsip penyusunan jalur evakuasi didasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 7766:2012 tentang Jalur Evakuasi Tsunami yaitu: menjauhi garis pantai, dan keluar dari daerah rawan tsunami menuju tempat aman terdekat. Jalur evakuasi

diupayakan menghindari melintasi sungai atau melewati jembatan. Jalur evakuasi dibuat sistem blok atau zonasi untuk menghindari penumpukan massa pengungsi. Peta jalur evakuasi dilengkapi dengan desain awal penempatan rambu evakuasi, yang terdiri dari rambu jalur evakuasi, rambu evakuasi vertikal dan rambu tempat berkumpul.

Selain jalur evakuasi khusus untuk wilayah pesisir yang landai perlu juga dirancang titik kumpul sementara baik berupa bangunan tinggi atau bukit buatan yang dapat dipergunakan sebagai Tempat Evakuasi Sementara (TES). Penentuan jalur evakuasi dan TES di daerah rawan bencana tsunami dapat dilakukan dengan integrasi penginderaan jauh dan SIG. Salah satu penggunaan data penginderaan jauh yang banyak digunakan saat ini adalah Foto Udara Format Kecil (FUFK) melalui pemanfaatan UAV. Keunggulan FUFK mudah dalam pengoperasian karena dapat memanfaatkan peralatan fotografi *nonmetrik*, dan skala foto dapat dibuat sangat besar dengan tinggi terbang yang cukup rendah. Akurasi horizontal dan vertikal dari FUFK cukup tinggi dan dapat digunakan untuk pemetaan skala besar (Gularso et al., 2015; Purwanto, 2017). FUFK dapat digunakan untuk membuat peta skala besar bila proses pemetaan didukung perangkat lunak yang tepat serta distribusi GCP (*Ground Control Point*) yang tepat. Penempatan GCP meningkatkan ketelitian dan kualitas peta skala besar.

Penggunaan FUFK untuk kajian bencana dan memetakan wilayah rawan bencana tsunami telah dilakukan oleh Marfai et al., (2018). FUFK dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan data topografi wilayah pesisir sebagai dasar dalam analisis dan pemodelan pengurangan risiko bencana tsunami dan manajemen bencana tsunami. FUFK juga dapat dimanfaatkan untuk proses identifikasi dan analisis keberadaan jalur evakuasi dan tempat evakuasi di daerah kajian. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi dan analisis kerentanan lingkungan terhadap bencana tsunami di YIA Kulon Progo menggunakan FUFK. Teridentifikasinya kerentanan lingkungan terhadap bencana tsunami di lokasi kajian di harapkan dapat meminimalkan risiko bencana tsunami khususnya di YIA dan sekitarnya.

METODE

Lokasi penelitian berada di wilayah pesisir Temon Kabupaten Kulon Progo DIY tepatnya di lokasi pembangunan YIA (**Gambar 1**). Secara administratif lokasi YIA terletak di Desa Jangkaran, Desa Palihan, Desa Sindutan, Desa Kebon Rejo dan Desa Glagah. Wilayah ini berbatasan langsung dengan Samudera Hindia di sebelah selatan, Sungai Bogowonto di sebelah barat dan Sungai Serang di sebelah timur. Lokasi YIA hanya berjarak 200 meter dari garis pantai.

Wilayah Kepesisiran Temon dicirikan dengan wilayah yang datar dan terdapat gumpuk pasir di sepanjang pantai dan terdapat lahan pertanian yang subur karena berasal dari proses sedimentasi. Lokasi YIA merupakan wilayah dataran yang landai dengan bentang lahan *marine* di bagian selatan dan bentang lahan *fluvial* yang tersebar di sekitar daerah aliran sungai dan muara. Berdasarkan tinggi rendahnya permukaan bumi dari total luas wilayah Kecamatan Temon terdapat 56,4% (2.046 Ha) merupakan wilayah yang mempunyai ketinggian < 7 mdpl, 36,5% (1.324 Ha) berada pada ketinggian 7 – 25 mdpl, 4,8% (173 Ha) mempunyai ketinggian 26 – 100 mdpl, dan 2,3% (85 Ha) mempunyai ketinggian 101 – 500 mdpl.



Sumber: Angkasa Pura I

Gambar 1. Lokasi YIA Kecamatan Temon Kulon Progo DIY.

Akuisisi Data Foto Udara

Peralatan utama yang digunakan dalam pemotretan FUFK adalah pesawat UAV tipe *Skywalker X-8*. Wahana ini dilengkapi dengan sensor berupa kamera digital Sony A500 dengan resolusi 24 megapiksel dengan maksimum resolusi 6000 x 4000 piksel, dan *focal length* 16 mm. Pemotretan foto udara dilakukan di wilayah pesisir Temon dengan liputan seluas 1.650 Ha. Perencanaan pemotretan diawali dengan menentukan *Area of Interest* (AOI) yang dilanjutkan dengan penentuan sebaran *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) (**Gambar 2**).

Langkah berikutnya adalah pembuatan jalur terbang yang bertujuan mengintegrasikan kapasitas alat dengan karakteristik area yang akan dipotret. Pemotretan dilaksanakan selama 2 (dua) hari yang dibagi dalam 9 wilayah terbang dengan ketinggian terbang \pm 400 meter di atas tanah. Pengaturan *endlap* dan *sidelap* foto udara dibuat 70%, hal ini dilakukan untuk mengantisipasi gangguan angin di lokasi penelitian.

Proses akuisisi data meliputi proses perekaman serta pengambilan data GCP dan ICP menggunakan GPS geodetik. Sebelum pemotretan lokasi GCP dan ICP ditandai menggunakan *premark*, sehingga keberadaan lokasi GCP dan ICP

dapat terlihat dengan mudah di dalam foto. Hasil akuisisi foto udara selanjutnya diolah untuk mendapatkan *orthomosaic* dengan bantuan *Agisoft Photoscan*. Proses mozaik berupa proses pembuatan *dense cloud*, *mesh* dan *texture*.



Gambar 2. Pengukuran GCP di daerah penelitian.

Analisis Kerentanan Tsunami

Kerentanan adalah suatu kondisi dari suatu komunitas atau masyarakat yang mengarah atau menyebabkan ketidakmampuan dalam menghadapi ancaman bencana (BNPB, 2011). Kerentanan bencana didefinisikan sebagai karakteristik spesifik atau kondisi yang bisa meningkatkan kemungkinan bencana yang dapat mengakibatkan kerusakan, kerugian dan kehilangan. Kerentanan bahaya tsunami dapat dikurangi jika tersedia infrastruktur evakuasi yang memadai. Infrastruktur evakuasi digunakan penduduk sebagai panduan dalam menyelamatkan diri ke tempat-tempat aman. Infrastruktur evakuasi dianalisis berdasarkan keberadaan petunjuk dan kondisi jalur evakuasi. Sedangkan kondisi topografi dianalisis dari data *Digital Terrain Model* (DTM) yang bersumber dari FUFK. Kerentanan lingkungan yang dikaji dalam penelitian ini dibatasi dan dinilai dari keberadaan petunjuk evakuasi, akses evakuasi, kondisi jalur evakuasi, kondisi topografi, dan kondisi lingkungan terkait dengan kondisi darurat.

Data yang digunakan untuk menganalisis kerentanan lingkungan diperoleh dari BPBD Kabupaten Kulon Progo berupa Dokumen Jalur Evakuasi Bencana Tsunami dan pengamatan langsung di lapangan. Analisis keberadaan fasilitas evakuasi dan kerentanan lingkungan dilakukan dengan memanfaatkan peta *orthophoto*, peta DTM hasil turunan dari FUFK, dan survei lapangan.

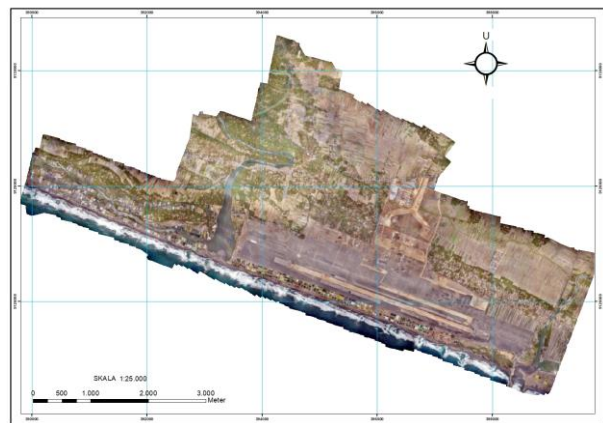
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil akuisisi data menggunakan Teknologi UAV dengan cakupan pemotretan meliputi desa Glagah, Palihan, Sindutan, dan Jangkar. Tahapan akuisisi data menghasilkan total jumlah

foto udara sebanyak 1.350 foto tegak dengan nilai *Ground Sampling Distance* (GSD) 9,67 cm/piksel. Pengolahan foto udara dilakukan untuk menghasilkan *orthophoto*, *Digital Surface Model* (DSM), dan DTM. *Orthophoto* merupakan foto udara yang telah terortorektifikasi sehingga yang semula memiliki proyeksi *central* menjadi proyeksi ortogonal dan memiliki akurasi geometri objek yang benar. DTM adalah bentuk digital dari *terrain* (permukaan tanah, tidak termasuk objek di atasnya), sedangkan DSM adalah model elevasi yang menampilkan ketinggian permukaan. Pengolahan hasil pemotretan foto udara menggunakan bantuan perangkat lunak *Agisoft Photoscan*.

Tahapan awal pengolahan foto udara adalah koreksi foto udara. Koreksi diperlukan untuk meningkatkan kualitas hasil foto udara dan meminimalkan distorsi geometrik. Data foto udara yang digunakan adalah foto udara yang sudah di-*geotagging* menggunakan log terbang dari pesawat wuna. Dengan adanya *geotagging* tersebut, foto udara tersusun sesuai dengan koordinat yang diperoleh melalui *log* pemotretan. Metode *bundle block adjustment* digunakan untuk membangun basisdata spasial dari foto udara sebelum digunakan untuk visualisasi 3D. Prinsip metode ini adalah menyatukan foto udara berdasarkan *tie point* atau titik-titik ikat pada masing-masing foto udara. Kelebihan dari metode *bundle block adjustment* dapat menghitung seluruh parameter dalam satu solusi tunggal

(Aber et al., 2010). Proses selanjutnya adalah melakukan proses orthorektifikasi, georeferensi dan mosaik foto udara secara bersamaan. Hasil akhir dari pengolahan foto udara dengan *Agisoft Photoscan* berupa *orthofoto*, DSM dan DTM. (Daramola et al., 2017). Peta *orthofoto* liputan wilayah YIA Kulon Progo dan sekitarnya disajikan dalam **Gambar 3**. Kualitas *orthophoto* secara geometri dapat dilihat dari nilai akurasi GCP. Peta *orthophoto* dan DTM yang dihasilkan diuji dengan membandingkan titik uji atau ICP berupa objek yang diukur dengan menggunakan GPS Geodetik. Hasil dari uji ketelitian tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1 dan Tabel 2**.



Gambar 3. Peta *Orthophoto* YIA dan sekitarnya.

Tabel 1. Hasil uji ketelitian horizontal.

ICP	Koordinat GNSS di Lapangan		Koordinat di <i>Orthomosaic</i>		RMS X	RMS Y	RMS HORIZONTAL	Selisih Diagonal
	GNSS (X)	GNSS (Y)	Ortho (X)	Ortho (Y)	((X) GNSS- (X) Ortho) ²	((Y) GNSS (Y) Ortho) ²	((X) GNSS (X) Ortho) ² + ((Y) GNSS (Y) Ortho) ²	
ICP_01	394762,981	9126679,049	394762,897	9126679,371	0,007	0,103	0,111	0,333
ICP_02	396148,483	9127770,734	396148,433	9127770,579	0,003	0,024	0,027	0,163
ICP_04	397358,316	9127248,014	397358,553	9127247,938	0,056	0,006	0,062	0,249
ICP_07	393842,702	9128305,144	393842,437	9128305,218	0,070	0,005	0,076	0,275
ICP_10	397976,855	9125594,495	397976,818	9125594,703	0,001	0,043	0,045	0,211
ICP_13	395551,855	9128837,679	395551,781	9128837,590	0,005	0,008	0,013	0,115
ICP_17	393022,892	9127289,093	393022,863	9127289,148	0,001	0,003	0,004	0,062
ICP_20	391484,622	9127590,926	391484,399	9127590,816	0,050	0,012	0,062	0,249
ICP_04b	397054,707	9127304,707	397055,013	9127304,593	0,094	0,013	0,107	0,327
Jumlah							0,505	
Rata-rata							0,056	
RMSE							0,237	
Ketelitian Horizontal CE90							0,360	

Tabel 2. Hasil uji ketelitian vertikal.

No.	ICP	Elevasi GNSS	Elevasi DSM	RMS Z	Selisih Z	Selisih Z Absolut
		GNSS(Z)	DSM (Z)	((Z)GNSS-(Z)DSM) ²		
1	ICP_01	31,539	31,069	0,221	0,470	0,470
2	ICP_02	30,646	30,671	0,001	-0,025	0,025
3	ICP_04	28,855	29,452	0,356	-0,597	0,597
4	ICP_04b	28,886	28,967	0,007	-0,081	0,081
5	ICP_07	29,196	29,753	0,311	-0,557	0,557
6	ICP_10	31,356	32,020	0,442	-0,664	0,664
7	ICP_13	30,693	30,853	0,025	-0,160	0,160
8	ICP_17	29,686	30,064	0,143	-0,378	0,378
9	ICP_20	27,814	28,629	0,664	-0,815	0,815
Jumlah					2,170	
Rata-rata					0,241	
RMSE					0,491	
Akurasi Vertikal LE90					0,810	

Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan akurasi horizontal CE90 dan vertikal LE90 masing-masing 0,360 dan 0,810. Sesuai dengan Perka BIG No. 15 tahun 2014 bahwa uji akurasi horizontal peta *orthophoto* memenuhi produksi kelas 1 peta planimetris pada skala 1:2.500. Sedangkan hasil uji akurasi vertikal dapat memenuhi produksi kelas 3 peta planimetris pada skala 1:2.500. Pengujian akurasi hasil pemotretan foto udara juga menggunakan metode omisi komisi. Pengujian akurasi dilakukan agar data yang dihasilkan dari foto udara dapat dikatakan sesuai dengan kondisi di lapangan. Penggunaan metode omisi komisi bertujuan membandingkan hasil pengukuran suatu objek hasil interpretasi foto udara dan pengukuran secara langsung di lapangan. Perbedaan pengukuran ini bersifat mutlak dan hanya menggunakan selisih perbedaan akurasi sebagai nilai mutlaknya (Wulan et al., 2016). Persamaan metode omisi komisi disajikan pada **Persamaan 1.**

$$Akurasi = \left[1 - \left[\frac{\text{interpretasi} - \text{lapangan}}{\text{lapangan}} \right] \right] \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Penentuan sampel objek yang akan dibandingkan hasil pengukurannya dipilih secara *purposive sampling* dan tersebar di lokasi penelitian. Persentase hasil perhitungan uji akurasi omisi komisi dari setiap objek dapat dilihat dalam **Tabel 3.** Hasil uji akurasi omisi komisi dari *orthophoto* wilayah kajian mempunyai rata-rata persentase akurasi mencapai 96%. Uji omisi komisi menunjukkan bahwa akuisisi FUFK di kawasan Kepesisiran Temon khususnya lokasi YIA dapat digunakan untuk analisis tematik.

Tabel 3. Hasil perhitungan akurasi dengan metode omisi komisi.

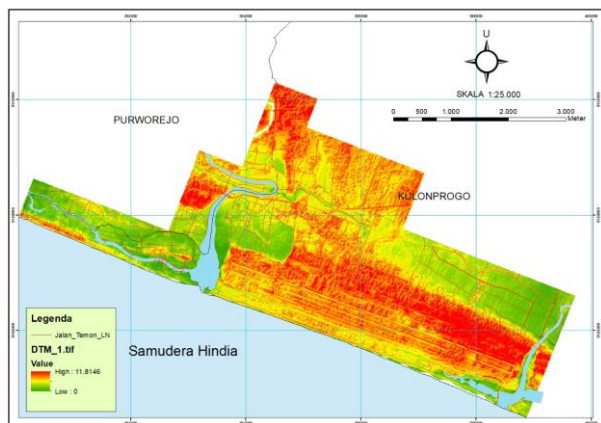
Objek	Panjang Pengukuran (m)		Akurasi (%)
	Laboratorium	Lapangan	
Marka Jalan	15,1	15	99
Jembatan	7,3	6,5	88
Lebar Jalan	6,5	6,8	96
P. Tanggul	5,8	5,5	95
P. Jalan	35,7	35,5	99
P. Dermaga	13,7	15,8	87
P. Lap. Tenis	23,9	23,7	99
L. Lap. Tenis	10,9	10,9	100
Pagar	7,1	7	99
Pagar YIA	70,3	70	100

Tahapan ekstraksi DTM dari data DSM menggunakan gabungan metode otomatis dan manual. Proses pengolahan otomatis menggunakan *Agisoft Photoscan* yang bertujuan untuk mengklasifikasi objek *ground* dan *non ground*. Hasil klasifikasi secara otomatis menghasilkan beberapa objek yang salah dalam proses klasifikasinya. Kesalahan tersebut harus dianalisis dan diperbaiki secara manual untuk mendapatkan DTM yang sempurna dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *ArcGIS*. Proses ini pada prinsipnya adalah membuang objek-objek yang bukan *ground* pada DTM hasil klasifikasi. Proses selanjutnya adalah melakukan interpolasi terhadap bekas objek-objek yang dibuang dengan bantuan perangkat lunak *QGIS* untuk mendapatkan *ground* yang sesungguhnya.

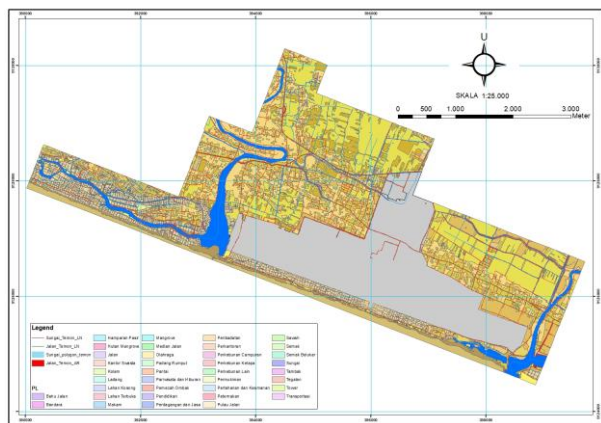
Peta DTM hasil metode filter dan interpolasi spasial ditunjukkan dalam **Gambar 4**.

Berdasarkan data DTM ketinggian lokasi YIA kurang dari 10 mdpl. Sedangkan wilayah pemukiman yang berada di sekitar lokasi YIA mempunyai ketinggian 3 – 5 mdpl. Ketinggian wilayah pemukiman yang kurang dari 5 mdpl menyebabkan wilayah ini sangat rentan terhadap bencana tsunami.

Interpretasi visual penggunaan lahan di sekitar YIA menggunakan kunci interpretasi foto udara yang meliputi rona atau warna, ukuran, bentuk, tekstur, pola, tinggi, bayangan, situs, dan asosiasi. Klasifikasi penggunaan lahan mengacu pada Permen PU No. 20 Tahun 2011 tentang pedoman Penyusunan RDTR dan peraturan Zonasi Kabupaten/Kota. Hasil interpretasi penggunaan lahan di lokasi studi saat ini didominasi oleh lokasi YIA dengan luas 587,3 Ha. Peta Penggunaan Lahan hasil interpretasi FUFK di sekitar lokasi YIA dapat dilihat dalam **Gambar 5**.



Gambar 4. Peta DTM Lokasi Penelitian



Gambar 5. Peta Penggunaan Lahan YIA dan sekitarnya.

Kondisi Kerentanan Lingkungan terhadap Bahaya Tsunami

Lokasi YIA hanya berjarak 200 meter dari garis pantai yang menyebabkan lokasi ini sangat rentan terhadap bencana tsunami. Identifikasi terhadap kerentanan lingkungan di YIA dan sekitarnya dilakukan dengan memanfaatkan FUFK

hasil pemotretan. Keberadaan YIA di Pesisir Temon meningkatkan risiko korban jiwa jika terjadi bencana tsunami. Sebelum dilakukan pembangunan YIA risiko korban jiwa berjumlah kurang dari ±10.000 jiwa (jumlah penduduk desa terkena imbas pembangunan bandara). Jika tsunami terjadi saat YIA sudah beroperasi maka risiko korban jiwa sangat mungkin akan meningkat. Aktifitas masyarakat di YIA bukan hanya penumpang, kru maskapai, dan petugas bandara saja, tetapi juga didominasi oleh aktifitas-aktifitas nonformal lainnya seperti pedagang, sopir taxi, dan lain-lain. Apabila rata-rata pengunjung YIA diprediksi berdasarkan rata-rata pengunjung Bandara Adi Sutjipto pada tahun 2018, maka risiko korban jiwa dapat meningkat mencapai dua kali lipat dari pada jumlah penduduk yang terkena imbas pembangunan YIA (rata-rata pengunjung Bandara Adi Sucipto Tahun 2018 adalah 23.000 orang/hari).

Berdasarkan peta DTM Rata-rata ketinggian topografi di kawasan YIA 5 – 7 mdpl. Jika terjadi bencana tsunami akibat gempa bumi *megathrust* di Laut Selatan Jawa, maka kawasan yang pertama kali dihantam oleh gelombang tsunami adalah YIA. Jika ketinggian gelombang tsunami di garis pantai antara 8 – 15 meter (skenario BNPB) maka dapat dipastikan YIA tergenang tsunami. Berdasarkan Peta Jalur Evakuasi Bencana Tsunami yang dibuat oleh BNPB dengan Pemerintah Kabupaten Kulon Progo Tahun 2014 terdapat 4 Titik Evakuasi Akhir (TEA) dan 15 TES (yang diusulkan) di Kecamatan Temon (**Gambar 6**).



Sumber: BNPB, 2014

Gambar 6. Peta Jalur Evakuasi Bencana Tsunami Kecamatan Temon.

Keberadaan TEA dan TES yang terdapat dalam peta tersebut sampai penelitian ini dilaksanakan belum ada implementasinya di lapangan. Pengamatan tentang keberadaan informasi tentang jalur evakuasi, TES, dan TEA juga belum ditemukan di lokasi penelitian. Hal ini dapat dilihat pada papan pengumuman di Kantor Kepala Desa dan di lokasi wisata pantai dan hutan mangrove tidak ada informasi tentang bahaya tsunami. Pengamatan di lapangan menemukan

ada 2 titik kumpul bencana tsunami di Kecamatan Temon yaitu Kantor Kecamatan Temon dan Kantor Desa Palihan yang berada di jalan Yogya – Purworejo.

Adanya pembangunan YIA yang berada di wilayah pesisir membuat masyarakat yang beraktifitas di kawasan pantai menjadi sulit menuju tempat aman jika terjadi bencana tsunami. Situasi dan kondisi yang sama berlaku untuk para petugas bandara yang beraktifitas di *apron* bandara. Hal ini dikarenakan jalur evakuasi tidak dapat digunakan lagi karena akses jalan terputus oleh pembangunan YIA. Pembangunan YIA menyebabkan hilangnya jalan untuk menjauhi pantai karena tertutup bangunan dan pagar pembatas bandara. Jalan yang bisa digunakan untuk jalur evakuasi hanya tersisa jalan yang berada di sisi Sungai Bogowonto dan Sungai serang. Jika seandainya jalan yang berada di sisi sungai dijadikan jalur evakuasi tentu mempunyai risiko tinggi bagi masyarakat. Jalan yang menghubungkan desa-desa di jalur pantai selatan juga terputus akibat pembangunan YIA.

Pembuatan TES juga perlu dilakukan untuk wilayah di sekitar YIA khususnya di sekitar pantai. Kawasan di sekitar pantai diprediksi akan berkembang seiring dengan beroperasinya YIA yang sebelumnya telah dijadikan sebagai lokasi wisata pantai (Pantai Glagah dan Pantai Congot). Pembuatan TES juga didasarkan pada Geomorfologi Pesisir Temon berupa dataran *marine*. Kondisi ini sangat membahayakan karena tsunami dapat merambat melalui bentuklahan ini.

Keberadaan petunjuk arah evakuasi menuju TES juga tidak tersebar dengan baik. Berdasarkan pengamatan di lapangan petunjuk arah evakuasi jumlahnya tidak banyak dan tidak merata di setiap dukuh/dusun. Ada beberapa petunjuk arah evakuasi tetapi keberadaannya sudah tidak bisa terlihat dengan jelas lagi seperti petunjuk evakuasi yang berada di depan Kantor Kepala Desa Glagah, dan Palihan, serta jalan masuk Pantai Congot. (**Gambar 7**). Sehingga warna dan tulisan petunjuk evakuasi sudah tidak bisa dilihat dengan jelas dari kejauhan. Jelas hal ini dapat menyulitkan masyarakat untuk menuju ke lokasi aman sesuai dengan petunjuk yang tersedia.



Gambar 7. Kondisi keberadaan petunjuk arah untuk evakuasi di Kecamatan Temon.

Hasil identifikasi dan analisis kerentanan lingkungan untuk menghadapi bencana tsunami di lokasi kajian masih rendah. Hal ini dapat dilihat dari keberadaan petunjuk arah evakuasi yang belum tersebar dengan baik, belum ada peremajaan petunjuk evakuasi, terbatasnya jalan sebagai jalur evakuasi, dan tidak adanya gedung bertingkat atau perbukitan sebagai TES.

Rekomendasi Jalur Evakuasi dan Tempat Evakuasi Sementara (TES)

Mitigasi bencana tsunami harus secara terus menerus dikembangkan dan diperbaharui keberadaannya sesuai dengan perkembangan yang terjadi di wilayah pesisir. Penyediaan informasi untuk daerah rawan dan aman dari tsunami merupakan salah satu upaya dari mitigasi bencana sehingga penduduk dapat senantiasa waspada terhadap bencana tsunami. Perencanaan dan manajemen mitigasi bencana perlu dirancang dan disusun sebagai upaya mengurangi risiko bencana tsunami bagi masyarakat di wilayah pesisir. Salah satu perencanaan yang harus dibuat adalah metode evakuasi yang efektif.

Landasan untuk merancang jalur evakuasi dan TES di YIA didasarkan pada tingkat ancaman yang dibuat oleh BPBD Kabupaten Kulon Progo. Tingkat ancaman tsunami di Pesisir Temon dapat berupa ancaman berat dengan skenario, sebagai berikut: gelombang tsunami diperkirakan akan mencapai sepanjang garis pantai Kabupaten Kulon Progo dalam waktu sekitar 30 menit setelah gempa terjadi. Jarak genangan (*inundation*) di beberapa tempat dapat masuk ke daratan sekitar 2 km, tergantung pada bentuk topografi daratan. *Run up* di daratan dapat berkisar antara 0 – 7m. Sedangkan ketinggian gelombang di garis pantai diperkirakan mencapai sekitar 5 meter.

Pihak Angkasa Pura (AP) I sebagai penanggungjawab pembangunan YIA juga telah menyusun skenario bencana tsunami di YIA. Skenario terburuk yang bisa terjadi di lokasi YIA adalah gempa bumi tsunami dengan magnitudo 8,5 Mw. Hasil kajian AP I terhadap skenario terburuk dapat disajikan sebagai berikut: saat terjadi tsunami yang merambat dari sumber gempa bumi menuju Pantai Temon akan sampai dalam waktu 35 menit. Ketinggian tsunami di garis pantai YIA antara 8 – 15 meter. Jarak genangan tsunami masuk ke daratan (*inundation*) sejauh 1 – 2 km. Inundasi mencapai 2 km di bagian barat dan timur kawasan YIA. Kedalaman genangan di dalam area YIA bervariasi antara 1 hingga 7 meter.

