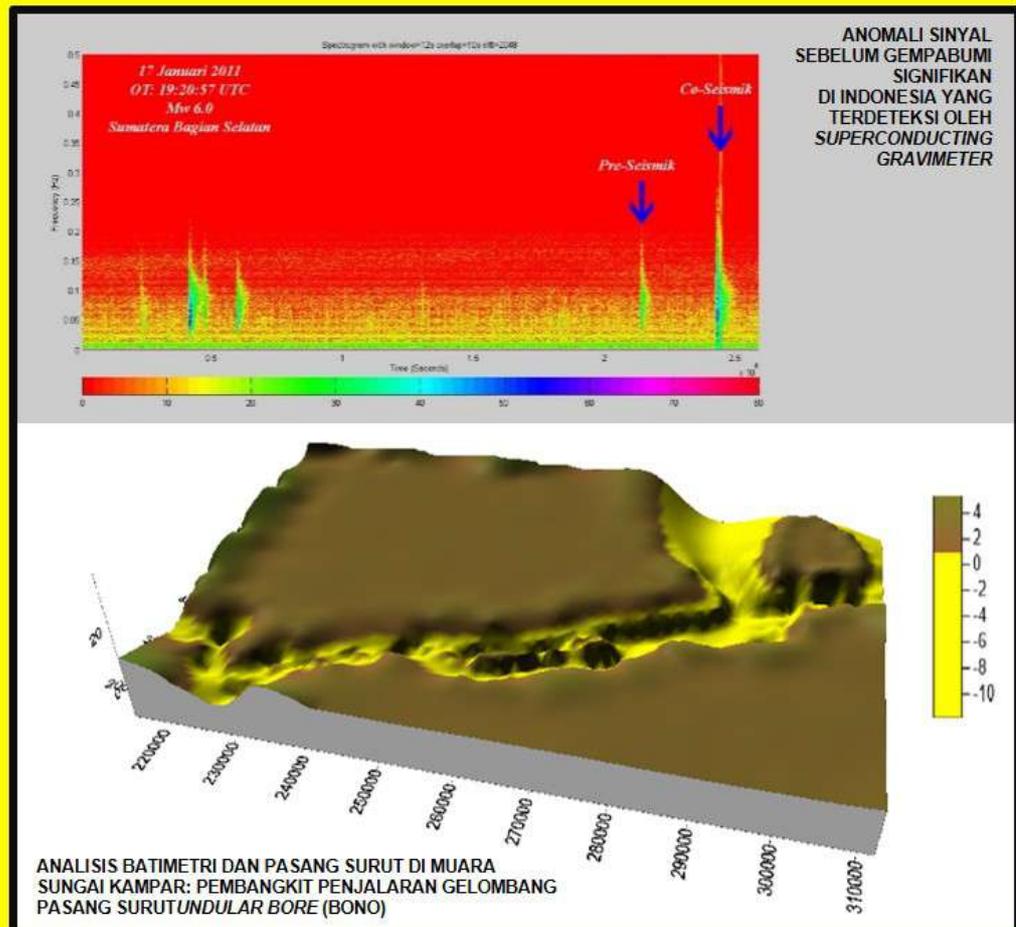


# GEOMATIKA

Vol. 22 No. 2, November 2016



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  
Dr. Widiatmaka  
Prof. Bangun Mulyo Sukojo  
Dr. Kosasih Prijatna  
Dr. Harintaka  
Dr. Abdul Basith  
Dr. Ira Mutiara Anjasmara

**Kepakaran :**

Geodesi Batas Wilayah  
Pengembangan Wilayah  
Penginderaan Jauh - SIG  
Geodesi Fisik  
Geodesi Fotogrametri  
Geodesi Kelautan  
Geodesi Fisik

**Instansi :**

Badan Informasi Geospasial  
IPB  
ITS  
ITB  
UGM  
UGM  
ITS

**Dewan Editor:****Nama :**

Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar  
Prof. Dewayany  
Dr. Antonius Bambang. W  
Dr. Suprajaka, MT  
Dr. Ibnu Sofian

**Jabatan**

Ketua Dewan Editor  
Anggota  
Anggota  
Anggota  
Anggota

**Instansi :**

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

**Redaktur Pelaksana:****Nama :**

Dra. Niendyawati, M.Sc  
Ir. Bambang Riadi, MT  
Dadan Ramdani, MT  
Florence Elfriede Silalahi, ST  
Nadya Oktaviani, ST  
Agung Syetiawan, ST  
Danang Budi Susetyo, ST  
Mochamad Irwan Hariyono,  
Prayudha Hartanto, ST, MT  
Fahrul Hidayat, ST  
Herutopo Wahyuono, A.Md

**Instansi :**

Badan Informasi Geospasial  
Badan Informasi Geospasial

**Alamat Redaksi:**

Sekretariat Redaksi Geomatika  
Badan Informasi Geospasial (BIG)  
Jl. Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong 16911  
Telp/fax: +62-21- 87906041, E-mail: [jurnal.geomatika@big.go.id](mailto:jurnal.geomatika@big.go.id)  
Website : [www.big.go.id](http://www.big.go.id); Geoportal : <http://tanahair.indonesia.go.id>



BADAN INFORMASI  
GEOSPASIAL

e- ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

# GEOMATIKA

---

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 22 No. 2, November 2016

---

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## DAFTAR ISI

<b>SUSUNAN DEWAN REDAKSI</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>LEMBAR ABSTRAK (ID)</b> .....	v
<b>LEMBAR ABSTRAK (EN)</b> .....	vii
<b>PENGANTAR REDAKSI</b> .....	ix
<b>ANALISIS PARAMETER ORIENTASI LUAR PADA KAMERA NON-METRIK DENGAN MEMANFAATKAN SISTEM RTK-GPS</b> <i>(EXTERIOR ORIENTATION ANALYSIS ON NON-METRIC CAMERA BY USING RTK-GPS SYSTEM)</i> <b>Budi Heri Nugroho, Deni Suwardhi, Agung Budi Harto</b> Institut Teknologi Bandung .....	80-90
<b>MODEL SPASIAL POTENSI PENGEMBANGAN PENGGUNA BAHAN BAKAR GAS MELALUI JARINGAN PIPA GAS DI KABUPATEN BEKASI</b> <i>(Spatial Models Development Potential Users Of Gas Fuel Through The Gas Pipeline In Districts Bekasi)</i> <b>Dede Prabowo Wiguna, Raldi Hendro Koestoer, Tito Latief Indra</b> Universitas Indonesia.....	91-98
<b>STUDI PENERAPAN MODEL KOREKSI BEDA TINGGI METODE TRIGONOMETRI PADA TITIK-TITIK JARING PEMANTAU VERTIKAL CANDI BOROBUDUR DENGAN TOTAL STATION</b> <i>(Implementation of Height Difference Correction Model Study with Trigonometric Method of The Borobudur Temple Vertical monitoring Network Points Using Total Station)</i> <b>Githa Eka Rosalina</b> Badan Informasi Geospasial.....	99-104
<b>PENGOLAHAN DATA LANDSAT 8 UNTUK EKSTRAKSI OBYEK DI PERMUKAAN LAUT</b> <i>(Processing Of Landsat 8 For Extracting Objects On The Sea Surface)</i> <b>Tri Muji Susantoro, Ketut Wikantika</b> LEMIGAS, Institut Teknologi Bandung.....	105-114
<b>PENGEMBANGAN JARING KONTROL GEODESI PEMANTAU WADUK SERMO</b> <i>(Geodetic Control Network Development In Waduk Sermo Monitoring)</i> <b>Waljiyanto<sup>1</sup>, Nurrohmat Widjajanti, Yulaikhah, M. Iqbal Taftazani</b> Universitas Gadjah Mada.....	115-120



## LEMBAR ABSTRAK (ID)

<b>GEOMATIKA (GEOMATICS)</b>	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2016
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya	
<p>DDC 384.5 Nugroho (<i>Institut Teknologi Bandung</i>) <b>Analisis Parameter Orientasi Luar Pada Kamera Non-Metrik Dengan Memanfaatkan Sistem RTK GPS</b> <i>Geomatika</i> November, Vol 22 No 2, Hal 80-90</p> <p>Dengan sistem RTK-GPS, parameter posisi bisa dihilangkan dan perhitungan <i>bundle adjustment</i> diharapkan menjadi efisien. Akan tetapi terdapat <i>offset</i> antara antena GPS dan kamera. Gedung Teknik Lingkungan ITB merupakan objek penelitian. Pengolahan dilakukan dengan menggunakan Australis 6.0 dan ERDAS IMAGINE 9.2.</p> <p style="text-align: right;">(Nugroho)</p> <p>Kata Kunci : Fotogrametri Rentang Dekat, Bundle Adjustment, RTK-GPS</p>	<p>DDC 910.285 Wiguna (<i>Universitas Indonesia</i>) <b>Model Spasial Potensi Pengembangan Pengguna Bahan Bakar Gas Melalui Jaringan Pipa Gas Di Kabupaten Bekasi</b> <i>Geomatika</i> November, Vol 22 No 2, Hal 91-98</p> <p>Pengembangan jaringan pipa gas dengan model spasial bertujuan untuk mengetahui pola pelayanan gas dan menemukan lokasi optimal potensi pengguna bahan bakar gas di Kabupaten Bekasi. Penelitian ini adalah penelitian kombinasi menggunakan metode kuantitatif seperti nearest neighbor analysis, matriks jarak, model Huff serta SIG sebagai alat analisis.</p> <p style="text-align: right;">(Wiguna)</p> <p>Kata Kunci: Jaringan Pipa Gas, Pengguna Bahan Bakar Gas, Model Spasial</p>
<p>DDC 516.24 Rosalina (<i>Badan Informasi Geospasial</i>) <b>Studi Penerapan Model Koreksi Beda Tinggi Metode Trigonometri Pada Titik-Titik Jaring Pemantau Vertikal Candi Borobudur Dengan Total Station</b> <i>Geomatika</i> November, Vol 22 No 2, Hal 99-104</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penerapan model koreksi Beda tinggi metode Trigonometri terhadap ketelitian penentuan tinggi yang dihasilkan, dengan mengambil kasus jaring pemantau stabilitas Candi Borobudur. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data Sipat Datar Leica SPRINTER-100</p> <p style="text-align: right;">()</p> <p>Kata Kunci: Jaring Vertikal Candi Borobudur, Model Koreksi Beda Tinggi, Ketelitian Tinggi</p>	<p>DDC 621.3678 Susantoro (<i>LEMIGAS</i>) <b>Pengolahan Data Landsat 8 Untuk Ekstraksi Obyek Di Permukaan Laut</b> <i>Geomatika</i> November, Vol 22 No 2, Hal 105-114</p> <p>Kajian ini bertujuan mengolah data Landsat 8 dalam rangka mengidentifikasi obyek di permukaan laut. Berdasarkan hasil kajian obyek di laut seperti kapal yang sandar di Pelabuhan Tanjung Emas, Semarang, kapal yang bergerak di Utara Delta Wulan dan Bagan Tancap di perairan Jepara dapat diidentifikasi menggunakan NDVI dan penisbahan saluran</p> <p style="text-align: right;">(Susantoro)</p> <p>Kata Kunci : Landsat 8, Kapal, Pelabuhan, Bagan Tancap, NDVI, Penisbahan Saluran, RGB</p>



BADAN INFORMASI  
GEOSPASIAL

e- ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

# GEOMATIKA

---

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 22 No. 2, November 2016

---

DDC 526.1

Waljiyanto (*Universitas Gadjah Mada*)

**Pengembangan Jaringan Kontrol Geodesi  
Pemantau Waduk Sermo**

Geomatika November, Vol 22 No 2, Hal 115-120

Hasil dari penelitian ini adalah terbangunnya pilar/patok jaringan pemantauan baru sebagai pengembangan jaringan kontrol pemantauan Waduk Sermo, serta koordinat jaringan kontrol pemantauan Waduk Sermo hasil olahan dalam dua skenario, yaitu: pada skenario pertama, titik makro memiliki simpangan baku terkecil yaitu 0,004 m pada sumbu Z di titik MAK2, dan terbesar 0,026 pada sumbu Y di titik MAK4

(*Waljiyanto*)

Kata Kunci: Pengembangan JKG, Pemantau waduk Sermo, teknik GPS/GNSS



## LEMBAR ABSTRAK (EN)

<b>GEOMATICS (GEOMATIKA)</b>	
ISSN 0854-2759	Cibinong, November 2016
The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge	
<p>DDC 384.5 Nugroho (Institut Teknologi Bandung) <i>Exterior Orientation Analysis On Non-Metric Camera By Using RTK-GPS System</i> <i>Geomatika November, Vol 22 No 2, p 80-90</i></p> <p><i>With help from RTK-GPS system, the camera position can be considered as constraint so the bundle adjustment calculation can be more efficient. But with the present of the offset between the GPS antenna and the camera, the measurement of the offset must be done first with Close Range Photogrammetry technique.</i></p> <p style="text-align: right;">(Nugroho)</p> <p>Keywords: Close Range Photogrammetry, Bundle Adjustment, RTK-GPS</p>	<p>DDC 910.285 Wiguna (Universitas Indonesia) <i>Spatial Models Development Potential Users Of Gas Fuel Through The Gas Pipeline In Districts Bekasi</i> <i>Geomatika November, Vol 22 No 2, p 91-98</i></p> <p><i>The development of gas pipelines infrastructure with spatial models aims to determine the distribution of pipeline pattern and find the optimal location of potential users of gas fuel in Districts Bekasi. This study is applies combination of quantitative methods such as nearest neighbor analysis, distance matrix, Huff models as well GIS as an analytical tool.</i></p> <p style="text-align: right;">(Wiguna)</p> <p>Keywords: Pipelines Gas, Gas Fuel Users, Spatial Models</p>
<p>DDC 516.24 Rosalina (Badan Informasi Geospasial) <i>Implementation of Height Difference Correction Model Study with Trigonometric Method of The Borobudur Temple Vertical monitoring Network Points Using Total Station</i> <i>Geomatika November, Vol 22 No 2, p 99-104</i></p> <p><i>The research aims to find out the impact of the height difference model corrections to the precision and accuracy of the height determination using Total Station at Borobudur vertical monitoring network. Data used in this research are leveling data</i></p> <p style="text-align: right;">(Rosalina)</p> <p>Keywords: vertical network, Borobudur, Correction Model of Height Difference, Accuracy of height</p>	<p>DDC 621.3678 Susantoro (LEMIGAS) <i>Processing Of Landsat 8 for Extracting Objects on The Sea Surface</i> <i>Geomatika November, Vol 22 No 2, p 105-114</i></p> <p><i>The objective of this research is processing Landsat 8 data for identifying object on the sea surface. Based on the results, object on the sea, such as ship that it docked at Tanjung Emas Harbour, Semarang, moving ship in North Wulan Delta, Demak and Bagan on Jepara sea can be identified using NDVI and Rationing band</i></p> <p style="text-align: right;">(Susantoro)</p> <p>Keywords: Landsat 8, Harbour, bagan, NDVI, Rationing Band, RGB</p>

DDC 526.1

Waljiyanto (Universitas Gadjah Mada)

*Geodetic Control Network Development in Waduk Sermo Monitoring*

*Geomatika November, Vol 22 No 2, p 115-120*

*Results of this research is to build seven new monitoring pillars as development monitoring network control in Sermo reservoir, as well as coordinate monitoring network control in Sermo reservoir processed in two scenarios, the first scenario, the point of the macro has a smallest standard deviation 0,004 m on the Z-axis at point MAK2, and the largest 0,026 on the Y-axis at the point MAK4.*

(Waljiyanto)

*Keywords: Geodetic control network development, Waduk Sermo monitoring, GPS/GNSS techniques*



BADAN INFORMASI  
GEOSPASIAL

e- ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

# GEOMATIKA

---

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 22 No. 2, November 2016

---

## PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Geomatika Volume 22 Nomor 2 November 2016 dapat kembali terbit. Dengan semangat untuk selalu memberikan yang terbaik, redaksi berharap agar setiap edisinya semakin berkualitas dengan memuat penelitian yang berguna dan *up to date* sesuai bidang Informasi Geospasial Dasar, melalui riset dan teknologi survei pemetaan dalam bidang-bidang ilmu kebumihan, penginderaan jauh, sistem informasi geografis, *global positioning system* (GPS), batas wilayah dan lain-lain

Geomatika edisi Volume 22 No. 2 November 2016 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari delapan makalah ilmiah yang berasal dari peneliti, mahasiswa serta akademisi dari berbagai instansi seperti ITB, UI, UGM, LAPAN, BIG dan University of Sheffield. Kajian yang dimuat pada edisi ini bertema Geodesi dan Geomatika dalam bidang lingkungan, perencanaan wilayah dan tata ruang serta pengembangan infrastruktur pesisir.

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

Cibinong, November 2016

Redaksi

# **ANOMALI SINYAL SEBELUM GEMPABUMI SIGNIFIKAN DI INDONESIA YANG TERDETEKSI OLEH SUPERCONDUCTING GRAVIMETER (Studi Kasus : Gempabumi $M_w \geq 6$ Selama Tahun 2011)**

*(Anomalous Signal Before Indonesia's Significant Earthquakes Detected by Superconducting Gravimeter. Case Studies : Earthquakes with  $M_w \geq 6$  during 2011)*

**Fajar Rachmadi Priyambada<sup>1</sup>, Mahmud Yusuf<sup>2</sup> dan Ervan Dany Variandy<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Balai Besar Meterologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III, Denpasar

<sup>2</sup>Bidang Instrumentasi dan Kalibrasi, BMKG

<sup>3</sup>Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika, BIG

E-mail: [fajarrachmadi13@gmail.com](mailto:fajarrachmadi13@gmail.com)

*Diterima (received): 14 September 2016; Direvisi (revised): 13 Oktober 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 1 November 2016*

## **ABSTRAK**

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki aktivitas kegempaan yang cukup tinggi. Pada studi ini dilakukan penelitian tentang perubahan nilai *gravity* selama gempabumi terjadi dengan menggunakan *Superconducting Gravimeter (SG)* yang terpasang di Badan Informasi Geospasial (BIG). Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari anomali yang terekam oleh SG sesaat sebelum gempabumi tersebut terjadi. Metode yang digunakan adalah analisis spektrogram dari data SG selama tahun 2011 didapatkan 17 gempabumi signifikan yang mempunyai  $M_w \geq 6$ . Hasil penelitian menunjukkan anomali sinyal beberapa jam sebelum kejadian gempabumi terjadi. Anomali tersebut terdapat pada frekuensi 0.03 Hz hingga 0.20 Hz, frekuensi ini berkorelasi dengan akumulasi stress dari nukleasi gempa utama. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa SG mampu merekam sinyal gempabumi dengan cukup baik. Tingkat sensitifitas dan kestabilan SG yang sangat baik, dapat dimanfaatkan sebagai pendukung dalam memonitor adanya gempabumi, dan prekursor gempabumi.

**Kata kunci:** *Superconducting Gravimeter*, gempabumi, prekursor

## **ABSTRACT**

*Indonesia is one of the most country which had high level of seismic activities. In this study we had research about gravity change's value during earthquakes by using Superconducting Gravimeter (SG) which installed on Badan Informasi Geospasial, Cibinong. Superconducting Gravimeter is the most sensitive instrument to measure gravity change's continuously in low frequencies. This research purposed to found anomaly that recorded by SG before an earthquake happened. During 2011, we found significantly earthquakes with  $M_w \geq 6$ . Using spectrogram analysis, we got signal anomaly few hours before earthquake happened. Frequencies of anomaly are between 0.03 Hz up to 0.20 Hz, this frequencies are correlated with stress accumulation of nucleation mainshock. We concluded Superconducting Gravimeter can be use for supporting research about earthquake early warning system. Sensitivity and stability are so good and can be able to support monitoring earthquakes, and earthquake's precursor.*

**Keywords :** *Superconducting Gravimeter, earthquake, precursor*

## **PENDAHULUAN**

Jika sebelumnya pengamatan *gravity* hanya untuk mengamati kegiatan pasang surut (Baldi *et al.*, 1995), untuk kegiatan geofisika eksplorasi (Kearey *et al.*, 2002), serta untuk pengamatan aktifitas resonansi mantel bumi . Saat ini, para ahli mulai memanfaatkan gravimeter untuk pengamatan gempabumi. Seperti pengamatan gempabumi menggunakan gPhone di kepulauan Kuril (Niebauer *et al.*, 2010) dan pengamatan gempabumi menggunakan *Superconducting Gravimeter (SG)*

(Rosat, 2004; Lan *et al.*, 2010; Shen *et al.*, 2011; Imanishi *et al.*, 2004) SG merupakan salah satu jenis gravimeter relatif yang mampu mengukur perubahan nilai *gravity* secara kontinyu per satu detik. SG juga memiliki sensitifitas hingga 1 nGal (Hinderer *et al.*, 2007). Sebagai Negara yang memiliki tingkat kerawanan gempabumi yang tinggi dan termasuk salah satu Negara dengan jumlah penduduk terbesar di Dunia, maka pengetahuan tentang gempabumi dirasa sangat perlu di Indonesia.

Dalam beberapa penelitian terakhir, SG berhasil merekam adanya anomali perubahan nilai *gravity* beberapa waktu sebelum terjadinya gempa bumi. Misalnya saja pada gempa bumi Wenchuan 2008 Mw 7.9 (Shen *et al.*, 2011), gempa bumi Tohoku 2011 Mw 9.0 (Zhang *et al.*, 2014; Xiang *et al.*, 2014), dan beberapa gempa bumi kecil lainnya (Lan *et al.*, 2011). Adanya anomali sebelum terjadinya gempa bumi ini bervariasi dari beberapa hari hingga beberapa jam sebelum terjadinya gempa bumi. Anomali ini muncul akibat dari gaya *stress* dan *strain* yang secara terus menerus bekerja pada batuan tersebut. Ketika gaya melewati batas kemampuannya (batas *brittle*) maka batuan tersebut akan mengalami pelepasan energi secara tiba-tiba. Inilah yang mengakibatkan gempa bumi tersebut terjadi (Ibrahim *et al.*, 2005).

Pada penelitian ini, kami bertujuan untuk mencari parameter gempa bumi dan juga anomali yang tercatat oleh SG sebelum gempa bumi terjadi. Penelitian ini menggunakan analisa spektrogram dari data SG yang terletak di Badan Informasi Geospasial, Cibinong, yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil rekaman seismometer milik BMKG di Citeko (CBI) dan di Dramaga (DBJI).

**METODE**

Adapun dalam penelitian yang akan dilaksanakan ini, peneliti menggunakan dua jenis data, yaitu :

1. **Data *gravity* dari SG** : data *gravity* dari alat *superconducting gravimeter (SG)* yang terpasang di Badan Informasi Geospasial (Cibinong). Stasiun SG ini berlokasi pada koordinat 6°29'25,08" LS dan 106°50'59,2" BT. Data yang digunakan adalah data *gravity* kontinyu per detik selama tahun 2011.
2. **Data Seismometer (LHZ)** : Dalam hal memvalidasi kebenaran bahwa anomali sinyal yang direkam oleh *superconducting gravimeter* merupakan sinyal yang diakibatkan oleh gempa bumi. Maka peneliti akan menggunakan data penunjang berupa data yang terekam oleh seismometer LHZ yang memiliki *sampling rate* sama dengan SG (1 Hz). Seismometer yang digunakan yaitu seismometer yang lokasinya paling dekat dengan stasiun SG Cibinong-Bogor yaitu Stasiun DBJI (Dramaga-Bogor) dan Stasiun CBI (Citeko-Bogor).

Data koordinat lokasi stasiun – stasiun yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Dari data yang diambil di <http://www.globalcmt.org>, diketahui terdapat 17 gempa bumi yang memiliki magnitudo momen (Mw) 6 ke atas dan juga berlokasi di Indonesia seperti yang disajikan pada **Tabel 2**. Dengan gempa bumi terjauh yaitu gempa bumi pada tanggal 26 Juni 2011 yang berasal dari Papua, dan

terdekat adalah gempa bumi pada tanggal 22 agustus 2011 yang bersumber di pesisir barat Lampung.

**Tabel 1.** Data lokasi stasiun SG dan seismometer yang digunakan.

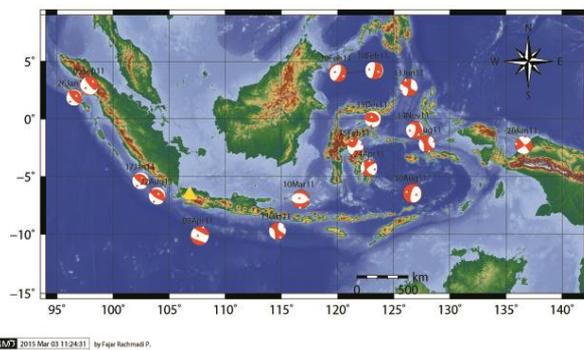
No	Nama	Bujur	Lintang
1	SG Cibinong	106.85 BT	6.49 LS
2	DBJI	106.75 BT	6.55 LS
3	CBI	106.94 BT	6.70 LS

**Tabel 2.** Daftar Gempabumi Signifikan di Indonesia selama Tahun 2011.

NO	TGL	OT (UTC)	LONG	LAT	H (KM)	MW
1	17/01	19:20:57	102.45	-5.37	35	6.0
2	26/01	15:42:29	96.52	1.87	23	6.0
3	10/02	14:39:27	123.28	4.22	518	6.5
4	10/02	14:41:58	122.91	4.14	521	6.5
5	15/02	13:33:53	121.57	-2.45	13	6.1
6	10/03	17:08:36	116,71	-6.95	517	6.6
7	03/04	20:06:40	107.72	-10.1	21	6.7
8	24/04	23:07:51	122.8	-4.27	15	6.1
9	13/06	14:31:22	126.35	2.74	82	6.4
10	26/06	12:16:38	136.61	-2.27	13	6.4
11	16/08	11:03:57	127.97	-2.17	28	6.0
12	22/08	20:12:20	103.93	-6.68	31	6.1
13	30/08	06:57:41	126.68	-6.47	469	6.9
14	05/09	17:55:11	97.86	2.88	95	6.7
15	13/10	03:16:30	114.65	-9.69	58	6.2
16	14/11	04:05:11	126,89	-0,95	15	6.4
17	13/12	07:52:11	123,14	0,01	164	6.1
		Z				

Sumber: <http://www.globalcmt.org>

Kemudian dari data tersebut kami petakan menggunakan *Generic Mapping Tool (GMT)* sehingga mendapatkan hasil peta seperti yang disajikan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Stasiun-stasiun yang digunakan serta Sebaran Gempabumi Signifikan Selama 2011.

Diagram langkah kerja penelitian ini disajikan pada **Gambar 2**. Dari **Gambar 2** tersebut dapat diuraikan langkah – langkah kerja dalam penelitian ini yaitu dimulai dengan pengambilan data seismik dan data SG. Dari kedua data tersebut kemudian dipisahkan menjadi dua jenis yaitu data SG dan data Seismometer.

Untuk data SG selanjutnya dilakukan koreksi Pasut dan koreksi alat. Koreksi Pasut atau Koreksi Pasang Surut dilakukan untuk menghilangkan

pengaruh pasang surut akibat gaya tarik bulan dan matahari (Octonovrillna *et al.*, 2010). Sedangkan koreksi alat dilakukan untuk mengembalikan titik base *gravity* sehingga didapatkan nilai 0, didapatkan dengan cara menggunakan nilai rata-rata pada saat kondisi tidak ada gangguan (Supriyadi, 2009).

nilai dalam *domain time-frequency*. Spektrogram didefinisikan dalam algorithma pada **Persamaan 3** (Hippenstiel, 2002):

$$SPx(k,m) = \left| \sum x(n) w(m-n) e^{-j \frac{2\pi}{N} kn} \right|^2 \dots\dots(3)$$

Dimana:

- $X$  : fungsi data
- $w$  : fungsi *window*
- $m$  : waktu yang diinginkan
- $n$  : nilai tengah *window*  
(lebar *window*/2)

(Hippenstiel, 2002).

Analisis menggunakan spektrogram telah dilakukan dalam beberapa penelitian berkaitan dengan ilmu geofisika, salah satunya adalah penelitian dari Lockwood dan Kanamori (2006) yang meneliti tentang *W-phase* ketika gempabumi yang terjadi di Aceh pada tahun 2004.

Hasil spektrogram kemudian dikoreksi dengan DST Index, untuk melihat apakah ada pengaruh badai magnet terhadap hasil perekaman. Keseluruhan hasil kemudian akan dilakukan perbandingan terhadap hasil rekaman seismometer terdekat (CBI dan DBJI) yang sebelumnya telah dilakukan konversi ke percepatan.

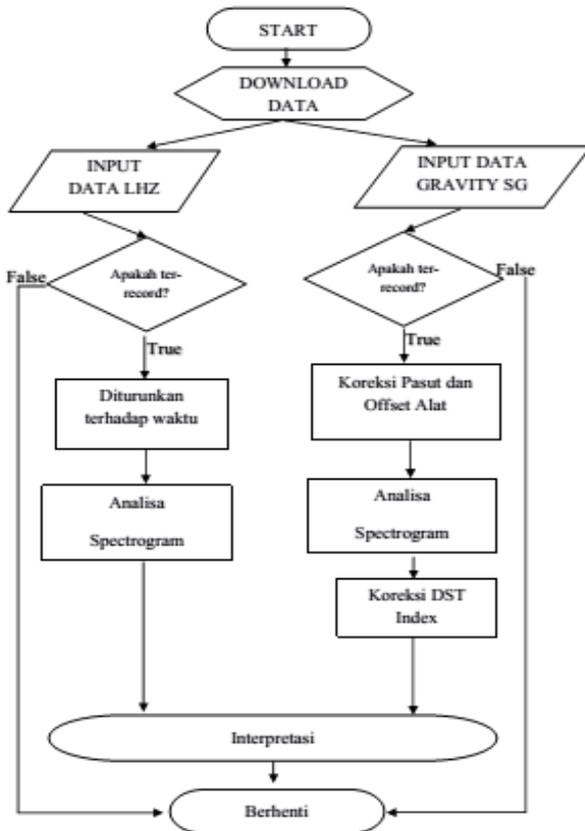
**HASIL PEMBAHASAN**

**Parameter Gempabumi**

Dari hasil pengolahan data SG didapatkan beberapa parameter berkaitan dengan kejadian-kejadian gempabumi. Parameter gempabumi yang berhasil didata adalah waktu tiba gangguan dan waktu berakhirnya (durasi), serta besarnya amplitude maks disajikan pada **Tabel 3**.

Dari keseluruhan gempabumi, nilai amplitudo maksimum 14560 nm/s<sup>2</sup> atau 1456 ugal, yaitu pada gempabumi Mw 6,7 pada tanggal 3 April 2011 yang berlokasi di selatan pulau Jawa. Sedangkan untuk amplitudo maksimum terendah yaitu 1264 nm/s<sup>2</sup> atau 126,4 ugal pada gempabumi yang berkekuatan Mw 6,1 pada tanggal 13 Desember 2011 dan berlokasi di wilayah Minahasa, Sulawesi Utara.

Selain itu juga ditemukan beberapa keunikan, misalnya saja, SG memberikan hasil perekaman sinyal terlebih dahulu daripada hasil rekaman seismometer. Seperti contoh, terjadi gempa pertama pada tanggal 17 Januari 2011 yang ber-episenter di Sumatra bagian Selatan pada pukul 19:20:57 UTC, SG yang berlokasi di Cibinong awal merekam pada pukul 19:21:51 UTC. Sedangkan pada hasil rekaman seismometer (*LHZ*) di stasiun CBI, awal merekam pada pukul 19:22:04 UTC, sedangkan DBJI tidak merekam. Hal ini juga terlihat dari gempabumi lainnya, misalnya gempabumi yang berlokasi di Laut Bali pada



**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian.

Sedangkan pada data seismometer (*LHZ*), karena data masih berupa *count*, maka perlu dilakukan pengolahan data hingga didapatkan nilai sebenarnya kecepatan (*velocity*) dengan cara mengalikan dengan sensitivitas alat. Dikarenakan data *gravity* adalah data dalam percepatan, maka dari itu data seismometer yang berupa kecepatan (*velocity*) maka dari itu perlu diturunkan menjadi percepatan.

$$Kecepatan = v = \frac{dx}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

diturunkan terhadap waktu sehingga menjadi

$$Percepatan = a = \frac{d^2x}{dt^2} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- $x$  = jarak tempuh
- $t$  = waktu

Dari data *gravity* dan data seismometer itulah baru kemudian diolah dengan menggunakan metode analisis spektrogram untuk mendapatkan

tanggal 10 Maret 2011 pukul 17:08:37 UTC. Sinyal SG menunjukkan waktu tiba gelombang gempabumi pada pukul 17:10:46 UTC, sedangkan seismometer di stasiun CBJI dan DBJI masing-masing menunjukkan waktu tiba pukul 17:10:51 UTC dan 17:10:49 UTC.

Pada gempabumi tanggal 3 april 2011 yang berlokasi di selatan pulau jawa, waktu tiba gelombang P tampak berdekatan (selisihnya tidak terlalu jauh), dari SG tercatat gelombang P tiba pada pukul 20:07:24 UTC , sedangkan dari CBJI dan DBJI masing – masing gelombang P tiba pukul 20:07:27 UTC dan 20:07:26 UTC. Ini mengindikasikan pada hasil rekaman SG, gelombang P tetap terekam dengan baik meski mengalami atenuasi. Berbeda dengan hasil rekaman seismometer, atenuasi membuat waktu

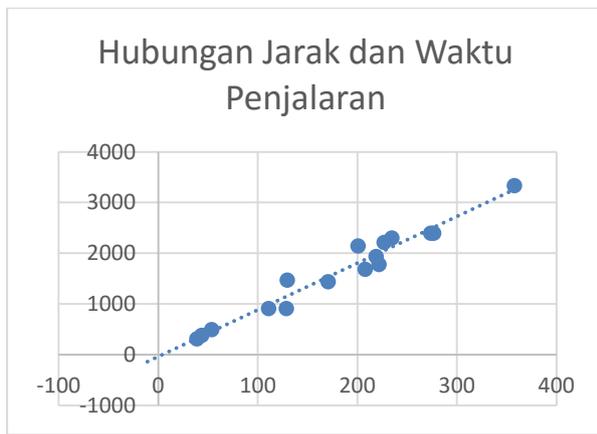
tiba gelombang P juga lebih lambat daripada yang terekam SG. Semakin jauh jaraknya, semakin besar pula selisih waktu tiba gelombang P antara hasil rekaman SG dengan hasil rekaman seismometer.

Hampir keseluruhan hasil perekaman menunjukkan bahwa *Superconducting Gravimeter (SG)* terlebih dahulu merekam waktu tiba gempabumi dibandingkan dengan rekaman seismometer (*LHZ*) yang lokasinya berdekatan dengan SG di Cibinong.

Dengan membandingkan data SG ketika terjadi gempabumi selama tahun 2011, didapatkan suatu hubungan antara jarak dan waktu penjalaran (dalam hal ini diasumsikan waktu penjalaran adalah selisih waktu antara waktu tiba dengan *origin time*). Sehingga didapatkan hasil seperti grafik linear yang disajikan pada **Gambar 3**.

**Tabel 3.** Parameter Gempabumi yang Terekam oleh SG dan Seismometer (CBJI dan DBJI).

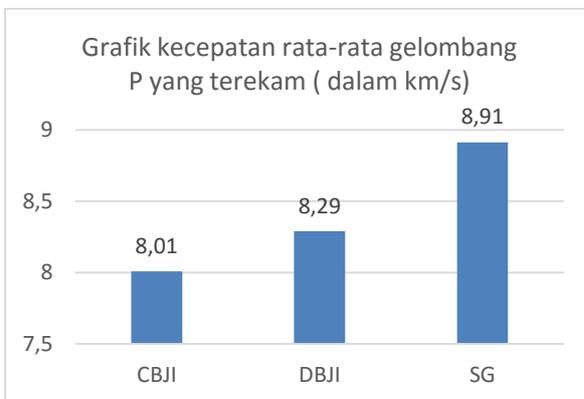
No	Daftar Even		Nama Stasiun	jarak epis - sta (km)	Waktu Tiba	Waktu Berakhir	Parameter		Amp Maks	Keterangan	
	TGL	OT (UTC)					Durasi	WT-OT			
1	17/01	19.20.57	SG-Cibinong	493,2	19.21.51	21.32.32	02.10.41	00.00.54	2745 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	509,3	19.22.04	19.52.40	00.30.36	00.01.07	561 nm/s <sup>2</sup>	-	
			DBJI	484,92	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
2	26/01	15.42.30	SG-Cibinong	1469,45	15.44.40	18.30.29	02.45.49	00.02.10	6244 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	1488,97	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
			DBJI	1463,3	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
3	10/02	14.39.28	SG-Cibinong	2146,2	14.43.14	-	-	-	-	-	
			CBJI	2152,9	-	-	-	-	-	-	Bertumpuk dengan gempa selanjutnya
			DBJI	2161,2	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
4	10/02	14.41.59	SG-Cibinong	2146,06	14.45.20	18.08.30	03.23.10	00.03.21	6004 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	2149,86	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
			DBJI	2160,2	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
5	15/02	13.33.53	SG-Cibinong	1682,82	13.37.21	15.26.02	01.48.41	00.03.28	4810 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	1679,47	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
			DBJI	1695,24	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
6	10/03	17.08.37	SG-Cibinong	911,06	17.10.46	19.18.05	02.07.19	00.02.09	3769 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	894,53	17.10.51	17.32.14	00.21.23	00.02.14	141 nm/s <sup>2</sup>	-	
			DBJI	920,8	17.10.49	17.34.14	00.23.25	00.02.12	51.8 nm/s <sup>2</sup>	-	
7	03/04	20.06.40	SG-Cibinong	380,71	20.07.24	22.56.18	02.48.54	00.00.44	14560 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	356,5	20.07.27	21.27.23	01.19.56	00.00.47	1865 nm/s <sup>2</sup>	-	
			DBJI	380,66	20.07.26	21.32.15	01.24.49	00.00.46	417 nm/s <sup>2</sup>	-	
8	24/04	23.07.51	SG-Cibinong	1778,14	23.11.33	00.42.45	01.31.12	00.03.42	4086 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	1771,31	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
			DBJI	1790,24	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
9	13/06	14.31.23	SG-Cibinong	2396,2	14.35.57	16.28.48	01.52.51	00.04.34	5854 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	2397,09	14.35.56	14.58.51	00.22.55	00.04.33	73 nm/s <sup>2</sup>	-	
			DBJI	2410,68	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
10	26/06	12.16.39	SG-Cibinong	3334,56	12.22.37	14.03.12	01.40.35	00.05.58	5332 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	3328,8	12.22.53	12.45.54	00.23.01	00.06.14	13 nm/s <sup>2</sup>	-	
			DBJI	3346,55	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
11	16/08	11.03.58	SG-Cibinong	2394,78	11.08.35	11.58.31	00.49.56	00.04.37	1765 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	2390,73	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
			DBJI	2406,47	11.08.43	11.27.10	00.18.27	00.04.45	6.6 nm/s <sup>2</sup>	-	
12	22/08	20.12.21	SG-Cibinong	310,7	20.13.00	22.26.23	02.13.23	00.00.39	5622 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	321,84	-	-	-	-	-	-	Tidak Terekam
			DBJI	299,53	20.12.59	20.27.51	00.14.52	00.00.38	222.6 nm/s <sup>2</sup>	-	
13	30/08	06.57.42	SG-Cibinong	2213,23	07.01.29	09.10.41	02.09.12	00.03.47	6793 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	2203,68	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
			DBJI	2224,21	07.01.27	07.57.32	00.56.05	00.03.45	135.5 nm/s <sup>2</sup>	-	
14	05/09	17.55.11	SG-Cibinong	1439,87	17.58.02	20.42.09	02.44.07	00.02.51	8465 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	1462,86	17.58.20	18.49.41	00.51.21	00.03.09	57.2 nm/s <sup>2</sup>	-	
			DBJI	1437,01	17.58.05	18.21.04	00.22.59	00.02.54	48.8 nm/s <sup>2</sup>	-	
15	13/10	03.16.30	SG-Cibinong	911,8	03.18.21	04.58.28	01.40.07	00.01.51	4921 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	894,94	-	-	-	-	-	-	Tidak terekam
			DBJI	919,6	03.18.22	03.49.41	00.31.19	00.01.52	44.8 nm/s <sup>2</sup>	-	
16	14/11	04.05.11	SG-Cibinong	2303,55	04.09.06	05.42.30	01.33.24	00.03.55	5498 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	2300,82	04.09.50	05.01.09	00.51.19	00.04.39	34.8 nm/s <sup>2</sup>	-	
			DBJI	2316,19	04.09.53	04.58.50	00.48.57	00.04.42	25.9 nm/s <sup>2</sup>	-	
17	13/12	07.52.12	SG-Cibinong	1935,51	07.55.51	09.02.20	01.06.29	00.03.39	1264 nm/s <sup>2</sup>	-	
			CBJI	1935,13	07.55.59	08.26.03	00.30.04	00.03.47	21.08 nm/s <sup>2</sup>	-	
			DBJI	1947,77	07.56.02	08.25.38	00.29.36	00.03.50	13.08 nm/s <sup>2</sup>	-	



**Gambar 3.** Grafik Hubungan Jarak dan Waktu Penjalaran antara Gempabumi yang Terjadi Terhadap Stasiun SG.

Grafik hubungan jarak dan waktu penjalaran menunjukkan hubungan yang linear. Dengan membagi jarak dibagi dengan waktu penjalaran, didapatkan kecepatan rata-rata sebesar 8,9 km/s. Berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya sebesar ~4 km/s (Zhang, et al., 2014). Perbedaan tersebut dapat diakibatkan oleh perbedaan medium yang dilalui oleh gelombang P tersebut.

Selain pada sensor SG, perhitungan kecepatan rata-rata dengan menggunakan jarak dibagi dengan waktu penjalaran, maka didapatkan grafik kecepatan rata-rata seperti pada **Gambar 4** berikut.



**Gambar 4.** Grafik Kecepatan Rata-Rata dari Gelombang P yang Pertama Kali Terekam oleh sensor SG Cibinong dan Seismometer (CBJI dan DBJI).

Dengan ditemukannya hal ini, *Superconducting Gravimeter* dapat dimanfaatkan sebagai sensor pendukung seismometer. Ditambah lagi, SG memiliki keuntungan yaitu dapat merekam sinyal gempabumi terlebih dahulu dibandingkan dengan seismometer khususnya pada gempabumi yang lokasinya jauh dari sensor seperti yang terlihat pada **Tabel 3** diatas.

Dari aspek durasi usikan akibat gempabumi dapat dilihat bahwa seluruh hasil rekaman SG memiliki durasi yang lebih panjang dibandingkan dengan seismometer. Misalnya saja, pada

gempabumi yang terjadi tanggal 17 Januari 2011 dan berepisenter di wilayah perairan Sumatra bagian selatan. Pada hasil rekaman SG menunjukkan durasi 2 jam 10 menit 41 detik, sedangkan pada hasil rekaman seismometer (*LHZ*) di stasiun CBJI menunjukkan durasi usikan hanya 30 menit 36 detik. Durasi menggambarkan lamanya waktu yang dibutuhkan dari awal terjadinya gempabumi hingga patahan itu kembali pada keadaan stabil. SG merekam dengan durasi yang lebih panjang dikarenakan SG memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi daripada seismometer (*LHZ*). Berbeda dengan seismometer yang masih menggunakan pegas dalam sensornya, SG sendiri menggunakan bandul yang menggantung di dalam ruangan vakum yang isinya adalah Helium cair. Hal inilah yang menyebabkan SG sangat sensitif terhadap usikan.

### Frekuensi gempabumi yang terekam

Dengan memanfaatkan metode analisa spektrogram pada *software* pemrograman MATLAB 2013b didapatkan besaran nilai frekuensi dari sinyal gempabumi yang terekam.

Pada **Tabel 4**, besaran nilai frekuensi untuk hasil rekaman SG berkisar antara 0,01 Hz hingga 0,49 Hz. Dengan menggunakan metode yang sama yaitu analisa *spectrogram*, didapatkan nilai frekuensi yang bervariasi antara 0,01 Hz sampai dengan 0,48 Hz.

Tidak ada hasil perekaman frekuensi pada gempabumi nomor 3 tersebut dikarenakan gempabumi no 3 selisih waktunya berdekatan dengan gempabumi no 3 sehingga tidak bisa diamati hasil frekuensi gempabumi yang terekam secara keseluruhan.

Berbeda halnya dengan SG, nilai frekuensi yang ditampilkan berikut adalah nilai frekuensi setelah dilakukan penurunan dari hasil rekaman seismometer (*LHZ*) yang sebenarnya. Hal ini dilakukan untuk menyamakan satuan dari seismometer yang berupa kecepatan menjadi sama dengan satuan dari hasil perekaman SG yaitu percepatan (Shen, dkk 2011).

Setiap gempabumi memiliki rentang nilai frekuensi yang berbeda, selain itu setiap stasiun juga memiliki rentang frekuensi yang berbeda pula. Nilai frekuensi bergantung pada jarak dan besarnya magnitude gempabumi. Seperti yang terlihat pada **Tabel 4** tersebut.

Frekuensi yang paling tinggi terjadi ketika gempabumi di selatan pulau Jawa pada tanggal 3 April 2011, karena selain akibat jaraknya yang tidak terlalu jauh dari sensor SG dan stasiun seismometer CBJI dan DBJI, kekuatan yang diakibatkan gempabumi tersebut cukup besar yaitu Mw 6,7.