Kedua skenario bencana tsunami di atas sangat mungkin dapat terjadi di kawasan YIA. Potensi gempa bumi besar *megathrust* dengan magnitudo > 9,0 masih berpotensi terjadi di Laut Selatan Jawa (Irsyam et al., 2017). Potensi ini dapat terjadi jika zona *megathrust* Jawa (Sunda-

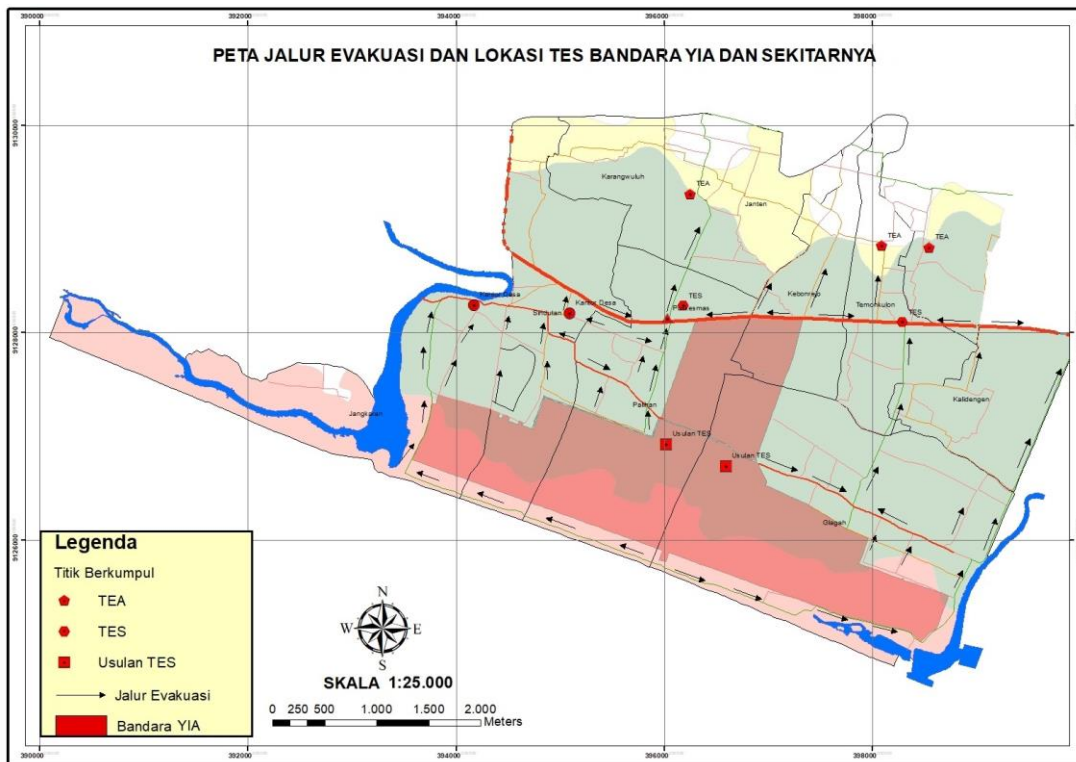
Jawa Timur) mengalami gangguan akibat gempa bumi. Dampak yang ditimbulkan dari skenario tersebut akan sangat luar biasa seperti kejadian tsunami yang menghantam Bandara Sendai Jepang tahun 2011. Oleh karena itu perlu ada persiapan dan perencanaan secara baik dan terintegrasi sistem mitigasi bencana tsunami di YIA dan sekitarnya. Posisi YIA yang diapit oleh dua sungai yaitu Sungai Bogowonto dan Sungai Serang juga perlu diwaspadai karena gelombang tsunami dapat masuk ke YIA dari sisi barat dan timur melalui dua sungai tersebut. Aliran sungai dapat mengakibatkan penjarangan gelombang tsunami masuk ke daratan lebih dari 2 Km. Sungai dapat menyebabkan pembelokan arah gelombang tsunami pada saat bertemu dengan bentuk topografi yang bergelombang sepanjang sungai.

Keberadaan jalur evakuasi yang berada di sisi kedua sungai harus menjadi perhatian serius, karena aliran sungai merupakan pintu masuk tsunami untuk menuju daratan. Untuk itu perlu ada perencanaan khusus merancang jalur evakuasi di kawasan ini salah satunya pembuatan sempadan sungai. Pembuatan sempadan sungai di sisi barat dan timur YIA merupakan kebijakan yang sangat baik selain sempadan pantai yang ada di sisi selatan. Sempadan pantai dari arah selatan telah dirancang oleh AP I dengan cara membangun tanggul sepanjang pantai sejarak 100 meter dari tepi air laut, dan buffer tanaman selebar 100 meter sepanjang sisi selatan (**Gambar 8**).



Sumber: Angkasa Pura I

Gambar 8. Perancangan pembangunan sempadan pantai dan sungai di YIA.



Gambar 9. Peta jalur evakuasi dan lokasi tes di bandara YIA dan sekitarnya.

Berdasarkan hasil analisis kondisi topografi, simulasi bencana tsunami dan analisis hasil survei lapangan, maka dapat dirumuskan jalur evakuasi dan lokasi yang dapat digunakan sebagai lokasi TES. Lokasi YIA yang terletak di wilayah dengan topografi datar menyebabkan tempat evakuasi berupa dataran tinggi seperti perbukitan sulit dijumpai. TES yang sangat mungkin ditetapkan di YIA dan sekitarnya adalah bangunan perlindungan evakuasi atau *Evacuation Shelter Building* (ESB). Pihak AP I harus menyiapkan bangunan terminal yang bisa berfungsi sebagai tempat evakuasi vertikal. Tempat evakuasi dapat disiapkan di lantai 2 dan 3 gedung terminal. Keberadaan gedung terminal ini juga harus bisa diakses oleh masyarakat di luar YIA untuk evakuasi jika terjadi bencana tsunami. Keberadaan YIA sebagai TES bagi warga sekitar memiliki nilai positif. Sebagai bahan pertimbangan, AP I perlu memastikan bahwa TES nantinya harus memiliki kapasitas yang besar dan terdapat akses yang mudah dijangkau oleh warga sekitar.

Penentuan jalur evakuasi di YIA dan sekitarnya harus dirancang dengan baik. Karena ada beberapa jalan yang tertutup oleh YIA, sedangkan jalan yang tersedia saat ini hanya jalan yang berada di sisi Sungai Bogowonto dan Serang. Berdasarkan kondisi jalan yang berada di sekitar YIA perlu dicari jalan alternatif untuk menuju TES. Harus dirancang jalur evakuasi di dalam kawasan bandara yang bisa diakses oleh masyarakat sekitar untuk menuju TES terdekat (gedung terminal bandara). Jalur evakuasi menggunakan sistem buka tutup, dan hanya bisa dibuka pada saat keadaan darurat saja. Peta jalur evakuasi dan lokasi TES serta usulan lokasi TES di YIA dapat dilihat pada **Gambar 9**.

Keberadaan fasilitas evakuasi berupa petunjuk arah evakuasi tsunami perlu diperbanyak jumlahnya. Petunjuk arah evakuasi harus dipasang di setiap persimpangan jalan agar masyarakat tidak bingung dan panik mau lari ke arah mana jika terjadi tsunami. Selain itu petunjuk arah evakuasi yang sudah ada saat ini perlu diremajakan dan disesuaikan lagi dengan kondisi jalur evakuasi yang ada dan TES yang tersedia.

KESIMPULAN

Hasil identifikasi dan analisis kerentanan lingkungan untuk menghadapi bencana tsunami di lokasi kajian masih rendah. Hal ini terlihat dari keberadaan petunjuk arah evakuasi yang belum tersebar dengan baik, terbatasnya jalan sebagai jalur evakuasi, dan tidak adanya gedung bertingkat atau perbukitan sebagai TES. Tempat evakuasi sementara yang sangat mungkin ditetapkan di YIA adalah bangunan perlindungan evakuasi berupa bangunan terminal. Berdasarkan kondisi jalan yang berada di sekitar YIA perlu dicari jalan alternatif

untuk menuju TES dengan mempertimbangkan sistem jalur evakuasi buka tutup, dan hanya dibuka pada saat keadaan darurat saja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPDP yang telah mendukung pendanaan dalam penelitian ini melalui skema beasiswa BUDI-DN. Terimakasih disampaikan kepada PT Angkasa Pura I yang telah memberikan izin lokasi di kawasan pembangunan YIA dan Mitra Geotama yang telah membantu dalam kegiatan akuisisi data FUFK.

DAFTAR PUSTAKA

- Aber, J. S., Marzolf, I., & Ries, J. B. (2010). *Small-Format Aerial Photography (principles, techniques and geoscience applications)*. Netherlands: Elsevier B.V.
- BNPB. (2011). *Panduan Nasional Kajian Risiko Bencana Tsunami*. Jakarta.
- BNPB. (2013). *Indeks Risiko Bencana Indonesia. Direktorat Pengurangan Risiko Bencana Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan*. Jakarta.
- BNPB. (2014). *Dokumen Jalur Evakuasi Bencana Tsunami, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi D.I. Yogyakarta*. Yogyakarta.
- BSNI. (2012). *SNI 7766:2012 Jalur Evakuasi Tsunami*. Jakarta.
- Daramola, O., Olaleye, J., Ajayi, O. G., & Olawuni, O. (2017). Assessing the geometric accuracy of UAV-based orthophotos. *South African Journal of Geomatics*, *8*(3), 395–406.
- Dewi, R. S. (2012). A-Gis Based Approach of an Evacuation Model for Tsunami Risk Reduction. *Journal of Integrated Disaster Risk Management*, *2*(2), 108–139. <https://doi.org/10.5595/idrim.2012.0023>
- Goda, K., Yasuda, T., Mori, N., & Mai, P. M. (2015). Variability of tsunami inundation footprints considering stochastic scenarios based on a single rupture model: Application to the 2011 Tohoku earthquake. *Journal of Geophysical Research C: Oceans*, *120*(6), 4552–4575. <https://doi.org/10.1002/2014JC010626>
- Gularso, H., Rianasari, H., & Silalahi, E. S. (2015). Penggunaan Foto Udara Format Kecil Menggunakan Wahana Udara Nir-Awak dalam Pemetaan Skala besar. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, *21*(1), 37–44.
- 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>
- Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., ... Sunarjito. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kongko, W., & Hidayat, R. (2014). Earthquake-Tsunami in South Jogjakarta Indonesia: Potential, Simulation Models, and Related Mitigation Efforts.

- IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG)*, 2(3), 18–22.
- Koulali, A., McClusky, S., Susilo, S., Leonard, Y., Cummins, P., Tregoning, P., ... Wijanarto, A. B. (2017). The kinematics of crustal deformation in Java from GPS observations: Implications for fault slip partitioning. *Earth and Planetary Science Letters*, 458, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.10.039>
- Marfai, M. A., Cahyadi, A., Fatchurohman, H., Rosaji, F. S., & Wibowo, Y. A. (2017). Analisis Kesiapsiagaan dan Kerentanan Lingkungan Terhadap Bencana Tsunami di Pantai Kukup, Kabupaten Gunung Kidul. In *Seminar Nasional Ke-3 Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta.
- Marfai, M. A., Sunarto, Nurul, K., Cahyadi, A., Rosaji, F. S. C., Fatchurohman, H., & Wibowo, Y. A. (2018). Topographic data acquisition in tsunami-prone coastal area using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In *IOP Conf. Earth and Environmental Science 148* (pp. 1–7). Bali. <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/148/1/012004>
- Muhajir, A., & Cahyono, A. B. (2013). Analisa Persebaran Bangunan Evakuasi Bencana Tsunami menggunakan Network Analyst di SIG. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 1–6.
- Muhammad, A., Goda, K., Alexander, N. A., Kongko, W., & Muhari, A. (2017). Tsunami evacuation plans for future megathrust earthquakes in Padang, Indonesia, considering stochastic earthquake scenarios. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(12), 2245–2270. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-2245-2017>
- Mutaqin, B. W. (2009). Pemetaan Tingkat Kerawanan Bencana Tsunami di Pantai Selatan Kabupaten Cilacap Jawa Tengah. In *Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi I* (pp. 26–35).
- Purwanto, T. H. (2017). Pemanfaatan Foto Udara Format Kecil untuk Ekstraksi Digital Elevation Model dengan Metode Stereoplotting. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(1), 73–89. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2008.06.011>
- Sepúlveda, I., & Liu, P. L.-F. (2016). Estimating tsunami runup with fault plane parameters. *Coastal Engineering*, 112, 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.001>
- Wulan, R. T., Ambarwulan, W., Putra, A. S., Maulana, E., Maulia, N., Putra, M. D., ... Raharjo, T. (2016). Uji Akurasi Data Uav (Unmanned Aerial Vehicle) di Kawasan Pantai Pelangi, Parangtritis, Kretek, Kabupaten Bantul. In *Prosiding Seminar Nasional Kelautan* (pp. 232–240). Madura. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23481.57448>
- Yunarto., Anwar, H. Z., & Wibowo, Y. S. (2015). Perencanaan Evakuasi Vertikal di Pulau Sarangan, Propinsi Bali Sebagai Alternatif Pengurangan Risiko Bahaya Tsunami. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 6(2), 107–117.

ALGORITMA PENENTUAN DAN REKONSTRUKSI ARAH KIBLAT TELITI MENGGUNAKAN DATA GNSS

(Algorithm of the Determination and Reconstruction of the Accurate Qibla Direction using GNSS Data)

Irwan Gumilar¹, Nur Fajar Trihantoro¹, Brian Bramanto¹, Heri Andreas¹, Hasanuddin Z. Abidin^{1,2}, dan Mohamad Gamal¹

¹Kelompok Keilmuan Geodesi, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

²Badan Informasi Geospasial, Indonesia

Labtek IXC Lantai 4, Insititut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha no 10, Bandung

E-mail: igumilar@gd.itb.ac.id

Diterima: 27 Februari 2019, Direvisi: 27 Juni 2019, Disetujui untuk Dipublikasikan: 4 Oktober 2019

ABSTRAK

Kiblat merupakan arah yang dituju umat Muslim ketika melakukan ibadah shalat. Terdapat beberapa dalil baik Al-Quran ataupun As-Sunnah yang mewajibkan ibadah shalat untuk menghadap kiblat. Perkembangan teknologi penentuan posisi dan algoritma pengukuran arah sangat memungkinkan untuk menentukan arah kiblat secara teliti, sekalipun untuk daerah yang tidak memungkinkan untuk melihat Kakbah. Tujuan penelitian ini yaitu menentukan mekanisme perhitungan arah kiblat dan rekonstruksinya menggunakan teknologi GNSS. Metodologi yang dilakukan yaitu dengan menerapkan beberapa metode penentuan posisi menggunakan GNSS untuk menentukan arah kiblat dan perhitungan arah kiblat di atas bidang elipsoid menggunakan metode *Vincenty*. Rekonstruksi arah kiblat dilakukan dengan menerapkan irisan koreksi normal geodesik, koreksi *skew* normal, dan koreksi defleksi vertikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode statik, RTK, dan RTPPP GNSS dapat digunakan untuk menentukan arah kiblat. Penerapan metode *Vincenty* di atas bidang elipsoid untuk penentuan azimuth memperlihatkan arah yang tepat ke arah Kakbah. Untuk keperluan rekonstruksi arah kiblat, pemberian koreksi normal geodesik, koreksi *skew* normal, dan koreksi defleksi vertikal dapat meningkatkan ketelitian sekitar 2 menit. Khusus untuk pengukuran titik *backsight* dengan RTK, azimuth yang didapatkan berbeda sekitar 2 menit dibandingkan dengan metode statik. Perbedaan 2 menit ini menyebabkan arah Kakbah bergeser sekitar 3,6 km, walaupun masih tetap berada di kota Mekah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi untuk pengukuran tepat ke arah kiblat maka harus digunakan metode penentuan posisi statik, menggunakan metode *Vincenty* di atas elipsoid untuk pengukuran azimuthnya, serta menerapkan koreksi irisan normal geodesik, koreksi *skew* normal, dan koreksi defleksi vertikal untuk rekonstruksinya.

Kata kunci: azimuth kiblat, RTK, RTPPP, azimuth, *Vincenty*, reduksi

ABSTRACT

Qibla is the direction that Muslims should be faced during their prayers. There are several propositions in either the Holy Al-Quran or the Sunnah which oblige the Muslims to face the Qibla during their prayers. The current development of positioning technology and the azimuth measurement technology make the determination of the true Qibla is possible. This research aimed to find out the procedure of Qibla determining and its reconstruction using GNSS. The methodology used in this research was by applying several methods in GNSS based point positioning to determine the Qibla direction. The calculation of Qibla direction over the ellipsoid plane was done using the Vincenty method. Thus, the reconstruction of Qibla direction was done by applying a geodesic normal, normal skew, and vertical deflection corrections. The result indicated that the static, RTK, and RTPPP GNSS methods could be used to determine the Qibla direction. For reconstruction purposes, the use of geodesic normal, normal skew, and vertical deflection corrections could improve the accuracy of Qibla direction by about 2 minutes. In backsight azimuth using RTK, it was found that the azimuth differed by about 2 minutes compared to the static method. This deviation would cause shifting of the Kakbah direction by around 3.6 km, though it was still directed to the city of Mecca. Thus, it could be concluded that to obtain higher accuracy of the Qibla direction, the GNSS static positioning method, Vincenty method, and some correctionsof geodesic normal, normal skew and vertical defection should be used.

Keywords: Qibla, RTK, RTPPP, azimuth, *Vincenty*, reductions

PENDAHULUAN

Shalat merupakan ibadah yang wajib untuk umat muslim di seluruh dunia. Ibadah shalat mewajibkan semua yang melaksanakannya untuk menghadap kiblat. Kiblat adalah suatu arah yang menyatukan arah segenap umat Islam dalam melaksanakan shalat. Adapun titik arah itu sendiri bukanlah objek yang disembah umat muslim melainkan Allah SWT (Brills, 1987). Definisi lain terkait kiblat adalah arah ke Kakbah di Mekah pada waktu shalat (Nasional, 2007). (Hambali, 2013) mendefinisikan kiblat sebagai arah menuju Kakbah (Baitullah) melalui jalur terdekat dan menjadi keharusan bagi setiap muslim untuk menghadap ke arah tersebut pada saat melaksanakan shalat, di mana pun berada di belahan dunia ini.

Ada beberapa *nash* yang memerintahkan umat Islam untuk menghadap kiblat dalam shalat baik melalui *nash* Al-Quran ataupun *As-Sunnah*. Adapun *nash-nash* dalam Al-Quran dapat dilihat dalam Q.S Al-Baqarah/2: 144, 149, dan 150 (Iman, 2017). Adapun salah satu hadis Nabi SAW yang secara tegas menyebutkan kewajiban menghadap kiblat dalam shalat yaitu hadis yang diriwayatkan oleh Imam Bukhari dan Muslim yang artinya: "Dari Abu Hurairrah r.a. Nabi SAW bersabda: bila hendak shalat maka sempurnakanlah berwudlu, lalu menghadap kiblat kemudian takbir (shalat)".

Tanjung (2017) menyimpulkan dari beberapa dalil bahwa kewajiban menghadap Kakbah adalah bagi orang yang mampu melihat Kakbah secara langsung. Akan tetapi, bagi orang yang jauh dari Mekah dan tidak dapat melihat Kakbah secara langsung mayoritas para ulama hanya mewajibkan menghadap ke arah Kakbah (*jihah al-Kakbah*). Dengan kata lain, kiblat bagi orang yang melihat langsung Kakbah adalah *'ainul Kakbah*, sedangkan kiblat bagi orang yang tidak dapat melihat langsung Kakbah adalah *jihah al-Kakbah*.

Permasalahan arah kiblat bukan hanya permasalahan di negara berkembang seperti Indonesia, tetapi juga di negara maju seperti Amerika (Saksono, Fulazzaky, & Sari, 2018). Proses geodinamika akibat gempa bumi dan pergerakan lempeng yang terjadi di banyak negara termasuk Indonesia menyebabkan penentuan arah kiblat ini menjadi isu yang banyak didiskusikan. Perkembangan teknologi penentuan posisi menyebabkan penentuan arah/azimut ke arah kiblat semakin teliti, sehingga sangat memungkinkan untuk umat muslim yang berada di wilayah yang tidak dapat melihat Kakbah dapat menghadap ke fisik Kakbah (*'ainul Kakbah*). Perhitungan arah kiblat umumnya dilakukan dengan menggunakan ilmu ukur segitiga bola (*spherical trigonometry*) yang mengasumsikan bumi sebagai bola. Arah kiblat bisa ditentukan dengan menghitung azimut kiblat dan dengan mengetahui posisi matahari (*rashdul kiblat*). Penentuan azimut kiblat biasanya menggunakan

pengamatan matahari atau kompas. Penentuan arah kiblat memerlukan mekanisme perhitungan yang tepat agar menghasilkan arah yang teliti. Beberapa koreksi harus diterapkan baik untuk perhitungan maupun rekonstruksi arah kiblat.

Saat ini telah berkembang sistem penentuan posisi berbasis satelit yang mempunyai ketelitian tinggi yang dikenal dengan *Global Navigation Satellite System* (GNSS). GNSS adalah sistem penentuan posisi berbasis satelit yang terdiri atas berbagai konstelasi satelit seperti, *Global Positioning System* (GPS) milik Amerika, *Beidou Satellite System* (BDS) milik China, GLONASS milik Rusia, Galileo milik Uni-Eropa, serta *Quasi Zenith Satellite System* milik Jepang. Sistem ini memberikan informasi posisi tiga dimensi, kecepatan, dan waktu semua objek di atas dan dekat dengan permukaan bumi (Bramanto, Gumilar, Abidin, Prijatna, & Adi, 2017; Gumilar, Pamungkas, Abidin, Bramanto, & Adi, 2017; Hoffman-Wellenhopf, Lichtenegger, & Wasle, 2007).

Keuntungan dari penggunaan GNSS yaitu dapat digunakan oleh semua orang dalam waktu bersamaan di seluruh dunia, tidak tergantung cuaca dan topografi, lebih cepat dan akurat. Karena dapat memberikan informasi posisi, maka GNSS dapat dipakai untuk menentukan arah, termasuk arah kiblat. Karena GNSS mengacu kepada elipsoid maka pengukuran arah kiblat pun akan mengacu kepada model elipsoid bumi (*ellipsoidal model of the earth*). Pengukuran arah kiblat dengan menggunakan model elipsoid bumi lebih akurat dibandingkan dengan model bumi *spheroid* (Saksono et al., 2018).

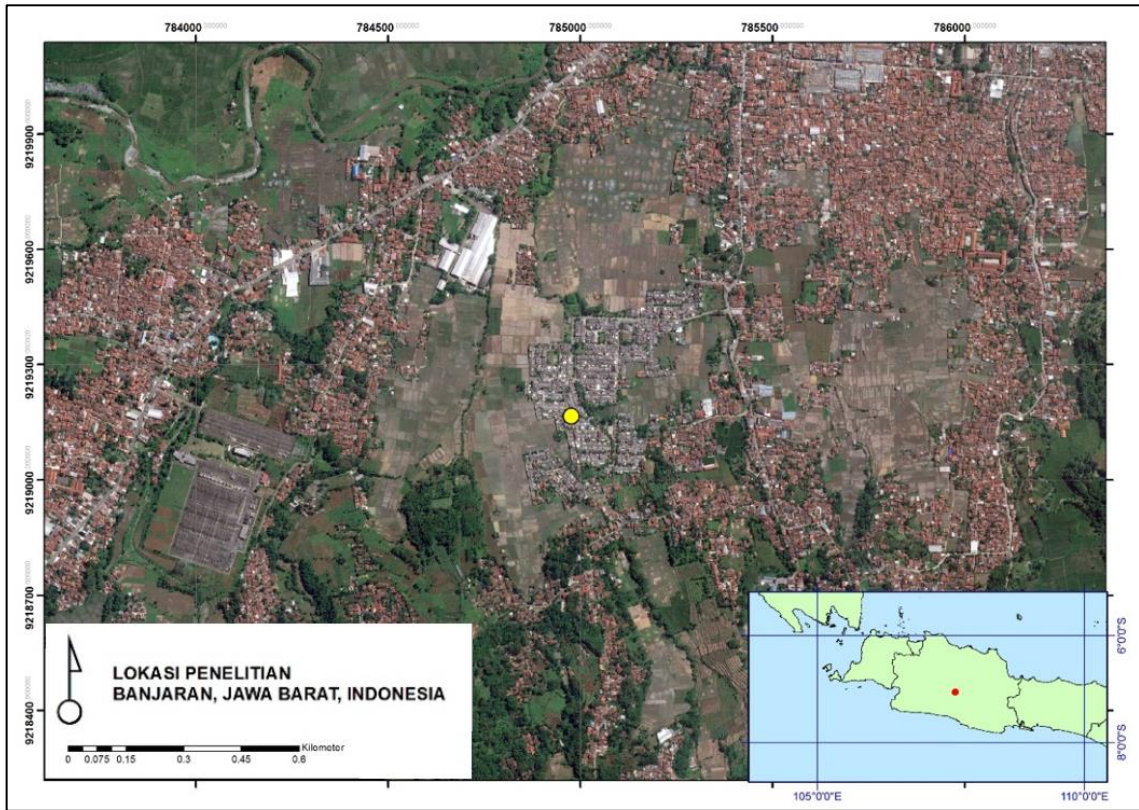
Perkembangan teknologi GNSS saat ini mempunyai kecenderungan semakin cepat dan semakin akurat dalam menentukan posisi, serta semakin murah, dan yang terpenting adalah semakin mudah digunakan. Salah satu metode GNSS yang dapat memberikan informasi posisi tiga dimensi langsung saat itu (*real time*) yaitu metode *Real Time Kinematic* (RTK) dan *Real Time Precise Point Positioning* (RTPPP). Keberadaan *Continuously Operating Reference System* (CORS) GNSS yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Badan Pertanahan Nasional (BPN) dapat memberikan koreksi untuk pengukuran RTK, sehingga mempermudah pengukuran arah kiblat dengan metode RTK (Abidin et al., 2010). Tujuan penelitian ini adalah menentukan algoritma perhitungan arah kiblat dan rekonstruksinya menggunakan data GNSS statik dan *real time*. Penelitian diharapkan dapat memberikan alternatif metode untuk penentuan arah kiblat secara cepat dan teliti.

METODE

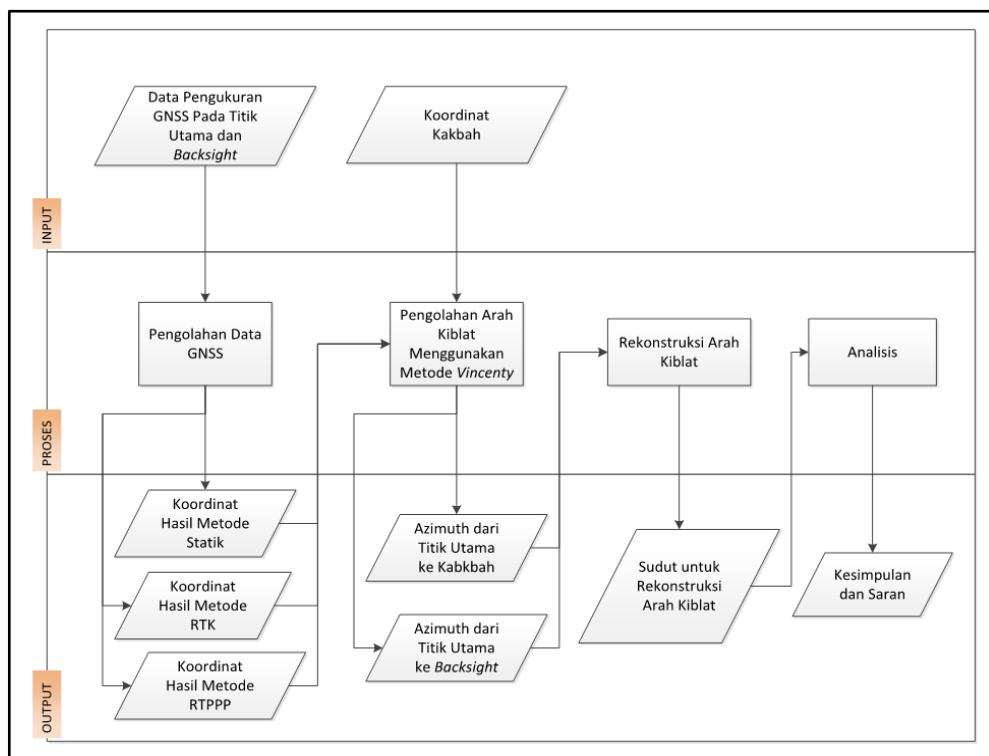
Penelitian ini dilakukan di Banjarnegara, Kabupaten Bandung, Jawa Barat (**Gambar 1**). Penelitian

dilakukan dengan menggunakan set peralatan GNSS sebagai penentuan koordinat teliti dan set peralatan *Total Station (TS)* Topcon MS05 dengan ketelitian sudut sebesar 0,5" sebagai alat rekonstruksi arah kiblat. Penentuan arah kiblat dapat dibagi menjadi beberapa tahapan, diawali dengan pengukuran GNSS menggunakan metode

pengamatan GNSS Statik, RTK, dan RTPPP. Selanjutnya dilakukan pengolahan data GNSS, yaitu perhitungan arah kiblat menggunakan metode *Vincenty* dari posisi yang didapatkan pada tahapan sebelumnya, dan rekonstruksi arah kiblat dengan menerapkan koreksi yang terkait.



Gambar 1. Lokasi penelitian ditunjukkan oleh lingkaran kuning.



Gambar 2. Sistematika alur penelitian.

Gambar 32 menunjukkan sistematika alur penelitian ini. Pengukuran GNSS dengan metode statik dan RTK dilakukan terikat terhadap titik ITB1 dan CORS GNSS milik BIG yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Jarak *baseline* yaitu kurang dari 10 km dan 20 km untuk masing-masing *baseline* ITB1 dan CORS CANG yang dikelola oleh BIG.



(a)



(b)

Sumber: srqi.big.go.id

Gambar 3. CORS ITB1 (a) dan CORS CANG (b).

Penentuan Posisi Menggunakan GNSS

Pengukuran jarak menggunakan GNSS dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu *pseudorange* dan *phaserange*. Selama penjalarnya, sinyal GNSS mengalami berbagai hambatan yang menyebabkan adanya kesalahan dalam pengukuran jarak menggunakan GNSS. Penjalaran sinyal GNSS dari *receiver* ke satelit (Xu, 2007) dapat dilihat pada **Persamaan 1** dan **2**.

$$P_i = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion} + c(dt - dT) + MP_i + \delta P_i \dots(1)$$

$$L_i = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion} + c(dt - dT) + ML_i + \lambda_i N_i + \delta L_i \dots(2)$$

di mana:

- P dan L : *pseudorange* dan *phaserange*
- subskrip i : frekuensi dan konstelasi satelit yang digunakan
- ρ : jarak geometris sebenarnya
- $d\rho$: kesalahan orbit
- d_{trop} dan d_{ion} : kesalahan troposfer dan ionosfer
- c : kecepatan cahaya
- dt dan dT : kesalahan *receiver* dan satelit
- M dan δ : Kesalahan *multipath* dan derau

λ dan N : panjang gelombang dan ambiguitas fase

Pada metode statik dan RTK, pengukuran dilakukan dengan setidaknya dua buah *receiver* yang pada salah satunya telah memiliki koordinat definitif. Metode statik dan RTK menggunakan pengamatan *double difference* untuk mereduksi hingga mengeliminasi kesalahan yang terjadi pada penjalaran sinyal. Pengamatan *double difference* dilakukan dengan mengurangi pengamatan *single difference* antar *receiver* dan satelit. Pengamatan *single difference* pada *phaserange* dapat dilihat pada **Persamaan 3** (Bramanto et al., 2017).

$$\Delta L_{A,B}^j = \Delta \rho_{A,B}^j + d_{tropA,B}^j - d_{ionA,B}^j + c(dt - dT)_{A,B}^j + ML_{A,B}^j + \lambda N_{A,B}^j + \delta L_{A,B}^j \dots(3)$$

di mana:

- $\Delta_{A,B}$: pengurangan antara *receiver* A dan B
- superskrip j : satelit yang diamati

Pada tahapan ini, kesalahan jam satelit dapat tereliminasi, sedangkan kesalahan/bias troposfer dan ionosfer dapat tereliminasi atau tereduksi tergantung berdasarkan panjang *baseline* yang teramati. *Multipath* dan derau diabaikan mengingat kesalahan tersebut tidak dapat dieliminasi (Hoffman-Wellenhop et al., 2007).

Kesalahan jam *receiver* yang tersisa kemudian dieliminasi dengan menerapkan *double difference* atau pengurangan antara dua buah pengamatan *single difference*. Secara matematis, pengamatan *double difference* seperti yang ditunjukkan pada **Persamaan 4**.

$$\Delta \nabla L_{A,B}^{jk} = \Delta \rho_{A,B}^{jk} + \lambda N_{A,B}^{jk} \dots(4)$$

di mana superskrip j dan k menunjukkan dua satelit yang berbeda. Dengan menerapkan linierisasi dan *least square*, maka diperoleh parameter berupa dX , dY dan dZ yang merupakan beda posisi antara titik definitif dan titik yang dicari dan N yang merujuk pada ambiguitas fase

Pada metode RTPPP, pengukuran dilakukan dengan satu buah *receiver* saja sehingga pengukuran RTPPP merupakan penentuan posisi dengan metode absolut. Oleh karena itu diperlukan data koreksi tambahan serta penanganan reduksi kesalahan yang berbeda dengan metode statik dan RTK agar diperoleh posisi dengan ketelitian yang tinggi.

Kesalahan ionosfer pada RTPPP direduksi dengan kombinasi linier *ionospheric-free* untuk menghilangkan kesalahan ionosfer orde satu yang terjadi selama penjalaran sinyal GNSS. Kombinasi linier *ionospheric-free* untuk *phaserange* ditunjukkan pada **Persamaan 5** (Gao & Chen, 2004):

$$L_{IF} = \rho + d\rho + d_{trop} + c(dt - dT) + ML_{IF} + \frac{\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2}{f_1^2 - f_2^2} + \delta L_{IF} \dots \dots \dots (5)$$

di mana:

- ML_{IF} dan δL_{IF} : merupakan *multipath* dan derau akibat kombinasi linier *ionospheric-free*
- f_1 dan f_2 : merupakan frekuensi yang digunakan

Pada **Persamaan 5** terlihat bahwa masih terdapat kesalahan orbit dan kesalahan jam satelit. Kedua kesalahan tersebut harus dihilangkan dengan tambahan data yang lain, yaitu data orbit dan koreksi waktu satelit teliti yang dapat diperoleh melalui organisasi penyedia data seperti *International GNSS Service (IGS)*. Data tersebut dapat diunduh beberapa saat setelah pengukuran berlangsung. Pada RTPPP, data orbit dan satelit teliti diperoleh oleh masing-masing pabrikan yang diunduh secara *real-time* melalui bantuan satelit *L-Band*. Kesalahan troposfer dan kesalahan jam *receiver* dapat diestimasi, sedangkan kesalahan *multipath* dan derau diabaikan. Kesalahan *hydrostatic delay* pada kesalahan troposfer dapat dihilangkan dengan model yang ada seperti model Saastamoinen (Saastamoinen, 1972) dan kesalahan *wet delay* pada kesalahan troposfer dapat diestimasi.

Dengan demikian, secara matematis **Persamaan 5** dapat disederhanakan sebagaimana **Persamaan 6** berikut:

$$L_{IF} = \rho + mf \cdot zwd + c \cdot dt + \frac{\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2}{f_1^2 - f_2^2} \dots \dots \dots (6)$$

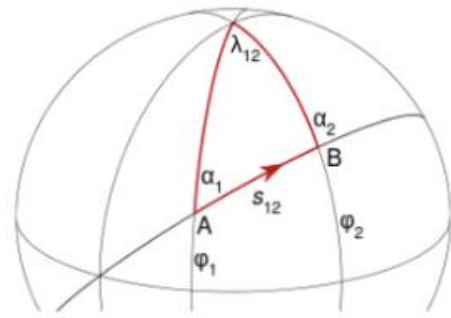
di mana:

- mf : merujuk kepada *mapping function* yang digunakan
- zwd : *wet delay* pada kesalahan troposfer

Berbeda dengan hasil parameter pada metode statik dan RTK, pada metode RTPPP didapat hasil parameter berupa X, Y, Z yang merupakan koordinat posisi yang dicari dan $zwd, dt,$ dan N .

Penentuan Azimut dengan Metode Vincenty

Dalam berbagai keperluan di bidang geodesi, metode *Vincenty* banyak digunakan karena tingkat akurasi yang tinggi, terutama untuk menentukan arah dan jarak antara dua titik yang saling berjauhan (Tseng, Guo, & Liu, 2013). Metode *Vincenty* dikembangkan dengan mengasumsikan bentuk bumi yang mendekati elipsoid (**Gambar 4**) (Vincenty, 1975). Penggunaan elipsoid tersebut menyebabkan hasil perhitungan azimut dan jarak dapat lebih mendekati yang sebenarnya daripada menggunakan persamaan segitiga bola.



Gambar 4. Ilustrasi azimut dalam pendekatan *Vincenty*.

Penentuan azimut menggunakan prinsip *inverse problem*. Dua set koordinat diperlukan dalam sistem koordinat geodetik (φ, λ). Penentuan arah dalam metode *Vincenty* didefinisikan sebagaimana **Persamaan 7 s.d. 13** berikut:

$$\sin^2 \sigma = (\cos U_2 \sin \lambda)^2 + (\cos U_2 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos \lambda)^2 \dots \dots \dots (7)$$

$$\cos \sigma = \sin U_1 \sin U_2 + \cos U_2 \sin U_2 \cos \lambda \dots \dots \dots (8)$$

$$\tan \sigma = \frac{\sin \sigma}{\cos \sigma} \dots \dots \dots (9)$$

$$\sin \sigma = \frac{\cos U_1 \cos U_2 \sin \lambda}{\sin \sigma} \dots \dots \dots (10)$$

$$\cos 2\sigma_m = \cos \sigma - 2 \sin U_1 \sin U_2 / \cos^2 \alpha \dots \dots \dots (11)$$

$$C = \frac{F}{16} \cos^2 \alpha [4 + F(4 - 3 \cos^2 \alpha)] \dots \dots \dots (12)$$

$$LL = \lambda - (1 - C)F \sin \alpha (\sigma + C \sin \sigma [\cos 2\sigma_m + C \cos \sigma (-1 + 2 \cos^2 2\sigma_m)]) \dots \dots \dots (13)$$

di mana:

- σ : jarak busur antara dua titik pada bumi bulat
- λ : inisiasi awal nilai dari perbedaan dua bujur ($\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$)
- σ_m : jarak busur dari ekuator terhadap titik tengah lintasan
- F : pengepangan elipsoid
- α : azimut geodesik di ekuator
- U_1 & U_2 : lintang reduksi

Lintang reduksi didefinisikan sebagaimana **Persamaan 14** dan **Persamaan 15** berikut:

$$U_1 = \arctan((1 - F) \tan \varphi_1) \dots \dots \dots (14)$$

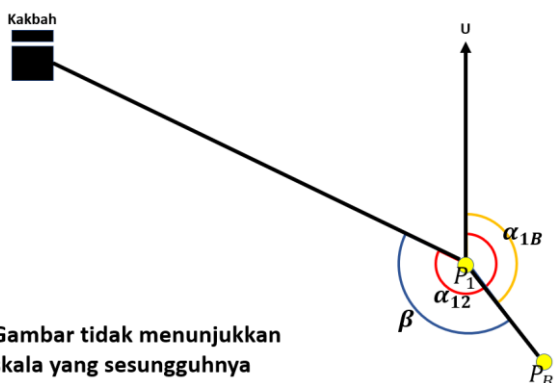
$$U_2 = \arctan((1 - F) \tan \varphi_2) \dots \dots \dots (15)$$

Perhitungan dilakukan secara iteratif sehingga nilai LL konvergen dengan akurasi 10^{-12} . Kemudian Azimut (α_{AB}) diperoleh melalui **Persamaan 16** berikut:

$$\alpha_{AB} = \arctan \left(\frac{\cos U_2 \sin LL}{\cos U_1 \sin U_2 - \sin U_1 \cos U_2 \cos \lambda} \right) \dots \dots \dots (16)$$

Rekonstruksi Arah Kiblat

Rekonstruksi arah kiblat dilakukan dengan TS. Pada dasarnya diperlukan dua buah azimut, yaitu azimut dari titik P_1 ke P_2 (Kakbah) dan titik P_1 ke titik P_B . Hal ini dilakukan karena pada perangkat TS yang diukur adalah beda sudut horizontal antara dua titik, bukan azimut. Pada penelitian ini, ilustrasi rekonstruksi arah kiblat ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar tidak menunjukkan skala yang sesungguhnya

Gambar 5. Ilustrasi rekonstruksi arah kiblat.

Sudut β yang digunakan untuk rekonstruksi arah kiblat dapat dilihat pada **Persamaan 17**.

$$\beta = \alpha_{12} - \alpha_{1B} \dots \dots \dots (17)$$

dimana:

- α_{12} : azimut dari titik P_1 ke Kakbah
- α_{1B} : azimut dari titik P_{1B} ke titik P_B
- β : sudut horizontal titik $P_B - P_1 - P_2$ (Kakbah)

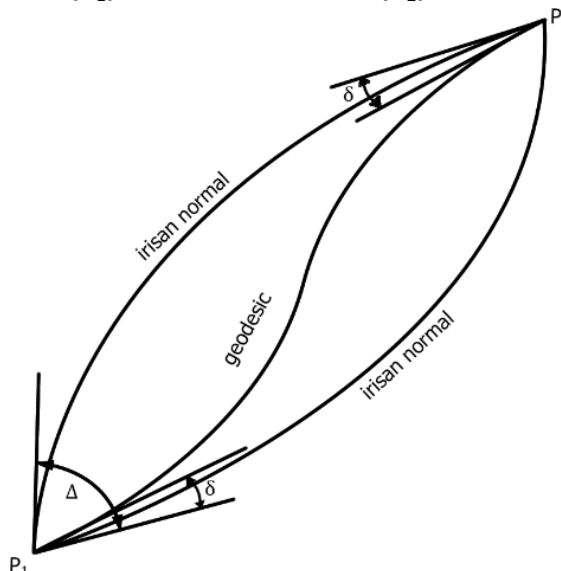
Perlu diperhatikan bahwa sudut β hasil perhitungan metode *Vincenty* masih merupakan hitungan dalam bidang elipsoid, sedangkan rekonstruksi arah kiblat menggunakan TS dilakukan dalam bidang topografi. Beberapa koreksi/reduksi ukuran sudut perlu diterapkan terhadap hasil perhitungan sebelum dapat digunakan dalam proses rekonstruksi arah kiblat. Koreksi tersebut yaitu koreksi irisan normal geodesik, koreksi *skew normal*, dan koreksi efek defleksi vertikal.

Koreksi irisan normal geodesik merupakan koreksi yang diterapkan karena terdapat perbedaan antara seksi normal dan garis geodesik pada permukaan elipsoid (**Gambar 6**). Koreksi ini berbanding lurus dengan jarak antara kedua buah titik. Mengingat jarak titik P_1 yang jauh dari P_2 Kakbah (8.100 km) maka pengaruh kesalahan irisan normal geodesik untuk azimut dari titik P_1 ke titik P_2 (α_{12}) ini cukup besar sehingga harus diperhitungkan. Koreksi untuk azimut titik P_1 ke titik *backsight* P_B (α_{1B}) relatif kecil sehingga dapat diabaikan.

Koreksi irisan normal geodesik dapat dilihat pada **Persamaan 18**.

$$\delta g = \frac{e^2 s^2 \cos^2 \varphi_m \sin 2\alpha_{12}}{12 N_m^2} \dots \dots \dots (18)$$

Dalam hal ini jarak geodesik dari titik P_1 (masjid) ke titik P_2 (Kakbah) ditentukan dengan e merupakan eksentrisitas, φ_m merupakan rata-rata dari lintang titik P_1 (φ_1) dan lintang titik P_2 (φ_2), N_m merupakan rata-rata dari radius lengkung normal di titik P_1 (N_1) dan normal di titik P_2 (N_2).



Gambar 6. Ilustrasi koreksi irisan normal geodesik.

Koreksi *skew normal* merupakan koreksi yang diterapkan karena terdapat perbedaan tinggi antara titik P_1 dan titik P_2 yang menyebabkan garis normal elipsoid pada kedua buah titik berbeda. Perbedaan garis normal ini menyebabkan perbedaan terhadap azimut ukuran dan azimut sebenarnya (**Gambar 7**). Namun umumnya kesalahan ini besarnya minimum sehingga dalam keperluan praktis, kesalahan *skew normal* sering diabaikan. Tinggi yang digunakan untuk menghitung koreksi *skew normal* yaitu tinggi titik P_2 (Kakbah) sebesar 282,2016 m dari permukaan elipsoid.

Koreksi *skew normal* dapat dilihat pada **Persamaan 19** berikut:

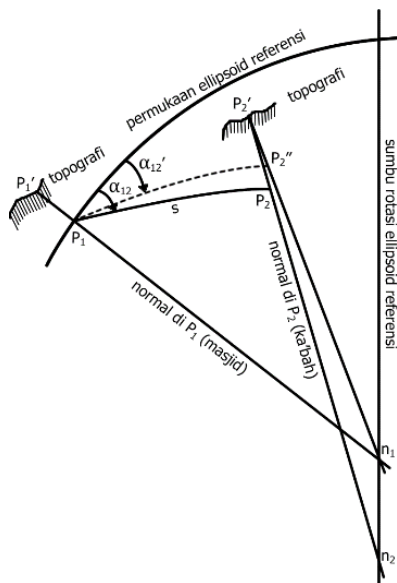
$$\delta h = \frac{h_2}{M_m} e^2 \sin \alpha_{12} \cos \alpha_{12} \cos^2 \varphi_2 \dots \dots \dots (19)$$

dimana:

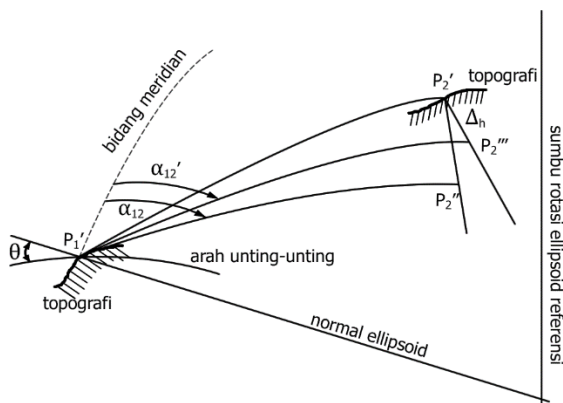
- h_2 : tinggi geodetik P_2 (Kakbah)
- M_m : radius lengkung meridian rata-rata dari titik P_1 dan titik P_2
- α_{12} : azimut dari titik P_1 ke P_2 (yang sudah dikoreksi dengan koreksi irisan normal geodesik dan koreksi efek defleksi vertikal)
- φ_2 : lintang geodetik di titik P_2

Koreksi efek defleksi vertikal merupakan koreksi yang diterapkan karena terdapat perbedaan antara garis unting-unting (*plumbline* atau normal gayaberat) dan garis normal elipsoid di titik P_1 dan titik P_2 . Adanya defleksi ini menyebabkan perbedaan antara arah azimut sebenarnya dan azimut ukuran. Ilustrasi koreksi efek defleksi

vertikal ditunjukkan pada **Gambar 8**. Hitungan koreksi ini memerlukan data defleksi vertikal ke arah barat timur (η) dan defleksi vertikal ke arah utara selatan (ξ).



Gambar 7. Ilustrasi koreksi skew normal.



Gambar 8. Ilustrasi koreksi efek defleksi vertikal.

Koreksi efek defleksi vertikal dapat dilihat pada **Persamaan 20**.

$$\delta\theta = -(\xi_1 \sin \alpha_{12} - \eta_1 \cos \alpha_{12}) \cot z \dots \dots \dots (20)$$

dimana:

- ξ_1 : defleksi vertikal ke arah barat timur di titik P_1 (masjid)
- η_1 : defleksi vertikal ke arah utara selatan di titik P_1 (Kakbah)
- z : sudut zenit dari titik P_1 ke arah titik P_2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Posisi Menggunakan Teknologi GNSS

Pengukuran metode statik dilakukan selama 6 jam dengan dua jenis *baseline*, yaitu jarak pendek (7,2 km) dan *baseline* jarak sedang (18,6 km).

Baseline dibuat dengan mereferensikan titik yang diukur (P_1 dan P_2) dengan titik referensi CORS. *Baseline* pendek dibuat dengan mereferensikan titik ukuran ke stasiun CORS milik BIG, stasiun CANG (-7° 01' 16,58", 107° 31' 29,09") sedangkan *baseline* panjang dibuat dengan mengikatkan titik ke CORS milik ITB, stasiun ITB1 (-6° 53' 29,50", 107° 36' 43,23").

Pengukuran RTK dilakukan dengan titik referensi yang sama dengan pengukuran statik, CORS CANG dan CORS ITB1. Hasil pengukuran RTK dan RTPPP mendapatkan koordinat titik langsung setelah pengukuran, sedangkan pengukuran statik dilakukan *post processing* dengan perangkat lunak komersil Leica Geo Office. Koordinat hasil pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Koordinat titik P_1

Metode	Lintang (° ' ")	Bujur (° ' ")	Tinggi (m)
Statik	-7 3 23,40409	107 34 45,92060	692,316
<i>Baseline</i> Pendek			
Statik	-7 3 23,40425	107 34 45,92055	692,299
<i>Baseline</i> Sedang			
RTK	-7 3 23,40410	107 34 45,92156	692,332
Jarak Pendek			
RTK	-7 3 23,40423	107 34 45,92146	692,202
Jarak Sedang			
RTPPP	-7 3 23,41226	107 34 45,92682	692,411

Tabel 2. Koordinat titik P_B .

Metode	Lintang (° ' ")	Bujur (° ' ")	Tinggi (m)
Statik	-7 3 25,05547	107 34 46,48164	692,990
<i>Baseline</i> Pendek			
Statik	-7 3 25,05563	107 34 46,48152	692,979
<i>Baseline</i> Sedang			
RTK	-7 3 25,05522	107 34 46,48116	692,981
Jarak Pendek			
RTK	-7 3 25,05467	107 34 46,48057	692,963
Jarak Sedang			
RTPPP	-7 3 25,06268	107 34 46,48523	693,113

Hasil pengukuran GNSS menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara koordinat geodetik dari dua pengukuran GNSS statik dengan ambiguitas fase yang terpecahkan. Perbedaan tersebut berada dalam tingkatan milimeter untuk komponen horizontal dan sentimeter untuk komponen vertikal. Namun, pada metode RTK,

akurasi yang didapatkan berada dalam tingkatan sentimeter untuk komponen horizontal dan vertikal bila dibandingkan dengan koordinat hasil pengukuran statik. Hasil pengukuran RTPPP bila dibandingkan dengan metode pengukuran statik terdapat perbedaan pada tingkatan desimeter ke arah tenggara. Hal ini akibat dari penggunaan datum dinamik dalam pengukuran RTPPP (Bramanto, Gumilar, & Kutjoro, 2015), sehingga koordinat memiliki posisi pada *epoch* saat pengukuran, sedangkan metode lain menggunakan datum semi-dinamik SRGI2013 di mana koordinat yang dihasilkan merupakan posisi pada *epoch* 2012.0. Perbedaan nilai koordinat yang diperoleh untuk setiap metode secara detail dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Perbedaan koordinat setiap metode bila dibandingkan dengan koordinat statik *baseline* pendek untuk titik P_1 .

Metode	Easting (cm)	Northing (cm)	Tinggi (cm)
Statik <i>baseline</i> pendek	0	0	0
Statik <i>baseline</i> sedang	-2,36	0,01	-1,7
RTK jarak pendek	-5,25	0,06	1,60
RTK jarak sedang	-4,94	-0,46	-11,4
RTPPP	-21,26	25,23	9,54

Tabel 4. Perbedaan koordinat setiap metode bila dibandingkan dengan koordinat statik *baseline* pendek untuk titik P_2 .

Metode	Easting (cm)	Northing (cm)	Tinggi (cm)
Statik <i>Baseline</i> Pendek	0	0	0
Statik <i>Baseline</i> Sedang	-2,26	0,26	-1,1
RTK Jarak Pendek	-1,11	0,98	-0.9
RTK Jarak Sedang	0,69	-2,68	-2.70
RTPPP	-13,48	22,02	12.3

Penentuan Azimut Kiblat

Perhitungan azimut dengan metode *Vincenty* menggunakan kumpulan koordinat yang diperoleh pada proses pengolahan data GNSS. Azimut yang dihitung yaitu Azimut dari titik P_1 ke P_2 (Kakbah) dan Azimut dari titik P_1 ke titik P_B . Koordinat Kakbah yang digunakan adalah $21^{\circ} 25' 20,95''$, $39^{\circ} 49' 34,34''$, dan 282,202 m.

Tabel 5 merupakan azimut yang didapatkan untuk setiap metode *Vincenty*.

Tabel 5. Azimut untuk titik P_1 ke P_2 (Kakbah) dan untuk titik P_1 ke P_B .

Metode	Azimut P_1 ke P_2 (α_{12}) (o ' ")	Azimut P_1 ke P_B (α_{1B}) (o ' ")
Statik <i>Baseline</i> Pendek	295 5 19,47712	161 15 9,21882
Statik <i>Baseline</i> Sedang	295 5 19,47718	161 15 17,05135
RTK Jarak Pendek	295 5 19,47688	161 17 40,52061
RTK Jarak Sedang	295 5 19,47694	161 18 9,592600
RTPPP	295 5 19,47786	161 19 27,26002

Pada jarak yang sangat jauh seperti yang ditunjukkan pada titik P_1 ke titik P_2 (Kakbah) yang mencapai lebih dari 8.000 km, terlihat bahwa azimut yang didapat tidak memiliki perbedaan yang signifikan, dengan perbedaan hanya 4 angka di belakang koma pada komponen detik untuk masing-masing metode. Perhitungan azimut ke titik *backsight* memiliki rentang kesalahan ukuran sudut hingga 2 menit bila dilakukan perbandingan antara metode RTK dan statik *baseline* pendek, walaupun perbedaan koordinat antara metode RTK dan statik *baseline* pendek hanya beberapa sentimeter. Hal ini terjadi karena jarak *baseline* yang relatif pendek dari titik P_1 ke titik *backsight*, sehingga perbedaan jarak dalam tingkatan sentimeter dapat memberikan pengaruh yang besar pada ukuran sudut. Sebaiknya, *baseline* antara titik P_1 dan titik *backsight* dibuat sejauh mungkin namun tetap mempertimbangkan tingkat akurasi dari TS yang digunakan untuk rekonstruksi arah kiblat. Metode RTPPP memiliki kesalahan ukuran sudut mencapai 3 menit bila dibandingkan dengan metode statik *baseline* pendek.

Koreksi dan Rekonstruksi Arah Kiblat

Tahapan ini memerlukan data defleksi vertikal yang diperoleh dari model global EGM2008 dengan ukuran grid 2,5'x2,5'. Defleksi vertikal di titik P_1 didapat dengan interpolasi *bi-linear* dengan nilai $\xi_1 = 16,6708''$ dan $\eta_1 = -5,2751''$. **Tabel 6** dan **Tabel 7** merupakan rangkuman dari besarnya koreksi yang diterapkan pada masing-masing azimut α_{12} dan α_{1B} . Proses reduksi dari masing-masing azimut tersebut dapat dilakukan dengan **Persamaan 21** dan **Persamaan 22** berikut:

$$\alpha_{12}' = \alpha_{12} - (\delta g_{12} + \delta h_{12} + \delta \theta_{12}) \dots\dots\dots(21)$$

$$\alpha_{1B}' = \alpha_{1B} - (\delta g_{1B} + \delta h_{1B} + \delta \theta_{1B}) \dots\dots\dots(22)$$

Setelah diperoleh α_{12}' dan α_{1B}' terkoreksi kemudian dihitung sudut β melalui **Persamaan 23**. Sudut β inilah yang dapat direkonstruksi (*stake out*) untuk mendapatkan arah kiblat di lapangan. Tahap rekonstruksi arah kiblat dilakukan dengan perangkat TS.

$$\beta_{12} = \alpha_{12}' - \alpha_{1B}' \dots\dots\dots(23)$$

Validasi Arah Kiblat

Validasi ditunjukkan dengan visualisasi arah Kakbah dengan penggambaran azimut dari titik ke Kakbah. Namun, perlu diperhatikan bahwa sistem proyeksi yang digunakan dalam proses validasi ini

harus dalam sistem proyeksi azimutal, yaitu sistem proyeksi yang mempertahankan arah, bukan menggunakan sistem proyeksi yang umum seperti *mercator* yang mempertahankan bentuk. Azimut yang digunakan untuk proses validasi merupakan azimut hasil hitungan yang masih di atas bidang elipsoid. Azimut di atas bidang elipsoid sama dengan azimut di atas bidang proyeksi pada sistem proyeksi azimutal.