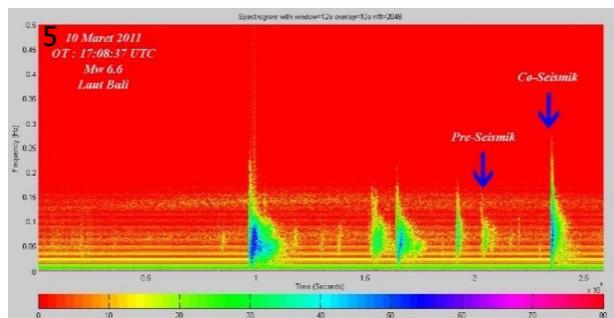
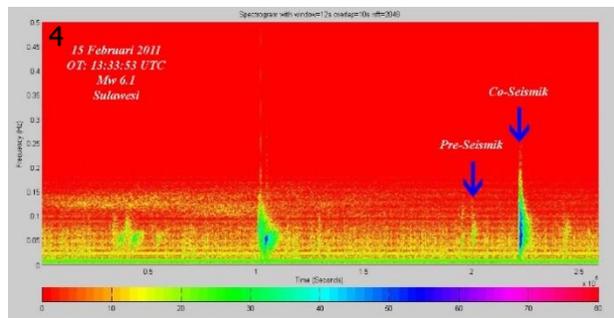
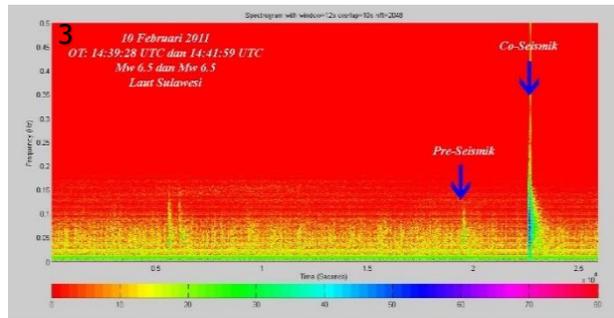
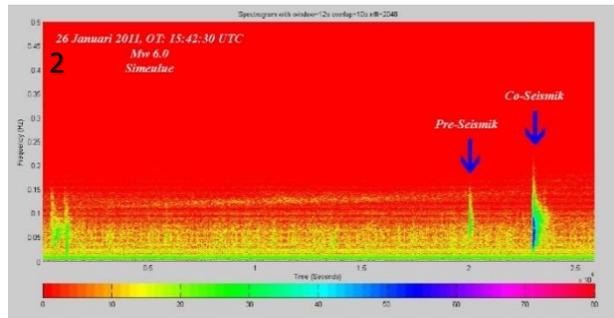
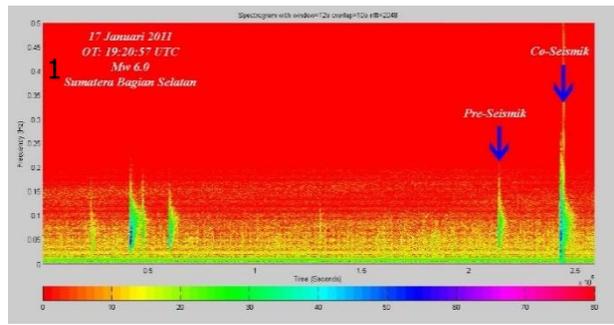
**Tabel 1.** Hasil analisa frekuensi dari sensor SG dan Seismometer (DBJI dan CBJI).

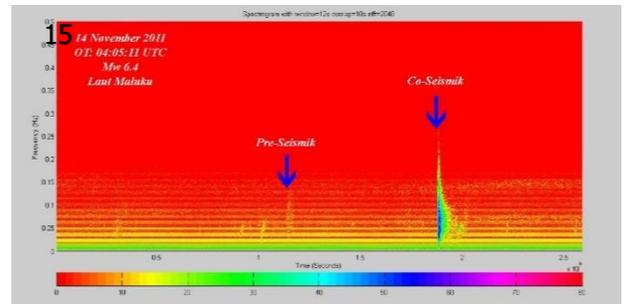
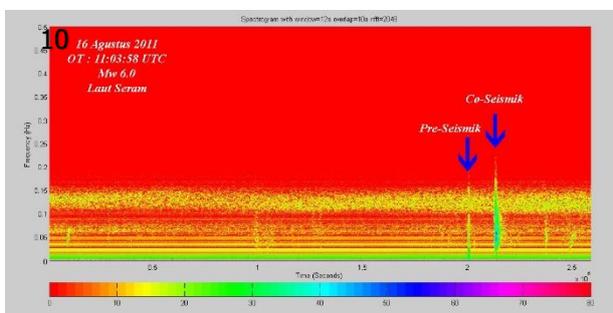
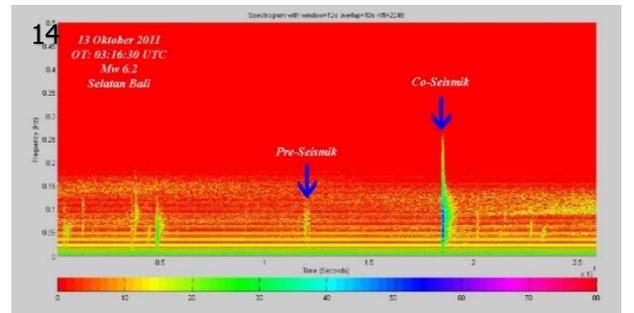
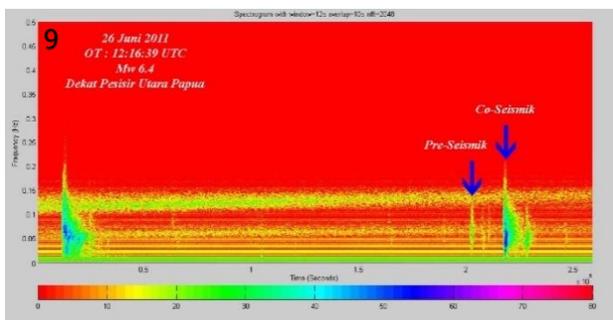
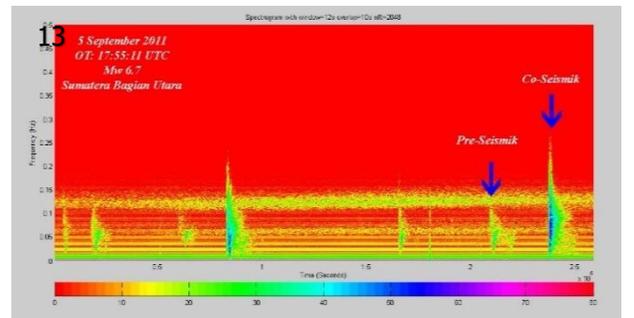
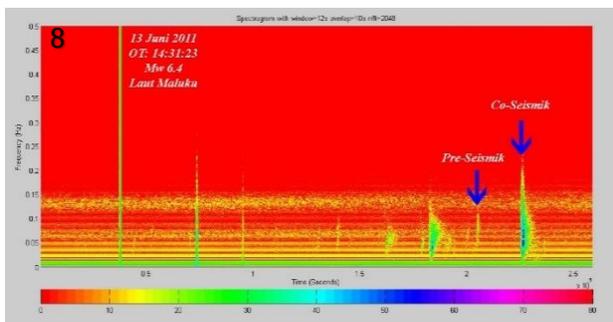
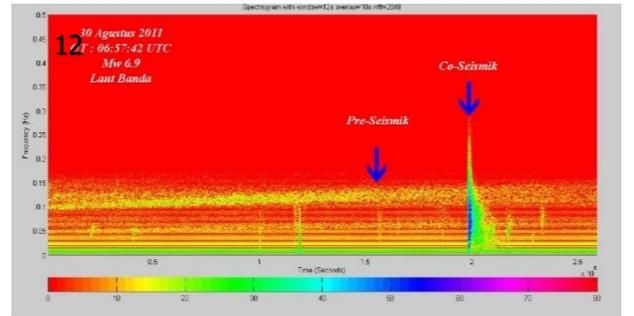
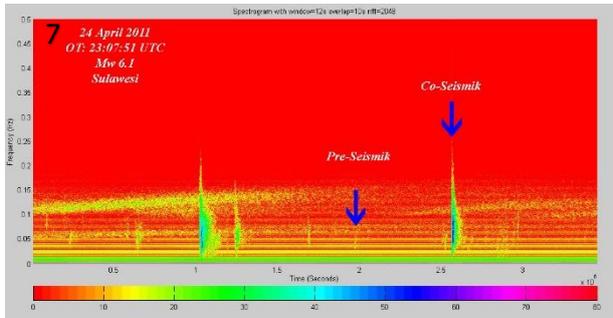
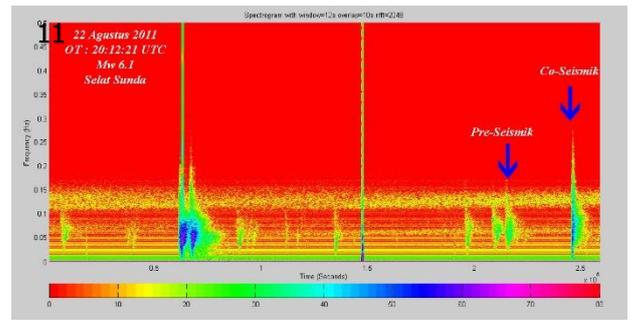
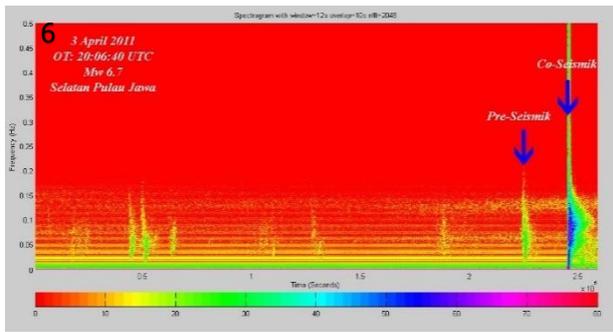
Gempa ke	Nama Stasiun	Frekuensi (Hz)		Keterangan
		Min	Max	
1	SG	0,01	0,26	-
	CBJI	0,02	0,47	-
	DBJI	-	-	Tidak terekam
2	SG	0,02	0,21	-
	CBJI	-	-	Tidak terekam
	DBJI	-	-	Tidak terekam
3	SG	-	-	Bertumpuk dengan gempa selanjutnya
	CBJI	-	-	Tidak terekam
	DBJI	-	-	Tidak terekam
4	SG	0,01	0,28	-
	CBJI	-	-	Tidak terekam
	DBJI	-	-	Tidak terekam
5	SG	0,01	0,27	-
	CBJI	-	-	Tidak terekam
	DBJI	-	-	Tidak terekam
6	SG	0,01	0,27	-
	CBJI	0,03	0,46	-
	DBJI	0,05	0,44	-
7	SG	0,01	0,49	-
	CBJI	0,01	0,47	-
	DBJI	0,01	0,48	-
8	SG	0,01	0,29	-
	CBJI	-	-	Tidak terekam
	DBJI	-	-	Tidak terekam
9	SG	0,01	0,26	-
	CBJI	0,03	0,46	-
	DBJI	-	-	Tidak terekam
10	SG	0,01	0,22	-
	CBJI	0,03	0,41	-
	DBJI	-	-	Tidak terekam
11	SG	0,01	0,24	-
	CBJI	-	-	Tidak terekam
	DBJI	0,04	0,41	-
12	SG	0,01	0,27	-
	CBJI	-	-	Tidak Terekam
	DBJI	0,03	0,43	-
13	SG	0,01	0,29	-
	CBJI	-	-	Tidak terekam
	DBJI	0,03	0,41	-
14	SG	0,01	0,27	-
	CBJI	0,03	0,41	-
	DBJI	0,03	0,41	-
15	SG	0,01	0,27	-
	CBJI	-	-	Tidak terekam
	DBJI	0,04	0,41	-
16	SG	0,01	0,25	-
	CBJI	0,03	0,37	-
	DBJI	0,03	0,39	-
17	SG	0,01	0,29	-
	CBJI	0,05	0,41	-
	DBJI	0,05	0,42	-

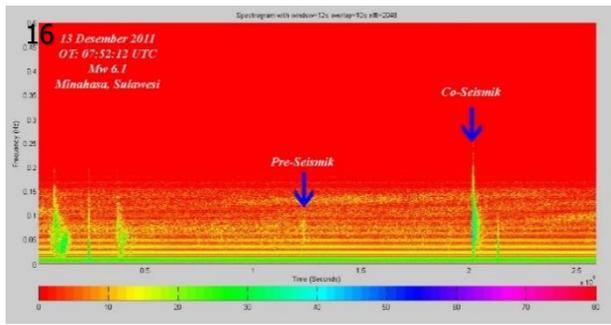
Akan tetapi, jika dicermati, banyak data rekaman seismometer (*LHZ*) baik dari stasiun CBJI maupun stasiun DBJI yang mengalami kehilangan data. Hal ini bisa diakibatkan oleh adanya gangguan komunikasi atau gangguan pada alat itu sendiri sehingga terjadi hilangnya data.

**Anomali sebelum gempabumi**

Ketika melakukan analisa spektrogram, ditemukan adanya anomali yang muncul pada keseluruhan even gempabumi. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**.







**Gambar 1.** (1-16) Hasil Analisa Spektrogram dari Keseluruhan Gempabumi yang terjadi.

Untuk menghilangkan keraguan, apakah nilai tersebut benar akibat adanya gempabumi atau akibat adanya pengaruh badai magnet, maka dilakukan koreksi DST Index. Jika anomali magnetnya lebih dari 50 nT, maka itu bisa dikatakan sebagai pengaruh magnet bumi (Gonzales *et al.*, 1994). Dengan menggunakan data dari *WDC for Geomagnetism* ([http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_final/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/index.html)), tidak ditemukan adanya nilai anomali magnetik yang nilainya lebih besar dari 50 nT atau dengan kata lain tidak ada aktifitas badai magnet yang waktunya bertepatan dengan anomali yang tampak.

Pada **Gambar 5-2** terjadi 2 gempabumi yang terjadi dalam waktu dekat (gempabumi ke 2 dan gempa ke 3), sehingga gempabumi ke-3 tidak terlalu tampak pada gambar.

Pada keseluruhan gempabumi yang terjadi menunjukkan adanya variasi rentang waktu dari waktu tibanya anomali sebelum terjadinya gempabumi seperti yang disajikan pada **Tabel 5**.

Selisih waktu yang terpanjang ditunjukkan oleh gempabumi yang terjadi pada tanggal 13 Desember 2011 yaitu 23 jam 10 menit 18 detik sebelum terjadinya gempabumi. Sedangkan selisih waktu terpendek ditunjukkan oleh gempabumi pada tanggal 16 Agustus 2011 yaitu dengan selisih waktu 3 jam 30 menit 30 detik sebelum terjadinya gempabumi.

Jika dikaitkan dengan teori *elastic rebound*, hal ini dapat muncul dikarenakan batuan yang mengalami deformasi tidaklah terjadi serta merta secara tiba-tiba. Terdapat proses tekanan dan regangan pada batuan tersebut, dan apabila telah mencapai batas elastisitasnya, batuan tersebut akan pecah (Ibrahim, *et al.*, 2005).

Lapisan kerak bumi memiliki struktur batuan yang sangat kompleks, sehingga tidak akan sama jenis batuan di suatu tempat dengan tempat lainnya. Jika batuan-batuan tersebut tidak memiliki kapasitas dan kemampuan untuk menahan tegangan atau regangan yang sama, maka batuan yang lebih rendah tingkat rigiditasnya akan mengalami pecah terlebih dahulu. Sedangkan untuk batuan yang nilai rigiditasnya lebih tinggi,

akan mengalami akumulasi energi. Kemudian jika tegangan dan regangan pada batuan ini sudah berada melewati batas elastisitas, maka akan terjadi pelepasan energi yang akan berdampak pada besarnya kekuatan getaran gempabumi (Bormann, 2002).

**Tabel 2.** Waktu munculnya anomali pre-seismik dari keseluruhan gempabumi.

NO	WAKTU TIBA ANOMALI (UTC)		SELISIH
	PRE-SEISMIC	CO-SEISMIC	
1	11:22:08	19:21:51	7:59:43
2	7:33:55	15:44:40	8:10:45
3	6:07:01	14:43:14	8:36:13
4	-	14:45:20	-
5	7:29:21	13:37:21	6:08:00
6	8:17:49	17:10:46	8:52:57
7	14:17:40	20:07:24	5:49:44
8	6:51:18	23:11:33	16:20:15
9	8:47:44	14:35:57	5:48:13
10	8:05:04	12:22:37	4:17:33
11	7:38:05	11:08:35	3:30:30
12	11:32:48	20:13:00	8:40:12
13	0:08:45	7:01:29	6:52:44
14	10:03:52	17:58:02	7:54:10
15	9:03:02	3:18:21	18:15:19
16	6:51:18	4:09:06	21:17:48
17	8:45:33	7:55:51	23:10:18

Seperti halnya pada penelitian sebelumnya (Zhang *et al.*, 2014) yang meneliti tentang anomali yang terekam dengan menggunakan SG. Mereka berhasil menemukan adanya satu anomali sebelum terjadinya gempabumi Tohoku pada tahun 2011 yang kekuatan Mw 9.0. Anomali tersebut terekam 4-5 jam sebelum terjadinya gempabumi tersebut di hampir seluruh jaringan SG di berbagai penjuru dunia. Sama seperti penelitian sebelumnya (Xiang, *et al.*, 2014), terdapat peningkatan energi pada frekuensi tertentu, frekuensi tersebut berada diantara 0,03-0,20 Hz. Dalam frekuensi ini, sinyal anomali berasosiasi dengan akumulasi *stress* dari nukleasi pada gempabumi utama.

**KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian, bisa diambil kesimpulan bahwa *Superconducting Gravimeter* (SG) yang terdapat di BIG – Cibinong, berhasil merekam gangguan yang diakibatkan oleh adanya gempabumi. Pada tahun 2011, di Indonesia terjadi 17 gempabumi yang bermagnitudo momen (Mw) ≥ 6.0. Besaran amplitudo maksimum pada hasil

rekaman SG bergantung pada jarak dan besaran magnitudo. Semakin besar nilai magnitudo dan semakin kecil jaraknya, maka nilai amplitudo maksimum semakin besar. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai magnitudo dan semakin jauh jaraknya, maka nilai amplitudonya pun kecil. Dari keseluruhan gempabumi, nilai amplitudo maksimum  $14560 \text{ nm/s}^2$  atau  $1456 \text{ ug}$ , yaitu pada gempabumi Mw 6,7 pada tanggal 3 April 2011 yang berlokasi di selatan pulau Jawa. Sedangkan untuk amplitudo maksimum terendah yaitu  $1264 \text{ nm/s}^2$  atau  $126,4 \text{ ug}$  pada gempabumi yang berkekuatan Mw 6,1 pada tanggal 13 Desember 2011 dan berlokasi di wilayah Minahasa, Sulawesi Utara.

Pada hasil rekaman tersebut, SG memiliki durasi yang lebih panjang dibandingkan dengan hasil rekaman seismometer (LHZ). Durasi yang terpanjang dari rekaman SG yaitu 2 jam 48 menit 54 detik pada gempabumi 3 April 2011 di selatan pulau Jawa yang berkekuatan Mw 6.7. Sedangkan untuk hasil rekaman seismometer (LHZ) yang telah diturunkan terhadap waktu, durasi terpanjang yang terekam yaitu 1 jam 24 menit 49 detik pada gempabumi tanggal 3 April 2011.

Setelah dilakukan analisa spektrogram didapatkan perbedaan frekuensi yang terekam dari SG dan seismometer (LHZ). Frekuensi yang dihasilkan dari SG ketika gempabumi terjadi, memiliki rentang lebih pendek jika dibandingkan dengan frekuensi yang dihasilkan dari rekaman seismometer (LHZ) setelah diturunkan terhadap waktu. Selain itu, dalam banyak kasus, waktu tiba gelombang P yang dihasilkan dari rekaman SG cenderung lebih awal dibandingkan dengan waktu tiba gelombang P dari rekaman seismometer (LHZ). Hasil analisa *spectrogram* dari SG juga ditemukan anomali beberapa jam sebelum terjadinya gempabumi. Anomali ini memiliki kesamaan frekuensi yaitu antara  $0,03 \text{ Hz} - 0,20 \text{ Hz}$  yang berasosiasi dengan akumulasi *stress* dari nukleasi pada gempabumi utama (Zhang *et al.*, 2014).

Dari beberapa hal tersebut, kami berkesimpulan bahwa SG mampu merekam sinyal gempabumi dengan cukup baik. Tingkat sensitifitas dan kestabilan SG yang sangat baik, dapat dimanfaatkan sebagai pendukung dalam memonitor adanya gempabumi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Dr. Andi Eka Sakya, M.Eng selaku Kepala Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang senantiasa memberi motivasi kepada penulis dan juga kepada Dr. Suko Prayitno Adi, M.Si selaku Ketua Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang telah mendukung penulis selama masa pendidikan di STMKG. Tidak lupa pula kami sampaikan ucapan terimakasih

kepada Kepala Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika, Badan Informasi Geospasial (BIG) karena telah mengizinkan penulis menggunakan data yang tersedia di BIG.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baldi, P., Casula, G., Focardi, S., Palmonari, F. (1995). Tydal analisis of data recorded by a superconducting gravimeter. *Annali di Geofisica*, Vol XXXVIII.
- Bormann, P. (2002). *New Manual of Seismological Practice*. GeoForschungZentrum Postdam. Jerman.
- Gonzales, W. D., Joselyn, J.A., Kamide, Y., Krochi, H.W., Rostoker, G., Tsurutani, B.T., Vasyliunas, V.M. (1994). What is a Geomagnetic Storm?. *J. Geophys. Res.* 99 (A4), 5771-5792.
- Hinderer, J., Crossley, D., Warburton, R.J. (2007). *Gravimetric Methods-Superconducting Gravity Meters*. Elsevier B.V.
- Hippenstiel, R.D. (2002). *Detection Theory : Application and Digital Signal Processing*. CLC Press. Florida.
- Ibrahim, G., Subardjo. (2005). *Pengetahuan Seismologi*. Badan Meteorologi dan Geofisika Jakarta.
- Imanishi, Y., Sato, T., Higashi, T., Sun, W. and Okubo, S. (2004). A Network of Superconducting Gravimeters Detects Submicrorgal Coseismic Gravity Changes, *Science*, 306, 476-478.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Science Ltd.
- Lan, S.C., Yu, T.T., Hwang, C., Kao, R. (2011). An Analysis of Mechanical Constraints when Using Superconducting Gravimeters for Far-Field PreSeismic Anomaly Detection. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 22, No. 3, 271-282.
- Lockwood, O.G., Kanamori, H. (2006). Wavelet analysis of the Seismograms of the 2004 Sumatera-Andaman earthquake and its application to tsunami early warning. *Electronic Journal of the earth sciences*, Vol. 7, No. 9. AGU and Geochemical Society.
- Niebauer, T.N., Hare, J.L., Macqueen, J., Aliod, D., Francis, O. (2010). Earthquake Monitoring with Gravity Meters: Case studies from the November 2006 and January 2007 Kuril Islands Earthquakes. *An article on SEG/EAGE 2010 Summer Research Workshop*. Utah.
- Octonovrilna, L., Pudja, I.P. (2009). Analisa perbandingan anomaly gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi Kasus Jakarta : 2006-2007). *Jurnal Ilmiah, BMKG*.
- Priyambada, F.R. (2014). *Pengaruh Gempabumi Terhadap Data Gravity Dari Hasil Pengukuran Superconducting Gravimeter*. Laporan Kerja

- Diploma III Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Rosat, S. (2004). *Variations temporelles de la gravité en relation avec la dynamique interne de la Terre - Apport des gravimètres supraconducteurs*. Thèse de doctorat de l'Université Strasbourg I.
- Shen, W., Wang, D., Hwang, C. (2011). Anomalous Signal Prior to Wenchuan Earthquake Detected by Superconducting Gravimeter and Broadband Seismometer Records. *Journal of Earth Science*, Vol. 22, no. 5, p. 640-651
- Supriyadi. (2009). Studi Gaya Berat Relatif di Semarang. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 5. Universitas Negeri Semarang.
- Xiang, G., Tianxing, J., Wenqiang, Z., Weihang, H., Zhiqiang, C., Wenbin, S. (2014). Anomalous Signal Before 2011 Tohoku-Oki Mw 9.1 Earthquake, Detected by Superconducting Gravimeter And Broadband Seismometers. *Geodesy and Geodynamics*. Vol 5, Page 24-31. Doi: 10.3724/SP.J.1246.2014.02024.
- Zhang, K., Ma, J. (2014). Superconducting Gravimeters Detect *Gravity* Fluctuations Induced by Mw5.7 Earthquake Along South Pacific Rise Few Hours Before the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 25, No. 4, 471-481.