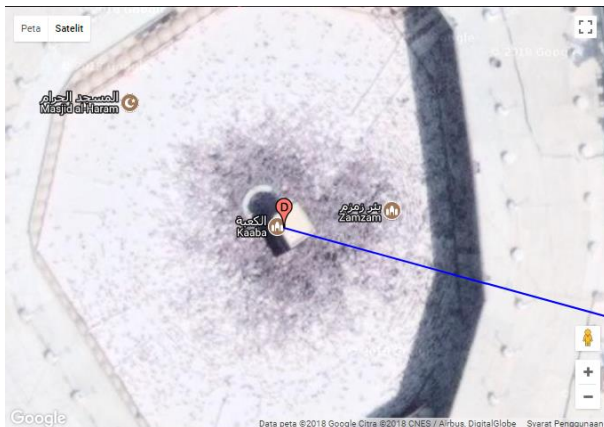
Visualisasi dalam proses validasi ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *website* (geomidpoint.com). Visualisi titik jatuh dari hasil rekonstruksi azimut dan jarak titik P_1 ke P_2 (Kakbah) untuk metode statik ditunjukkan pada **Gambar 9**.

Tabel 6. Azimut α_{12} beserta koreksi yang diberikan.

Metode	Azimut P_1 ke P_2 hitungan (α_{12}) (° ' ")	Koreksi irisan normal geodesik (δg) dalam "	Koreksi skew normal (δh) dalam "	Koreksi defleksi vertikal ($\delta \theta$) dalam "	Azimut P_1 ke P_2 terkoreksi (α_{12}') (° ' ")
Statik <i>Baseline</i> Pendek	295 5 19,48077	-138,00889	-0,01392	-9,39043	295 7 46,89036
Statik <i>Baseline</i> Sedang	295 5 19,48083	-138,00889	-0,01392	-9,39043	295 7 46,89042
RTK Jarak Pendek	295 5 19,48052	-138,00889	-0,01392	-9,39043	295 7 46,89012
RTK Jarak Sedang	295 5 19,48059	-138,00889	-0,01392	-9,39043	295 7 46,89018
RTPPP	295 5 19,48151	-138,00890	-0,01392	-9,39043	295 7 46,89111

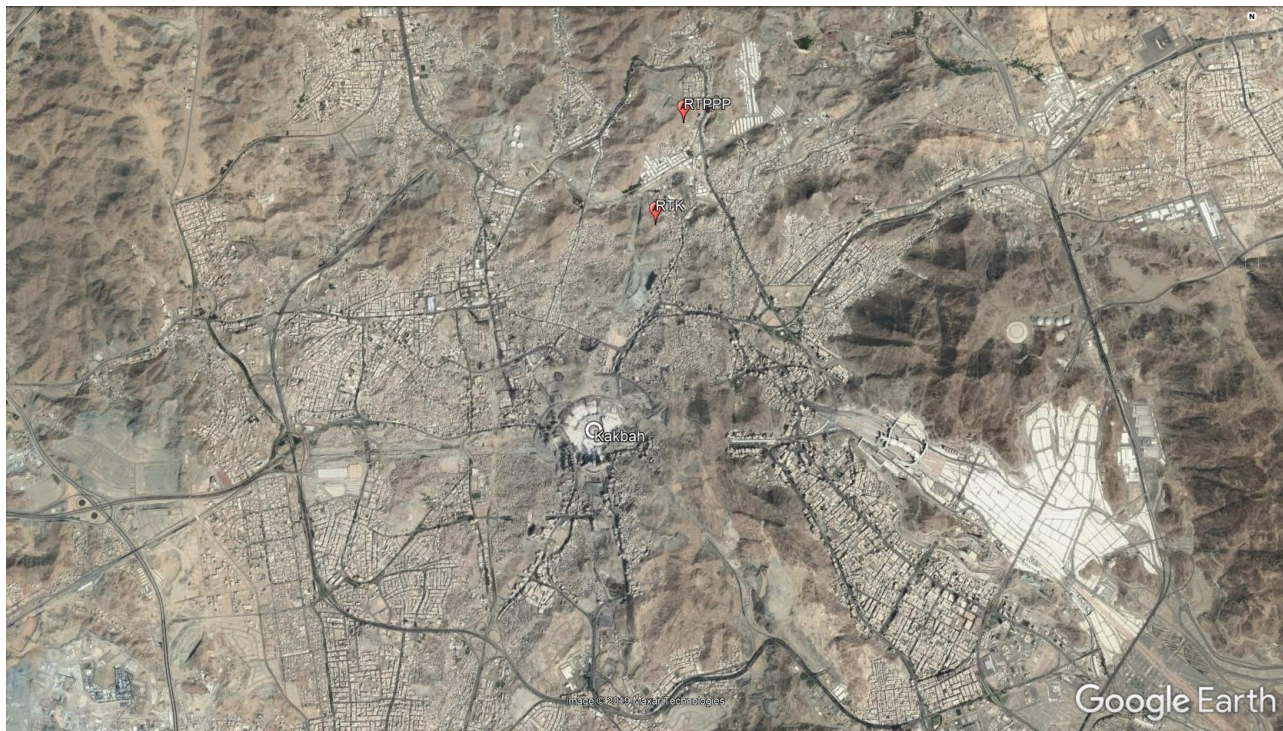
Tabel 7. Azimut α_{1B} beserta koreksi yang diberikan.

Metode	Azimut P_1 ke P_B hitungan (α_{1B}) (° ' ")	Koreksi irisan normal geodesik (δg) dalam "	Koreksi skew normal (δh) dalam "	Koreksi defleksi vertikal ($\delta \theta$) dalam "	Azimut P_1 ke P_B terkoreksi (α_{1B}') (° ' ")
Statik <i>Baseline</i> Pendek	161 15 9,21882	0	-0,00419	0	161 15 9,22301
Statik <i>Baseline</i> Sedang	161 15 17,05135	0	-0,00419	0	161 15 17,05555
RTK Jarak Pendek	161 17 40,52061	0	-0,00418	0	161 17 40,52480
RTK Jarak Sedang	161 18 9,59260	0	-0,00419	0	161 18 9,59680
RTPPP	161 19 27,26002	0	-0,00418	0	161 19 27,26419



Gambar 9. Titik jatuh dari hasil rekonstruksi azimut dan jarak titik P_1 ke P_2 (Kakbah).

Berdasarkan **Tabel 5**, **Tabel 6**, dan **Tabel 7**, dapat dilihat bahwa akurasi azimut untuk *backsight* memiliki rentang kesalahan hingga 2 menit pada metode RTK dan mencapai 3 menit pada metode RTPPP. Kesalahan titik jatuh rekonstruksi arah kiblat melenceng mencapai 3,6 km dari Kakbah untuk kesalahan 2 menit dan 5,4 km untuk kesalahan 3 menit. Jarak tersebut didapat dengan menghitung jarak lurus dari titik jatuh yang didapatkan dengan mempertimbangkan kesalahan 2 hingga 3 menit dengan titik Kakbah. **Gambar 10** menunjukkan ilustrasi titik jatuh dari hasil rekonstruksi arah kiblat dengan mempertimbangkan kesalahan sebesar 2 menit.



Gambar 10. Titik jatuh dari hasil rekonstruksi arah kiblat dengan mempertimbangkan kesalahan sebesar 2 menit dan 3 menit (titik merah dengan keterangan metode yang digunakan).

KESIMPULAN

Penentuan arah kiblat yang teliti dan rekonstruksinya memerlukan data posisi yang teliti beserta algoritma perhitungan yang tepat, khususnya untuk di daerah yang sangat jauh dari Kakbah seperti di Indonesia. Hal tersebut dilakukan agar arah Kiblat tepat ke arah Kakbah. Saat ini data posisi tempat berdiri alat untuk keperluan rekonstruksi dan *backsight*-nya dapat diperoleh dari data GNSS dengan metode statik maupun *real time* (RTK dan RTPPP). Perhitungan azimuth menggunakan metode *Vincenty* di atas bidang elipsoid bumi memberikan hasil yang sangat baik. Perhitungan azimuth menggunakan data RTK dan RTPPP memiliki penyimpangan sekitar 2 hingga 3 menit terhadap hasil statik yang ketelitiannya dalam fraksi milimeter untuk komponen horizontal sehingga arah kiblat menyimpang sekitar 3,6 hingga 5,4 km dari Kakbah. Penggunaan metode statik, RTK, dan RTPPP dapat digunakan untuk penentuan arah kiblat karena metode tersebut sesuai dengan apa yang diriwayatkan pada beberapa hadis. Dengan penggunaan metode statik, umat muslim dapat menghadap kakbah secara tepat, sedangkan untuk metode RTK dan RTPPP meskipun memiliki kesalahan hingga 5,4 km, umat muslim masih dapat menghadap Mekkah secara tepat. Pada saat rekonstruksi arah kiblat, hasil perhitungan azimuth harus menerapkan irisan koreksi normal geodesik, koreksi *skew* normal, dan koreksi defleksi vertikal agar tepat ke arah Kakbah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada para *reviewer* yang telah membantu meningkatkan kualitas dari penulisan ini. Penelitian ini didukung oleh Program Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat dan Inovasi ITB (P3MI-ITB) tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Subarya, C., Muslim, B., Adiyanto, F. H., Meilano, I., Andreas, H., & Gumilar, I. (2010). The applications of GPS CORS in Indonesia: status, prospect and limitation. *FIG Congress 2010*. Sydney.
- Bramanto, B., Gumilar, I., Abidin, H. Z., Prijatna, K., & Adi, F. S. (2017). Assessment of the BeiDou Data Quality and the Positioning Performance: A Perspective from Bandung, Indonesia. *Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation*, 49(3), 191–204.
- Bramanto, B., Gumilar, I., & Kutjoro, W. (2015). RT-PPP: Concept and Performance in Indonesia Region. *FIT ISI 2015*. Batu.
- Brills, W. K. (1987). *Encyclopedia of Islam*, Vol. 3.
- Gao, Y., & Chen, K. (2004). Performance Analysis of Precise Point Positioning using Real-Time Orbit and Clock Products. *Journal of Global Positioning System*, 3(1–2), 95–100.
- Gumilar, I., Pamungkas, A. I., Abidin, H. Z., Bramanto, B., & Adi, F. S. (2017). Contribution of BeiDou Positioning System for Accuracy Improvement: A Perspective from Bandung, Indonesia. *Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation*, 49, 171–184.
- Hambali, S. (2013). *Ilmu Falak Arah Kiblat Setiap Saat*.

- Yogyakarta: Pustaka Ilmu Yogyakarta.
- Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems*. Wien: Springer-Verlag.
- Iman, I. R. (2017). Peranan Arah Kiblat Terhadap Ibadah Shalat. *Jurnal Syari'ah Dan Hukum Diktum*, 15(2), 247–260.
- Nasional, D. P. (2007). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Saastomoinen, J. (1972). Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites. In M. W. Henriksen, A. Mancini, & B. Chovitz (Eds.), *The Use of Artificial Satellites for Geodesy, Geophys. Monogr. Ser., vol. 15*. Washington, D. C.: AGU.
- Saksono, T., Fulazzaky, M. A., & Sari, Z. (2018). Geodetic Analysis of Disputed Accurate Qibla Direction. *J.Appl. Geodesy*, 1–9.
- Tanjung, D. (2017). Urgensi Kalibrasi Arah Kiblat Dalam Penyempurnaan Ibadah Shalat. *Jurnal Kajian Hukum Islam Al-Manahij*, 10(1), 113–132.
- Tseng, W., Guo, J., & Liu, C. (2013). A comparison of great circle, great ellipse, and geodesic sailing. *Journal of Marine Science and Technology*, 21(3), 287–299.
- Vincenty, T. (1975). Direct and inverse solutions of geodesic on the ellipsoid with application of nested equation. *Survey Review*, 23(176), 88–93.
- Xu, G. (2007). *GPS Theory, Algorithms and Application*. Berlin: Springer.

Halaman ini sengaja kami kosongkan

MODEL ESTIMASI NILAI TANAH MENGUNAKAN ANALISIS GEOSTATISTIKA

(*Land Value Estimation Model using Analysis Geostatistics*)

Nanin Trianawati Sugito¹, Irawan Soemarto², Sadikin Hendriatiningsih², dan Bambang Edhi Leksono²

¹Departemen Pendidikan Geografi, Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial, Universitas Pendidikan Indonesia,

²Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.

Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Kota Bandung 40154, Indonesia

E-mail: nanintrianawati@upi.edu

Diterima: 6 Maret 2019; Direvisi: 5 September 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 16 Oktober 2019

ABSTRAK

Penilaian tanah menjadi salah satu aspek dalam sistem kadaster yang terintegrasi dengan penggunaan tanah dan penguasaan tanah. Tanah dapat dinilai atas dasar manfaat yang bisa diberikan. Tinggi rendahnya nilai tanah dipengaruhi oleh banyak faktor, di antaranya faktor ekonomi, sosial, pemerintah, dan fisik. Berdasarkan faktor yang dapat menentukan nilai tanah tersebut, diketahui bahwa penggunaan tanah dapat pula berpengaruh terhadap pembentukan nilai tanah. Beberapa penelitian telah menyatakan bahwa tata guna lahan merupakan faktor yang paling dominan pengaruhnya terhadap nilai tanah. Pada penelitian ini digunakan analisis geostatistika yang diterapkan dalam pemodelan nilai tanah. Perhitungan estimasi nilai tanah dilakukan dengan menggunakan model *spherical*, *exponential*, maupun *gaussian*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model semivariogram terbaik berdasarkan perhitungan adalah model *Gaussian*, karena memiliki besaran standar deviasi terendah bila dibandingkan dengan standar deviasi yang dihasilkan oleh model *Exponential* dan *Spherical*. Model matematika nilai tanah hasil analisis geostatistika akan dimodifikasi dengan memasukkan bobot tata ruang. Model matematika nilai tanah hasil modifikasi ini diharapkan dapat mencerminkan nilai yang sebenarnya, di mana selanjutnya dapat dipergunakan dalam pembuatan pembuatan Zona Nilai Tanah.

Kata kunci: Model, nilai tanah, geostatistika

ABSTRACT

Land valuation is one aspect of the cadastral system that is integrated with land use and land tenure. Land can be valued on the basis of benefits that can be given. High and low land values are influenced by many factors, including economic, social, government and physical factors. Based on the factors that can determine value of the land, it is known that land use can also influence the formation of land values. Some studies have stated that land use is the most dominant factor affecting land value. In this research, geostatistical analysis was used in modeling soil values. Calculation of estimated land values was carried out using the spherical, exponential, and gaussian models. Result of this research showed that the best semivariogram model based on calculations was the Gaussian model, because it had the lowest standard deviation magnitude when compared to the standard deviation produced by the Exponential and Spherical models. The mathematical model of land values resulting from geostatistical analysis would be modified by including spatial weighting. The mathematical model of land values as a result of this modification is expected to reflect the actual value, which can then be used in making the Land Value Zone.

Keywords: Model, land value, geostatistics

PENDAHULUAN

Terdapat empat persoalan bangsa, yaitu: energi, air, pangan, dan tanah. Tanah merupakan barang komoditi atau barang ekonomi yang berpengaruh sangat kuat terhadap kehidupan bangsa, namun permasalahan terkait tanah semakin kompleks dan meningkat secara kualitas dan kuantitas, sehingga diperlukan penanganan secara serius dan sistematis. Negara berkewajiban

untuk mengatur tiga kunci utama pertanahan, yakni aspek penguasaan tanah, aspek penggunaan tanah, dan aspek penilaian tanah (Dale & McLaughlin, 1999). Hal ini dilakukan demi mencapai kemakmuran dan kesejahteraan rakyatnya.

Tiga kunci utama pertanahan dikenal dengan istilah sistem kadaster. Penilaian tanah menjadi salah satu aspek penting yang terintegrasi dengan aspek penguasaan tanah dan penggunaan tanah. Tanah dinilai atas dasar manfaat yang dapat

diberikan. Tinggi rendahnya nilai tanah tergantung pada faktor-faktor yang mempengaruhinya. Nilai tanah merupakan fungsi dari faktor ekonomi, faktor sosial, faktor pemerintah, dan faktor fisik (Sutawijaya, 2004). Faktor ekonomi dipengaruhi oleh hubungan permintaan dan penawaran dengan kemampuan ekonomi suatu masyarakat untuk memenuhi kebutuhan dan keinginannya. Tanah menjadi salah satu barang ekonomi. Fenomena tingginya harga tanah di perkotaan disebabkan oleh tingginya permintaan akan tanah, sementara persediaan tanah bersifat tetap.

Faktor sosial terkait dengan karakteristik penduduk yang timbul karena adanya dampak dari penggunaan tanah. Faktor sosial pembentuk nilai tanah meliputi jumlah penduduk, tingkat pendidikan, tingkat kejahatan, dan tingkat keamanan. Faktor pemerintah terkait dengan perundang-undangan dan kebijakan pemerintah dalam bidang pengembangan atau penggunaan tanah. Kebijakan pemerintah meliputi kesesuaian lokasi dengan sistem penggunaan lahan dalam rencana detail tata ruang wilayah, kelengkapan kualitas jaringan saluran air bersih, saluran air limbah (*sewerage*), saluran air permukaan (*drainase*), jaringan listrik, jaringan telepon, trotoar, jalan lingkungan, ruang terbuka, prasarana umum, dan pusat perbelanjaan. Faktor fisik terkait ukuran, bentuk, lebar muka, topografi, lokasi, utilitas yang tersedia, dan pemandangan (*view*).

Penggunaan tanah dapat berpengaruh terhadap pembentukan nilai tanah. Nilai tanah di perkotaan dipengaruhi oleh faktor struktur ruang (Sadyohutomo, 2016). Pembatasan penggunaan tanah berpengaruh terhadap alternatif penggunaan lahan yang dapat diterapkan atas tanah tersebut. Tentu saja hal ini dapat mempengaruhi tingkat kepuasan kepada pemilik hak atas tanah. Tingkat kepuasan yang dapat diberikan tanah kepada pemiliknya dapat direfleksikan dalam bentuk nilai tanah (Hendrastuti, 2016). Penataan ruang di negara maju sudah merupakan suatu sistem yang terintegrasi dengan urusan pendaftaran tanah dan penilaian tanah. Dalam hal ini, subsistem dalam penataan ruang terdiri atas penatagunaan tanah, pendaftaran tanah, dan penilaian tanah (Hermit, 2009). Di Indonesia, kegiatan penataan ruang, pendaftaran tanah, dan penilaian tanah masih menjadi hal yang terpisah dan berdiri sendiri.

Fenomena penilaian tanah masih ditemukan adanya permasalahan, di antaranya: (1) penilaian memerlukan kerja keras, waktu panjang, dan biaya mahal terkait jumlah bidang tanah sangatlah banyak; serta (2) hasil penilaian yang dicapai tidak mencerminkan nilai yang sebenarnya. Analisis statistika model nilai tanah pada umumnya masih menggunakan regresi sederhana di mana belum memperhitungkan pengaruh lokasi (X,Y). Melalui penelitian ini dicari metode penilaian baru yang dapat menjadi solusi atas permasalahan yang

terjadi. Model nilai tanah dihasilkan melalui analisis geostatistika. Geostatistika merupakan pengembangan ilmu matematika dan statistika untuk mengukur distribusi suatu kejadian berdasarkan keruangan. Dalam hal ini, istilah keruangan mencakup variabel yang ada di permukaan bumi seperti kondisi topografi, vegetasi, perairan, dan lain-lain. Bidang geologi dan pertambangan banyak mengaplikasikan model Geostatistika. Geostatistika dikembangkan untuk mengevaluasi permasalahan yang berkaitan dengan gejala geologi terhadap tambang, mulai dari estimasi cadangan sampai dengan permasalahan kontrol kadar (Pham & Wagner, 1998).

Metode Geostatistika adalah metode interpolasi yang mampu memodelkan kecenderungan spasial (*spatial trends*) dan korelasi spasial (*spatial correlation*) antara beberapa sampel yang diukur. Adanya kecenderungan dan korelasi spasial sejalan dengan Hukum I Geografi, di mana segala sesuatu yang berada lebih dekat mempunyai hubungan yang lebih erat dibandingkan dengan yang berada lebih jauh (Tobler, 1970). Melalui analisis geostatistika dapat dihasilkan estimasi nilai parameter di tempat yang tidak diketahui datanya. Metode interpolasi geostatistik selain dapat membuat luasan terprediksi juga dapat menyertakan beberapa ukuran tingkat ketidakpastian (*error*) terhadap hasil prediksi.

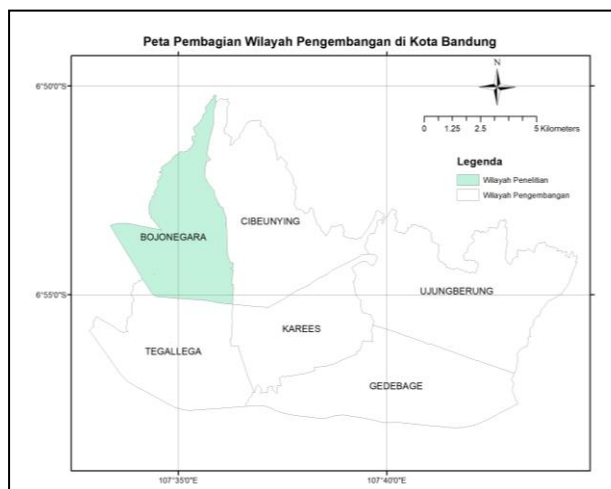
Dalam geostatistika dikenal adanya istilah autokorelasi spasial. Autokorelasi spasial menunjukkan adanya kemiripan objek dalam suatu ruang. Adanya autokorelasi spasial diindikasikan dengan pola sistematis di dalam penyebaran sebuah variabel. Estimasi nilai pada suatu daerah akan berkorelasi dengan nilai pada daerah lain yang posisinya berdekatan (Griffith, 2009). Penelitian ini menganalisis data menggunakan metode geostatistika yang akan diterapkan dalam pemodelan nilai tanah.

METODE

Penelitian ini menggunakan data Nilai Indikasi Rata-rata (NIR) tahun 2007 sebagai data input dalam pemodelan nilai tanah. Data NIR diperoleh dari Kantor Pajak Kota Bandung. Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*. Analisis geostatistika dipilih untuk memodelkan nilai tanah Kota Bandung. Dalam penelitian ini menggunakan data NIR tahun 2007 sebagai referensi dalam pemodelan nilai tanah. Model matematika nilai tanah hasil analisis geostatistika akan dimodifikasi dengan memasukkan bobot tata ruang. Model matematika nilai tanah hasil modifikasi ini diharapkan dapat mencerminkan nilai yang sebenarnya, sehingga selanjutnya dapat dipergunakan dalam pembuatan Zona Nilai Tanah.

Lokasi Penelitian

Daerah studi meliputi wilayah Kota Bandung. Kota Bandung merupakan ibu kota provinsi Jawa Barat yang posisinya sangatlah strategis karena berada di tengah-tengah provinsi Jawa Barat. Posisi geografis Kota Bandung terletak di antara 107°33'-107°45' Bujur Timur dan 6°50'-6°59' Lintang Selatan. Kota Bandung terdiri atas enam wilayah pengembangan, yakni (1) Bojonegara, (2) Cibeunying, (3) Tegallega, (4) Karees, (5) Ujungberung, dan (6) Gedebage. Dalam penelitian, wilayah pengembangan Bojonegara dipilih sebagai wilayah pemodelan. Peta pembagian wilayah pengembangan di Kota Bandung beserta wilayah penelitian divisualisasikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

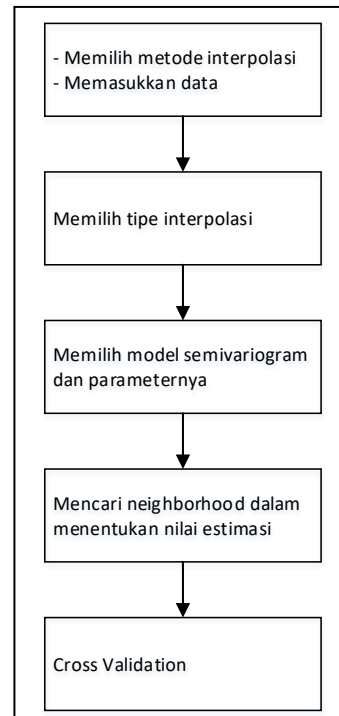
Geostatistika

Teori geostatistik didasarkan pada model stokastik yang memungkinkan derivasi estimasi optimal pada titik acak di wilayah studi. Hal ini memungkinkan untuk memperhitungkan korelasi spasial. Keuntungan dari geostatistik adalah penggunaan ukuran kuantitatif korelasi spasial, yang biasanya diungkapkan oleh variogram (Uyan & Cay, 2013). Tahapan umum dalam analisis geostatistika divisualisasikan pada **Gambar 2**.

Karakteristik yang dimiliki metode geostatistika adalah penggunaan variogram atau teknik-teknik lainnya untuk mengkuantifikasi dan memodelkan struktur korelasi spasial dan juga penggunaan berbagai teknik interpolasi, seperti keluarga besar *kriging* (*Ordinary Kriging, Simple Kriging, Universal Kriging, Indikator Kriging, Probability Kriging, Disjunctive Kriging*) dan *Cokriging* yang menggunakan model-model korelasi spasial (Sari, Nugroho, & Hendriawaty, 2010).

Kriging merupakan kumpulan metode interpolasi yang meminimalkan variansi dari hasil estimasi. *Kriging* berdasarkan pada model semivariogram terhadap autokorelasi spasial untuk mengestimasi nilai, *error*, dan arah korelasi spasial.

Semivariogram merupakan suatu fungsi dari variansi sebagai fungsi dari jarak. Variansi berbanding lurus dengan jarak. Semakin pendek perbedaan jarak maka variansi semakin kecil, dan semakin panjang perbedaan jarak maka variansi semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa data memiliki autokorelasi spasial. Semivariogram merupakan setengah dari variogram. Variogram menunjukkan korelasi spasial antara data yang diukur.



Gambar 2. Tahapan umum dalam analisis geostatistika.

Ada berbagai macam model variogram, di antaranya adalah *circular, spherical, tetraspherical, pentaspherical, exponential, gaussian, rational quadratic, hole effect, k-bessel, j-bessel*, dan *stable* (Uyan, 2016). Pada umumnya digunakan model *exponential, gaussian*, dan *spherical*. Model *kriging* secara umum dinyatakan dalam rumus matematika sederhana sebagai berikut (ESRI, 2003):

$$Z(s) = \mu(s) + \epsilon(s) \dots \dots \dots (1)$$

- dimana:
- Z(s) = Variabel yang dicari nilainya
- μ(s) = *Trend* deterministik
- ε(s) = Kesalahan acak
- s = posisi

Sampel yang lokasinya berdekatan akan memiliki nilai serupa dibandingkan dengan sampel yang lokasinya berjauhan (Arslan, 2014). Semivariogram adalah metode geostatistik untuk menemukan adanya korelasi antara sampel. Semivariogram merupakan metode terbaik untuk mengkarakterisasi struktur kontinuitas ruang (Martiniano & Silveira, 2015). Semivariogram (γ) menggambarkan nilai semivariansi (*semivariance*)

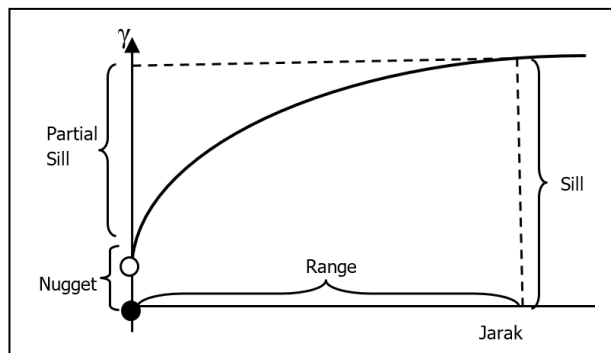
sebagai fungsi dari jarak *lag* antara lokasi-lokasi sampel (Chiverton et al., 2015). Semivariogram digunakan untuk memodelkan korelasi dua titik di dalam ruang. Model tersebut biasanya ditentukan dengan metode regresi kuadrat terkecil (Uyan, 2016). Semivariance (γ) dihitung untuk menjabarkan nilai ekspektasi dari selisih nilai sampel (z) sebagai fungsi dari jarak *lag* (h) antara pasangan titik-titik sampel (ESRI, 2003). Semivariance dijabarkan pada rumus berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot [z_i - z_j]^2 \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- $\gamma(h)$ = Semivariance; dihitung untuk menjabarkan nilai ekspektasi dari selisih nilai sampel
- z_i, z_j = Nilai sampel di lokasi-i dan nilai sampel di lokasi-j
- $N(h)$ = Banyaknya data
- h = Jarak antar-titik data (jarak *lag*)

Karakteristik suatu semivariogram dicirikan oleh *nugget*, *sill*, dan *range*. Semivariogram divisualisasikan pada **Gambar 3** (Van Beurden & Riezebos, 1988).



Gambar 3. Grafik model semivariogram.

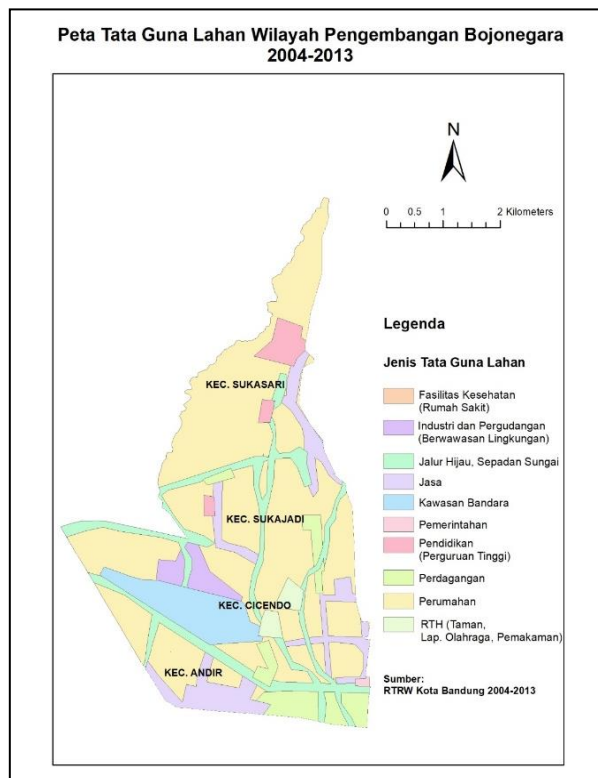
di mana:

- Nugget* adalah variabilitas pada jarak nol, mencerminkan kesalahan sampling dan kesalahan analitis.
- Range* adalah cakupan *trend* spasial; jarak batas, di luar sampel bersifat independen secara spasial.
- Sill* adalah variabilitas dari sampel-sampel yang independen secara spasial (batas maksimum nilai variogram)

Dalam penelitian ini dipilih teknik *ordinary kriging*, karena nilai tengah data sampel tidak diketahui diasumsikan bersifat stasioner. Geostatistik mengasumsikan bahwa beberapa variasi spasial yang teramati dalam fenomena alam dapat dimodelkan dalam proses yang random dengan auto korelasi spasial, dan dapat dimodelkan secara eksplisit (Patil, Gething, Piel, & Hay, 2011).

Kondisi Data

Pemodelan nilai tanah dilaksanakan dalam cakupan wilayah pengembangan Bojonegara yang terdiri atas empat kecamatan, yakni Kecamatan Andir, Kecamatan Cicendo, Kecamatan Sukajadi, dan Kecamatan Sukasari. Wilayah pengembangan Bojonegara dilayani oleh Pusat Sekunder Setrasari. Berdasarkan struktur pelayanan dalam tata ruang kewilayahan, wilayah pengembangan Bojonegara diperuntukkan sebagai wilayah pemukiman, industri teknologi tinggi, perdagangan, dan kawasan lindung. Rencana pemanfaatan ruang di wilayah pengembangan Bojonegara disajikan pada **Gambar 4**.



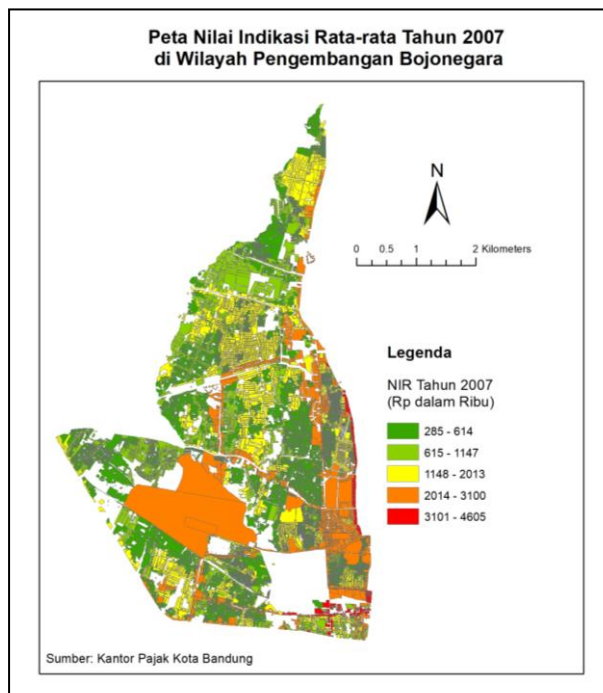
Gambar 4. Peta tata guna lahan wilayah pengembangan Bojonegara.

Terdapat sepuluh klasifikasi tata guna lahan di wilayah pengembangan Bojonegara, yakni fasilitas kesehatan (rumah sakit); pemerintahan; kawasan bandara; pendidikan; industri dan pergudangan (berwawasan lingkungan); RTH (taman, lap. olahraga, pemakaman); perdagangan; jasa; jalur hijau, sepadan sungai; dan perumahan. Tata guna lahan permukiman mendominasi tata guna lahan di wilayah pengembangan Bojonegara. Tata guna lahan sangat berpengaruh terhadap nilai tanah. Nilai tanah tercermin dalam NIR yang secara resmi telah ditetapkan oleh Kantor Pajak Kota Bandung. Penelitian ini menggunakan data NIR tahun 2007 sebagai referensi dalam pemodelan nilai tanah. Data NIR 2007 masih relevan untuk digunakan karena dalam penelitian ini akan diuji model semivariogram terbaik untuk mengestimasi nilai

tanah. Data bidang tanah dan persebaran NIR di wilayah pengembangan Bojonegara disajikan pada **Gambar 5**. Peta persebaran Nilai Indikasi Rata-rata tahun 2007 disajikan pada **Gambar 6**.



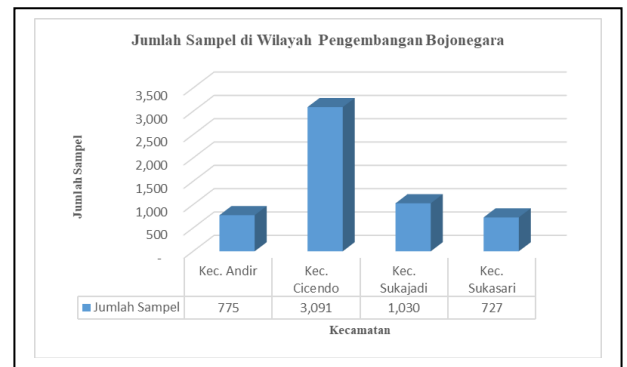
Gambar 5. Data bidang tanah di wilayah pengembangan Bojonegara.



Gambar 6. Persebaran NIR di WP Bojonegara tahun 2007.

Metode Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*, artinya bahwa populasi yang dijadikan sampel penelitian adalah populasi yang memenuhi kriteria sampel tertentu sesuai tujuan penelitian dan apa yang harus diwakili tergantung pada penilaian atau pertimbangan dari peneliti (Topp, Barker, & Degenhardt, 2004). Dalam penelitian ini, pengambilan sampel dilakukan secara bertahap, yakni: menetapkan semua area kecamatan di setiap wilayah pengembangan yang dijadikan lokasi penelitian; jumlah sampel adalah minimal 30% dari jumlah bidang tanah di setiap kecamatan; dan sampel memperhatikan adanya variasi tata guna lahan yang ada. Data jumlah sampel di wilayah pengembangan Bojonegara disajikan pada **Gambar 7**.



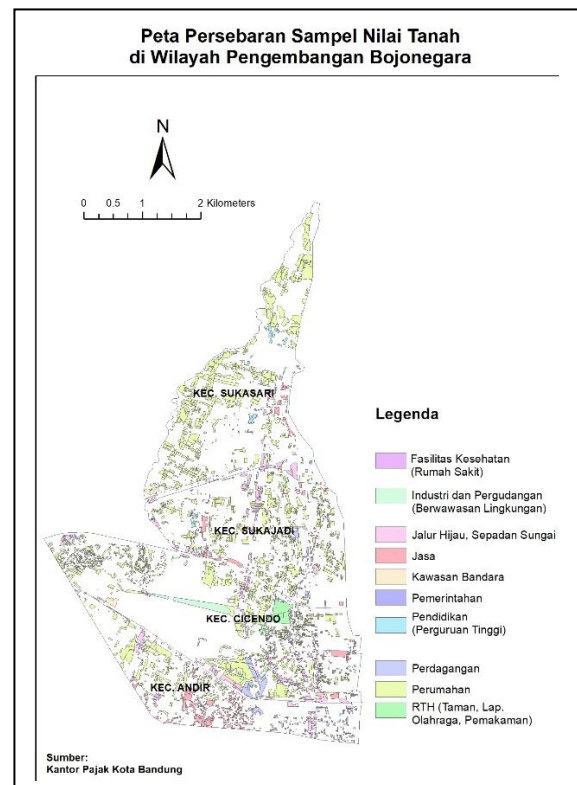
Gambar 7. Jumlah sampel di Wilayah Pengembangan Bojonegara pada tahun 2007.

Jumlah sampel minimal 30% dari jumlah bidang tanah di setiap kecamatan. Proporsi jumlah bidang tanah dan jumlah sampel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Jumlah Bidang Tanah dan Jumlah Sampel di Wilayah Pengembangan Bojonegara.

Nama Kecamatan	Jumlah Bidang Tanah	Jumlah Sampel
Andir	2.055	775
Cicendo	8.869	3.091
Sukajadi	2.369	1.030
Sukasari	1.394	727

Dalam penelitian ini, sampel memperhatikan adanya variasi tata guna lahan yang ada. Peta persebaran sampel di wilayah pengembangan Bojonegara disajikan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Peta Persebaran Sampel Nilai Tanah di Wilayah Pengembangan Bojonegara.

Sampel yang berjumlah 30% diambil dari data NIR 100%. Sisa data yang berjumlah 70% akan dipergunakan untuk validasi model.

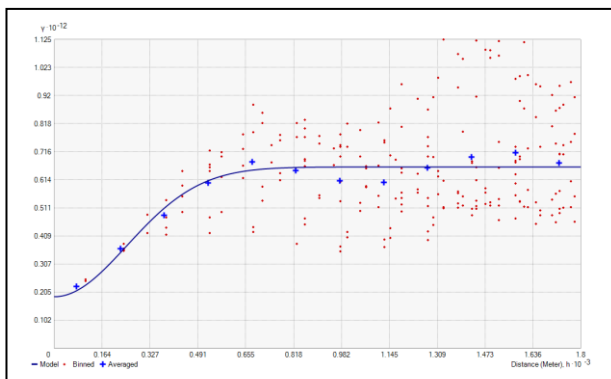
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada geostatistika terdapat suatu perangkat dasar untuk visualisasi, pemodelan dan eksploitasi autokorelasi spasial dari variabel terregionalisasi yang disebut sebagai semivariogram. Semivariogram merupakan model matematika dari semivariansi sebagai fungsi dari jarak *lag*. Dalam salib sumbu kartesian, semivariogram divisualisasikan sumbu Y sebagai semivariansi dan sumbu X sebagai jarak *lag*.

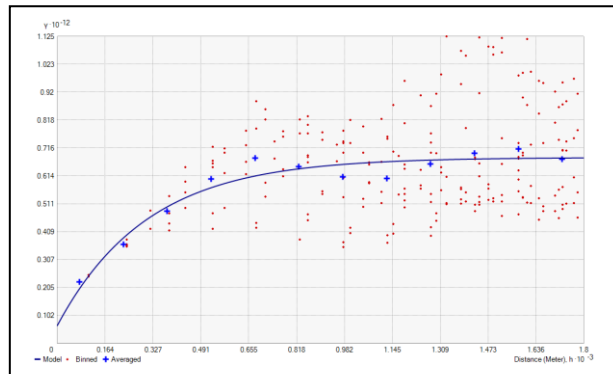
Semivariogram digunakan untuk memodelkan korelasi dua titik di dalam ruang. Model tersebut biasanya ditentukan dengan metode regresi kuadrat terkecil. Semivariance (γ) dihitung untuk menjabarkan nilai ekspektasi dari selisih nilai sampel (z) sebagai fungsi dari jarak *lag* (h) antara pasangan titik-titik sampel. Semivariogram ini digunakan untuk mengukur korelasi spasial berupa variasi *error* pada suatu lokasi.

Dalam geostatistika terdapat dua jenis semivariogram, yakni yakni semivariogram eksperimental dan semivariogram teoritis. Semivariogram yang dihasilkan dari data hasil pengukuran disebut semivariogram eksperimental. Semivariogram teoritis memiliki rumus matematika tertentu. Terdapat beberapa jenis semivariogram teoritis yang sering digunakan, yaitu model *spherical*, *exponential*, dan *gaussian*. Dalam rangka perhitungan estimasi nilai tanah maka semivariogram eksperimental harus diganti dengan semivariogram teoritis.

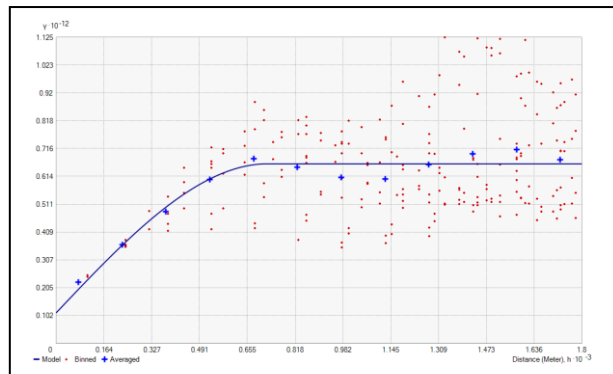
Dalam penelitian ini, posisi setiap bidang tanah yang semula berbentuk *polygon* harus dikonversi menjadi titik (*centroid*). Setiap *centroid* mewakili posisi (X,Y) setiap bidang tanah. NIR akan melekat pada setiap *centroid*, yakni sebagai nilai Z. Selanjutnya dilakukan analisis geostatistika di mana semivariogram model *spherical*, *exponential*, dan *gaussian* divisualisasikan pada **Gambar 9**, **Gambar 10**, dan **Gambar 11**.



Gambar 9. Semivariogram Model *Gaussian*.



Gambar 10. Semivariogram Model *Exponential*.



Gambar 2. Semivariogram Model *Spherical*.

Berdasarkan **Gambar 9**, **Gambar 10**, dan **Gambar 11** dapat diketahui bahwa titik-titik simbol "+" menunjukkan semivariogram eksperimental (aktual), yaitu semivariogram yang diperoleh dari data yang diamati atau data hasil pengukuran. Semivariogram dengan simbol garis menunjukkan semivariogram teoritis (model). Melalui perbandingan model *spherical*, *exponensial*, dan *gaussian* dapat diketahui bahwa semivariogram model *gaussian* lebih mendekati semivariogram eksperimental.

Selanjutnya dilakukan *Cross Validation* (CV) untuk mengevaluasi kinerja model. Melalui CV diperoleh nilai estimasi *error* yang dihasilkan oleh model dalam mengestimasi nilai tanah. Hal ini dilakukan untuk menentukan model semivariogram terbaik dalam rangka estimasi nilai tanah. Hasil perhitungan estimasi *error* dari model disajikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Estimasi *error* dari model.

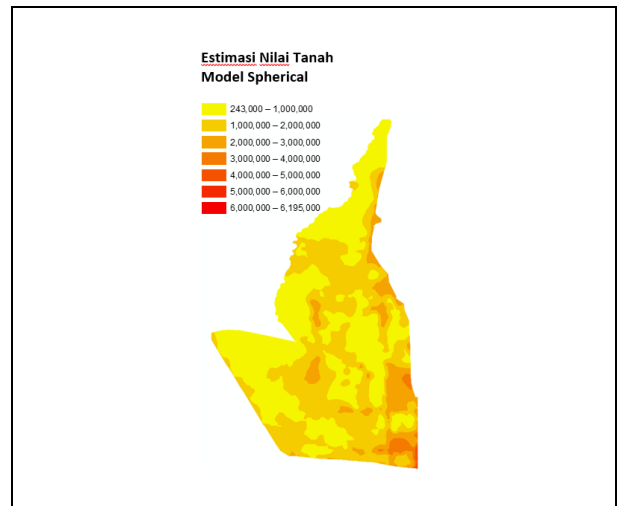
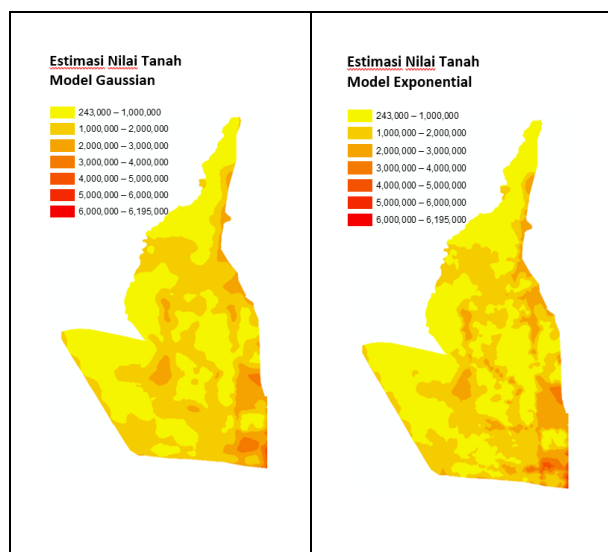
	Gaussian	Exponential	Spherical
Regression function	0,514 * x + 433243,085	0,696 * x + 260579,337	0,612 * x + 349988,312
Mean	-5717,920869	-16199,70583	-3131,122223
Root-Mean-Square	550434,7114	514935,0831	510644,6204
Mean Standardized	-0,009728291	-0,030984559	-0,000915155
Root-Mean-Square Standardized	1,199022515	1,297095925	1,211863458
Average Standard Error	454232,8497	382708,1274	409027,3455

Suatu model dapat dikatakan baik jika estimasi *error* model memenuhi beberapa persyaratan: *Root-Mean-Square Standardized* mendekati 1; *Mean Standardized* mendekati 0; dan Besaran *Root-Mean-Square* hampir sama dengan *Average Standard Error*. Dari ketiga persyaratan tersebut dapat diketahui bahwa model Estimasi Nilai Tanah yang dihasilkan melalui analisis geostatistika menggunakan model semivariogram *Gaussian* dapat dikatakan sebagai model yang baik. Estimasi nilai tanah yang dihasilkan dari model, telah divalidasi dengan 70% data NIR. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi dan data riil. Estimasi dilakukan berdasarkan data NIR tahun 2007. Seharusnya hasil estimasi diuji dengan data NIR tahun-tahun berikutnya. Namun hal ini belum/tidak dilakukan karena keterbatasan data yang tersedia. Standar deviasi yang dihasilkan oleh ketiga model akan menunjukkan tingkat keterhandalan model dalam mengestimasi nilai tanah. Hasil perhitungan standar deviasi yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Standar Deviasi.

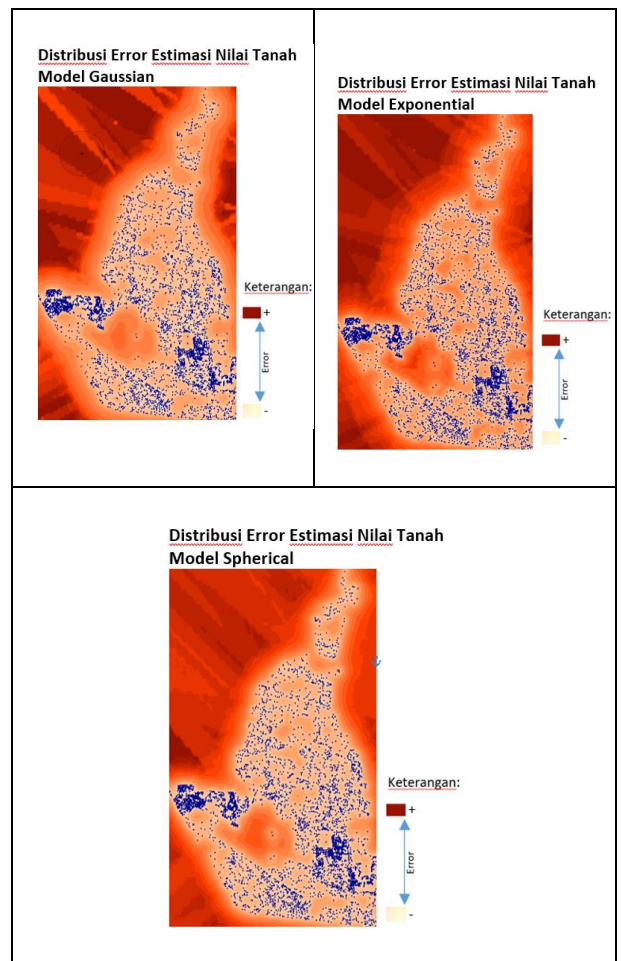
	Gaussian	Exponential	Spherical
Standar Deviasi (Rp)	558,272	645,892	595,704

Tabel 3 memperkuat bahwa model *gaussian* terpilih sebagai model terbaik, karena model *gaussian* menunjukkan besaran standar deviasi terendah bila dibandingkan dengan standar deviasi yang dihasilkan oleh model *exponential* dan *spherical*. Setelah diperoleh besaran nilai standar deviasi dari setiap model, tahapan akhir penelitian adalah membuat estimasi nilai tanah di wilayah penelitian yang selanjutnya dapat dijadikan sebagai peta Zona Nilai Tanah (ZNT). Estimasi nilai tanah dari model *spherical*, *exponential*, maupun *gaussian* divisualisasikan pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Hasil estimasi nilai tanah.

Model estimasi nilai tanah tidak terlepas dari kesalahan (*error*). Dalam penelitian ini divisualisasikan distribusi *error* setiap model sehingga dapat diketahui tingkat *error* terendah hingga tertinggi. Tingkat *error* divisualisasikan hanya dalam simbol warna. Semakin merah pekat maka berarti semakin tinggi tingkat *error* estimasi nilai tanahnya. Distribusi *error* yang dihasilkan dari model *gaussian*, *exponential*, dan *spherical* divisualisasikan pada **Gambar 13**.



Gambar 13. Distribusi *error* setiap model.

Pada gambar distribusi estimasi *error* dapat diketahui bahwa tingkat *error* tertinggi berada di sebaran sampel yang tidak rapat (jarang) yang ditunjukkan dengan warna merah pekat. Pada sebaran sampel rapat, estimasi *error* rendah. Idealnya, sampel harus terdistribusi secara merata di wilayah penelitian agar tingkat *error* rendah dalam mengestimasi nilai tanah. Tidak meratanya sampel terjadi pada wilayah penelitian bagian tengah yang mengakibatkan tingkat *error* tinggi. Hal ini dikarenakan wilayah penelitian bagian tengah merupakan wilayah Bandara Husein Sastranegara sehingga keberadaan jumlah sampel sangat terbatas. Secara visual, dapat diketahui bahwa model *gaussian* menghasilkan tingkat *error* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan model *exponential* dan *spherical* dalam mengestimasi nilai. Hal ini dapat dibuktikan bahwa sebaran warna merah pekat pada model *gaussian* lebih sedikit dibandingkan dengan model *exponential* dan *spherical*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pendekatan geostatistika dengan metode *kriging* dapat digunakan untuk memodelkan harga tanah perkotaan, karena pemodelan ini menggunakan proses interpolasi, maka akurasi dari hasil pemodelan sangat tergantung pada sampel data yang digunakan. Dalam penelitian ini sampel data berjumlah 30% diambil dari data NIR 100%. Sisa data yang berjumlah 70% akan dipergunakan untuk validasi model.

Model estimasi nilai tanah dihasilkan dari model semivariogram *spherical*, *exponential*, maupun *gaussian*. Ketelitian hasil pemodelan estimasi nilai tanah dipengaruhi oleh pemilihan model semivariogram. Model semivariogram harus dievaluasi kinerjanya melalui *Cross Validation* (CV). Dalam hal ini diperoleh nilai estimasi *error* yang menunjukkan bahwa model semivariogram *Gaussian* dapat dikatakan sebagai model yang baik dalam mengestimasi nilai tanah. Estimasi nilai tanah yang dihasilkan dari model, telah divalidasi dengan 70% data NIR. Model semivariogram *Gaussian* masih terpilih sebagai model terbaik, karena memiliki besaran standar deviasi terendah bila dibandingkan dengan standar deviasi yang dihasilkan oleh model *Exponential* dan *Spherical*. Estimasi nilai tanah yang dihasilkan dari model terbaik, selanjutnya dapat dijadikan sebagai peta Zona Nilai Tanah (ZNT).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada Badan Pengelola Pajak Daerah Kota Bandung sebagai penyedia data Nilai Indikasi Rata-rata dan

Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Bandung sebagai penyedia data tata ruang wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

- Arslan, H. (2014). Estimation of spatial distribution of groundwater level and risky areas of seawater intrusion on the coastal region in Çarşamba Plain, Turkey, using different interpolation methods, 5123–5134. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3764-z>
- Chiverton, A., Hannaford, J., Holman, I., Corstanje, R., Prudhomme, C., Bloomfield, J., & Hess, T. M. (2015). Which catchment characteristics control the temporal dependence structure of daily river flows?, 1369(July 2014), 1353–1369. <https://doi.org/10.1002/hyp.10252>
- Dale, P., & McLaughlin, J. (1999). *Land Administration*. New York: Oxford University Press.
- ESRI. (2003). Using ArcGIS Geostatistical Analyst.
- Griffith, D. A. (2009). Spatial Autocorrelation (pp. 1–10). University of Texas at Dallas.
- Hendrastuti, N. (2016). *Ekonomi Tanah dan Tata Kota*. Jakarta.
- Hermit, H. (2009). *Teknik Penaksiran Harga Tanah Perkotaan: Teori dan Praktek Penilaian Tanah*. Bandung: CV. Mandar Maju.
- Martiniano, E., & Silveira, D. O. (2015). Change Detection in Brazilian Savannas Using Semivariograms Derived from NDVI Images, 103–109.
- Patil, A. P., Gething, P. W., Piel, F. B., & Hay, S. I. (2011). Bayesian geostatistics in health cartography: The perspective of malaria. *Trends in Parasitology*, 27(6), 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2011.01.003>
- Pham, T. D., & Wagner, M. (1998). A geostatistical model for linear prediction analysis of speech. *Pattern Recognition*, 31(12), 1981–1991. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(98\)00084-3](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(98)00084-3)
- Sadyohutomo, M. (2016). *Tata Guna Tanah dan Penyerasian Tata Ruang* (Februari 2). Surabaya: Pustaka Pelajar.
- Sari, D. K., Nugroho, H., & Hendriawaty, S. (2010). Pemodelan Harga Tanah Perkotaan Menggunakan Metode Geostatistika. *Jurnal Rekayasa*, XIV(2), 60–71.
- Sutawijaya, A. (2004). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nilai Tanah sebagai Dasar Penilaian Niali Jual Obyek Pajak (NJOP) PBB di Kota Semarang. *Economic Journal of Emerging Markets*. Retrieved from <http://jurnal.uui.ac.id/index.php/JEP/article/view/625>
- Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 234–240.
- Topp, L., Barker, B., & Degenhardt, L. (2004). The external validity of results derived from ecstasy users recruited using purposive sampling strategies, 73, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2003.09.001>
- Uyan, M. (2016). Determination of agricultural soil index using geostatistical analysis and GIS on land consolidation projects: A case study in Konya / Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 402–409.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.019>
Uyan, M., & Cay, T. (2013). Spatial analyses of groundwater level differences using geostatistical modeling, 633–646.
<https://doi.org/10.1007/s10651-013-0238-3>

Van Beurden, S. a H. a, & Riezebos, H. T. (1988). The application of geostatistics in erosion hazard mapping. *Soil Technology*, 1(4), 349–364.
[https://doi.org/10.1016/0933-3630\(88\)90014-1](https://doi.org/10.1016/0933-3630(88)90014-1)

Halaman ini sengaja kami kosongkan

pyGABEUR-ITB: A FREE SOFTWARE FOR ADJUSTMENT OF RELATIVE GRAVIMETER DATA

(*pyGABEUR-ITB: Perangkat Lunak Gratis Perataan Data Gayaberat Relatif*)

Dudy D. Wijaya¹, Norman A. Muhammad¹, Kosasih Prijatna¹, Vera Sadarviana¹, Dina A. Sarsito¹, Arisauna Pahlevi², Erfan D. Variandy², and Widy Putra²

¹Geodesy Research Group, Institut Teknologi Bandung (ITB)

²Division for Gravity Control Network, Geospatial Information Agency (BIG)

Jl. Ganesha 10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132 Indonesia

E-mail: dudy@gd.itb.ac.id

Diterima: 23 Mei 2019; Direvisi: 7 November 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 15 November 2019

ABSTRACT

pyGABEUR-ITB (Python *GayaBEUrat Relatif – Institut Teknologi Bandung*) is a free and interactive software for adjustment of relative gravimeter data, developed based on Python programming language. pyGABEUR-ITB can adjust relative gravity measurements and provide reliable estimates for correcting instrument's systematic errors, such as gravimeter drift. Furthermore, pyGABEUR-ITB can also detect possible outliers in the observations using the τ -criterion method. Since pyGABEUR-ITB is using the weighted constraint adjustment, at least one fixed station is required accordingly. Relative gravimeter data around Palu-Donggala area (Central Sulawesi) observed by Center for Gravity Control Networks and Geodynamics, Geospatial Information Agency, were used to test the performance of pyGABEUR-ITB. The processing results were then compared against those calculated using GRAVNET software. The comparisons show that both pyGABEUR-ITB and GRAVNET softwares statistically provide similar results, with the total RMS value of about 5 μ Gal. In term of computer's requirement, pyGABEUR-ITB can be executed under a computer with the following minimal requirements: x64 CPU, 1 GB memory and WINDOWS 7 OS. Finally, it is important to mention that pyGABEUR-ITB is recently suited to process the data from the gravimeter that adopts the principle of vertical spring balance. In the near future, pyGABEUR-ITB will be extended to be able to automatically adapt to various observation principles.