# ANALISIS BATIMETRI DAN PASANG SURUT DI MUARA SUNGAI KAMPAR: PEMBANGKIT PENJALARAN GELOMBANG PASANG SURUT *UNDULAR BORE* (BONO)

(*Bathymetry and Tidal Analysis for Kampar Big River Estuary: Generate of Tidal Wave Propagation Undular Bore (Bono)*)

Guntur Adhi Rahmawan<sup>1</sup>, Ulung Jantama Wisna<sup>1</sup>, Semeidi Husrin<sup>2</sup> and Ilham<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Loka Penelitian Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, Balitbang KP, KKP

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Sumber Daya Laut dan Pesisir, Balitbang KP, KKP

Jl. Raya Padang-Painan KM. 16, Teluk Bungus Padang 25245, Indonesia

E-mail: [guntura06@gmail.com](mailto:guntura06@gmail.com)

Diterima (received): 13 Juli 2016; Direvisi (revised): 15 Agustus 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 20 Oktober 2016

## ABSTRAK

*Tidal bore* Bono merupakan fenomena yang unik dan hanya terdapat di beberapa negara. Keberadaan Bono bersifat merusak dan berpotensi menyebabkan abrasi di wilayah muara Sungai Kampar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gaya pembangkit Bono dan proses penjarannya berdasarkan morfologi dasar serta sempadan Sungai Kampar. Metode yang digunakan adalah metode *purposive kuantitatif*. Pengukuran batimetri dilakukan dengan menggunakan alat *Echotrack CVM Teledyne Odom Hydrographic Single Beam* dari hulu hingga muara Sungai Kampar, sedangkan pengukuran pasang surut menggunakan alat *Tide Master Valeport Automatic Tide Gauge* yang dipasang di Pulau Mendol selama 30 piamtan. Kedalaman Sungai Kampar bagian hulu berkisar 0,2-3 m, di sisi sebelah timur ke arah hilir mempunyai kedalaman yang bervariasi dengan kedalaman maksimal 12 meter. Di sisi sebelah selatan Pulau Muda mempunyai kedalaman 0,3–1,5 m. Hasil analisis pasang surut menunjukkan bahwa tipe pasut di muara kampar adalah campuran condong harian ganda dengan nilai  $F=0,43$  dan *tidal range* harian maksimal 4,2 m. Fluktuasi pasang surut, *tidal range*, serta kedalaman sungai berpengaruh terhadap pembangkitan *tidal bore* Bono dan penjarannya di sepanjang Sungai Kampar. Selain itu, hal tersebut juga dipengaruhi oleh kondisi morfologi dan topografi dasar perairan. Gelombang Bono paling tinggi terjadi pada saat malam hari di Pulau Muda pada kedalaman 1,7 m dengan ketinggian Bono 4,3 m dan berangsur menghilang hingga ke Tanjung Mentangor.

**Kata kunci:** *admiralty, analisis spasial, batimetri, bono, pasang surut*

## ABSTRACT

*Bono tidal bore is a unique phenomenon that only occurred in some countries. The existence of Bono is destructive and potentially cause abrasion in the Kampar River estuary. The purpose of this study is to identify Bono force and propagation process based on basic morphology of Kampar riverside. The method used in this research is purposive quantitative method. Bathymetry measurement were performed using Echotrack CVM Teledyne Odom Hydrographic Single Beam from the upstream to the mouth of Kampar River, whereas tidal measurement using Tide Master Valeport Automatic Tide Gauge mounted on Mendol Island for 30 days. Kampar River depth ranges from 0.2-3 m in the upstream, on the east side to downstream has a varies depth with a maximum depth of 12 meters. South side of Muda Island has depth ranges from 0.3-1.5 m. Tidal analysis showed that tidal type in the estuary kampar is mixed semidiurnal, with value of  $F = 0.43$  and maximum daily tidal ranges 4.2 m. Tidal fluctuations, tidal range, and river's depth affect the generation of tidal bore Bono and it's propagation along the Kampar River. Furthermore, it's also influenced by morphology and topography of the riverbed. The highest wave of Bono occurs in the night at Pulau Muda with 1.7 m depth, 4.3 m wave height, and gradually disappear in Tanjung Mentangor.*

**Keywords:** *admiralty, bathymetry, bono, spatial analysis, tide*

## PENDAHULUAN

Sungai Kampar merupakan salah satu sungai dengan karakteristik potensi alam yang unik. Pertemuan antara arus pasang surut dan

perbedaan energi yang berasal dari aliran sungai Kampar dengan energi pasut yang berasal dari Selat Malaka menimbulkan fenomena *tidal bore* dan menciptakan gelombang setinggi  $\pm 4$  m yang

disebut Bono (Disbudparpora Kabupaten Pelalawan, 2012).

Gaya pembentuk gelombang ini adalah pasang surut dari Selat Malaka yang masuk dan menjalar menjadi gelombang pasang berupa *Undular Bono* (Yulistiyanto, 2009). *Undular bore* dibangkitkan di muara sungai dengan adanya *tidal range* yang lebar dan perubahan pasang surut dalam waktu singkat menyebabkan adanya gelombang pasut yang masuk ke dalam sungai. Saat melewati celah yang menyempit (bentuk sungai *diverger*) kecepatan arus yang terbentuk menjadi semakin cepat dan ketika bertemu dengan arus sungai akan terjadi lompatan *undular bore* yang kemudian membangkitkan mekanisme turbulensi dan *mixing* sedimen dasar serta bersifat destruktif sehingga mengubah bentuk morfologi dasar perairan (Chanson, 2011). Pada penjarannya, *tidal bore* akan melemah seiring dengan adanya perubahan morfologi dasar perairan dan pembelokan jalur sungainya sehingga energi dari *undular bore* menjadi lemah dan gelombang pasut menghilang menyisakan gerakan massa air oleh arus sepanjang sungai (Stoker, 1946).

Pengukuran batimetri diperlukan untuk mengetahui kedalaman dari perairan sungai Kampar di mana gelombang sangatlah berbanding terbalik dengan kedalaman, artinya semakin dangkal suatu perairan maka akan semakin tinggi gelombang yang ditimbulkan (*shoaling effect*) (Triatmodjo, 1999). Adanya gelombang Bono menimbulkan beberapa permasalahan dalam kaitannya dengan ketidakstabilan morfologi dasar perairan yang selalu berubah tergantung dengan musim dan arah angin.

Permasalahan yang paling mendasar adalah alur transportasi kapal dari Kuala Kampar (Pulau Mendol) sampai ke Tanjung Mentangor yang tidak stabil. Hal tersebut berakibat pada banyaknya kapal yang kandas di tengah sungai. Seperti kasus pada tanggal 30 November 2016 (Tanjung, 2016) yang menewaskan 2 orang karena dihantam oleh gelombang Bono. Kondisi batimetri juga sangat berpengaruh pada ketinggian dan kecepatan gelombang Bono sehingga sangat berbahaya dan menyebabkan erosi di sempadan Sungai Kampar. Kesetimbangan pantai (*Continental Drift*) sangat dipengaruhi oleh mekanisme Bono dan menyebabkan ketidakseimbangan *transport* sedimen serta erosi di sekitar muara dan sedimentasi di sekitar hulu sungai (Yulistiyanto, 2009).

Penelitian mengenai *tidal bore* Bono belum banyak dilakukan di Indonesia terutama dalam kajian gaya pembangkit dan deformasi yang terjadi sepanjang penjarannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gaya pembangkit Bono dan proses penjarannya berdasarkan morfologi dasar Sungai Kampar.

## METODE

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode penelitian *purposive kuantitatif*, yaitu metode yang dilakukan dengan tujuan tertentu dan dilakukan secara detail dan berdasar pada perhitungan atau pengukuran (Wisha dan Heriati, 2016). Pengukuran lapangan dilakukan pada tanggal 22-28 April 2016 untuk pengukuran data batimetri, sedangkan pengukuran pasang surut selama 30 hari dimulai pada tanggal 23 April–23 Mei 2016 di muara Sungai Kampar yang terletak di Selat Malaka dan berbatasan langsung dengan Provinsi Kepulauan Riau. Lebih lanjut lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Untuk mengetahui kedalaman di perairan Kampar, maka dilakukan pemeruman dengan menggunakan *transducer*. Posisi kedalaman yang diukur terkoneksi dengan GPS, di mana GPS tersebut akan menyajikan data posisi secara akurat untuk mendapatkan posisi beberapa titik lajur perum yang kemudian dibuat pemodelan secara 2 dimensi maupun 3 dimensi dengan menggunakan *software* tertentu. Survei batimetri di perairan Sungai Kampar dilakukan dengan metode akustik menggunakan alat *Echosounder Echotrack CVM Teledyne Odom Hydrographic Single Beam* yang memancarkan frekuensi akustik ke dasar perairan laut untuk mendapatkan data kedalaman secara *real time* (Soeprapto, 2001).

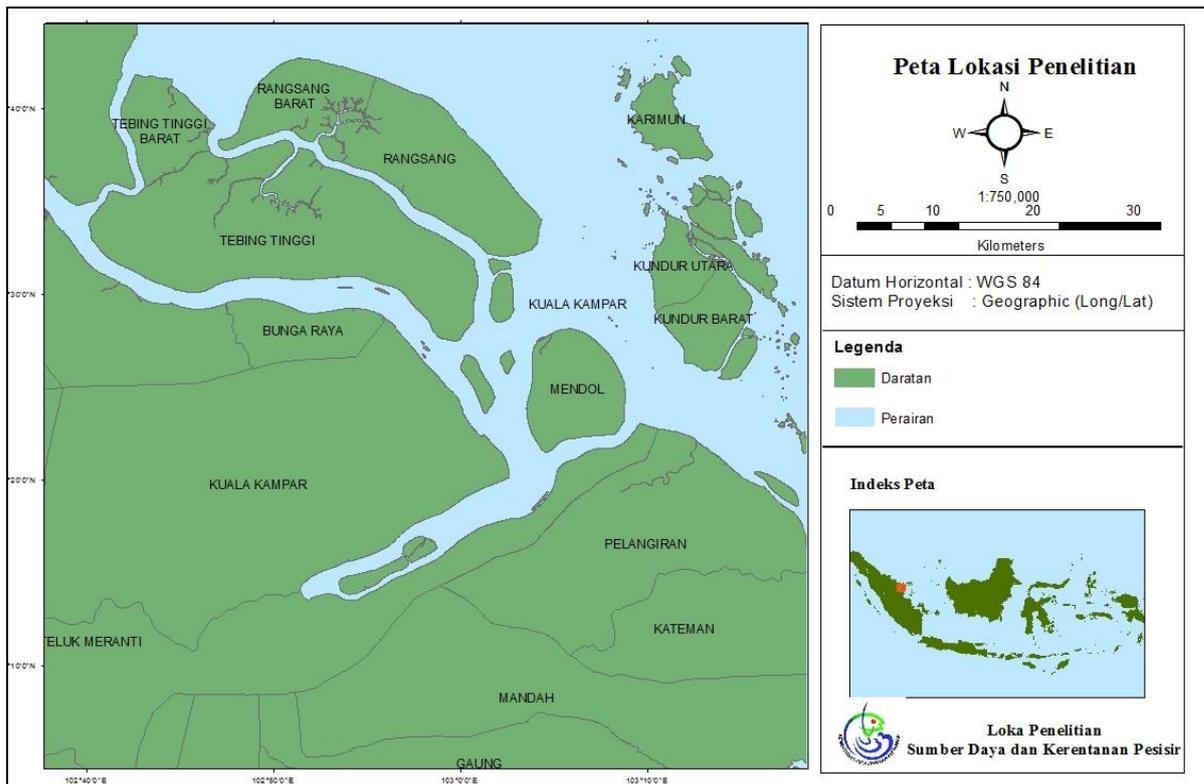
Pengambilan data pasang surut dengan menggunakan tide master *Valeport Automatic Tide Gauge* dipasang selama 30 hari pada koordinat 102,792° N dan 0,269° E. Data pasut diolah untuk mendapatkan konstanta harmonik pasut untuk mengetahui nilai MSL dan tipe pasut di wilayah perairan muara Sungai Kampar. Perhitungan data pasang surut termasuk *tidal range* dan analisis *Indian Spring Low Water* (ISLW) (Adibrata, 2007). *Tidal range* didapatkan dari selisih antara pasang naik dan pasang turun serta analisis data pasut dengan metode *admiralty* untuk data 29 hari.

Data hasil pengukuran batimetri terlebih dahulu dilakukan koreksi terhadap pasang surut dan *transducer*. Besarnya koreksi pasang surut adalah nilai kedalaman yang telah terkoreksi dengan *transducer*, dikoreksi dengan nilai reduksi sesuai kedudukan permukaan laut pada waktu pengukuran (Simanjuntak *et al.*, 2012). Reduksi pasang surut laut dirumuskan pada **Persamaan 1**.

$$r_t = TWL_t - (MSL + Z_o) \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

- $r_t$  : Besarnya reduksi yang diberikan kedalaman pada waktu t
- $TWL_t$  : Kedudukan muka laut pada waktu t
- MSL : *Mean Sea Level*
- $Z_o$  : Nilai muka air surutan dibawah MSL



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

Setelah itu kedalaman sebenarnya bisa ditentukan dengan rumus **Persamaan 2**.

$$D = Dt - r_t \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- D : Kedalaman sebenarnya
- Dt : Kedalaman dikoreksi *transducer*
- $r_t$  : Besarnya reduksi yang diberikan kedalaman pada waktu t

Data kedalaman yang sudah dikoreksi ditransfer ke perangkat lunak (*software*). Data tersebut digunakan untuk menentukan nilai koreksi terhadap kedalaman (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005). Metode *admiralty* menghasilkan komponen pasut yang kemudian dianalisis untuk menentukan tipe pasut dengan **Persamaan 3**.

$$F = (O1 + K1) / (M2 + S2) \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- F : bilangan formzahl
- O1 : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- K1 : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari
- M2 : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

S2 : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

*Chart datum* adalah bidang permukaan acuan pada suatu perairan yang didefinisikan terletak di bawah permukaan air laut terendah yang mungkin terjadi dan digunakan sebagai dasar penentuan angka kedalaman pada peta bathimetri. Pada dasarnya *chart datum* merupakan bidang nol peta bathimetri yang ditentukan dari suatu bidang muka air terendah yang mungkin terdapat di wilayah yang bersangkutan. Setiap daerah mempunyai tipe dan karakteristik pasut yang berbeda-beda, oleh karena itu banyak model untuk menentukan muka surutan peta (*chart datum*).

Secara umum, nilai *chart datum* ditentukan dengan **Persamaan 4**.

$$CD = S0 - Z0 \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

- CD : *Chart Datum* / Muka surutan peta
- S0 : Duduk Tengah di atas titik nol palem
- Z0 : Jarak surutan peta

Perhitungan nilai *chart datum* sangat dipengaruhi oleh besarnya Z0. Beberapa definisi dalam penentuan Z0 dimuat dalam *Admiralty Tidal Handbook* No. 1 (Suthons, 1985 dalam Soeprapto, 1993).

1. Menurut definisi Hidrografi International (IHO)

$$Z_0 = S_0 - \sum_{i=1}^n A_i$$

Dengan  $A_i$  adalah amplitude pasut ke- $i$  dan  $n$  adalah jumlah komponen.

2. Menurut definisi di Perancis  
 $Z_0 = S_0 - 1,2 (M_2 + S_2 + K_2)$
3. Menurut definisi *admiralty* Inggris  
 $Z_0 = S_0 - 1,2 (M_2 + S_2)$
4. Menurut definisi *Indian Spring Low Water*.  
 $Z_0 = S_0 (K_1 + O_1 + M_2 + S_2)$
5. Menurut dinas Hidro-Oseanografi TNI-AL  
 $Z_0 = S_0 - \sum_{i=1}^n A_i$

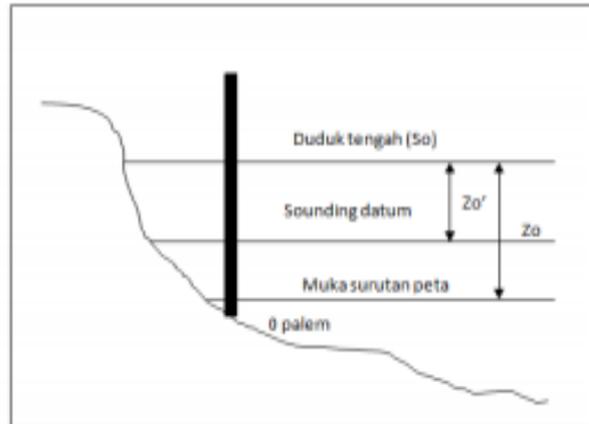
Dengan  $A_i$  adalah kombinasi dari komponen pasut.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapatkan berupa *raw data*, yaitu data yang belum terkoreksi dengan kedalaman *transducer* dan pasang surut. *Raw data* tersebut berisi informasi tentang waktu pemeruman (tanggal dan jam), posisi koordinat titik fix perum X, Y dan data kedalaman hasil pembacaan *transducer*. Hasil *raw data* tersebut merupakan data kedalaman terhadap perairan pada saat pengukuran, untuk itu diperlukan acuan untuk menggambarkan kondisi dasar perairan tersebut (*Chart Datum*) disajikan pada **Gambar 2**. *Chart Datum* digunakan sebagai dasar penentuan kedalaman batimetri (Khasanah, 2014).

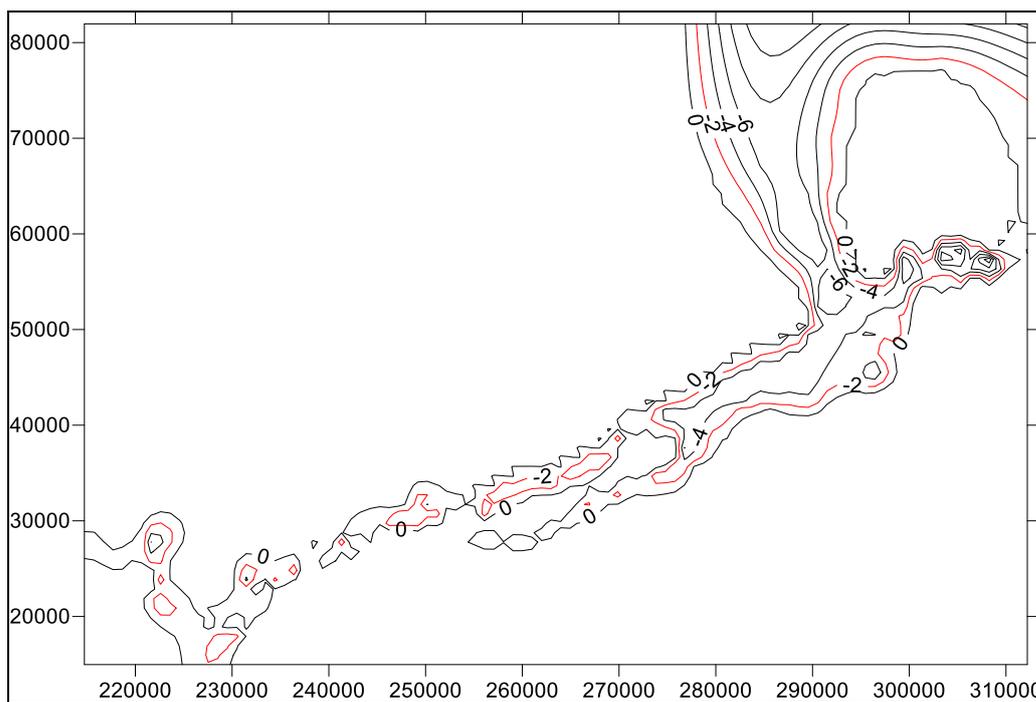
Pengukuran pasut menghasilkan nilai MSL sebesar 259 cm dengan nilai  $Z_0$  49 cm. Nilai *chart datum* sangat tergantung dengan besarnya nilai  $Z_0$  (Satriadi, 2012).  $Z_0$  yang dipakai dalam perhitungan ini berdasarkan standard IHO karena

merupakan acuan standar yang dipakai secara internasional. Hasil pengolahan data kedalaman yang telah dikoreksi dengan *transducer* dan pasang surut mempunyai kedalaman berkisar antara 0,02 sampai dengan 12,15 m, disajikan pada **Gambar 3**.