Keywords: free software, python, relative-gravity, constrained adjustment

ABSTRAK

pyGABEUR-ITB (Python GayaBEUrat Relatif – Institut Teknologi Bandung) merupakan perangkat lunak gratis yang interaktif untuk perataan data gayaberat relatif. Perangkat lunak tersebut dibuat menggunakan bahasa pemrograman Python. pyGABEUR-ITB bisa melakukan proses perhitungan data gayaberat relatif dan memberikan nilai koreksi bagi kesalahan sistematis pada alat, seperti koreksi drift. pyGABEUR-ITB juga bisa mendeteksi kesalahan pengukuran menggunakan metode τ -criterion. Karena pyGABEUR-ITB menggunakan metode hitung perataan terkendala-berbobot, maka diperlukan minimal sebuah titik ikat. Data gayaberat relatif di area Palu-Donggala (Sulawesi Tengah), yang diukur oleh Bidang Jaring Kontrol dan Gayaberat, Badan Informasi Geospasial, digunakan untuk menguji performa dari pyGABEUR-ITB. Data yang diolah pyGABEUR-ITB dibandingkan dengan hasil perhitungan perangkat lunak GRAVNET. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa kedua perangkat lunak tersebut memberikan hasil yang sama, dengan nilai RMS sebesar 5 μ Gal. Terkait kebutuhan komputer, untuk menjalankan pyGABEUR-ITB diperlukan komputer dengan kebutuhan minimal sebagai berikut: x86 CPU, 1 GB RAM, WINDOWS 7 OS. Perlu dikemukakan, pyGABEUR-ITB saat ini hanya bisa digunakan untuk mengolah data gayaberat relatif yang diukur oleh alat gravimeter yang menggunakan prinsip keseimbangan pegas vertikal. Dalam waktu dekat, pyGABEUR-ITB akan dikembangkan supaya bisa mengolah data yang diperoleh menggunakan beberapa jenis prinsip pengukuran.

Kata kunci: perangkat lunak gratis, python, gayaberat relatif, perataan terkendala-berbobot

INTRODUCTION

In order to establish a reliable geoid model over the Indonesian region, Center for Gravity Control Networks and Geodynamics, Geospatial information Agency (BIG) has been carrying out terrestrial relative gravity measurements over several places. Such measurements are of

important for determining gravity values, which eventually will serve as the main inputs for the geoid determination. On the other hand, such accurate gravity values are not only important for establishing the geoid model, but also for other geodetic and geophysical purposes.

Accurate determination of the gravity values is not an easy task, since one should ensure that possible systematic and gross errors (such as geophysical effects and the instrumental errors) (Tapley, Born, & Parke, 1982; Tscherning, 1991; Van Camp, Williams, & Francis, 2005) in the measurements are optimally handled. Furthermore, one should also correctly define mathematical and weighting (stochastic) models during the adjustments (Lerch, 1991). On the other hand, the availability of the related software are limited. If we can have access to such software, some modifications may be necessary to make them fit into our own purposes.

Fortunately, in geodetic literature, methods for adjusting the gravity measurements and detecting possible outliers have been excessively studied, for example, by Lagios (1984), Zhiheng et al. (1988), Torge (1989), Hwang et al. (2002) and the most recently by Timmen (2010). These literatures are the best sources that can guide us to practical adjustment of the relative gravimeter data and also to develop a dedicated software that really fits our purposes.

Since the existing software, like GRAVNET, cannot really fit with our purposes and is not user-friendly, we have developed pyGABEUR-ITB (Python *GayaBEUrat Relatif – Institut Teknologi Bandung*), a free and interactive software for accurate adjustment of the relative gravimeter data. The term "GayaBEUrat Relatif" (from mixed Sundanese-Indonesian words) means relative gravity. pyGABEUR-ITB is fully written using Python language and is freely available for public. Detailed descriptions of pyGABEUR-ITB including practical instructions how to use pyGABEUR-ITB can be found in Wijaya et al. (2018).

In this paper, first, we briefly present the used methods for adjusting the relative gravimeter measurements and for correcting some geophysical effects. Second, we discuss the performance test of pyGABEUR-ITB using the gravimeter data around Palu-Donggala area (Central Sulawesi) and the comparisons with GRAVNET software (Hwang et al., 2002).

METHOD

An Equation for the Single Measurement

For a gravity measurement $\Delta g(\vec{r}, t)$, within the measurement loop k , at epoch t and station \vec{r} , the corresponding mathematical equation may be expressed as (Torge, 1989):

$$\Delta g(\vec{r}, t) + \beta(\vec{r}, t) = g(\vec{r}) + \dot{D}_k(t - t_o) + N_{ok} + \Delta F(\vec{r}) + g_{ok}(\vec{r}) + \varepsilon(\vec{r}, t) \dots\dots\dots (1)$$

Whilst $g(\vec{r})$ denotes the absolute gravity value at position \vec{r} , \dot{D}_k , N_{ok} and $\Delta F(\vec{r})$ represent the

gravimeter’s drift, bias, and the calibration function, respectively, for the loop k . t_o is the epoch reference when the reference absolute gravity value $g_{ok}(\vec{r})$ is inherently determined by the gravimeter instrument. $\beta(\vec{r}, t)$ and $\varepsilon(\vec{r}, t)$ are corrections for geophysical (or environmental) effects and the measurements noise, respectively.

The term $\Delta F(\vec{r})$ in **Equation 1** represents the calibration function to correct for the periodic error in reading the gravimetric factor (Krieg, 1982; Torge, 1989). For a gravimeter that adopts the vertical spring balance principle, such a correction is very small and hence it may safely be neglected. Furthermore, in our works, we use the CG-5 and CG-6 gravimeters that are designed to minimized this calibration error. In pyGABEUR-ITB, the term $\Delta F(\vec{r})$ is therefore excluded from **Equation 1**.

The term $\beta(\vec{r}, t)$ in **Equation 1** may consists of several geophysical effects, which may significantly change the gravity values around the measurement site. These effects must be corrected before the gravimeter data are processed. According to Timmen (2010), these geophysical effects can be categorized according to their possible sources, namely (1) Man-made effects: mineral explorations, ground water extraction, (2) Tectonic effects: earthquake, volcano eruption, post-glacial rebound and (3) Non-tectonic effects: Earth and ocean tides and load, redistribution of the atmosphere mass and its loading effects, polar motion and hydrological cycle. Due to their complexity and lack of knowledge, the first and second sources are difficult to model. The third source, non-tectonic effects, is relatively easy to model using physical or empirical method. Therefore, the geophysical corrections applied to the relative gravimeter data are usually due to the third source.

pyGABEUR-ITB estimates the gravity changes due to the following geophysical effects namely (1) The solid Earth tides (Δg_{SET}) is calculated using the model developed by Longman (1959), (2) The Ocean loading (Δg_{OL}) is determined using the GOTIC2 model (Matsumoto, Sato, Takanezawa, & Ooe, 2001), (3) The polar motion (Δg_{PM}) is calculated using the model proposed by Wahr (1985), and (4) The redistribution of atmospheric mass (Δg_{ATM}) is determined using a simple model recommended by the 2010 International Association of Geodesy (IAG) convention.

In pyGABEUR-ITB, the geophysical corrections β is therefore expressed as the sum of the above models:

$$\beta = \Delta g_{SET} + \Delta g_{OL} + \Delta g_{PM} + \Delta g_{ATM} \dots\dots\dots (2)$$

Equations for the Relative Measurements

Assuming that the geophysical effects have been corrected using **Equation 2** and then

according to **Equation 1**, the relative gravity measurements between stations \vec{r}_A and \vec{r}_B (within the loop k) may be derived as:

$$\begin{aligned} \nabla g_{AB} &= \Delta g(\vec{r}_B, t_B) - \Delta g(\vec{r}_A, t_A) \\ &= g(\vec{r}_B) - g(\vec{r}_A) + \dot{D}_k(t_B - t_A) + \varepsilon_{AB} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

$g(\vec{r}_A)$ and $g(\vec{r}_B)$ represent the absolute gravity values at the two stations. ε_{AB} denotes the measurement residuals. In the adjustment, the terms $g(\vec{r}_A)$, $g(\vec{r}_B)$ and \dot{D}_k will be determined along with the other parameters.

The relative gravity measurements usually involve more than two stations and one loop. To solve all the possible parameters, one should be able to derive the corresponding mathematical equations for all measurements. We here briefly provide a practical example to illustrate how the equations are derived (and adjusted) in pyGABEUR-ITB. Consider the relative gravity network (see **Figure 1**) that consists of loops A and B. The relative measurements for loop A follow the trajectory/route 1-2-3-1, while those for loop B is 3-4-5-3. If station 1 is held fixed, one may estimate the following values: four gravity terms ($g(\vec{r}_2)$, $g(\vec{r}_3)$, $g(\vec{r}_4)$ and $g(\vec{r}_5)$) and two gravimeter drifts for each loop (\dot{D}_A and \dot{D}_B).

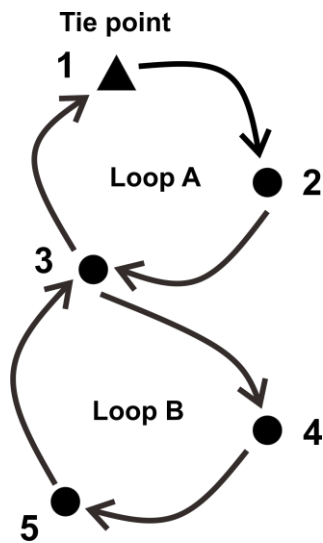


Figure 1. An illustration of the relative gravity measurements. The measurements for loop A follow the route 1-2-3-1, while those for loop B is 3-4-5-3.

From **Figure 1**, one should notice that station 1 is measured twice at two different epochs. Here, we denote such epochs as t_1^1 and t_1^2 , representing the first and second observation epochs at station 1, respectively. According to **Equation 3**, mathematical equations for the measurements in loop A can be deduced:

$$\nabla g_{12} = g(\vec{r}_2) - g(\vec{r}_1) + \dot{D}_A(t_2 - t_1^1) + \varepsilon_{12}$$

$$\nabla g_{23} = g(\vec{r}_3) - g(\vec{r}_2) + \dot{D}_A(t_3 - t_2) + \varepsilon_{23}$$

$$\nabla g_{31} = g(\vec{r}_1) - g(\vec{r}_3) + \dot{D}_A(t_1^2 - t_3) + \varepsilon_{31} \dots \dots \dots (4)$$

Similarly, station 3 is also measured twice with two different epochs t_3^1 and t_3^2 . Mathematical equations for the measurements in loop B are:

$$\nabla g_{34} = g(\vec{r}_4) - g(\vec{r}_3) + \dot{D}_B(t_4 - t_3^1) + \varepsilon_{34}$$

$$\nabla g_{45} = g(\vec{r}_5) - g(\vec{r}_4) + \dot{D}_B(t_5 - t_4) + \varepsilon_{45}$$

$$\nabla g_{53} = g(\vec{r}_3) - g(\vec{r}_5) + \dot{D}_B(t_3^2 - t_5) + \varepsilon_{53} \dots \dots \dots (5)$$

Equation 4 and **Equation 5** can be combined and represented into the matrix form as:

$$L_o = A_o X + e_o \dots \dots \dots (6)$$

The measurements matrix L_o , the design matrix A_o , the parameter matrix X and the residual matrix e_o are, respectively, expressed in **Equation 7**, **Equation 8**, **Equation 9**, and **Equation 10**:

$$L_o = [\nabla g_{12} \ \nabla g_{23} \ \nabla g_{31} \ \nabla g_{34} \ \nabla g_{45} \ \nabla g_{51}]^T \dots \dots \dots (7)$$

$$A_o = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & t_2 - t_1^1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & t_3 - t_2 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & t_1^2 - t_3 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & t_4 - t_3^1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & t_5 - t_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & t_3^2 - t_5 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (8)$$

$$X = [g(\vec{r}_1) \ g(\vec{r}_2) \ g(\vec{r}_3) \ g(\vec{r}_4) \ g(\vec{r}_5) \ \dot{D}_A \ \dot{D}_B]^T \dots \dots \dots (9)$$

$$e_o = [\varepsilon_{12} \ \varepsilon_{23} \ \varepsilon_{31} \ \varepsilon_{34} \ \varepsilon_{45} \ \varepsilon_{51}]^T \dots \dots \dots (10)$$

Weighted Constraint Adjustment

One may easily verify that the design matrix A_o in **Equation 8** has a rank defect of 1. Therefore, the least-squares solutions of **Equation 6** will be impossible without applying a minimum constraint. Here, we apply a constraint to the gravity value observed at (minimum) one station during the adjustment to get the solutions of X .

According to **Figure 1**, suppose that the gravity value measured at station 1 is held fixed. One can then introduce an equation as a minimum constrain:

$$\bar{g}(\vec{r}_1) = g(\vec{r}_1) + \varepsilon_1 \dots \dots \dots (11)$$

$\bar{g}(\vec{r}_1)$ and ε_1 represent the measurement value at station 1 and its measurement error, respectively. More gravity values observed at other stations may also be introduced as additional constrains.

In a matrix form, **Equation 11** can be expressed as (Koch, 1999):

$$L_c = A_c X + e_c \dots \dots \dots (12)$$

where

$$L_c = \bar{g}(\vec{r}_1) \dots\dots\dots (13)$$

$$A_c = [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \dots\dots\dots (14)$$

$$e_c = \varepsilon_1 \dots\dots\dots (15)$$

Equation 13 consists of the observations, **Equation 14** is the coefficient matrix, and **Equation 15** denotes the measurement residuals.

By combining **Equation 6** and **Equation 12**, an augmented measurement equation can be derived from:

$$V = \begin{bmatrix} e_o \\ e_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_o \\ A_c \end{bmatrix} X - \begin{bmatrix} L_o \\ L_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (16)$$

Since matrix $[A_o\ A_c]^T$ has the full rank, the least-squares solutions of **Equation 16** are now possible. The solution can be derived by minimizing **Equation 17**, as follow:

$$\theta = V^T P V = e_o^T P_o e_o + e_c^T P_c e_c \rightarrow \min \dots\dots\dots (17)$$

where **P** is the weight matrix defined as:

$$P = \begin{bmatrix} P_o & 0 \\ 0 & P_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (18)$$

The terms P_o and P_c in **Equation 18** are diagonal matrices, representing the weights for the measurements and constraints, respectively. While the diagonal elements of P_o are inversely proportional with the variance of observations, those of P_c can be set to the following different options: (1) infinite, meaning that the corresponding a priori gravity value will not be changed after the adjustment, (2) zero, meaning that the corresponding a priori gravity value will be adjusted, and (3) the inverse of variance of the a priori gravity value. pyGABEUR-ITB provides all these options.

Finally, the least-squares adjustments with weighted-constraint for **X** and its standard deviations may be determined using **Equation 19**, **Equation 20**, and **Equation 21**, as follow:

$$Q_{xx} = A_o^T P_o A_o + A_c^T P_c A_c \dots\dots\dots (19)$$

$$\sigma^2 = \frac{V^T P V}{m_o + m_c - n} \dots\dots\dots (20)$$

$$X = Q_{xx}^{-1} [A_o^T P_o L_o + A_c^T P_c L_c] \dots\dots\dots (21)$$

Q_{xx} is the cofactor matrix. σ^2 is the a posteriori variance. m_o , m_c and n represent the number of gravity observations, constraints and parameters, respectively.

Goodness-of-Fit Test and Outliers Detection

The least-squares solutions may still be affected by several errors such as: outliers in the measurements, incorrect mathematical equations (**Equation 4** and **Equation 5**) and inappropriate stochastic models. In the adjustment theory, the

goodness-of-fit test must be performed to justify whether or not the solutions are still affected by such errors. The solutions are accepted if the following condition is fulfilled (Baarda, 1968; Caspary, 1987):

$$\chi^2 \equiv \frac{\sigma^2}{\sigma_o^2} < \chi_c^2(1 - \alpha; m)(1 - \alpha; m) \dots\dots\dots (22)$$

σ_o^2 is the a priori variance before the adjustments, χ_c^2 is the chi-square distribution when the confidence level is $1 - \alpha$ and the degree of freedom is m , as shown in **Equation 26**. α is the significant level.

If the condition in **Equation 22** is not fulfilled, the mathematical equations and weighted matrices needs to be checked whether the equations are inadequate or the outliers exist in the measurements. pyGABEUR-ITB adopts the τ -criterion method proposed by (Pope, 1976) that employs the t-student distribution to check the possible outliers. According to this method, the i^{th} measurement is indicated as outlier if the following condition is met:

$$\frac{|\bar{v}_i|}{\sigma^2} > \tau_{\alpha/2} \dots\dots\dots (23)$$

where

$$\bar{v}_i = \frac{v_i}{\sqrt{q_{ii}}} \dots\dots\dots (24)$$

$$\tau_{\alpha/2} = \frac{t_{\alpha/2, m-1} \sqrt{m}}{\sqrt{m-1+t_{\alpha/2, m}}} \dots\dots\dots (25)$$

$$m = m_o + m_c - n \dots\dots\dots (26)$$

Equation 23, **Equation 24**, and **Equation 25** are mathematical representations for the τ -criterion test. v_i and \bar{v}_i are the residual and the standardized residual for the i^{th} measurement, $\tau_{\alpha/2}$ is the critical values deduced from the t-student distribution $t_{\alpha/2, m}$. q_{ii} is the diagonal element of the cofactor of the residuals Q_{vv} , which can be calculated using the following relation:

$$Q_{vv} = P - A Q_{xx} A^T \dots\dots\dots (27)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_o \\ A_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (28)$$

RESULTS AND DISCUSSIONS

Architecture of pyGABEUR-ITB

Architecture of pyGABEUR-ITB is very simple that consists of three GUI-based modules: INPUT, PROCESS, and OUTPUT (see **Figure 2**). The module INPUT records all necessary files such as data files, coordinate lists, output files and geophysical files. Selection of such files can be accomplished interactively via the GUI-based main window of pyGABEUR-ITB (see **Figure 4**). It is

important to mention that pyGABEUR-ITB (in its current shape) can only read the gravimeter data file from the Scintrex CG-5 and CG-6 gravimeters.

After selecting all necessary input files, the module PROCESS is then activated to execute the following successive tasks: calculating the geophysical corrections, adjustments of the gravimeter data, and outlier tests. In this module, users may select some options related to selection of constrained site, definition of weighted constraint, and the selection of geophysical effects.

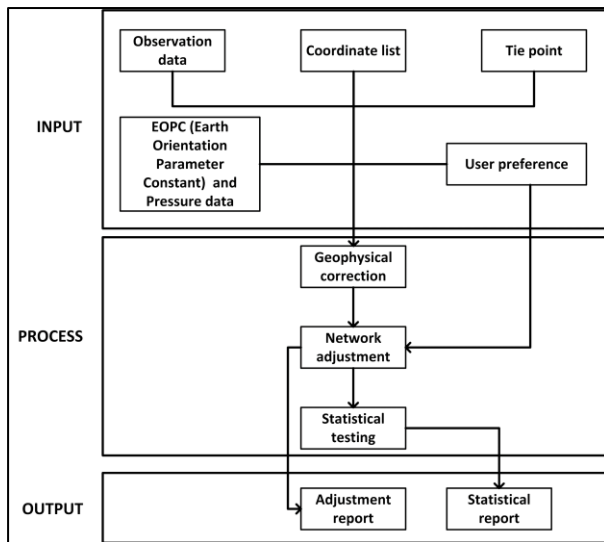


Figure 2. Architecture of pyGABEUR-ITB.

Once the gravimeter data have been completely adjusted, the results then go to the module OUTPUT. By this module, brief statistical information is shown in the main window and all the estimated results including their statistical analysis are written to output files.

Adjustments of Gravimeter Data

Center for Gravity Control Networks and Geodynamics, Geospatial information Agency (BIG), carried out the relative gravimeter measurements in Palu and Donggala areas, Central Sulawesi, from October 31st to November 11st 2016. Ninety-six (96) gravity stations were occupied using the CG-5 Scintrex gravimeter. All stations are grouped into 11 measurements loops (see Figure 3). To reduce the drift error, every single loop is measured within one day.

Station 9923 (located at the Palu airport) is chosen as a reference site. A priori gravity value at this station is 978027.7500 mGal. Since the value

was derived from the first order of Indonesian Gravity Control Network, we assign relatively high constraint in the element of matrix P_{Cr} , namely: 10^8 (presumed the tie point to be highly accurate). The estimated gravity values and their standard deviations for all stations are summarized in Table 1a and Table 1b, while the measurements residuals calculated using Equation 16 is depicted in Figure 5. The results from global test are presented in Table 2.

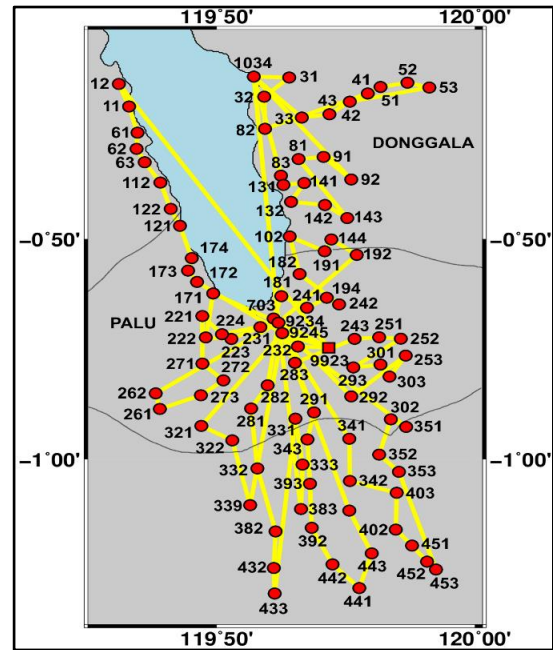


Figure 3. Distribution of the gravity stations (red circle) over Palu and Donggala areas (Central Sulawesi). Red square denotes the fix station.

From Table 1, it can be seen that the estimated values of the gravity are quite accurate with the standard deviations are less than 0.01 mGal. Furthermore, a symmetric pattern of the residuals plot in Figure 5 indicates that pyGABEUR-ITB can reduce any possible systematic errors (i.e. geophysical effects and instrumental drifts). Results of goodness-of-fit test as summarized in Table 2 show that the test is not success. This is due to the computed reference variance is much smaller than the a priori variance. However, if the goodness-of-fit test fails because of the computed reference variance is too small, the test result could be ignored since correcting it does not change the adjusted result significantly (Ghilani, 2010).

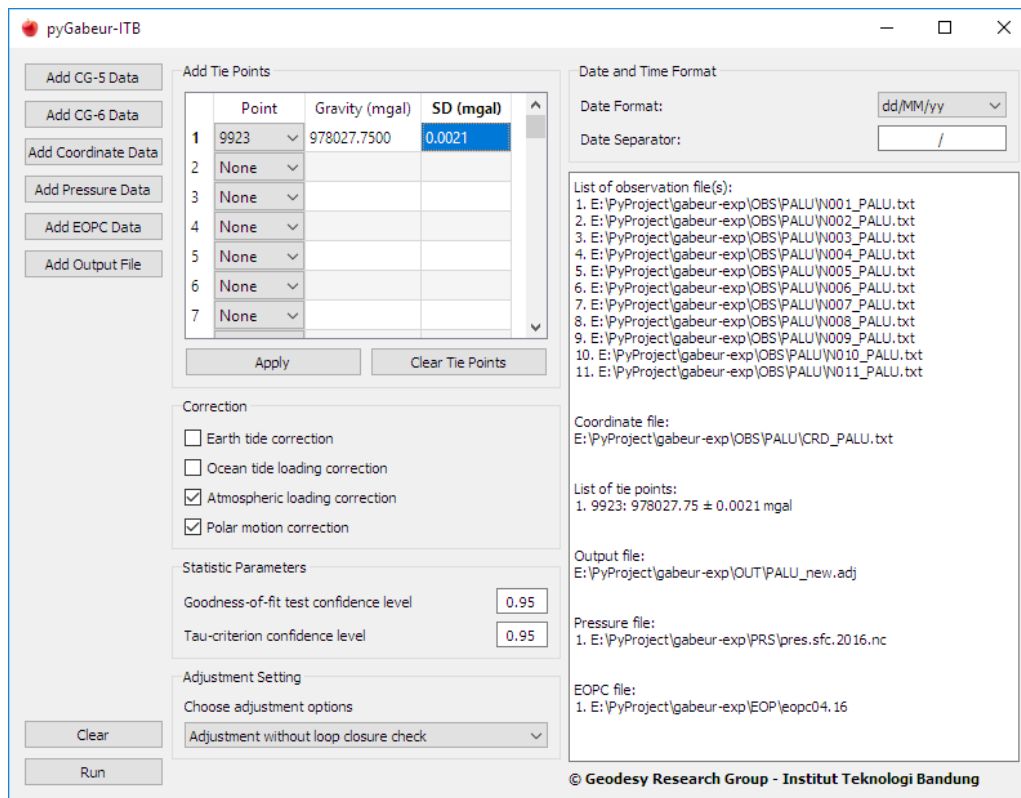


Figure 4. Main window of pyGABEUR-ITB.

Table 1. The estimated gravity values relative to the a priori gravity value at station 9923 and their standard deviations.