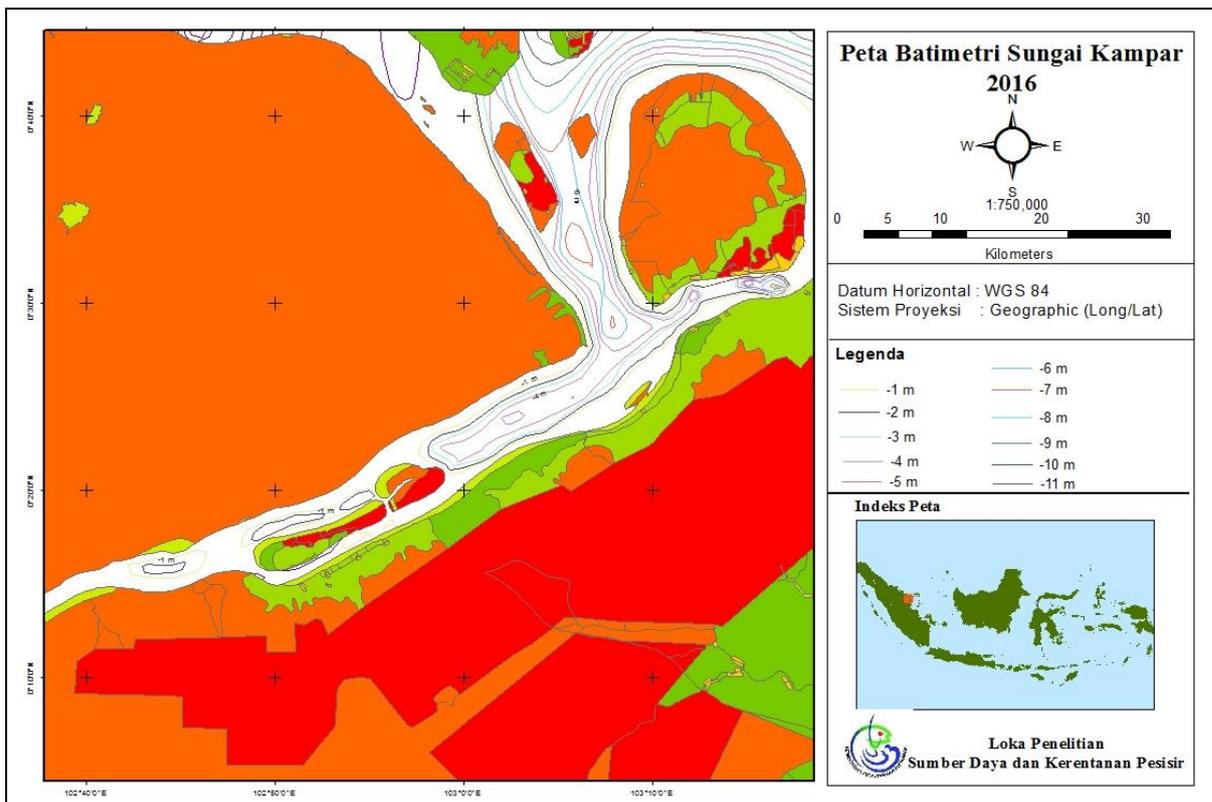


**Gambar 2.** Kedudukan *Chart Datum*.

Garis kontur pada perairan Sungai Kampar mempunyai kecenderungan sejajar mengikuti sempadan sungai dengan kedalaman antara 0,02 s/d 12,15 m. Daerah hulu Sungai Kampar mempunyai kedalaman 0,2 sampai 3 m, sementara di sisi sebelah timur ke arah hilir mempunyai kedalaman yang bervariasi dengan kedalaman maksimal 12 m. Di sisi sebelah selatan Pulau Muda mempunyai kedalaman 0,3–1,5 m, disajikan pada **Gambar 4**.

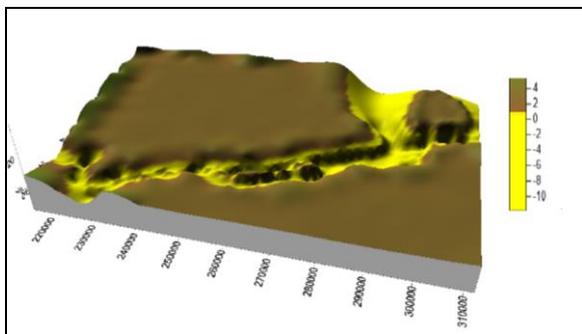


**Gambar 3.** Kontur Sungai Kampar.



**Gambar 4.** Peta kontur batimetri Sungai Kampar.

Batimetri Sungai Kampar dalam bentuk 3D disajikan pada **Gambar 5**, terlihat bahwa terjadi perubahan kedalaman dan morfologi dasar yang drastis di wilayah muara sungai.



**Gambar 5.** Model 3D perairan Sungai Kampar

Di wilayah muara Kampar, perubahan elevasi muka laut di selat Malaka yang berubah sebesar  $\pm 4$  meter tidak begitu terlihat penjarannya karena wilayah muara cenderung dalam dan morfologi dasar perairan yang cenderung hampir sama, setelah massa air masuk kedalam sungai dan mencapai wilayah dangkal di depan Pulau Muda, Bono terbentuk dan di wilayah tersebut merupakan *surf zone* (Yulistiyanto, 2009).

Perhitungan analisa konstanta harmonik pasang surut diperoleh nilai amplitudo (A) dan kelambatan fase ( $g^*$ ), yaitu M2, S2, K2, N2, K1, O1, M4, dan MS4. Hasil perhitungan komponen pasang surut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Hasil Perhitungan Konstanta Harmonik Kampar Metode *Admiralty* 29 Hari.

Konstituen	Amplitudo	Beda Fasa
M2	1,13	193,49
S2	0,34	40,62
N2	0,23	184,77
K2	0,24	97,12
K1	0,39	89,55
O1	0,24	41,19
P1	0,13	-68,88
M4	0,16	-13,19
MS4	0,14	178,17
SO	2,59	

Hasil analisa pasang surut didapatkan bahwa nilai amplitudo M2 dan N2 memiliki nilai paling dominan sebesar 113 cm dan 23 cm dengan beda fase sebesar  $193,49^\circ$  dan  $184,77^\circ$ . Konstanta M2 dan N2 ini merupakan komponen pasut ganda (*Semidiurnal*) (Badan Informasi Geospasial, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa pasut di perairan Kampar dipengaruhi oleh deklinasi bulan. Sementara nilai amplitudo untuk semua komponen pasut tunggal (*Diurnal*) K1, O1, P1 mempunyai nilai beda fase yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan komponen pasang ganda. Deklinasi matahari diwakili oleh konstanta P1 dengan nilai amplitudo sebesar 13 cm dengan beda fase  $-68,88^\circ$ . Deklinasi bulan menunjukkan pengaruh yang lebih besar dengan beda fase 24 cm dan beda fase  $41,19^\circ$ . *Tidal range* di muara Kampar maksimal sebesar 4,2 m. Konstanta harmonik komponen ganda (*Semidiurnal*) sangat mempengaruhi pembentukan tipe pasut di perairan Kampar.

Ketinggian muka air rata-rata dalam 30 hari pengamatan adalah 259 cm, nilai pasut yang didapatkan adalah nilai amplitudo dari konstanta nilai pasut utama  $S_0$  (Simanjuntak *et al.*, 2012). Ketinggian rata-rata permukaan laut dalam jangka waktu tertentu misalnya satu bulan atau satu tahun dan paling sedikit selama satu hari, harga yang terbaik diperoleh dari pengamatan yang dilakukan dalam waktu 18,6 tahun. Datum referensi yang dipakai dalam menentukan pasut ada 3 macam yaitu duduk tengah (DT), *chart datum* muka surutan, dan rata-rata air tertinggi (Ongkosongo dan Suyarso, 1989).

Berdasarkan **Gambar 6**, grafik pasang surut terlihat bahwa dalam sehari perairan Kampar terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan dengan tinggi periode yang berbeda dan hampir sama. Sehingga dapat dinyatakan bahwa tipe pasut di perairan Kampar adalah tipe pasut campuran condong harian ganda, hal ini juga didukung dengan perhitungan dari bilangan *formzahl* dengan nilai  $F=0,428$ . Berdasarkan tipe pasang surut menurut Ongkosongo dan Suyarso (1989), tipe pasut perairan Kampar adalah campuran condong harian ganda dengan nilai  $0,25 < F \leq 1,50$ .

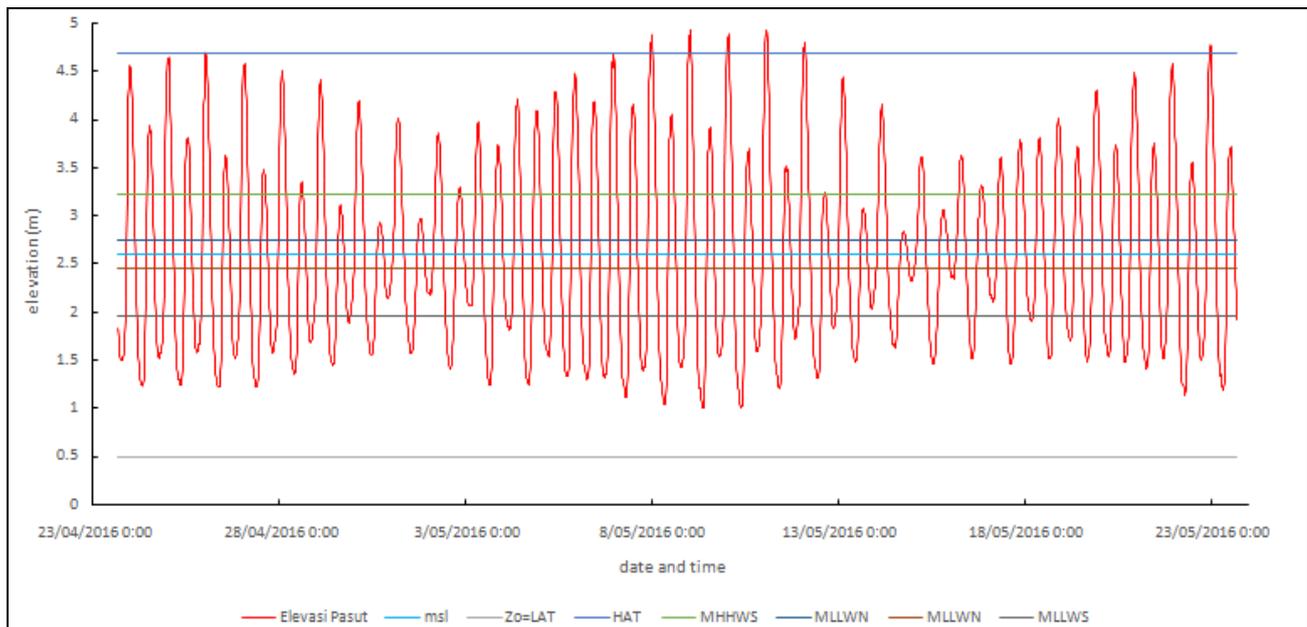
Bono terbentuk di depan Pulau Muda (*undular bore generation*) akibat dari *shoaling effect*. Menurut Chanson *et al.* (2010), bahwa *tidal bore* merupakan pengembangan dari *shoaling effect* gelombang pasang. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yulistiyanto (2009) menunjukkan bahwa gelombang Bono menjadi tinggi pada saat telah melewati Pulau Muda. Gelombang dari sisi kanan dan kiri Pulau Muda bertemu dan membangkitkan gelombang yang semakin tinggi, serta dengan bentuk sungai

yang *divergen* menyebabkan kecepatan arus Bono bertambah cepat dan bersifat merusak.

Gaya pembangkit *undular bore* adalah perubahan pasang surut dengan *tidal range* lebih dari 4 m (Chanson, 2009), sehingga energi pasang surut merupakan faktor fisis utama yang membangkitkan gelombang Bono di Sungai Kampar. Gelombang Bono di Sungai Kampar terjadi dua kali sehari dengan ketinggian gelombang yang berbeda sesuai dengan tipe pasut campuran harian ganda.

Menurut Chanson (2001), kondisi tidal *range* dan kedalaman sangat berpengaruh terhadap pembentukan *undular bore*. Pengukuran di lokasi Pulau Muda dengan kedalaman 1,7 m dengan *tidal range* yang berbeda antara Bono malam (3,5 m) dan Bono siang (3,3 m) menghasilkan ketinggian gelombang dan kecepatan yang berbeda pada siang maupun malam hari. Saat Bono siang menjalar, ketinggian gelombang mencapai 3,5 m dengan kecepatan arus sebesar 0,65 m/s, sedangkan Bono yang menjalar pada malam hari menghasilkan ketinggian gelombang sebesar 4,3 m dengan kecepatan arus sebesar 0,95 m/s.

Semakin ke arah hulu ketinggian gelombang semakin berkurang yang diikuti dengan penurunan kecepatan arus. Hal tersebut dibuktikan dengan pengukuran pada Tanjung Tersendu-sendu disajikan pada **Tabel 2** di mana *tidal range* mencapai 2,3 m dengan kedalaman perairan 2,2 m menghasilkan gelombang Bono setinggi 1,7 m dan kecepatan arus tinggi mencapai 0.8 m/s. Hal ini disebabkan oleh penyempitan badan sungai sehingga luas penampang yang mengecil menyebabkan peningkatan kecepatan aliran (Wisha dan Heriati, 2016).



**Gambar 6.** Grafik Pasang Surut

**Tabel 2.** Kedalaman, Tinggi, dan Kecepatan Gelombang Bono.

Lokasi Pengukuran	Tanggal	Tidal range (m)	Kedalaman (m)	Ketinggian Bono (m)	Kecepatan (m/s)
Pulau Muda	22/08/16 malam	3.5	1.7	4.3	0.95
	22/08/16 tengah hari	3.3	1.7	3.5	0.65
	25/04/16 malam	2.3	2.2	1.7	0.8
Tanjung Tersendu-sendu	26/04/16 malam	0.7	2.2	1	-
	22/08/16 malam	0.7	1.7	1.2	-
	22/08/16 tengah hari	0.7	1.7	0.7	-
Tanjung Mentangor	22/08/16 malam	0.3	1.7	-	0.3

Pada daerah Teluk Meranti, Bono berangsur menghilang dengan kedalaman perairan berkisar 0,7-2,2 m. *Tidal range* saat tiba di Teluk Meranti sebesar 0,7 m menghasilkan ketinggian gelombang Bono yang berbeda-beda pada setiap penjalaran Bono. Pada saat malam hari ketinggiannya antara 1-1,2 m sedangkan pada siang hari ketinggian gelombang Bono sebesar 0,7 m. Titik berakhirnya Bono berada pada Tanjung Mentangor dengan kedalaman perairan mencapai 1,7 m dan *tidal range* sebesar 0,3 m menghasilkan kecepatan arus sebesar 0,3 m/s.

Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui bahwa kondisi pasut (*tidal range*), kedalaman perairan, dan morfologi sempadan sungai sangat berpengaruh pada ketinggian gelombang dan kecepatan arus Bono (Fatima, 2016). Keberadaan gelombang Bono saat ini dimanfaatkan oleh Dinas Pariwisata Pelalawan sebagai daya tarik wisata *surfing* baik untuk wisatawan lokal maupun mancanegara karena kekhasannya yang mampu membawa peselancar sejauh 37,2 km dan memecahkan rekor dunia (Effendi, 2016).

## KESIMPULAN

*Undular Bore* disebabkan oleh perubahan elevasi pasang surut yang drastis sehingga menyebabkan perpindahan massa air dari Selat Malaka masuk ke dalam muara Sungai Kampar. Pada penjalarnya, kecepatan dan tinggi gelombang *bore* dipengaruhi oleh elevasi pasang, topografi dasar perairan dan bentuk morfologi dari Sungai Kampar. Di beberapa bagian, kecepatan dan tinggi gelombang *bore* semakin tinggi, sementara pada bagian yang dangkal tinggi gelombang bertambah dan pada daerah yang sempit kecepatan arus semakin meningkat. Hal tersebut menjadi faktor utama dalam perubahan bentuk morfologi dari Sungai kampar (mekanisme abrasi dan akresi). Selain itu bentuk sungai yang *divergen* serta kedalaman juga sangat berpengaruh terhadap ketinggian dan kecepatan dari gelombang *bore* Bono.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Loka Penelitian Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LPSDKP) atas DIPA anggaran penelitian tahun 2016 dan semua pihak yang membantu dalam pelaksanaan penelitian di Kampar, Riau.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adibrata, S. (2007). *Tidal Analysis in Karampuang Island, West Sulawesi Province*. *Journal Akuatik*, 1(1), 1-6.
- Badan Informasi Geospasial. (2014). *Prediksi Pasang Surut 2014*. Bidang Medan Gaya Berat dan Pasang Surut, Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika. Badan Informasi Geospasial. Cibinong.
- Chanson, H. (2001). *Flow Field in A Tidal Bore: A Physical Model*. Proceeding 29th IAHR Congress, Beijing, Theme E, Tsinghua University. Beijing. pp: 365-373.
- Chanson, H. (2009). *Environmental, Ecological and Cultural Impacts of Tidal Bores, Benaks, Bonos and Burros*. IWEH, International Workshop on Environmental Hydraulics Theoretical, Experimental and Computational Solutions. 29th, 30th, October 2009.
- Chanson, H., Lubin, P., Simon, B. and Reungoat, D. (2010). *Turbulence and Sediment Processes in the Tidal Bore of the Garonne River: First Observations*. Hydraulic Model Report CH79/10. University of Queensland. Australia.
- Chanson, H. (2011). *Current Knowledge in Tidal Bores and Their Environmental, Ecological and Cultural Impacts*. *Environ. Fluid. Mech.* 11: 77-98. doi: 10.1007/s10652-009-9160-5.
- Disbudparpora Kabupaten Pelalawan. (2012). *Profil dari Bono*. Dikutip dari <http://pelalawantourism.com/kecamatan/index/page:3>. [15 Juni 2016]
- Effendi, A. (2016). *Tiga Surfer Australia Taklukkan Rekor Ombak Bono*. Dikutip dari <http://www.pikiranrakyat.com/olahraga/2016/03/17/364341/tiga-surfer-australia-taklukkan-rekor-ombak-Bono>. [16 januari 2016]
- Fatima, R. A. (2016). *Revealing the Physical Characteristics of Bono and the Interaction with the Kampar River Estuary*. [Thesis] (tidak dipublikasikan). Franzius Institut. Hannover University. Jerman.
- Khasanah, U., Heliani, L. S. (2014). *Perhitungan Nilai Chart Datum Stasiun Pasang Surut Jepara Berdasarkan Periode Pergerakan Bulan, Bumi, dan*

- Matahari Menggunakan Data Pasut Tahun 1994 Sd 2013. Jurnal Geospasial Indonesia.*
- Ongkosongo, O. S. R. dan Suyarso. (1989). Pasang Surut. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi (P3O) LIPI. Jakarta.
- Poerbandono dan Djunarsjah, E. (2005). *Survei Hidrografi*. Refika Aditama. Bandung
- Satriadi, A. (2012). *Studi Batimetri dan Jenis Sedimen Dasar Laut di Perairan Marina Semarang Jawa Tengah. Bulletin Oseanografi Marina*. 1(1), 53-62.
- Simanjuntak, B. L., G., Handoyo, D.S., Nugroho. 2012. *Analisis Batimetri dan Komponen Pasang Surut untuk Penentuan Kedalaman Tambahan Kolam Dermaga di Perairan Tanjung Gundul Bengkayang – Kalimantan Barat. Jurnal Oseanografi*. 1(1), 1-8.
- Soeprapto. (1993). Pasang Surut Laut dan Chart Datum. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Soeprapto. (2001). Bahan Ajar Survei Hidrografi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Stoker, J. J. (1946). The Formation of Breaker and Bores: The Theory of Nonlinear Wave Propagation in Shallow Water and Open Channels. Institute for Mathematics and Mechanics of New York University Under a Contract with the Office of naval Research of the U.S Navy. USA.
- Tanjung, C. A. (2016). *Detiknews: 2 dari 4 Penumpang Hilang Kapal Tenggelam di Sungai Kampar Ditemukan Tewas*. Dikutip dari <https://news.detik.com/berita/d-58884/dihantam-gelombang-Bono-4-penumpang-kapal-cepat-ilang-di-riau>. [16 Januari 2016]
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta. 297 hlm.
- Wisha, U. J., A. Heriati. (2016). *Analysis of Tidal range and Its Effect on Distribution of Total Suspended Solid (TSS) in The Pare Bay Waters. Journal of Marine Science and Technology*. 9(1), 23-31.
- Yulistiyanto, B. (2009). *The Phenomenon of Bono Rising Wave in Kampar River Estuary B. (2009). The Phenomenon of Bono Rising Wave in Kampar River Estuary. Dinamika Teknik Sipil*. 9(1), 19-26.

# **EFEKTIFITAS PEMETAAN PARTISIPATIF DAN STUDI TENURIAL UNTUK MEMPERTEGAS ASET RUANG DESA STUDI KASUS: DS. SUNGAI BATANG-KAB. OGAN KOMERING ILIR**

*(The Effectiveness of Participatory Mapping and Tenurial Study to Emphasized  
Rural Space Asset, Case Study: Ds. Sungai Batang-Kab. OKI)*

**Wyda Swestika Mayasari**

The Forest Trust Indonesia  
Jalan Dr. Wahidin 42, Candisari, Semarang  
E-mail: [wyda.sm@gmail.com](mailto:wyda.sm@gmail.com)

*Diterima: 13 September 2016; Direvisi (Revised): 20 Februari 2017; Disetujui untuk Dipublikasikan (Accepted): 30 Maret 2017*

## **ABSTRAK**

Ekspansi perusahaan pemasok kayu dari HTI (Hutan Tanaman Industri) untuk kebutuhan bubur kertas (*pulp*) semakin besar setiap tahunnya. Deforestasi wilayah hutan menjadi penyebab degradasi lingkungan yang berkepanjangan. Tak hanya itu, HTI seringkali memunculkan konflik lahan bagi masyarakat yang ada di sekitar wilayah konsesi. Konflik lahan seringkali muncul karena adanya ketidak-jelasan batas wilayah desa terhadap konsesi perusahaan HTI, dan juga kurangnya komunikasi antara kedua belah pihak dalam penyelesaian masalah lahan. Hal ini diperburuk lagi dengan kondisi bahwa desa sebagai sebuah unit dari wilayah tidak memiliki batas wilayah secara definitif. Selanjutnya terdapat berbagai macam kerentanan masyarakat dalam menghadapi ekspansi perusahaan jika didudukkan dalam kerangka kehidupan berkelanjutan (penilaian dari 5 jenis aset). Tujuan dalam penelitian ini adalah mengetahui aset ruang Desa Sungai Batang dari perspektif pentagonal aset. Selain itu, tujuan kedua penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas pemetaan partisipatif dan studi tenurial di Desa Sungai Batang. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data primer dan data sekunder, yang mana peneliti terlibat dalam proses *grandtour*, observasi dan wawancara kepada orang-orang kunci. Penelitian ini menggunakan metode studi kasus Desa Sungai Batang sebagai salah satu desa yang berada di dalam batas wilayah sebuah perusahaan yang bergerak di bidang HTI. Hasil dari penelitian ini, apabila Desa Sungai Batang didudukkan dalam kerangka kehidupan berkelanjutan, memiliki potensi besar dalam aset modal sosial dan modal alam. Sayangnya, kedua modal tersebut belum ditegaskan dengan batasan wilayah yang jelas sehingga sering terjadi ketidaksepahaman dan kecenderungan eksploitasi antara perusahaan kepada masyarakat.