Station	Estimated Gravity (mGal)	Station	Estimated Gravity (mGal)
11	76.8271±0.0028	252	-27.0819±0.0116
12	81.2661±0.0021	253	-23.5768±0.0110
31	52.0721±0.0146	261	-113.0174±0.0102
32	46.5740±0.0154	262	-194.4188±0.0104
33	44.7810±0.0135	271	-26.6141±0.0099
41	36.5416±0.0152	272	12.2676±0.0099
42	46.5279±0.0140	273	-44.2935±0.0100
43	47.7254±0.0137	281	12.7288±0.0105
51	13.9579±0.0149	282	4.1945±0.0103
52	-12.4972±0.0146	283	2.4358±0.0113
53	-33.1122±0.0143	291	-6.8343±0.0110
61	77.3607±0.0033	292	-2.8881±0.0109
62	67.4256±0.0039	293	0.2841±0.0113
63	65.1710±0.0043	301	-5.8504±0.0111
81	39.1201±0.0121	302	-4.7470±0.0068
82	44.6846±0.0160	303	-2.4296±0.0110
83	40.3663±0.0147	321	-54.5234±0.0056
91	38.5025±0.0118	322	-24.2500±0.0056
92	20.7533±0.0115	331	-4.3001±0.0121
102	31.9350±0.0113	332	12.1316±0.0106
112	63.9337±0.0046	333	-7.1038±0.0116
121	60.1040±0.0059	339	5.9045±0.0058
122	57.2591±0.0056	341	-6.2377±0.0060

Station	Estimated Gravity (mGal)	Station	Estimated Gravity (mGal)
131	40.9258±0.0148	342	-12.3881±0.0062
132	38.0802±0.0135	343	-7.8200±0.0112
141	41.5422±0.0146	351	-9.3292±0.0067
142	30.7257±0.0131	352	-13.9806±0.0072
143	18.9870±0.0128	353	-20.6520±0.0076
144	25.8996±0.0106	382	-2.7416±0.0108
171	38.3607±0.0117	383	-8.8936±0.0112
172	36.7907±0.0061	391	-11.8788±0.0105
173	25.1111±0.0063	392	-13.5809±0.0112
174	48.4418±0.0062	393	-9.9843±0.0112
181	16.9564±0.0136	402	-15.5122±0.0064
182	20.4604±0.0118	403	-12.7109±0.0063
191	17.8946±0.0108	432	-12.0952±0.0109
192	-0.7495±0.0105	433	-15.9252±0.0112
194	-3.8592±0.0137	441	-15.1525±0.0109
221	14.0994±0.0100	442	-16.6024±0.0111
222	-1.3487±0.0157	443	-5.1112±0.0107
223	25.8536±0.0174	451	-36.2132±0.0067
224	23.2225±0.0100	452	-65.6369±0.0069
231	16.5557±0.0169	453	-87.4393±0.0072
232	2.3882±0.0058	703	12.2689±0.0098
241	3.8487±0.0143	1034	49.3988±0.0107
242	-4.1236±0.0128	9234	10.0015±0.0092
243	0.2205±0.0120	9245	8.0446±0.0044
251	-10.4205±0.0118	9923	0.0000±0.0000

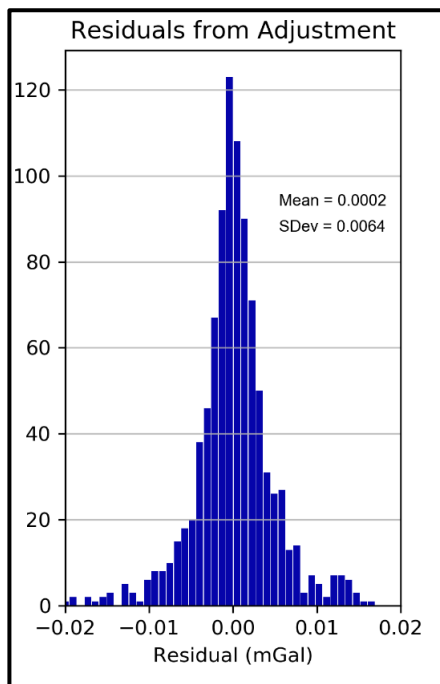


Figure 5. The measurements residuals calculated using Equation 16.

Table 2. Results from goodness-of-fit test.

Parameters	Value
A priori variance	1
A posterior variance (reference variance)	0.0046
Redundancy	4
Confidence level	95%
Tested value	0.0194
Lower critical value	0.7089
Upper critical value	9.4877
Test result	Fail

Comparisons with GRAVNET Software

The results presented in Table 1, Table 2, and Figure 5 may indicate quality of the internal precision produced by pyGABEUR-ITB. Concerning the accuracy, the results should be compared against the other software. In this section, comparisons with GRAVNET software (Hwang et al., 2002) are briefly summarized. Relative gravity measurement data in Palu and Donggala adjusted using GRAVNET software (Hwang et al., 2002) are used to validate the result from pyGABEUR-ITB. The results are depicted in Figure 6. It could be presented in the form of RMS and standard deviation, of about 2×10^{-5} mGal and 0.0048 mGal,

respectively. These values are negligible, indicating that pyGABEUR-ITB and GRAVNET statistically produces the same results.

The adjustment method used in either pyGABEUR-ITB or GRAVNET is similar. The differences are only in handling geophysical effects and estimating the instrumental drift. In pyGABEUR-ITB, as mentioned before, the drift error is estimated for each loop, while GRAVNET estimates the drift as a single value for the entire loops. According to these comparisons, one may conclude that the accuracy of different geophysical models used by pyGABEUR-ITB or GRAVNET are comparable.

CONCLUSIONS

Development of a free and interactive software for adjustment of relative gravimeter data has been summarized in this paper. The weighted constraint adjustment with at least one reference station is employed to adjust the data. Performance of the software is quite good since it can properly handle some geophysical effects and instrumental drifts. Furthermore, the software produces similar results with those estimated by GRAVNET software.

Although in this current test the software is applied to analyze the gravity network with a single reference site, it provides an easy way to add additional reference sites by simply selecting the fixed points and set their corresponding variances (see Figure 4). As for the geophysical effects, the user can select which effect will be reduced. This may provide the user who wants to know the magnitude of the individual effect to the estimated gravity values at all sites.

The software (at the current form) is recently suited to process the data from the gravimeter that adopts the principle of vertical spring balance such as the CG-5 and CG-6 Scintrex gravimeters. The users who work with the other gravimeters may easily modify the source codes, which are available upon request. One thing that the users might have to be aware is the term $\Delta F(\vec{r})$ in Equation 1. Since the CG-5 and CG-6 Scintrex gravimeters use the vertical spring balance principle, this term is negligible and hence pyGABEUR-ITB does not deal with it. In the near future, pyGABEUR-ITB will be extended to be able to automatically adapt the use of various observation principles.

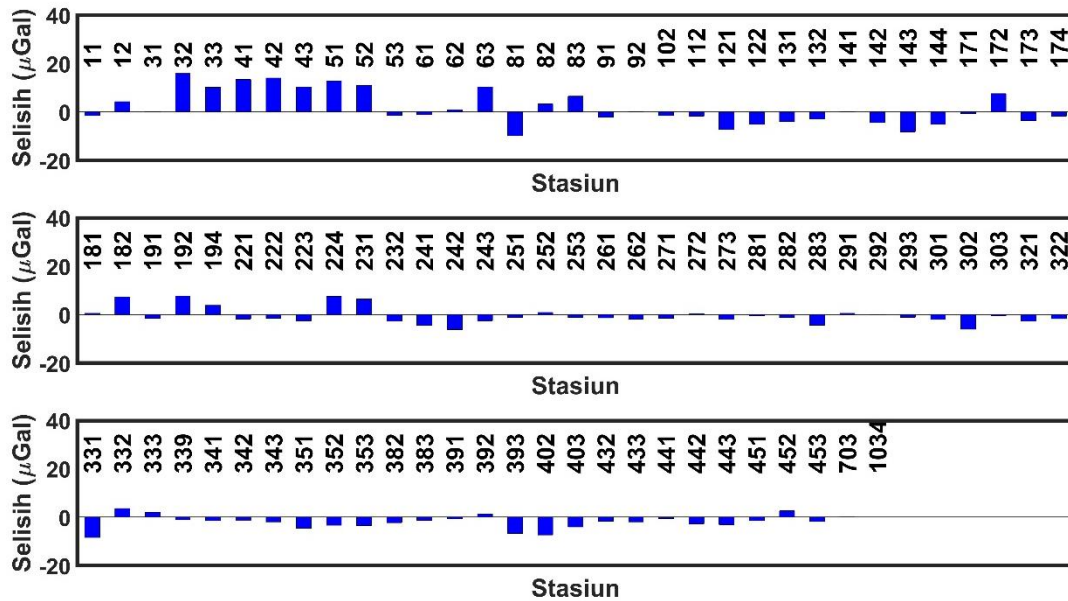


Figure 6. The gravity values difference between pyGABEUR-ITB and GRAVNET.

ACKNOWLEDGMENT

This research is fully supported by LPPM Institut Teknologi Bandung (ITB) through a research grant of the Program Penelitian, Pengabdian Masyarakat dan Inovasi ITB 2018.

REFERENCES

Baarda, W. (1968). A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks. *Publications on Geodesy*, 2(5), 97.

Caspary, W. F. (1987). *Concepts of Network and Deformation Analysis, Monograph 11*. Kensington: The University of New South Wales.

Ghilani, C. D. (2010). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis: Fifth Edition* (5th ed.). <https://doi.org/10.1002/9780470586266>

Hwang, C., Wang, C. G., & Lee, L. H. (2002). Adjustment of Relative Gravity Measurements Using Weighted and Datum-free Constraints. *Computers and Geosciences*, 28(9), 1005–1015. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(02\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00005-5)

Koch, K.-R. (1999). *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models* (2nd ed.). <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03976-2>

Krieg, L. A. (1982). *Mathematical Modelling of the Behavior of the LaCoste and Romberg "G" Gravity Meter for Use in Gravity Network Adjustment and Data Analysis*. The Ohio State University.

Lagios, E. (1984). A FORTRAN IV Program for a Least-squares Gravity Base-station Network Adjustment. *Computers and Geosciences*. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(84\)90026-8](https://doi.org/10.1016/0098-3004(84)90026-8)

Lerch, F. J. (1991). Optimum Data Weighting and Error Calibration for Estimation of Gravitational Parameters. *Bulletin Géodésique*. <https://doi.org/10.1007/BF00806341>

Longman, I. M. (1959). Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun. *Journal of Geophysical Research*, 64(12), 2351–2355. <https://doi.org/10.1029/jz064i012p02351>

Matsumoto, K., Sato, T., Takanezawa, T., & Ooe, M. (2001). GOTIC2: A Program for Computation of Oceanic Tidal Loading Effect. *Journal of the Geodetic Society of Japan*, 47(1), 243–248. <https://doi.org/10.11366/sokuchi1954.47.243>

Pope, A. J. (1976). *The Statistics of Residuals and the Detection of Outliers*. University of California Libraries.

Tapley, B. D., Born, G. H., & Parke, M. E. (1982). The Seasat Altimeter Data and Its Accuracy Assessment. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87(C5), 3179–3188.

Timmen, L. (2010). Absolute and Relative Gravimetry. *Sciences of Geodesy - I: Advances and Future Directions*, 1–48. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11741-1>

Torge, W. (1989). *Gravimetry de Gruyter*. New York: New York.

Tscherning, C. C. (1991). A strategy for Gross-error Detection in Satellite Altimeter Data Applied in the Baltic-sea Area for Enhanced Geoid and Gravity Determination. *Determination of the Geoid*, 95–107. Springer, New York.

Van Camp, M., Williams, S. D., & Francis, O. (2005). Uncertainty of Absolute Gravity Measurements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110(B5), 1–9. <https://doi.org/10.1029/2004JB003497>

Wahr, J. M. (1985). Deformation Induced by Polar Motion. *Journal of Geophysical Research*, 90(1), 9363–9368. <https://doi.org/10.1029/JB090iB11p09363>

Wijaya, D. D., Muhammad, N. A., & Prijatna, K. (2018). *GABUER-ITB: Pengolahan Data Gayaberat Relatif Menggunakan Matlab*.

Zhiheng, J., Chuanhui, Z., Qixian, Q., & Shan, X. (1988). China Gravity Basic Net 1985. *Science in China Series B-Chemistry, Biological, Agricultural, Medical & Earth Sciences*, 31(9), 1143–1152.

SPATIOTEMPORAL CHARACTERISTICS OF SEA LEVEL ANOMALY IN THE INDONESIAN WATERS

(Karakteristik Spasio-Temporal Anomali Muka Air Laut di Perairan Indonesia)

Dina Anggreni Sarsito, Dudy Darmawan Wijaya, Nur Fajar Trihantoro, Muhammad Syahrullah and Dhota Pradipta

Geodesy Research Group, Faculty of Earth Sciences and Technology, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung, Indonesia
E-mail: dsarsito@gd.itb.ac.id

Diterima: 28 Februari 2019; Direvisi: 11 November 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 29 November 2019

ABSTRACT

Indonesia is an archipelago state lies between Indian and Pacific Oceans at the South East Asia region. Its unique geomorphological and geographical setting affect variabilities of instantaneous sea surface height (ISSH) concerning to one of the sea reference surface i.e mean sea surface height (MSSH). The differences between both heights, known as sea level anomaly (SLA), can be recognized as one of the parameter that describes the dynamic phenomena of the ocean. We investigated the Spatiotemporal characteristics of long-term SLA in this research based on 30 years of sea-level data derived from the multi-mission of satellite Altimetry (Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2 and Jason-3). The Spatiotemporal of SLA characteristics in Indonesian waters indicate substantial variations due to the influences of geographical location, bathymetric depth, and seasonal patterns. The SLA rate in the Indonesian region provides values that vary between 3.4 mm/yr to 5.3 mm/yr that higher than 3.2 mm/yr global SLA rate. The impact caused by the phenomenon needs to be taken into account given the vulnerability and disaster that could endanger the islands and coastal area in Indonesia.

Keywords: Indonesia, sea level anomaly, altimetry

ABSTRAK

Indonesia adalah negara kepulauan di kawasan Asia Tenggara yang terletak di antara Samudra Hindia dan Pasifik. Tataan geomorfologis dan geografisnya yang unik mempengaruhi variabilitas ketinggian permukaan laut sesaat (ISSH) relatif terhadap salah satu permukaan referensi ketinggian yaitu ketinggian permukaan laut rata-rata (MSSH). Perbedaan antara kedua sistem tinggi ini, yang dikenal sebagai anomali permukaan laut (SLA), yang menjadi salah satu parameter utama yang menggambarkan fenomena dinamika laut. Karakteristik spatio-temporal dari SLA jangka panjang dalam penelitian ini diestimasi berdasarkan pada 30 tahun data permukaan laut yang berasal dari multi-misi satelit Altimetri (Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2 and Jason-3). Karakteristik spasio temporal SLA di wilayah perairan Indonesia dari hasil penelitian ini menunjukkan variasi akibat pengaruh letak geografis, kedalaman bathimetrik serta pola musiman. Kecepatan SLA di wilayah Indonesia memberikan nilai yang bervariasi antara 3,4 mm/th sampai dengan 5,3 mm/th, dimana nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan kecepatan SLA global 3,2 mm/th. Dampak yang diakibatkan oleh fenomena tersebut pada saat ini perlu menjadi perhatian mengingat kerentanan dan bencana yang dapat membahayakan wilayah pesisir dan kepulauan di Indonesia.

Kata kunci: Indonesia, anomali muka air laut, altimetri

INTRODUCTION

Indonesia is an archipelagic country in the equatorial region that lies between the Indian and Pacific oceans. Its geographical setting will affect variabilities of deviation between time-independent instantaneous sea surface heights (ISSH) concerning to the mean sea surface height (MSSH), we call it as sea level anomaly (SLA). SLA is one of the oceanic parameters that very important in the ocean dynamics and its possible hazards. Four main important subjects that need SLA information: sea-level rise study, ocean circulation, tidal modeling,

and geoid computation. From various literatures (O. B. Andersen & Scharroo, 2011; Church & White, 2011; IPCC, 2007; IPCC Working Group 1 et al., 2013; Legeais et al., 2018; Mackay, 2008), it is known that sea-level rise phenomenon has occurred as a result of the increasing global temperature with global rate for about 3.2 mm/yr. This phenomenon can harm the island and coastal areas in Indonesia where residential and livelihood areas lie. Therefore, it is very important to study the SLA in the territory of Indonesia water as early as possible to be able to design and realize the management of mitigation. In the latest three decades, satellite

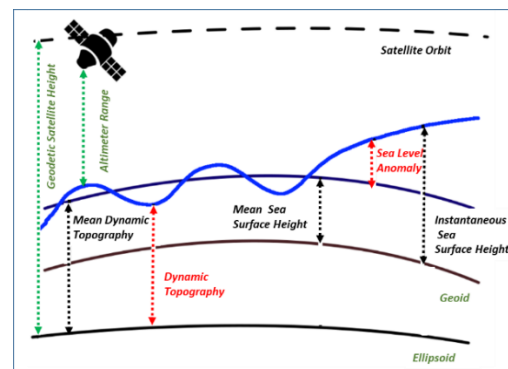
Altimetry measurements have been used to derive SLA with promising accuracy. Altimetry satellite data are distributed through agencies like National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); Archiving, Validation and Interpretation of Satellites Oceanographic data (AVISO); European Meteorological Satellite (EUMETSAT) and Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC). Duration of the distributed data already reaches 1 full period (18.6 years) of the longest tidal wavelength, which means that one can get a more precise interpretation of the full tidal characteristics in any area of the ocean, especially in the open and deep sea.

Nowadays we can study environmental geography using satellite to study conducted on SLA in Indonesia region using clean long-term (full period) based on altimetry multi-mission satellite data. Therefore, in this research, we study Spatio-temporal characteristics of long-term SLA based on almost 30 years of sea-level data (1992-2018) derived from multi-mission of satellite Altimetry collected in Radar Altimeter Database System (RADS). Delft Institute for Earth-Oriented Space Research (DEOS) and the NOAA Laboratory for Satellite Altimetry are developed the RADS. Such a database is established in a harmonized, validated and cross-calibrated sea-level database from all satellite altimeter missions. The method is applied in this article after database extraction is purely a geometric-geodetic strategy that estimate the ISSH, MSSH and SLA at each footprint of multi-mission satellite including its cross-over points, and then interpolated it to other position that has no footprint. The investigation area for full long-wavelength period of the signal is chosen in several positions in the Indonesia area, which represent different characteristics of the specific geographic and bathymetric features.

METHOD

Altimetry satellites in the science of geodesy are used to determine the Sea Surface Dynamic Topography (DT) from Ellipsoidal reference surface area and Instantaneous Sea Surface Height (ISSH) from the geoid reference surface plane (O. Andersen, Knudsen, & Stenseng, 2016; Ole B.

Andersen & Knudsen, 2009). These two sea surfaces are then used for various purposes both scientific and engineering depending on needs. This vertical distance or height determination uses the basic principles of Satellite Altimetry measurement which have been described from various researchers (O. B. Andersen & Scharroo, 2011; Fu & Cazenave, 2000), namely based on the difference between the height of the satellite with respect to ellipsoid reference surface with the vertical distance observed from the travel time of satellite Altimetry to the instantaneous sea level surface (**Figure 1**), and providing various corrections to the geophysical signal to obtain an accurate ISSH value.



Source: Fu and Cazenave, 2001

Figure 1. Principle of satellite altimetry.

The altimetry satellite data used in this study, from the various types of altimetry satellite data in RADS, are Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2 and Jason-3 from 1992 to 2018. The selection of these satellite data types is based on the long-term duration of satellite observation and continuation of the satellite mission and is expected to obtain a long-term pattern of SLA signals in Indonesian water. These five satellite data are integrated using a colinear track to a normal reference point with a 5 km radius of data closes to cross over points. The MSSH value is obtained by averaging the daily ISSH value for each month period, and **Figure 2** shows the result of the MSSH value estimation from 1992 to 2018 in Indonesia water. Then the SLA value is obtained from the following **Equation 1**.

$$SLA = (ISSH - R_{corr}) - MSSH..... (1)$$

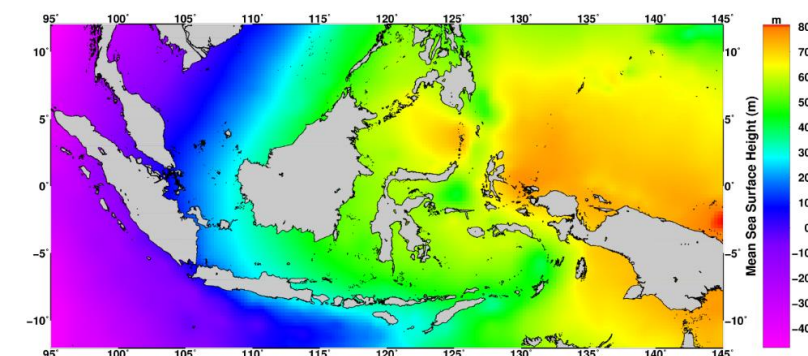


Figure 2. Mean sea surface height of Indonesia from 1992-2018.

This SLA value is then described spatially and temporally to obtain phenomenon related to variations of SLA. The correction values and models applied from RADS R_{corr} in our research include EIGEN GL04C orbit / gravity fields, Atmospheric pressure grid - ECMWF dry troposphere and all satellite data of wet troposphere, NIC08 Ionosphere parameter, IB Model – local pressure Inverse Barometer, MOG2D Dynamic atmosphere, elastic response to tidal potential solid earth tide, GOT4.8 - ocean-pole, Polar Wobble pole tide, CLS non parametric sea state bias, DTU10 MSSH Reference, applied switching flag and bias reference frame.

The coverage area of research is between - 15S/95E to 15N/150E with 15-sample points (**Figure 3** with bathymetric base). The selection of sample points is chosen base on Geographical condition: open sea (ex: 5, 6, 14, 15), inner water (ex: 1, 8, 10), gulf (ex: 9), strait (ex: 4), Bathymetric: deep sea (ex: 13, 14), shallow sea (ex: 1) Oceanographic condition: Indonesian Throughflow from Pacific Ocean (ex: 8, 9, 10, 11, 12), Monsoon Throughflow (ex: 1, 2, 3), Outer Indonesian Seas (ex: 5, 6, 7).

RESULTS AND DISCUSSION

To measure the quality of the ISSH data, is by evaluating each pass of the multi satellite. **Figure 4** shows an example of data analysis along with the footprint by capturing TOPEX data with passes 14, 64, 12 and 62. On pass 14 that passes through the

open and deep sea, visible data recorded from various cycle shows very small bias and data is continuous (there is no gap of data coverage). A slightly different phenomenon shown in pass 64 where the data in open and deep sea of Indian Ocean appears to have a very small bias between different cycle data.

The data experienced a gap as it passed the island of Java and showed great cycle bias as it passed through the shallow Java Sea although it was rather open. At this pass 64, the data gap reappeared as it passes through the Bangka Belitung Islands, experiencing a more volatile cycle bias in the South China Sea compared to the fluctuate one in the Java Sea and data gap reappearing as it enters the mainland region of Thailand. For the pass 12 it is seen that the data has a gap as it passes through the mainland and has a very fluctuating cycle bias as it passes through the islands and bays of East Nusa Tenggara and Sulawesi. As for pass 62, again, visible data gap as it passes through the land area, experiencing a large fluctuation as it passes through the bay and small islands in Irian Jaya, and again shows a small cycle bias in the Pacific Ocean. Overall, the altimetry satellite data of each cycle indicates a gap when entering land area, indicates bias between cycle when entering a shallow area in open sea where the cycle bias becomes larger as approaching the land area or being in a closed zone, and latter showing a very small cycle bias phenomenon when passing through the deep and open sea area.

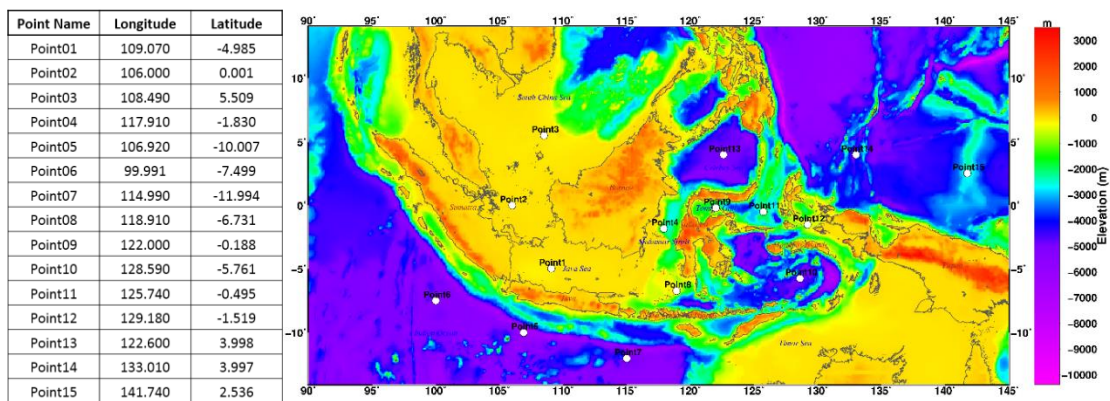


Figure 3. Point distribution.

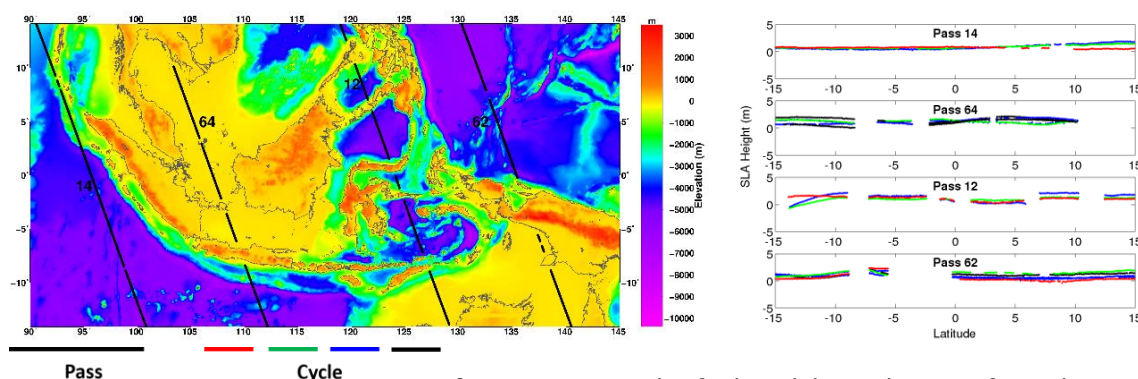


Figure 4. Example of selected descending pass for analysis..

From **Figure 2**, it is seen that the value of MSSH has changed from the highest value in the range of 80 meters in the eastern part of Indonesia, precisely around Papua and subsequently decreased to a value of 40 meters to the northern part, namely North Pacific Ocean and to the western part and south-western part of Papua in the western part of Kalimantan and northern parts of Java Sea. To the southern part of Papua, this value interval covers the northern part of Australia. The MSSH value shows a decreasing rate to western Indonesia up to a value of -45 meters in the western water of Sumatra.

The decreasing MSSH values from the eastern part of Indonesia to the western part shows The majority of gradual decreases in rate, except in the area between Halmahera and Sulawesi, namely Halmahera Double Subduction Area, which is estimated as a result of the relatively small amount of altimetry satellite data for closed sea areas compared to open ocean. After subtracting the ISSH value from the MSSH value, the SLA value is obtained. Variations in SLA values can be described in two components, namely short wavelengths that are affected by waves/weather conditions / extreme weather conditions/wind pressure and long wavelengths that are affected by changes in seawater circulation, seasonal climate, global warming and sea-level rise (Bond & Harrison, 2000; Hamlington, Leben, Strassburg, Nerem, & Kim, 2013; Hu & Deser, 2013; IPCC, 2007; IPCC Working Group 1 et al., 2013; Saji, Goswami, Vinayachandran, & Yamagata, 1999; Sarsito et al., 2018; Strassburg et al., 2015).

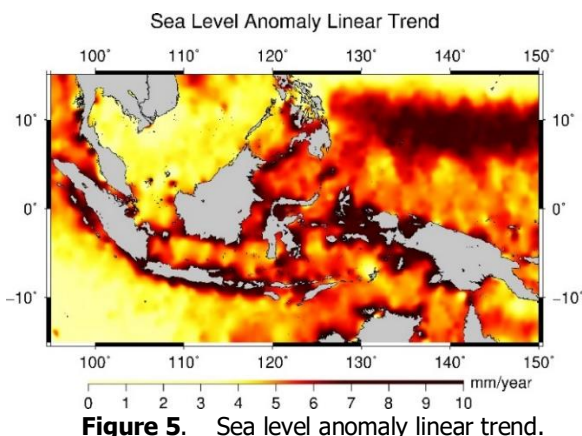


Figure 5. Sea level anomaly linear trend.

In this study, only the components of long wavelength will be discussed, considering that the SLA used is a monthly average from 1992-2018. **Figure 5** shows the linear trend of SLA in Indonesian water, with a range of positive values between 1 mm/yr up to 9 mm/yr. This shows that the Indonesian region has various sea level anomaly that also becomes a representation of the sea level rise phenomenon with varying values for different geographical conditions. In the majority of the coastal regions, there is a bias with a similar rate to

the SLA increasing rate, this phenomenon is caused by an imperfection in altimetry satellite data recording that returns to the receiver as a result of noise caused by reflections of the land and sea transition zones.

SLA rate decreased from the eastern part of Indonesia to the west, with fluctuations ranging from 4 mm/yr to 6 mm/yr in the Java Sea region and 3 mm/yr to 4.5 mm/yr for the South China Sea and the Indian Ocean. To get an overview of the of temporal-spatial variations distribution from the Indonesian SLA, further SLA variations are estimated for several sample points with various condition (**Figure 6** and **Figure 7**), SLA variations in monthly and annual activities (**Figure 8**) and cross sections for certain latitudes are expected to represent the island region phenomenon (**Figure 9**).