**Kata kunci:** desa sungai batang, batas wilayah, sistem tenurial

## **ABSTRACT**

*The expansion of wood supply chain in HTI or Industrial Forest Plantation for the needs of pulp is getting bigger every year. Deforestation causes prolonged relegation. HTI also create a land conflict to people surrounding the concession. Land conflict often arise by obscurity of village boundaries within HTI concession, and also the lack communication between two parties in resolution of land issues. It is worsened by village condition as one of unit of the area does not have definitive boundaries yet. There is a wide range of social vulnerability faced the expansion of the company, in terms of sustainable livelihoods (assesing 5 types of assets). The purpose of this research is to determine Sungai batang space's assets from the pentagon asset perspective. in addition, the second purpose is to determine the effectiveness of participatory mapping and tenure study in Sungai Batang village. This research was conducted using primary data and secondary data, which researchers involved in the process grandtour, observation and interviews with key persons. This study uses case study method Sungai Batang as one of the villages that lies within the boundaries of a company as Industrial Forest Plantation. The results of this study, as Sungai Batang village assesed in terms of sustainable livelihoods, has great potential in social capital and natural capital. Unfortunately, both the capital have not been confirmed with the clear boundaries it caused some disagreement and exploitation tendency between companies to the community.*

**Keywords:** sungai batang village, boundaries, tenure system

**PENDAHULUAN**

Pulau-pulau di Indonesia diduduki oleh masyarakat lokal, tradisional ataupun adat dengan pranata sosial yang beragam. Dalam pemanfaatan ruangnya, masyarakat tersebut memiliki pemaknaan yang berbeda-beda. Tak hanya pemanfaatan saja, dalam pranata tersebut terdapat juga sistem penguasaan lahan yang cenderung bersifat intensif, berkaitan antar jenis penggunaan tanah dan unit-unit kegiatan dengan luasan yang relatif kecil (Sadyohutomo, 2013).

Kepastian akan batas wilayah sangat diperlukan dalam proses pembangunan. Tak hanya untuk menentukan alokasi pembangunan, namun juga untuk melindungi hak masyarakat yang hidup dan bermukim di dalamnya. Sayangnya, desa-desa di Indonesia sebagai unit kecil dari batas administrasi wilayah belum semua memiliki batas definitif. Hal ini terkait dengan kerumitan penetapan batas wilayah dengan keterkaitannya dengan sistem otonomi daerah.

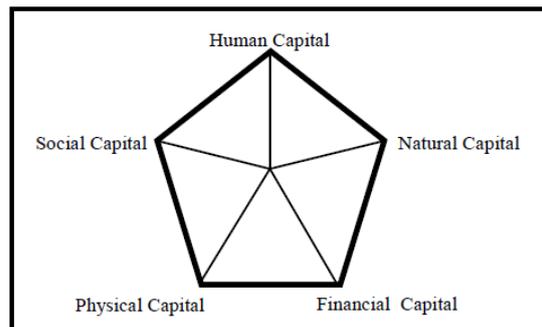
Saat ini, sudah banyak dilakukan metode untuk penetapan batasan wilayah, tak hanya menggunakan teknologi canggih untuk menentukan batasan indikatif, namun juga telah dilakukan metode konvensional untuk mendapatkan batasan wilayah secara pasti sebagai unit terkecil. Metode konvensional tersebut salah satunya menggunakan pemetaan partisipatif dengan masyarakat desa. Adanya pemetaan partisipatif dapat membantu wilayah desa menginventarisir data potensi di dalam desa. Tak jarang, perencanaan pembangunan dalam suatu desa selalu didahului dengan pemetaan untuk menegaskan batas wilayah untuk memastikan keakurasian alokasi pembangunan.

Memiliki kepastian batas wilayah berguna pula untuk memonitor atau bahkan mengendalikan pemanfaatan lahan untuk memenuhi permintaan pembangunan. Konversi lahan di berbagai wilayah di Indonesia sudah menjadi *issue mainstream*. Konversi lahan dan perluasan kebutuhan lahan terjadi akibat adanya permintaan akan pembangunan yang terus menerus. Konversi dan perluasan lahan yang terjadi di hutan merupakan implementasi permintaan pasar pada perusahaan-perusahaan besar yang salah satunya bergerak di bidang pengelolaan hasil Hutan Tanaman Industri (HTI). HTI adalah perkebunan kayu monokultur skala besar yang ditanam dan dipanen untuk produksi bubur dan bubur kertas. Selama 2000-2009, tumbuhnya perusahaan yang bergerak di bidang HTI menyebabkan deforestasi mencapai 15,16 juta hektar, laju 1,5 juta hektar pertahun dan hal ini terjadi karena adanya perluasan HTI khususnya di Kalimantan dan Sumatra.

Konversi lahan dan kebutuhan akan kolaborasi perusahaan dengan masyarakat, yang salah satunya terjadi di Pulau Sumatra, mayoritas tidak didukung dengan inventarisasi dokumen legal batas kepemilikan lahan yang jelas, sehingga perusahaan melakukan ekspansi dan berdampak pada keterhimpitan sosial masyarakat untuk mengembangkan kegiatan ekonomi berbasis lahan. Kondisi demikian mengartikan bahwa batasan wilayah secara definitif belum cukup kuat menggambarkan hak penguasaan atas suatu lahan. Seringkali yang dijumpai adalah masyarakat justru menerima hasil yang lebih sedikit atas kegiatan kolaborasi ataupun kemitraan peningkatan ekonomi bersama dengan perusahaan.

Jika dihubungkan dengan kerangka *sustainability livelihood* (kehidupan berkelanjutan), batas wilayah terbukti mampu menjadi jawaban atas kerentanan masyarakat dalam kegiatan kolaborasi dan kemitraan dengan perusahaan. Dengan adanya batas wilayah, masyarakat akan semakin paham atas kepemilikan dan nilai lahan yang mereka miliki.

Batas wilayah dapat difungsikan untuk mempertegas kepemilikan aset suatu wilayah. Moser (2006) menyatakan bahwa aset adalah persediaan sumber daya keuangan, manusia, alam ataupun sosial yang dapat diperoleh, dikembangkan, ditingkatkan dan diubah antar generasi. Aset juga dapat berbentuk konkret maupun abstrak dan dilindungi oleh adat, konvensi, atau hukum (Sherraden, 2006). Adapun jenis aset terbagi atas 5 aspek yang selanjutnya disebut sebagai *The Asset Pentagon* (DFID, 2001) yang disajikan pada **Gambar 1**.



Sumber: DFID (2001)

**Gambar 1.** The Asset Pentagon.

Adapun pentagonal aset diuraikan sebagai berikut:

**Human Capital**

Menurut DFID (2001), untuk mengetahui *human capital* adalah dengan melihat tingkat pendidikannya.

### **Social Capital**

*Social capital* merupakan produk struktur dan proses dan berkembang melalui konsep (DFID, 2001). Konsep tersebut dapat berupa keterhubungan manusia dalam konteks latar belakang sosio-ekonomi dalam bentuknya berorganisasi. Konsep lainnya yakni adanya aturan yang diterima, norma dan sanksi serta adanya hubungan dasar saling percaya (Sabatini, 2007).

### **Natural Capital**

*Natural capital* sering disebut juga sebagai modal alam yang sering digunakan untuk produksi. Cakupan modal alam ini meliputi air, tanah basah dan hutan. Menurut Moser dan Felton (2007), permukiman juga tergolong pada modal alam.

### **Physical Capital**

Break dalam Jianu *et al.* (2011) menyatakan bahwa *physical capital* harus memiliki kaitan dengan kapasitas pengoperasian aset yang digunakan untuk produksi. Hal yang dimaksud dapat berupa infrastruktur berupa lingkungan fisik serta alat yang bisa menjadikan produktif (DFID, 2001).

### **Financial Capital**

Terdapat bermacam-macam jenis sumberdaya keuangan yang digunakan untuk mencapai tujuan penghidupan manusia. Ada 2 sumber utama dari modal keuangan:

- a. Menurut Sherraden (2006), tabungan uang yang pemasukkannya dalam bentuk bunga, yang meliputi dana tunai dan rekening tabungan.
- b. DFID (2001) menyebutkan terdapat aliran uang reguler yang meliputi uang yang dihasilkan. Tipe aliran yang paling umum adalah uang pensiun, uang yang ditransfer, dan uang pembayaran.

Desa Sungai Batang, terletak di Kecamatan Air Sugihan-Kabupaten Ogan Komering Ilir (OKI), merupakan salah satu desa yang berada di dalam area (selanjutnya disebut di dalam area konsesi) salah satu perusahaan pemasok kayu akasia dan ekaliptus besar di Indonesia untuk bubur kertas. Desa Sungai Batang terletak tak jauh dari pesisir, dan mayoritas warganya bermata pencaharian sebagai nelayan. Desa tersebut, belum memiliki batas wilayah administrasi yang jelas, apalagi pemetaan tenurial.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui aset ruang Desa Sungai Batang dari perspektif pentagonal aset;

- b. Mengetahui efektifitas pemetaan partisipatif yang telah dijalankan oleh pihak konsultan, sebagai salah satu vendor perusahaan HTI di Desa Sungai Batang.

### **METODE**

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus. Studi kasus yang digunakan menghasilkan gambaran kerentanan masyarakat lokasi penelitian. Kerentanan yang dimaksud adalah kerentanan masyarakat dalam menghadapi kemungkinan-kemungkinan ekspansi perusahaan HTI atau dalam kerangka kehidupan berkelanjutan tergolong dalam konteks "*shocks*".

Penelitian berlokasi di Desa Sungai Batang, Kecamatan Air Sugihan-Kabupaten Ogan Komering Ilir (OKI). Adapun penelitian ini memiliki tahapan yang konkuren. Tahapan tersebut menggunakan strategi dimana data dikumpulkan sekaligus dalam satu waktu (Cresswell, 2010). Ini dilakukan pada saat *grandtour* dan wawancara terhadap responden. Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

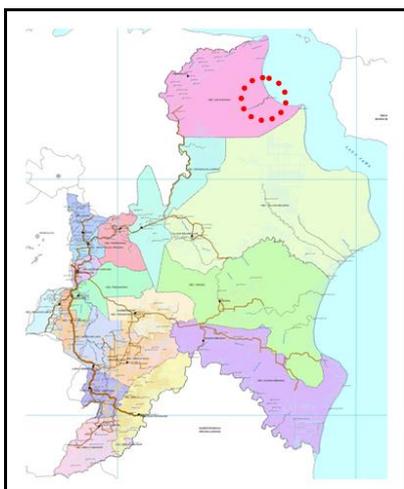
- a. Melakukan studi data sekunder. Data yang digunakan untuk mendukung penelitian ini meliputi data sekunder berupa profil desa, kecamatan dalam angka, hasil analisa pemetaan konflik, citra satelit, dokumen NKT (Nilai Konservasi Tinggi) Desa Sungai Batang;
- b. Melakukan studi data primer, dengan:
  - a) Melakukan *grandtour*, yakni observasi kondisi lokasi penelitian
  - b) Melakukan wawancara pada beberapa pihak sebagai orang kunci. Adapun jenis wawancara yang digunakan adalah terstruktur dengan menggunakan kisi-kisi pertanyaan yang telah disiapkan sebelumnya. Adapun pertanyaan-pertanyaan yang disusun untuk wawancara tersebut mencakup beberapa hal:
    - Pengetahuan penduduk terhadap batas wilayah desa;
    - Pengalaman mengikuti kegiatan pemetaan partisipatif;
    - Pengetahuan tentang seberapa besar manfaat mengikuti kegiatan pemetaan partisipatif;
    - Peranan perusahaan HTI dalam pengembangan lahan dan peningkatan ekonomi masyarakat desa;
    - Kependudukan, meliputi: pengalaman menjadi korban terhadap bencana, mata pencaharian, kekuatan norma dan

- aturan adat dalam kehidupan sehari-hari;
- Harapan penduduk terhadap ekspansi perusahaan HTI yang semakin maju tahun demi tahun.
- c) Selanjutnya teknik penarikan sampel yang digunakan adalah *purposive sampling*. Menurut Sugiono (2011) *purposive sampling* adalah teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu.
- c. Analisa data menggunakan teknik deskriptif naratif.

**HASIL PEMBAHASAN**

Desa Sungai Batang terdiri atas 2 dusun, yang terbentang dari wilayah pesisir hingga ke daratan. Dusun yang berada di wilayah non pesisir masuk dalam konsesi salah satu perusahaan pemasok kayu besar di Indonesia. Dengan kondisi geografis yang terletak linear dengan sungai dan dekat dengan pesisir, masyarakat Desa Sungai Batang mengandalkan transportasi air untuk menjangkau wilayah di luar desa. Adapun lokasi Desa Sungai Batang terhadap Kabupaten OKI dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Pada waktu penelitian di tahun 2013 yang dilakukan oleh konsultan, Desa Sungai Batang belum memiliki batas wilayah desa secara definitif. Masyarakat desa mayoritas hanya memiliki bukti penguasaan lahan secara *de facto*, khususnya untuk lahan-lahan garapan seperti kebun, sawah dan tegalan. Kegiatan pemetaan secara partisipatif yang telah dilakukan di lokasi penelitian menghasilkan pemahaman masyarakat akan potensi yang dimilikinya.

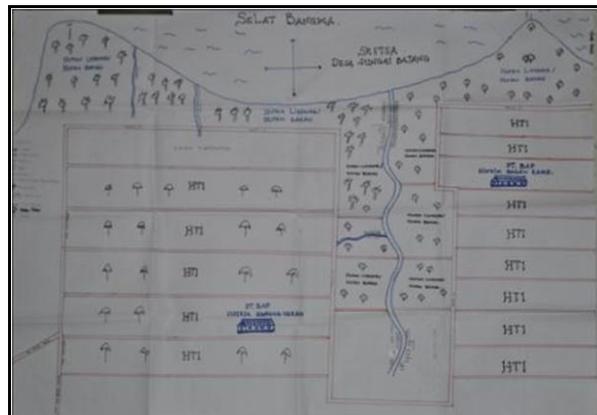


Sumber: Image Google diolah Penulis (2016)  
**Gambar 2.** Lokasi Desa Sungai Batang, terhadap Kab. OKI.

Berdasarkan hasil wawancara, sebagian besar penduduk memaknai batas wilayah desa sebagai batas yang ditentukan berdasarkan

kepemilikan lahan yang dimiliki oleh penduduk Desa Sungai Batang tersebut. Dengan adanya hal ini, penduduk yang kemungkinan memiliki lahan di luar Desa Sungai Batang dan tepat berhimpitan dengan desa yang lain sangat sulit menentukan batasan lahan. Batasan lahan akan mudah diketahui ketika ada batasan alam berupa fisik seperti sungai, jurang, dan hutan. Masyarakat pun belum pernah melakukan sendiri pengukuran lahan miliknya secara akurat.

Pengalaman mengikuti kegiatan partisipatif baru mereka lakukan ketika ada program pemerintah yang masuk. Hal tersebut pun dilakukan secara parsial (hanya lokasi-lokasi tertentu) khususnya untuk lokasi yang mendapatkan program dan/kegiatan dari pemerintah. Program yang masuk misalnya program pemerintah PNPM dan program yang menggunakan dana desa pada waktu tertentu. Melalui kegiatan pemetaan partisipatif, masyarakat desa mengetahui batas wilayah dan kepemilikan. Namun tak jarang, terjadi adu pendapat karena perbedaan pendapat mengenai batas kepemilikan suatu lahan antara penduduk yang berhimpitan. Adapun sketsa penggunaan lahan salah satu dusun di Desa Sungai Batang secara partisipatif dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Sumber: Ekologika (2014)  
**Gambar 3.** Sketsa Penggunaan Lahan Salah Satu Dusun di Desa Sungai Batang dengan Metode Pemetaan Partisipatif.

Kesejahteraan hidup masyarakat Desa Sungai Batang didukung dengan adanya kegiatan perdagangan dan usaha memanfaatkan hasil alam. Keberadaan perusahaan HTI yang berdampingan dengan desa tersebut memberikan dampak bagi penghasilan penduduk Desa Sungai Batang. Salah satu dampak tersebut adalah pencemaran sungai akibat bahan kimia dari perusahaan sehingga mengurangi penghasilan penduduk dalam mencari kepiting bakau.

Pemetaan partisipatif saat ini belum dimaknai sebagai kegiatan yang penting. Terdapat ketakutan dan kekhawatiran masyarakat Desa Sungai Batang terhadap kegiatan ini, apalagi jika

kegiatan tersebut dilakukan oleh pihak luar dan bukan dari pemerintah. Pada kegiatan pemetaan partisipatif, dan didudukkan pada kerangka kehidupan berkelanjutan, berikut ini adalah gambaran aset yang dimiliki oleh Desa Sungai Batang:

**Human Capital**

Adapun tingkat pendidikan tertinggi mayoritas penduduk Desa Sungai Batang adalah SMA. Sedangkan sebagian besar masyarakat Desa Sungai Batang hanya mengenyam pendidikan setingkat SD. Untuk mencapai fasilitas pendidikan seperti SLTP dan SLTA mereka harus keluar desa dan menuju ke pusat kecamatan. Adapun fasilitas pendidikan di Desa Sungai Batang hanya terdapat 2 unit SD.

Kondisi aset berupa *human capital* di Desa Sungai Batang yang demikian tergambar dari kualitas hidup yang rendah. Kualitas hidup tersebut tercermin dari kondisi drainase yang tidak optimal dalam mengalirkan air sehingga terjadi genangan. Genangan air yang berkepanjangan selanjutnya menimbulkan penyakit yang saat ini umum diderita di desa tersebut, yakni Demam Berdarah. Kurangnya kesadaran masyarakat untuk mengelola lingkungannya dikarenakan mereka mengandalkan bantuan pemerintah.

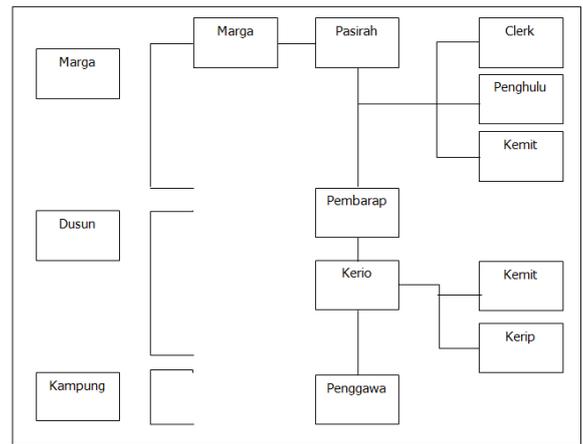
Mata pencaharian terdahulu banyak yang menjual jasa sebagai tenaga *logging* di perusahaan kayu di sekitar lokasi desa.

**Social Capital**

Warga Desa Sungai Batang berasal dari berbagai wilayah yakni Sungai Somor, Sungai Pasir, Seibur, Sungai Jeruju, Sungai Lumpur, Kuala Leborg Hitam, Sungsang, Jawa, Sulawesi dan Bima. Mereka memiliki lembaga pemerintahan dan kemasyarakatan sebagai bentuk organisasi yang mengatur pranata kehidupan. Lembaga tersebut antara lain Pemerintah Desa, BPD, LPM/LKMD, PKK, RT dan RW, Karang Taruna, Kelompok Tani dan Kelompok Nelayan, Lembaga Adat serta Kelompok Gotong Royong. Keberagaman asal penduduk yang mendiami Desa Sungai Batang membuat budaya gotong royong seringkali tidak tampak dalam kehidupan sehari-hari.

Desa Sungai Batang, sebagai bagian dari provinsi Sumatera Selatan, memiliki unsur kekayaan sejarah yang membentuk pranata dalam kehidupan sosialnya. Tak bisa dielakkan, sebagian tatanan tradisional di Sumatera Selatan masih digunakan untuk mengatur kehidupan sehari-hari khususnya dalam penguasaan dan pengelolaan lahan. Pranata kehidupan sosial yang mempengaruhi penguasaan dan pengelolaan

lahan digambarkan dari relasi struktur unsur marga pada **Gambar 4**.



Sumber: Adhuri, 2002.

**Gambar 4.** Relasi Unsur Struktur Marga.

**Natural Capital**

Desa Sungai Batang memiliki tanah guna lahan yang didominasi oleh tanah rawa, hutan lindung berupa mangrove dan hutan nipah. Pasca penertiban pada salah satu perusahaan logging dimana mayoritas masyarakat bekerja, masyarakat Desa sungai Batang beralih ke kegiatan mencari ikan air tawar di rawa-rawa dan sungai.

Pada tahun 2014, berkembanglah salah satu perusahaan pemasok kayu di sekitar Desa Sungai Batang, kondisi tersebut oleh masyarakat diduga sebagai penyebab berkurangnya hasil tangkapan ikan di muara Sungai Batang hingga berjarak 2 mil. Selanjutnya hal ini diduga sebagai akibat dari pencemaran pupuk dan bahan kimia dari aktifitas perusahaan pemasok kayu tersebut. Kondisi yang demikian membuat masyarakat Desa Sungai Batang akhir-akhir ini beralih pada kegiatan pertanian.

Kondisi lingkungan perairan yang mengalami degradasi menyebabkan pendapatan untuk tangkapan ikan masyarakat Desa Sungai Batang semakin berkurang. Keterbatasan kepemilikan lahan dan adanya ekspansi perusahaan pemasok kayu menjadi kendala masyarakat untuk mengembangkan lahan pertanian. Untuk penghasilan tambahan, masyarakat Desa Sungai Batang memanfaatkan eksistensi hutan mangrove dengan budidaya kepiting bakau. Tidak mengambil kayu dari hutan tersebut, masyarakat justru menjaga kelestariannya agar hasil tangkapan kepiting bakau semakin meningkat.

Tata guna lahan yang berupa rawa-rawa dimanfaatkan masyarakat untuk mencari ikan sebagai lokasi sumber penghasilan selain muara sungai. Terlebih lagi, Desa Sungai Batang juga berbatasan langsung dengan sungai, sehingga permukiman mereka linear dengan sungai

disajikan pada **Gambar 5**. Kegiatan ekonomi lainnya yang dilakukan oleh masyarakat Desa Sungai Batang antara lain berdagang dan mengembangkan usaha pembuatan terasi serta pengembangan sarang burung walet.



Sumber: *Ekologika* (2014)

**Gambar 5.** Permukiman Warga Dusun Kuala, Desa Sungai Batang.

### **Physical Capital**

Jarak Desa Sungai Batang yang jauh dari pusat kecamatan (sekitar 80 km) tidak didukung dengan infrastruktur jalan yang memadai, sehingga aksesnya sulit untuk dijangkau. Transportasi lain selain melalui darat, masyarakat Desa Sungai Batang juga menggunakan alat transportasi seperti *speedboat*, getek, sampan, dan jukung. Transportasi air merupakan andalan bagi masyarakat tersebut.

Di Desa Sungai Batang, terdapat fasilitas pendidikan, kesehatan (berupa poskesdes, posyandu dan bidan). Untuk air bersih, masyarakat Desa Sungai Batang masih menggunakan bak penampungan air untuk menampung air hujan. Pemanfaatan air sungai juga besar untuk keperluan sehari-hari seperti mandi dan mencuci.

### **Financial Capital**

Dalam menilai *financial capital*, dapat dilihat dari sumber utama modal keuangan, yakni:

- a. Persediaan yang ada berupa tabungan. Tabungan dapat berupa uang kas, deposit, ternak ataupun perhiasan
- b. Aliran uang reguler yang berupa uang pensiun, uang yang ditransfer dan uang pembayaran.

Lokasi Desa Sungai Batang minim akan fasilitas ekonomi. Terdapat koperasi sebagai satu lembaga, namun pengelolaannya masih belum optimal. Pada umumnya, *financial capital* yang mereka miliki adalah berupa uang kas, aset alat transportasi dan perhiasan.

Dari kelima aset yang telah dijelaskan, terdapat aset yang sangat lemah dan aset yang menonjol di Desa Sungai Batang. Aset-aset tersebut dapat dikatakan sebagai potensi dalam batasan wilayah Desa Sungai Batang. Didudukkan

dalam kerangka kehidupan berkelanjutan, terdapat kerentanan-kerentanan wilayah dan masyarakat desa, terlebih apabila dihadapkan pada ekspansi perusahaan pemasok kertas. Dalam menghadapi perkembangan perusahaan besar, kualitas sumberdaya manusia sangat diperlukan agar mampu bersinergi melalui kerjasama dengan perusahaan. Hal ini penting, mengingat banyak *issue* terkait dengan konflik masyarakat terhadap perusahaan akibat ketidaksepahaman antara kedua belah pihak dalam mengelola sumberdaya alam.

### **KESIMPULAN**

Dari pembahasan yang telah diuraikan, dapat diketahui bahwa terdapat 2 jenis aset yang memiliki potensi tertinggi, unik dan memberikan alasan betapa pentingnya aset tersebut untuk dikembangkan, dilindungi ataupun dimitigasi, yakni aset berupa *social capital* dan *natural capital*.

Dalam teori disebutkan bahwa *social capital* dapat dilihat dengan adanya organisasi, aturan yang diterima, norma dan sanksi serta adanya hubungan dasar saling percaya (Sabatini, 2007). Hal tersebut menjelaskan tentang penggunaan lahan sebagai salah satu sistem pengorganisasian ruang yang didasarkan pada aturan. Masyarakat Sumatera Selatan memiliki kebijakan pengembangan pemerintahan dengan sistem marga. Hal ini yang menjadi cikal bakal peraturan aktual yang ada pada saat sekarang. Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh salah satu konsultan yang bergerak di bidang kehutanan, sistem tradisional penguasaan lahan yang mengacu pada sistem marga dan perkembangannya masih banyak diterapkan di desa-desa di Kabupaten OKI. Desa Sungai Batang sebagai salah satu desa yang menjadi bagian di Kabupaten OKI, tidak menutup kemungkinan masih mempraktikkan penguasaan lahan berdasarkan perkembangan sistem marga tersebut. Identifikasi sistem penguasaan lahan tersebut, atau yang selanjutnya disebut dengan *land tenure* (Sadyohutomo, 2013) diperlukan untuk melindungi subyek, obyek, dan jenis hak masyarakat terlebih dihadapkan dengan ekspansi perusahaan yang masuk ke Desa Sungai Batang.

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya, *natural capital* sering disebut juga sebagai modal alam yang sering digunakan untuk produksi. Secara umum, Desa Sungai Batang memiliki tanah guna lahan yang didominasi oleh tanah rawa, hutan lindung berupa mangrove dan hutan nipah. Degradasi lingkungan perairan yang terjadi dan dampaknya dirasakan semakin kuat oleh masyarakat membuat masyarakat mencoba alternatif lain untuk mendapatkan pendapatan.

Pemanfaatan hutan lindung, rawa dan kawasan-kawasan yang tergolong dalam kawasan konservasi serta penyangga adalah salah satu pilihan yang dilakukan oleh masyarakat Desa Sungai Batang. Penyerahan lahan untuk kerjasama dengan perusahaan memiliki dampak yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Masyarakat yang terdesak untuk memenuhi kebutuhan di perairan, kemudian mulai mencoba bertani. Namun, dalam usaha pertaniannya

masyarakat berhadapan dengan perusahaan, yang memiliki otoritas penguasaan lahan secara legal.

Konflik perebutan lahan antara masyarakat dan perusahaan merupakan salah satu *issue* besar yang dihadapi di berbagai tempat di Indonesia saat ini. Tak terkecuali Desa Sungai Batang, masalah ini diperbesar dengan kondisi desa yang belum memiliki legalitas bukti penguasaan ruang yang cukup kuat. Batas wilayah desa masih berupa batas indikatif, selain itu kepemilikan lahan sebagian masyarakat belum dibuktikan dengan adanya Sertifikat Hak Milik, tetapi diakui secara *de facto*. Pada perkembangannya, saat ini masyarakat Desa Sungai Batang sudah mampu melakukan pemetaan secara partisipatif untuk mengetahui gambaran umum dan potensi desa. Kompleksitas kerentanan Desa Sungai Batang yang demikian akan dapat diminimalisir apabila desa memiliki batas teritorial yang jelas.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih untuk dukungan The Forest Trust, dengan melibatkan penulis di lokasi penelitian. Kemudian, terimakasih pula atas dukungan data yang sudah di konsultasi-publikkan oleh Ekologika Consultant serta Pemerintah Desa Sungai Batang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhuri, Dedi. (2002). Antara Desa dan Marga: Pemilihan Struktur pada Perilaku Elit Lokal di Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. *Jurnal Antropologi Indonesia* 68. 2002. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Citra Google Maps (2016). <https://www.google.co.id/maps/place/Kabupaten+Ogan+Komerang+Iilir,+Sumatera+Selatan/>
- Cresswell, John W. 2010. *Research Design Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed: Edisi Ketiga*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Ekologika. 2013. *Laporan Survei Sosial Penilaian Nilai Konservasi Tinggi*. DFID. (2001). *Sustainable Livelihoods Guidance Sheets*. London.
- Jianu, Iulia & Ionela Gusatu. 2011. *The Physical Capital Maintenance Concept and The New*

- requirements of The Economic Environment*. *African Journal of Business Management* Vol. 5(34), pp.13276-13292. 2011.
- Moser, Caroline O.N. (2006). *Asset-based Approaches to Poverty Reduction in a Globalized Context: An Introduction to Asset Accumulation Policy and Summary of Workshop Findings*. The Brooking Institution. Washington DC.
- Sungai Batang, Desa (2012). *Monografi Desa Sungai Batang*.
- Sabatini, Fabio. (2007). *The Role of Social Capital in Economic Development*. Working Paper n.43. Universitas di Siena.
- Sadyohutomo, Mulyono. (2013). *Tata Guna Tanah dan Penyerasian Tata Ruang*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Sherraden, Michael. (2006). *Asset untuk Orang Miskin; Perspektif Baru Usaha Pengentasan Kemiskinan*. PT Rajagrafindo Persada. Jakarta
- Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan RD*. Alfabeta. Bandung.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BLUNDER PENGOLAHAN DATA GPS

*(Blunder GPS Data Processing)*

**Agung Syetiawan**

Badan Informasi Geospasial

Jl. Raya Jakarta-Bogor Km. 46 Cibinong 16911, Indonesia

E-mail: [agung.syetiawan@big.go.id](mailto:agung.syetiawan@big.go.id)

*Diterima (received): 20 Maret 2017; Direvisi (revised): 12 Mei 2017; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 16 Mei 2017*

## ABSTRAK

Pengamatan satelit menghasilkan koordinat posisi berdasarkan pada perjalanan sinyal dari satelit ke antenna yang ada di Bumi. Pada perjalanannya, sinyal satelit tersebut mengalami berbagai macam hambatan yang menyebabkan data hasil posisi menjadi tidak akurat. Selain kesalahan sistematik dari perangkat dan kesalahan yang sudah dihilangkan menggunakan mekanisme tertentu terdapat kesalahan yang seharusnya tidak muncul. Kesalahan ini akibat kekuranghatian pengolah data saat processing data satelit, penyebabnya mungkin bisa jadi kurang berhati-hati atau bahkan pengolah data kurang memiliki pemahaman terkait dengan metode pengolahan data terutama metode pengukuran tinggi alat (*Height of Instrument*). Kesalahan ini menyebabkan kualitas posisi yang dihasilkan berkurang, kesalahan yang sering terjadi ini dinamakan dengan *blunder*. Kebanyakan blunder bersumber pada metode yang digunakan untuk mengukur tinggi instrument, perlu diperhatikan juga bahwa pengolahan data sinyal oleh perangkat lunak dilakukan di *Antenna Phase Center* nya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek blunder pengolahan data GPS terhadap hasil data posisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa blunder yang bersumber dari tidak ditentukannya tipe antenna akan mempengaruhi hasil koordinat tinggi sebesar nilai *offset* dari antenna tersebut yaitu pada penelitian ini sebesar 10 cm dari nilai sebenarnya. Kemudian untuk sumber kesalahan pengolahan dari tidak memasukkan nilai koordinat definitif yaitu pada penelitian ini memiliki kesalahan error sebesar 3,113 m untuk komponen tinggi dan 73 cm dan 32 cm untuk komponen horizontalnya. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kesalahan *blunder* pada pengolahan data satelit sangat mempengaruhi kualitas data posisi yang dihasilkan, terutama pada koordinat tingginya.

**Kata kunci:** *blunder error*, pengolahan data satelit, *Antenna Phase Center*, posisi teliti

## ABSTRACT

*Satellite observations produce coordinate position based on the signals travel from the satellite to the antenna on Earth. On its journey, the satellite signal subjected to various kinds of barriers that cause data to become inaccurate positioning results. In addition to a systematic error of the device and the error has been eliminated using a specific mechanism there is an error that should not appear. This error is due to carelessness of data processor when processing satellite data, the cause might be less cautious or even lack an understanding of data processing associated with data processing methods particularly height measurement methods tool (Height of Instrument). This error causes the quality of the resulting position is reduced, a common mistake is called the error blunder. Most blunder rooted in the methods used to measure the height of the instrument, it should be noted that the data processing by software signal carried on its Antenna Phase Center. This study aimed to determine the effects of blunders on the results of data processing GPS position data. The results showed that the blunder derived from it determines the type of antenna will not affect the outcome of the high amount of the offset coordinates of the antenna is on the study of 10 cm from the actual value. Then to the source of the error of not entering the coordinate value that is definitive in this study had an error of 3.113 m for the vertical components and 73 cm and 32 cm for the horizontal component. From these results it can be concluded that the blunders in satellite data processing greatly affects the quality of the resulting position data, especially at the height coordinates.*

**Keywords:** *blunder error*, satellite data processing, *Antenna Phase Center*, precise positioning.

## PENDAHULUAN

Penentuan posisi dengan teknologi satelit (GPS, GLONASS, Galileo dan Beidou) pada

dasarnya dilakukan dengan prinsip pengikatan ke belakang yaitu dengan mengukur jarak dari

beberapa satelit yang sudah diketahui posisinya (Kaplan dan Hegarty, 2005) sehingga posisi pengamat di Bumi dapat ditentukan. Pada perjalanannya, sinyal satelit tersebut mengalami berbagai macam hambatan yang menyebabkan data hasil posisi menjadi tidak akurat. Data pengamatan GPS pun tidak lepas dari adanya kesalahan. Satu pengamatan *one way* dapat dirumuskan pada persamaan 1 dan 2 sebagai berikut (Abidin, 2007):

$$P = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion} + (dt - dT) + MP + vP \dots (1)$$

$$L = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion} + (dt - dT) + \lambda \cdot N + MC + vC \dots (2)$$

dimana:

- $P$  : Data ukuran *pseudorange*
- $L$  : Data ukuran beda fase
- $\rho$  : Jarak geometrik satelit ke pengamat
- $d\rho$  : Efek kesalahan orbit satelit
- $d_{trop}$  : Kesalahan *troposphere*
- $d_{ion}$  : Kesalahan *ionosphere*
- $dt$  : Kesalahan jam *receiver*
- $dT$  : Kesalahan jam satelit
- $MP$  : Efek *multipath pseudorange*
- $vP$  : *Noise* pada *pseudorange*
- $\lambda$  : Panjang gelombang sinyal GPS
- $N$  : Ambiguitas fase
- $MC$  : Efek *multipath* fase gelombang GPS
- $vC$  : *Noise* pada fase gelombang GPS

Persamaan 1 merupakan persamaan yang menggunakan pengamatan beda waktu (*pseudorange*) sementara persamaan 2 adalah persamaan yang menggunakan beda fase. Seperti yang dapat dilihat dari persamaan 1 dan 2, pengamatan beda waktu maupun beda fase sangat dipengaruhi oleh kesalahan dan bias seperti kesalahan troposfer, kesalahan ionosfer, kesalahan waktu, efek multipath dan kesalahan ambiguitas fase. Berbagai macam cara pun dilakukan untuk mereduksi kesalahan dan bias tersebut, salah satunya adalah menggunakan teknik pengolahan diferensial maupun dengan cara menggunakan orbit satelit teliti (*precise ephemeris*) atau melakukan pengamatan sinyal dual frekuensi. Teknik integrasi multi-GNSS pun dilakukan untuk mempercepat proses *solve ambiguity phase* (L. Pan, Cai, Santerre, & Zhu, 2014; Z. Pan, Chai, & Kong, 2017; Yu & Gao, 2017).

Selain kesalahan sistematis dari perangkat dan kesalahan yang sudah dihilangkan menggunakan teknik pengolahan diferensial terdapat kesalahan yang seharusnya tidak muncul. Kesalahan ini akibat kekuranghatian pengolah data saat *processing* data satelit, penyebabnya mungkin bisa jadi kurang berhati-hati atau bahkan pengolah data kurang memiliki pemahaman terkait dengan metode pengolahan

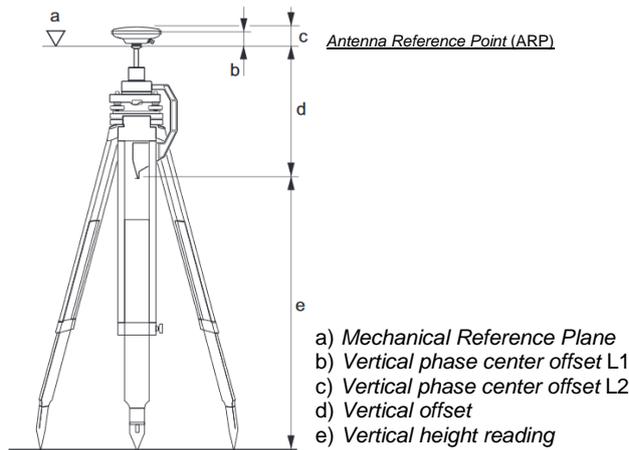
data terutama metode pengukuran tinggi alat (*Height of Instrument*). Kesalahan ini menyebabkan kualitas posisi yang dihasilkan berkurang (Meyer & Hiscox, 2005), kesalahan yang sering terjadi ini dinamakan dengan kesalahan *blunder*.

Dalam pengukuran terestris (menggunakan Total Station ataupun sipat datar) *blunder* dideteksi dengan melihat nilai hasil uji statistika. Oleh karena itu, survei terestris harus dilakukan dengan redundansi (pengulangan pengukuran) yang cukup untuk mencegah kesalahan terjadi. Berbeda dengan pengukuran GPS, semua kesalahan *blunder* harus dihilangkan terlebih dahulu sebelum pengolahan data sehingga posisi dihasilkan lebih baik.

Kesalahan *blunder* yang selama ini sering ditemui antara lain: kesalahan mendefinisikan tipe antenna yang digunakan, kesalahan menyebutkan metode pengukuran tinggi antenna dan kesalahan memasukkan koordinat definitif titik ikat pengukuran (metode pengolahan diferensial). Penelitian ini mengkaji sumber kesalahan yang sering dilakukan pada pengolahan data satelit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek *blunder* pengolahan data GPS terhadap hasil data posisi. Dalam penentuan posisi teliti, kesalahan sekecil apapun mutlak harus dihilangkan, sehingga kualitas hasil posisi tetap terjaga. Harapan dari penelitian ini adalah menambah pengetahuan terkait dengan *blunder* pengolahan data GPS, sehingga ke depannya pengolah data mempunyai pemahaman yang memadai tidak melakukan kesalahan *blunder* ini.

### Kesalahan memasukkan tinggi antenna

Kesalahan ini sering ditemukan ketika pengolah data menggunakan perangkat tambahan untuk mengukur tinggi antenna. Seperti contoh ketika menggunakan peralatan Antenna Leica GPS1200. Pengukuran tinggi dilakukan menggunakan meteran yang didesain khusus (*height hook*) mengukur tinggi dari titik pengamatan (*ground mark*) langsung ke ujung dari *height hook*, seperti dapat dilihat pada **Gambar 1**. *Vertical height reading* ini yang nantinya akan dicatat dan dalam pengolahan data harus ditambahkan *vertical offset* untuk mendapatkan nilai tinggi di ARP. Besaran *vertikal offset* adalah 0,360 m seperti dapat ditunjukkan pada **Gambar 1**, sementara nilai *vertical phase center offset* sesuai dengan tipe antenna yang digunakan. Banyak para pengolah data yang mengira hasil *vertical height reading* ini merupakan nilai tinggi yang langsung bisa digunakan, tanpa menambahkan *vertical offset* terlebih dahulu sehingga menyebabkan terjadi kesalahan yang berakibat pada kualitas posisi yang dihasilkan.



**Gambar 1.** *Antenna Height* pada Pengukuran menggunakan Tripod.

**Kesalahan Mendefinisikan Tipe Antenna GPS**

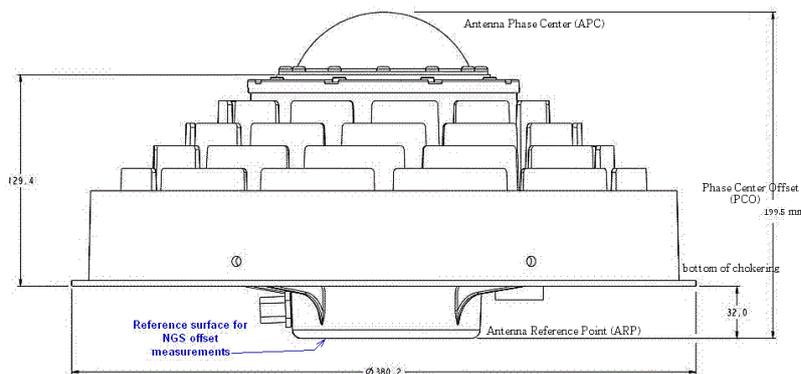
Penentuan posisi menggunakan GPS, posisi dihitung berdasarkan pada perjalanan sinyal satelit yang diterima pada titik yang disebut dengan *Antenna Phase Center-APC* (Bartels, 1997). Data sinyal yang diterima oleh antenna akan diolah oleh perangkat lunak di posisi *Antenna Phase Center* nya. Posisi APC sendiri terletak di suatu tempat di sekitar area bagian atas antenna. Pengukuran tinggi antenna vertikal biasanya dilakukan dari titik pengamatan ke titik di antenna yang sudah ditentukan oleh produsen alat sebagai titik referensi atau sering disebut sebagai *Antenna Reference Point (ARP)*. Konstanta vektor antara APC dan ARP disebut dengan *Phase Center Offset (PCO)*. Ilustrasi posisi ARP dan APC dapat dilihat pada **Gambar 2**. Pada **Gambar 2** tersebut disajikan dimensi dari Antenna merk Leica tipe AR25 *choke ring* antenna beserta dengan offset tinggi antenna dari ARP ke *Antenna Phase Center* nya (PCO). **Gambar 3** pun menyajikan data dimensi beserta offset ketinggian antenna Leica tipe AX1202, tinggi offset dari ARP ke APC bernilai 62 mm. Seperti dapat dilihat pada **Gambar 2**

dan **Gambar 3**, nilai *Phase Center Offset* setiap antenna berbeda-beda, untuk itu seorang pengolah data harus secara pasti mengetahui jenis antenna yang digunakan pada waktu proses pengumpulan data di lapangan.

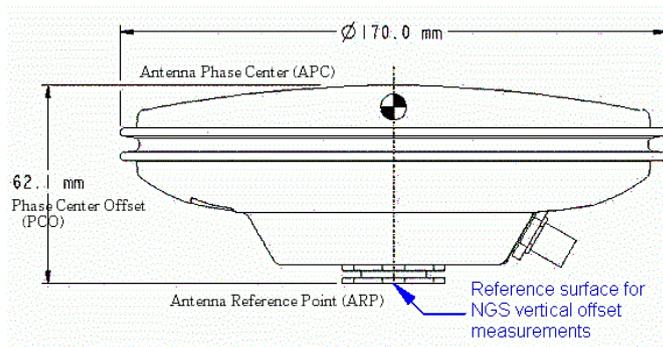
Kesalahan memasukkan tipe antenna berakibat pada pengolahan data tidak pada *Antenna Phase Center (APC)*. Seharusnya tinggi ke *Antenna Phase Center (APC)* dihitung dari pengukuran tinggi dari *Antenna Reference Point (ARP)* ditambahkan dengan *Phase Center Offset (PCO)*. Setiap antenna memiliki nilai PCO yang berbeda-beda bergantung pada bentuk dan dimensi dari antenna tersebut. Jika pengguna memilih NONE atau tidak mengetahui tipe dari antenna yang digunakan maka pada pengolahan, offset antenna bernilai 0,000 dan *Antenna Phase Center* menjadi referensi (ARP=APC). Kesalahan ini mengakibatkan nilai posisi koordinat tidak sesuai dengan nilai sebenarnya.

Meskipun kesalahan ini kecil akan tetapi dalam perhitungan pengukuran teliti, kesalahan ini tidak boleh terjadi dan tidak bisa disepelekan serta harus dihilangkan dalam pengolahan data, karena akan mempengaruhi kualitas hasil pengolahan data terutama pada komponen penentuan nilai tingginya. Akurasi nilai offset APC dan variasi phase center (*phase center variation*) menjadi faktor penting dalam penentuan posisi GPS teliti (El-hattab, 2013). Pengguna cukup memasukkan tipe antenna pada perangkat pengolah data (baik komersial ataupun ilmiah) tanpa harus mengetahui setiap offset dari masing-masing antenna.

Jenis-jenis antenna sendiri mengacu pada penamaan antenna yang dibuat oleh IGS. Informasi lebih lanjut mengenai spesifikasi antenna dapat dilihat pada *Antenna Calibration* (<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>) website resmi milik *National Geodetic Survey (NGS)*. Ada ratusan jenis tipe antenna yang tersedia dari bermacam-macam produsen alat yang berbeda.



**Gambar 2.** Posisi *Antenna Phase Center* dan *Antenna Reference Point* Leica tipe AR25 *choke ring*.



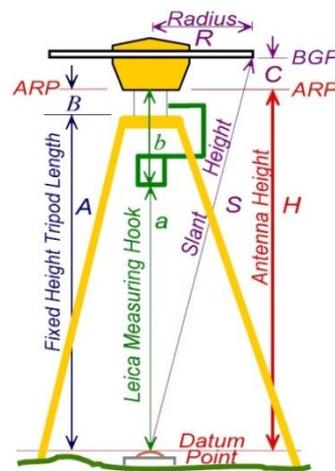
Gambar 3. Posisi Antenna Phase Center dan Antenna Reference Point Leica tipe AX1202.