Figure 7. Overall, the 15 sample point distributions, the linear SLA trend shows positive rates. The SLA for the Java Sea and the Flores Sea (**Figure 6** (A-H)), although located equally in the open sea enclosed by islands in the northern and southern parts, have slightly different rate of 4.5 mm/yr and 4.9 mm/yr where this is due to different bathymetry conditions, namely the Flores Sea is deep (-0.351 km depth) while the Java Sea is shallow (-0.125 km depth). In Natuna Sea nearby the small islands with -0.040 km depth and at the South China Sea with -0.073 km depth show SLA rate in between 3.9 mm/yr to 4.3 mm/yr that indicate almost the same increasing pattern of sea-level rise on both areas even though in between small islands

For the sample points in the Indian Ocean with -5.067 km depth until -6.242 km depth (**Figure 6** (E-F-G)) shows SLA rate with positive linear trends ranging from 3.4 mm/yr to 4.5 mm/yr from west to the east. For narrow or closed areas are represented by sample points in Makassar Strait with -2.359 km depth (**Figure 6** (D)), Tomini Gulf with -5.114 km depth, Banda Sea with -4.716 km depth, Maluku Sea with -2.596 km and Seram Sea with -0.742 km depth (**Figure 7** (I-J-K-L)) have SLA rate for about 5.3 mm/yr, 5.1 mm/yr, 4.3 mm/yr, 5.2 mm/yr and 4.5 mm/yr. The lowest SLA rate represents at the Tomini Gulf since that area almost completely close area even though have deepest bathymetry depth compare to other areas. The last group of examples is at Celebes Sea with -4.968 km depth (**Figure 7** (M)) and Pacific Ocean with -2.9 km depth and -3.406 km depth (**Figure 7** (N-O)) that represent the open and deep ocean. The SLA rate from the Celebes Sea is 5.0 mm/yr show the effect of rather open coverage area and at the Pacific Ocean show almost the same rate for about 4.9 mm/yr. From each sample, can be concluded there was a positive correlation between the SLA trend rate with the geographical position of the ocean and the local bathymetry. For open geographic areas, it has a

tendency to detect higher SLA values compared to closed seas, whereas for bathymetry conditions it is a boosting factor of SLA that is shallower than the effect to SLA change is smaller. Based on the time series data it appears that for closed and shallow areas in the Eastern part of Indonesia, sensitivity to climate changes due to phenomena such as La Nina and El Nino is very clear, this is demonstrated by the extreme SLA values in the sample area. Same with open sea areas as samples in the Pacific Ocean

that show sensitivity with SLA values fluctuate during seasonal changes from El Nino and La Nina. The SLA rate in the Indonesian region provides values that vary between 3.4 mm/yr to 5.3 mm/yr that higher than 3.2 mm/yr global SLA rate. Interannual signal appears in all observation samples, with a repetitive pattern clearly seen each year in each of the graphs in **Figure 6** and **Figure 7**.

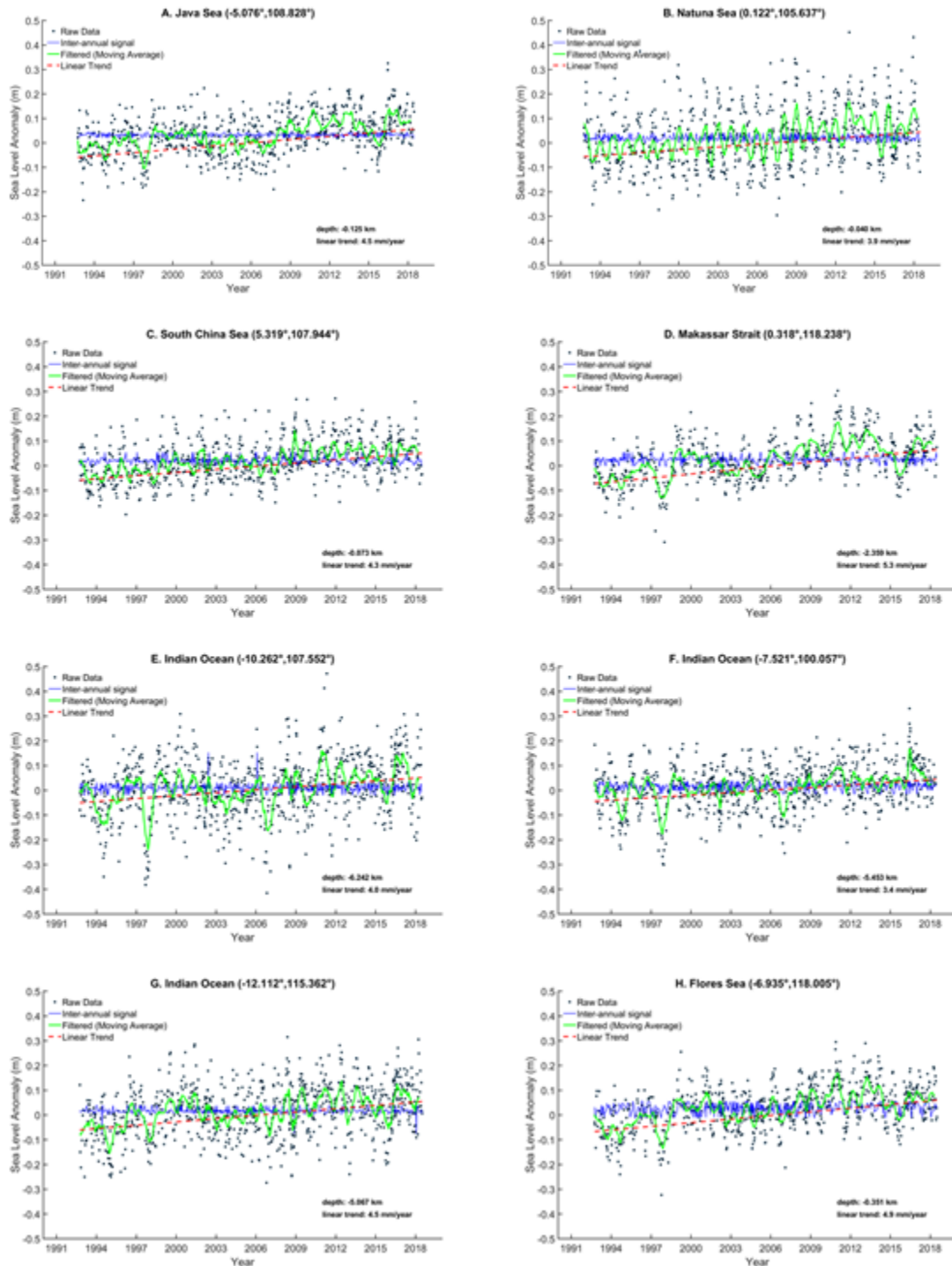


Figure 6. Sea level anomaly at (A) Java Sea, (B) Natuna Sea, (C) South China Sea, (D) Makassar Strait, (E-F-G) Indian Ocean and (H) Flores Sea.

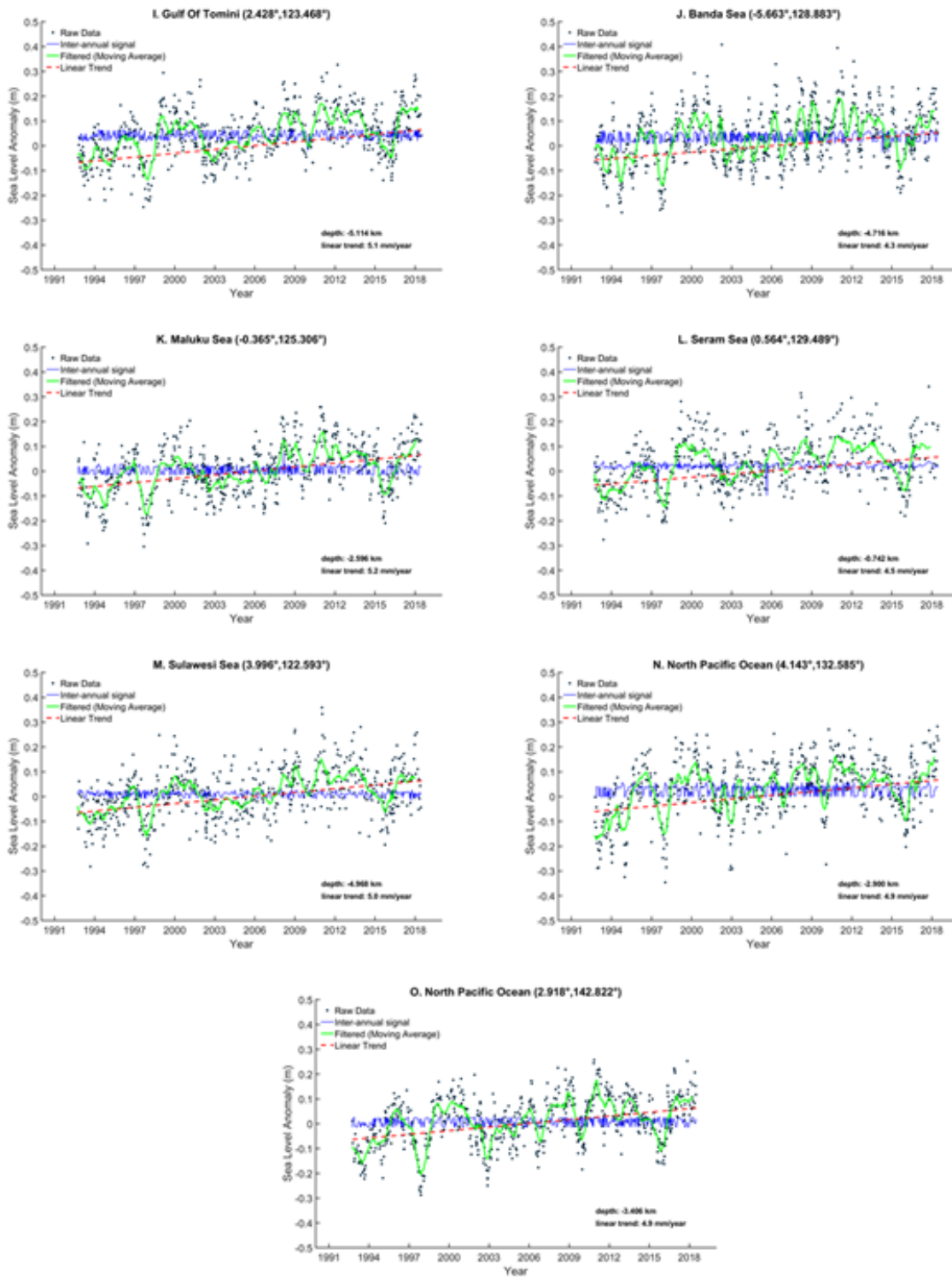


Figure 7. Sea level anomaly at (I) Tomini Gulf, (J) Banda Sea, (K) Maluku Sea, (L) Seram Sea, (M) Sulawesi Sea, (N) North Pacific Ocean and (O) North Pacific Ocean.

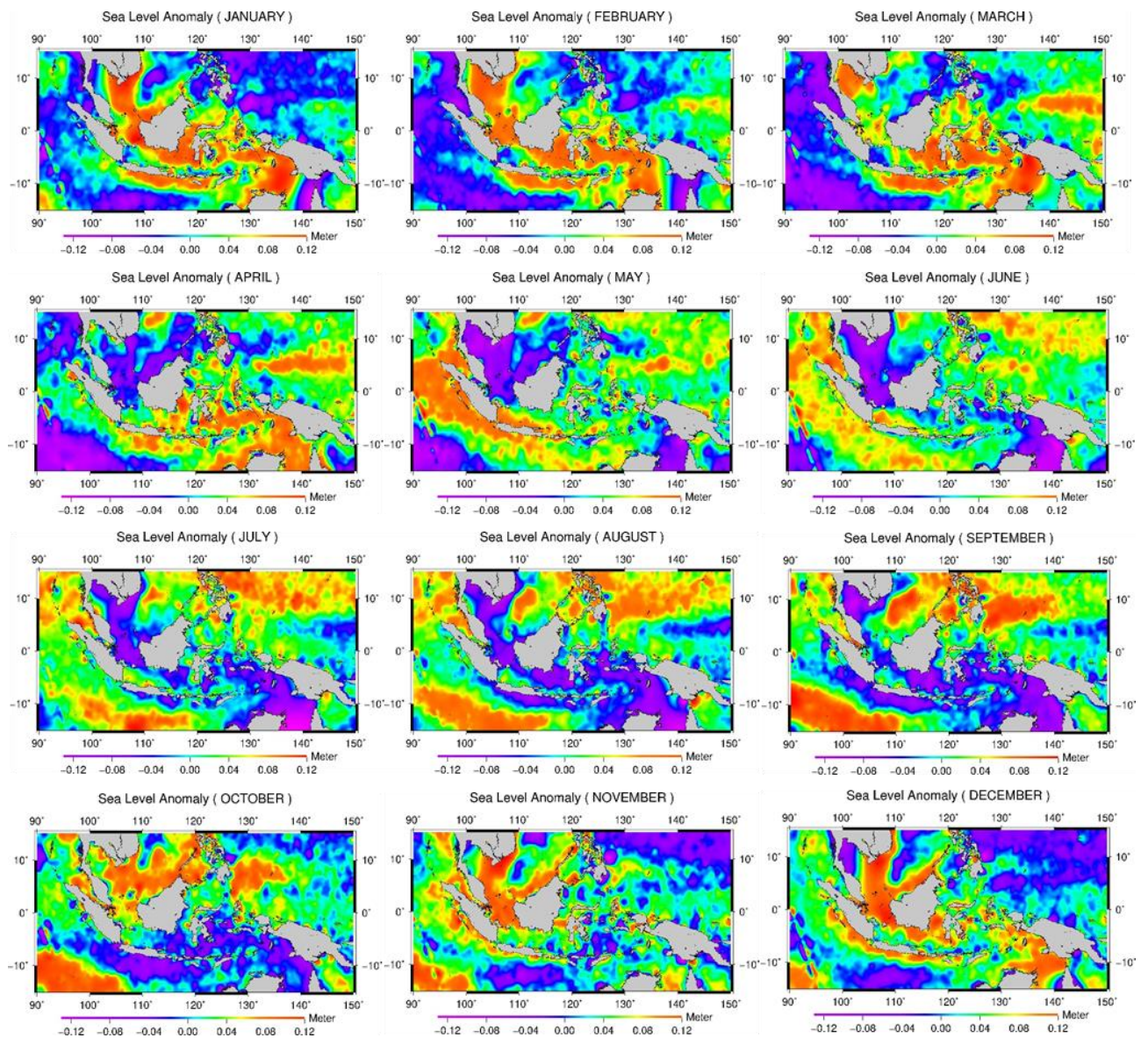


Figure 8. Sea level anomaly January – December 1992-2018.

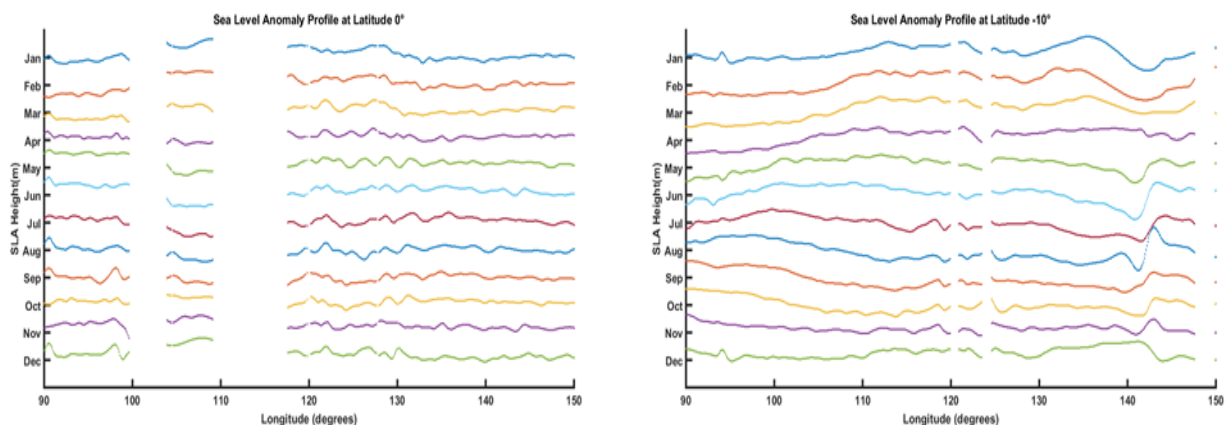


Figure 9. Sea level anomaly profile at latitude 0° (left) and at latitude -10° (right).

The SLA time series are shown in **Figure 6** and **Figure 8** shows the monthly SLA pattern for the Indonesian region from January to December with a range of values in the interval of -0.12 m to 0.12 m. For the eastern part of Indonesia covering

the southern part of Papua to Halmahera Sea, seasonal patterns are seen, which are of minimum value starting from the middle of June to the peak at the end of November indicating the east season/ dry season and the maximum value from December

to May which signifies the west/ rainy season for this region. The minimum value pattern moves in spread up direction to the western part of Indonesia up to west Sumatra water in stages from July to September, and shifts to the south of Java Sea in October. This shows the change of pattern from dry season to the rainy season in October. For the western part of Indonesia, seasonal patterns are also clearly visible. The South China Sea, the western part of Sumatra, the Java Sea and the Indian Ocean which in minimum value starting from April to the peak at the end of August which signifies the east season/dry season and has a maximum value from September to April indicating the west season/rainy season for this region. This pattern shows an increase in the value of SLA caused by the increasing of water debit due to the rainy season.

Figure 9 shows the cross-section of the SLA at latitude 0° which represents a large area through the islands while the -10° latitude represents the open ocean region. At latitude 0° starting from the western part of Indonesia, namely the territorial waters west of Sumatra through Natuna Sea - Kalimantan - Makassar Strait - Tomini Gulf - Halmahera, seasonal variations in SLA from January to December are not very fluctuating in general. A slight change in pattern is seen in the Natuna Sea region due to its nature which is somewhat more open than other straits that are crossed by this latitude. From April to August the minimum pattern is seen for the western part of Indonesia and the maximum pattern from September to March, this corresponds to the spatial pattern discussed earlier, namely the dry season in April-October and the rainy season in September-March. At latitude -10° , the fluctuations pattern in increasing or decreasing in SLA rate are more pronounced for the open ocean. The same phenomena were seen in April to August, the minimum pattern was seen for the western part of Indonesia and the maximum pattern in September to March with a larger range than at latitude 0° . This indicates that the sensitivity of altimetry satellite data is very high for deep - open ocean areas than in closed - narrow - shallow area.

CONCLUSION

Characteristics of SLA temporal ratio in Indonesian waters vary according to geographical location, bathymetric depth and following the seasonal pattern. For open-ocean and deep-sea areas, variations in SLA are very sensitive to seasonal patterns including the phenomenon of sea-level rise and El Nino - La Nina, especially in waters in northern Papua. Whereas for closed sea areas, narrow seas and shallow seas, variations in SLA have lower sensitivity than open-deep ocean areas. From April to August the minimum SLA pattern is seen for the western part of Indonesia and the maximum pattern from September to March, this

corresponds to the spatial pattern, namely the dry season in April-October and the rainy season in September-March. The SLA rate in the Indonesian region varies from 3.4 mm/ yr to 5.3 mm/ yr which shows a higher value than the global SLA which ranges from 3.2 mm / yr. The impact caused by this at this time needs to be considered given the vulnerability of the land and sea transition areas in the territory of this archipelago.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank to TU Delft, NOAA and Altimetrics Llc for providing altimetry, and to Marc Naije (TU Delft) and Ami Hassan Md Din (UTM – Skudai Johor Bahru) for altimetry state of the art.

REFERENCES

- Andersen, O. B., & Scharroo, R. (2011). Range and geophysical corrections in coastal regions: And implications for mean sea surface determination. In *Coastal Altimetry*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12796-0_5
- Andersen, O., Knudsen, P., & Stenseng, L. (2016). The DTU13 MSS (mean sea surface) and MDT (mean dynamic topography) from 20 years of satellite altimetry. *International Association of Geodesy Symposia*. https://doi.org/10.1007/1345_2015_182
- Andersen, Ole B., & Knudsen, P. (2009). DNSC08 mean sea surface and mean dynamic topography models. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2008JC005179>
- Bond, N. A., & Harrison, D. E. (2000). The Pacific Decadal Oscillation, air-sea interaction and central north Pacific winter atmospheric regimes. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1029/1999GL010847>
- Church, J. A., & White, N. J. (2011). Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century. *Surveys in Geophysics*. <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1>
- Fu, L.-L., & Cazenave, A. (2000). Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications (Google eBook). *Satellite Altimetry and Earth Sciences A Handbook of Techniques and Applications*. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(01\)80146-7](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(01)80146-7)
- Hamlington, B. D., Leben, R. R., Strassburg, M. W., Nerem, R. S., & Kim, K. Y. (2013). Contribution of the Pacific Decadal Oscillation to global mean sea level trends. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1002/grl.50950>
- Hu, A., & Deser, C. (2013). Uncertainty in future regional sea level rise due to internal climate variability. *Geophysical Research Letters*. <https://doi.org/10.1002/grl.50531>
- IPCC, I. P. O. C. C. (2007). Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. *Science*. <https://doi.org/volume>
- IPCC Working Group 1, I., Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., ... Midgley, P. M.

- (2013). IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*.
- Legeais, J. F., Ablain, M., Zawadzki, L., Zuo, H., Johannessen, J. A., Scharffenberg, M. G., ... Benveniste, J. (2018). An improved and homogeneous altimeter sea level record from the ESA Climate Change Initiative. *Earth System Science Data*. <https://doi.org/10.5194/essd-10-281-2018>
- Mackay, A. (2008). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Journal of Environment Quality*. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0015br>
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., & Yamagata, T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian ocean. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/43854>
- Sarsito, D. A., Prijatna, K., Wijaya, D. D., Nur Fajar, T., Radjawane, I. M., Windupranata, W., & Bramanto, B. (2018). Long term variation of sea level anomaly (September 1992-January 2017) in the Indonesian sea from multi-mission satellite altimetry data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/162/1/012043>
- Strassburg, M. W., Hamlington, B. D., Leben, R. R., Manurung, P., Gaol, J. L., Nababan, B., ... Kim, K. Y. (2015). Sea level trends in Southeast Asian seas. *Climate of the Past*. <https://doi.org/10.5194/cp-11-743-2015>

Halaman ini sengaja kami kosongkan

GEOMATIKA
VOLUME 25 TAHUN 2019

Indeks Penulis

A

A Sedyono Adi Nugraha, 9
Akhmad Riqqi, 1
Anindya Sricandara Prasadya, 55
Annisa Farida Hayuningsih, 55
Arisauna Pahlevi, 95

B

Bambang Edhi Leksono, 85
Brian Bramanto, 73

C

Cintantya Budi Casita, 17

D

Dhota Pradipta, 103
Dina A. Sarsito, 95, 103
Dudy D. Wijaya, 95, 103

E

Erfan D. Variandy, 95

F

Fani Safitri, 37

H

Hartono, 63
Hasanuddin Z. Abidin, 73
Hendrata Wibisana, 17
Heri Andreas, 73

I

Irawan Soemarto, 85
Irpan Septiawan, 27
Irwan Gumilar, 73

K

Kirbani Sri Brotopuspito, 63
Kosasih Prijatna, 95

M

Mohamad Gamal, 73
Muhamad Iqbal Taftazani, 55
Muhammad Syahrullah, 103
Muhammad Zulkifli, 47

N

Nanin Trianawati Sugito, 85
Ni Putu Praja Chintya, 55
Norman A. Muhammad, 95
Nur Fajar Trihantoro, 73, 103
Nurfitriani, 47

P

Prayudha Hartanto, 27

R

Rochmad Muryamto, 55

S

Sadikin Hendriatiningsih, 85
Safirotul Huda, 27
Sandy Nur Eko Wibowo, 47
Sesar Prabu Dwi Sriyanto, 47
Sigit Febrianto, 37
Siti Zainab, 17
Suryanti, 37

V

Vera Sadarviana, 95

W

Wahyu Marta Mutiarasari, 55
Widjo Kongko, 63
Widy Putra, 27, 95

Y

Yulian Fauzi, 63

GEOMATIKA
VOLUME 25 TAHUN 2019

Indeks Subjek

- A**
Akresi, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 45, 46
Altimetri, 103,110
Analisa Regresi, 17
Anomali Gayaberat, 27
Aqua Modis, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 25
Azimut, 73,74, 77,78,80,81,82,
Azimut kiblat, 71,74,80
- C**
Constrained Adjustment, 95
CVI, 37, 38, 40, 41, 44, 45, 46
- E**
Erosi, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46
- F**
Free Software, 95
FUFK, 63,64,65,67,68,71
- G**
Geostatistika, 85,86,87,90,91,92
GIS, 35, 37
GNSS, 55,56,57,62,65,66,73,74,75,76,77,79,80,
82, 83
Gradien Gayaberat, 27, 28, 29, 34
Gravimeter Absolut, 27, 28, 30
- I**
Indonesia,
56,62,63,64,71,72,73,74,82,83,85,86,95,103,104,
106,109,110,
Inundasi, 47, 50, 53, 54
- K**
Kerentanan Lingkungan, 63,64,65,68,69,71,72
Klorofil-a, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25
Kota Semarang, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46
- L**
Landsat, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 25, 37,
39, 40, 46
Land Surface Temperature, 9, 16
- M**
Model,17,20,21,22,24,25,65,66,71,72,74,77,80,85
,86,87,88,90,91,95,96,105
Model Matematis, 17, 20, 21, 22, 24, 25
Modis, 9, 10, 11,12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22,
24, 25
- N**
Nilai Tanah, 85,86,88,89,90,91,92
- P**
Pembagian Lembar Peta, 1,2, 3, 4, 5, 6, 7
Pemodelan Tsunami, 47, 48, 53
Penginderaan Jauh, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 24,
40, 46
Perataan Jaring, 55,56,57,58,59,61,62
Perubahan Garis Pantai, 37, 38, 40, 41, 45, 46
Peta RBI Skala Besar, 1
Python, 95,96
- R**
Reduksi, 73, 76, 77,78,80
Reflektan, 17, 19, 20, 21, 22, 25
Relative-gravity, 95
RTK, 73,74,75,76,77,79,80,81,82
RTPPP, 73,74,75,76,77,79,80,81,82
- S**
Sea Level Anomaly, 103,106,107,108,109,111
Simpangan Baku, 55,58,60,61,62
Sistem Penomoran Lembar Peta, 1,2, 3, 5, 6, 7
Split-windows Algorithm, 9
- T**
Tempat Evakuasi Sementara, 63,64,69
Titik Ikat, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 62
Tsunami, 47, 48, 49, 53,63,64,65,68,69,70,71,72
TUNAMI-N2, 47, 48, 49, 53
- V**
Vincenty, 73,75,77,78,80,82,83
- W**
Waktu Tiba Tsunami, 47, 49, 50
- Y**
YIA, 63,64,65,66,67,68,69,70,71

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA MITRA BESTARI GEOMATIKA
VOLUME 25 TAHUN 2019

1. Prof. Dewayany S
2. Dr. Heri Sutanta
3. Dr. Widodo Setyo Pranowo
4. Dr. Ratna Sari Dewi
5. Dr. Ira Mutiara
6. Dr. Leni Sophia
7. Prof. Fahmi Amhar
8. Dadan Ramdhani
9. Dr. Dwi Lestari
10. Dr. Nurrochmat Widjajanti
11. Dr. Catur Aris
12. Dr. Harintaka

PEDOMAN PENULISAN GEOMATIKA

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

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

Sekretariat Redaksi Geomatika

Pusat Penelitian Promosi dan Kerja Sama, Badan Informasi Geospasial
Jl. Raya Jakarta Bogor Km. 46 Cibinong Jawa Barat 16911
Telp. 021-87906041 Fax 021-87906041
Website: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM/index>
E-mail: jurnal.geomatika@big.go.id, jurnalgeomatika@gmail.com

Pengajuan naskah

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

Penulisan naskah

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

Sistematika Penulisan

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Contoh penulisan di dalam Daftar Pustaka adalah sebagai berikut:

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

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

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

(Contoh referensi **Naskah Online**)

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

(Contoh referensi dalam **Buku**)

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

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

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

340–406). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

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

(Contoh referensi **bagian dari Buku**)

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

(Contoh referensi **Artikel dalam Jurnal**)

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

(Contoh referensi dalam **Naskah Prosiding**)

Catatan :

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

Sekretariat

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

p-ISSN 0854-2759