**Kesalahan Menyebutkan Metode Pengukuran Tinggi Antenna**

Salah satu kesalahan yang dihindari tetapi sering merusak hasil pengukuran baseline survey GPS adalah tinggi antenna (*Height of Instrument*). Metode pengukuran tinggi antenna pun beragam, ada yang mengukur tinggi antenna secara tegak dari ARP terhadap titik yang akan diukur (*direct height*) dan ada juga yang mengukur tinggi antenna secara miring dari ARP terhadap titik yang akan diukur (*slant height*). Sering kali para pengolah data kurang jeli, memasukkan nilai *direct height* padahal pengukuran tinggi (*Height of Instrument*) dilakukan secara *slant height*, mengakibatkan tinggi yang dihasilkan menjadi tidak sesuai.

Setiap alat pun memiliki karakteristik sendiri dalam pengukuran tinggi antenanya, seperti penentuan tinggi antenna menggunakan trimble zephyr GNSS antenna diukur di posisi *bottom of notch*, berbeda ketika menggunakan antenna jenis Leica tipe AX1202 seperti dapat dilihat pada **Gambar 1**, tinggi didapat dari pengukuran tegak. Permasalahannya dalam pengolahan data sering terjadi kesalahan tertukar menyebutkan metode pengukuran tinggi antenna tersebut.

Berdasarkan SNI Jaring Kontrol Horizontal (Badan Standarisasi Nasional, 2002), setiap titik pengamatan GPS, ketinggian dari antena harus diukur sebelum dan sesudah pengamatan satelit, minimal tiga kali pembacaan untuk setiap pengukurannya. Perbedaan antara data-data ukuran tinggi antena tersebut tidak boleh melebihi 2 mm. Skema tersebut dilakukan untuk menghasilkan data posisi dengan ketelitian tinggi.



Sumber: <http://www.ngs.noaa.gov/RSD/forms/obslog.pdf>

Gambar 4. Variasi Pengukuran Tinggi Antenna.

$$\text{Tinggi antenna (H)} = (\sqrt{S^2 - R^2}) - C \dots\dots (3)$$

$$\text{Tinggi antenna (H)} = a + b \dots\dots\dots (4)$$

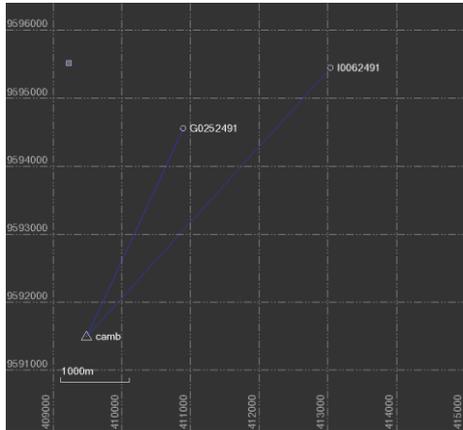
**Kesalahan Menentukan Titik Ikat**

Kesalahan tidak menentukan titik ikat ini sering terjadi ketika melakukan pengolahan data menggunakan metode differensial. Titik yang tidak diketahui koordinatnya (*measured position*) ditentukan berdasarkan titik definitif yang sudah diketahui koordinat (*fixed coordinate*). Terkadang pengolah data lupa untuk mendefinisikan titik tersebut atau tidak memasukkan koordinat fix titik ikatnya sehingga pengolahan data tidak terikat ke koordinat fix yang sudah diketahui.

**METODE**

Penelitian dilakukan menggunakan perangkat lunak komersial pengolah data GPS dengan skema pengolahan radial dan relatif terhadap titik yang sudah diketahui. Data yang digunakan untuk uji pengolahan adalah data hasil pengukuran GCP wilayah Kota Ambon dengan titik permanen tetap di stasiun CORS Ambon dan data pengamatan GCP di titik I006 dan G025, dipilih dua pengamatan ini untuk melihat variasi kesalahan akibat blunder ini.

Titik I006 dan G025 berjarak 5,3 km dan 3,3 km dari *base station*, seperti dapat dilihat pada **Gambar 5**. Pengamatan satelit di lapangan pun menggunakan interval data setiap 1 detik dengan segment satelit yang digunakan adalah GPS dan GLONASS menggunakan perangkat yang dapat menerima sinyal dual frekuensi (L1 dan L2). Parameter pengolahan data yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**.



**Gambar 5.** Panjang baseline pengukuran.

**Tabel 1.** Parameter Processing Data.

Parameter	Keterangan
Titik Ikat	Stasiun Tetap CORS Ambon (CAMB)
Frequency used	Dual Frequency (L1, L2)
Ephemeris	Broadcast
Interval data	1 second
Satellite Segment	GPS dan GLONASS
Datum	WGS 1984
Zone	52 South
Geoid	EGM 2008 1'

Data titik I006 dan G025 kemudian diolah dengan mekanisme pertama yaitu mengolah dengan memasukkan informasi tinggi antenna dan tipe antenna yang benar, hasil posisi ini yang nantinya akan dijadikan acuan untuk menghitung kesalahan posisi akibat blunder pengolahan data. Jenis antenna yang digunakan menggunakan antenna Leica tipe GS08 dengan mode pengukuran menggunakan *pole setup* dan tinggi dari titik pengamatan ke *top end of the pole (Antenna Reference Point)* sudah ditentukan dengan nilai fix 2,000 m. Metode pengukuran di lapangan seperti dapat dilihat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Pengukuran di titik I006.

Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengolahan dengan mekanisme kedua dengan tanpa memasukkan informasi jenis antenna, anggapannya disini pengolah data tidak mengetahui tipe antenna yang digunakan. Mekanisme ketiga pengolahan dilakukan dengan memasukkan data tipe antenna yang salah, seharusnya menggunakan antenna Leica GS08, pada mekanisme ketiga ini antenna yang digunakan adalah Leica AR20 yang nilai *vertical phase center offset* nya lebih tinggi. Mekanisme ketiga ini untuk melihat efek kekeliruan memasukkan tipe antenna lain yang berbeda. Mekanisme keempat yaitu mengetes kesalahan akibat tidak mendefinisikan titik referensi yang digunakan sebagai titik ikat, dalam hal ini metode pengolahan data yang digunakan adalah differensial, artinya titik pengamatan (*rover*) harus terikat dengan sebuah referensi titik yang sudah diketahui koordinatnya (*base*). Pada mekanisme keempat ini menggunakan dua titik ikat sebagai acuan pengukuran, yaitu titik ikat stasiun permanen CORS Ambon (CAMB) dan titik tetap pilar Jaring Kontrol Horizontal kode site AMB1. Data koordinat definitif pilar AMB1 didapatkan dari website SRGI milik Badan Informasi Geospasial. Semua mekanisme ini akan diterapkan untuk menghitung koordinat titik I006 dan G025.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Efek salah mendefinisikan tipe antenna yang digunakan

Hasil perhitungan posisi di titik I006 dengan menggunakan mekanisme 1 sampai 3 dapat dilihat pada **Tabel 2**. Solusi ambiguitas fase dari ketiga mekanisme pengolahan adalah *fixed* dengan nilai presisi horizontal yang sama yaitu 0,004 m. Nilai presisi vertikal pun menunjukkan angka yang sama untuk seluruh mekanisme yaitu 0,013 m dengan nilai RMS 0,008 m.

Selisih hasil koordinat *Easting* dan *Northing* mekanisme 2 (**tanpa memasukkan tipe antenna**) dan mekanisme 1 bernilai sama yaitu 0,001 m. Selisih koordinat elevasi mekanisme 2 dengan mekanisme 1 yaitu 0,105 m. Perbedaan nilai *Easting* dan *Northing* 1 mm akibat pembulatan hasil pengolahan. Efek tidak dimasukkannya jenis antenna sangat berimbas pada nilai elevasi yang dihasilkan, terlihat deviasi elevasi memiliki perbedaan 105 mm. Kondisi ini akibat *Phase Center Offset* antenna tidak dimasukkan dalam pengolahan. Leica GS08 pun memiliki nilai *Phase Center Offset* sebesar 70,8 mm, akibat tidak dimasukkan tipe antenna, kesalahan sebesar nilai PCO tersebut mutlak terjadi. Jika pengguna memilih NONE pada saat

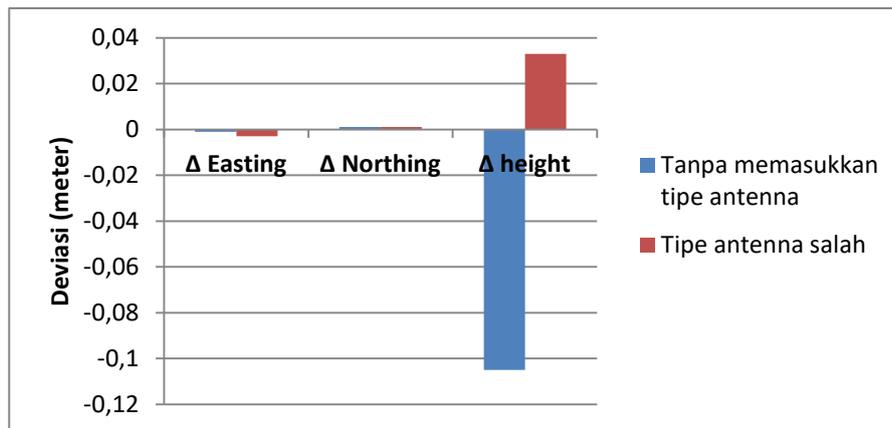
proses pengolahan atau tidak mengetahui tipe dari antenna yang digunakan maka offset antenna bernilai 0,000 m dan *Antenna Phase Center* menjadi referensi, letak titik *Antenna Reference Point* sama dengan letak *Antenna Phase Center* (ARP=APC). Kesalahan ini fatal dan akan mempengaruhi koordinat yang akan dihasilkan.

Sementara selisih hasil koordinat mekanisme 3 (tipe antenna Leica AR20) dengan mekanisme 1 untuk koordinat *Easting* dan *Northing* secara berturut-turut adalah 0,003 m dan 0,001 m. Selisih koordinat elevasinya yaitu 0,033 m. Nilai selisih ini lebih kecil dibandingkan dengan tidak memasukkan jenis antenna yang digunakan seperti dapat dilihat pada mekanisme 2, karena nilai PCO antenna Leica AR20 sebesar 0,161 m ikut dimasukkan dalam perhitungan data. Seperti dapat dilihat pada **Gambar 6**, deviasi nilai koordinat horizontal juga berpengaruh akibat *blunder* salah input atau tidak memasukkan jenis antenna, hal ini diakibatkan lokasi *phase center* setiap antenna yang berbeda-beda letaknya. Dalam perhitungan teliti, nilai variasi dari phase center (*Phase Center Variation*) dimasukkan sebagai

koreksi kesalahan akibat bias phase center nya (Dawidowicz, 2014).

Sementara untuk hasil pada titik G025 dapat dilihat pada **Tabel 3**. Solusi ambiguitas fase dari ketiga mekanisme pengolahan adalah *fixed* dengan nilai horizontal presisi yang sama yaitu 0,003 m. Nilai vertikal presisinya pun menunjukkan angka yang sama untuk seluruh mekanisme yaitu 0,006 m dengan nilai RMS 0,007 m untuk hasil mekanisme 1 dan 0,006 untuk hasil mekanisme 2 dan 3. Selisih hasil koordinat *Easting* dan *Northing* mekanisme 2 (**tanpa memasukkan tipe antenna**) dan mekanisme 1 bernilai sama yaitu 0,002 m.

Sementara selisih koordinat elevasinya adalah 0,104 m, tidak jauh berbeda dengan selisih mekanisme 2 dan mekanisme 1 pada titik I006. Hasil yang serupa juga didapatkan untuk mekanisme 3 (tipe antenna Leica AR20), selisih untuk koordinat *Easting* dan *Northing* secara berturut-turut adalah 0,003 m dan 0,002 m. Selisih koordinat elevasinya yaitu 0,036 m seperti dapat dilihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 6.** Deviasi Nilai Koordinat di Titik I006.

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Posisi pada Titik I006.

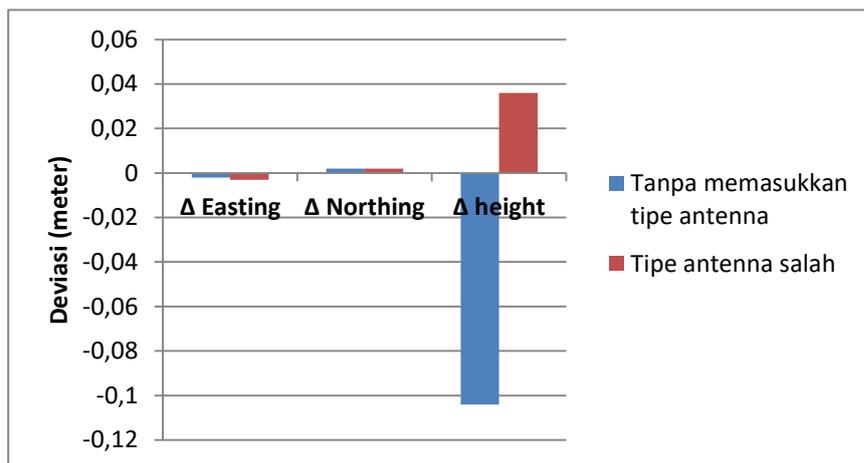
Observasi	Mekanisme 1	Mekanisme 2	Mekanisme 3
Tipe Antenna	Leica GS08	Unknown	Leica AR20
Metode Pengukuran Antenna	<i>Bottom of Antenna Mount</i>	<i>Bottom of Antenna Mount</i>	<i>Bottom of Antenna Mount</i>
<i>Height reading</i> (m)	2,000	2,000	2,000
Solusi tipe	<i>Fixed</i>	<i>Fixed</i>	<i>Fixed</i>
Horizontal presisi (m)	0,004	0,004	0,004
Vertikal Presisi (m)	0,013	0,013	0,013
RMS	0,008	0,008	0,008
<i>Ellipsoid distance</i> (m)	5.321,113	5.321,113	5.321,114
<i>Easting</i> (m)	413.039,813	413.039,814	413.039,816
<i>Northing</i> (m)	9.595.438,122	9.595.438,121	9.595.438,121
Elevasi (m)	45,623	45,728	45,590

Hasil ini membuktikan bahwa pengolahan data di titik mana saja dengan tanpa memasukkan jenis antenna akan menghasilkan error sebesar nilai PCO nya. Sementara memasukkan jenis antenna yang tidak sesuai dengan sebenarnya akan menimbulkan kesalahan khususnya pada komponen vertikalnya, karena setiap antenna memiliki PCO yang berbeda dan tidak bisa di sama ratakan, bergantung pada dimensi antenna yang dibuat oleh pabrik. Menurut website Auspos (Geoscience Australia, n.d.), untuk memperoleh hasil pengolahan dengan kualitas yang baik, perlu diperhatikan untuk memasukkan jenis antenna yang digunakan dengan benar. Penggunaan tipe antenna yang salah dapat menimbulkan bias yang signifikan (lebih dari 10 cm pada komponen vertikal) dan noise.

Pernyataan Geoscience Australia secara tidak langsung hampir sama dengan hasil penelitian ini, dimana nilai kesalahan akibat tidak memasukkan jenis antenna yang benar berkisar pada nilai 10 cm untuk komponen

vertikalnya. Artinya mengetahui jenis antenna yang digunakan dan memasukkan informasi yang benar terkait dengan peralatan yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kualitas data posisi yang dihasilkan.

Sumber kesalahan penentuan tinggi ini sangat sering terjadi dalam pengolahan data GPS. Pengolah data harus teliti dan tahu jenis alat apa yang mereka gunakan dalam pengambilan data di lapangan. Seperti menggunakan perangkat LEICA GPS1200, bacaan tinggi hasil pengukuran menggunakan *height hook* harus ditambahkan terlebih dahulu dengan *offset* sebesar 0,360 m. Jika tidak, akan ada *blunder* sebesar nilai *offset* tersebut pada komponen vertikal. Sama halnya dengan kesalahan tidak mengetahui jenis antenna yang digunakan. Kesalahan menyebutkan metode pengukuran tinggi antenna (*slant* atau *direct height*) akan mempengaruhi komponen tinggi sebesar nilai konversi tinggi antenna seperti yang dapat ditunjukkan pada persamaan 3. Efek kesalahan hingga centimeter level ini akan merusak kualitas koordinat yang dihasilkan.



Gambar 7. Deviasi nilai koordinat di titik G025.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Posisi pada Titik G025.

Observasi	Mekanisme 1	Mekanisme 2	Mekanisme 3
Tipe Antenna	Leica GS08	Unknown	Leica AR20
Metode Pengukuran Antenna	<i>Bottom of Antenna Mount</i>	<i>Bottom of Antenna Mount</i>	<i>Bottom of Antenna Mount</i>
Height reading (m)	2,000	2,000	2,000
Solusi tipe	<i>Fixed</i>	<i>Fixed</i>	<i>Fixed</i>
Horizontal presisi (m)	0,003	0,003	0,003
Vertikal Presisi (m)	0,006	0,006	0,006
RMS	0,007	0,006	0,006
Ellipsoid distance (m)	3.374,748	3.374,747	3.374,748
Eastings (m)	410.895,957	410.895,959	410.895,960
Northing (m)	9.594.545,968	9.594.545,966	9.594.545,966
Elevasi (m)	3,511	3,615	3,475

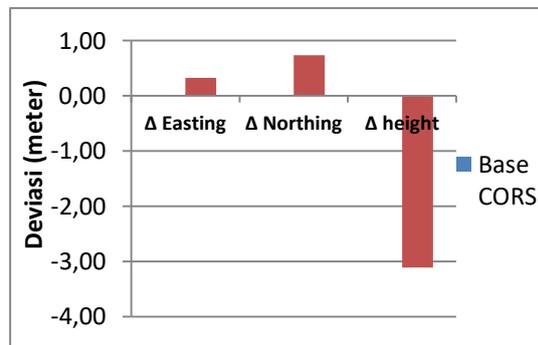
**Efek salah menentukan referensi yang digunakan**

Terkadang pengolah data lupa memasukkan koordinat definitif atau bahkan lupa menentukan sebuah titik sebagai referensi pengukurannya. Titik I006 ini diolah menggunakan mekanisme 4 tanpa memasukkan koordinat fix (titik *base* bebas tanpa ikatan). **Tabel 4** menunjukkan hasil pengolahan data dengan tidak memasukkan koordinat fix titik referensinya. *Base* CORS disini artinya pengolahan diikatkan dengan titik tetap CORS Ambon (CAMB), sementara *base* pilar JKH (Jaring Kontrol Horizontal) disini berarti bahwa pengolahan terikat dengan titik yang sebelumnya sudah diamati diatas pilar AMB1 (pilar orde 1).

Solusi ambiguitas fase dari kedua mekanisme perhitungan adalah *fixed* dengan nilai horizontal presisi yaitu 0,004 m untuk *base* CORS dan 0,007 m untuk *base* pilar JKH. Nilai vertikal presisinya menunjukkan nilai 0,013 m untuk *base* CORS dan 0,018 m untuk *base* pilar JKH. Nilai RMS dari *base* CORS dan pilar JKH berturut-turut yaitu 0,008 m dan 0,014 m. Selisih koordinat *base* pilar JKH dengan ukuran sebenarnya adalah 0,324 m untuk Easting dan 0,735 m untuk koordinat Northing nya seperti dapat dilihat pada **Gambar 8**. Sementara kesalahan terbesar dihasilkan pada komponen tingginya yaitu bernilai 3,100 m dari nilai sebenarnya. Untuk pengolahan menggunakan *base* CORS, selisih yang dihasilkan untuk komponen horizontal dan tingginya adalah 0,007 m. Hasil CORS ini sangat mendekati dengan nilai sebenarnya karena RINEX data CORS didalamnya menggunakan koordinat pendekatan yang sudah diisi dengan koordinat fix di titik tersebut. Tanpa memasukkan koordinat fix titik CORS pun (input manual di perangkat lunak pengolah data GPS), pengolah data akan mendapatkan hasil yang benar, karena isi *header* RINEX berisi koordinat fix titik tersebut. Sementara hasil pengolahan menggunakan mekanisme terikat pilar JKH (tanpa didefinisikan

sebagai titik ikat) sangat besar nilai kesalahannya dikarenakan pada saat pengolahan, titik AMB1 atau titik *base* menggunakan koordinat pendekatan hasil pengamatan absolut satelit atau disebut dengan koordinat waktu itu (*broadcast coordinate*) sebagai titik referensi pengolahan. Padahal titik ini masih sangat jauh ketelitiannya, karena didapatkan langsung dari satelit tanpa melakukan mekanisme koreksi terlebih dahulu sehingga hasil deviasinya sangat besar hingga ketelitian sub meter. Perambatan kesalahan titik *base* ini akan merambat ke titik-titik rover yang terikat terhadap *base* tersebut, sehingga hasil koordinatnya memiliki kualitas rendah.

Ketika pengolahan data tidak memasukkan informasi posisi yang benar dari titik tersebut, maka titik *rover* akan dihitung dari titik *base*. Titik *base* akan mengambil koordinat acuan yang berasal dari koordinat pendekatan hasil penentuan posisi absolut langsung dari satelit. Koordinat pendekatan ini masih memiliki kesalahan yang tinggi, berkisar sampai ketelitian meter. Oleh karena itu input koordinat fix menjadi hal yang penting dilakukan. Blunder ini masih sering terjadi, pengolah data menganggap titik tersebut sebagai acuan dan mengunci titik dengan cara set *Control Point* akan tetapi pengolah data lupa memasukkan koordinat fix titik tersebut.



**Gambar 8.** Deviasi Koordinat di Titik I006 Akibat Salah Titik Referensi.

**Tabel 4.** Perbandingan Hasil Perhitungan Posisi Titik I006 tanpa Titik Ikat.

Observasi	Mekanisme 1	Base CORS	Base pilar JKH
Tipe Antenna	Leica GS08	Leica GS08	Leica GS08
Metode Pengukuran Antenna	<i>Bottom of Antenna Mount</i>	<i>Bottom of Antenna Mount</i>	<i>Bottom of Antenna Mount</i>
Height reading (m)	2,000	2,000	2,000
Solusi tipe	<i>Fixed</i>	<i>Fixed</i>	<i>Fixed</i>
Horizontal presisi (m)	0,004	0,004	0,007
Vertikal Presisi (m)	0,013	0,013	0,018
RMS	0,008	0,008	0,014
<i>Ellipsoid distance</i> (m)	5.321,113	5.321,113	15.726,034
<i>Easting</i> (m)	413.039,813	413.039,813	413.039,489
<i>Northing</i> (m)	9.595.438,122	9.595.438,122	9.595.437,387
Elevasi (m)	45,623	45,623	48,723

Kesalahan tidak memasukkan nilai koordinat definitif ini akan mempengaruhi hasil koordinat sesuai dengan koordinat pendekatan yang ada pada *header* RINEX datanya. Hasil tersebut seperti dapat dilihat pada **Gambar 8**, hasil titik ikat CORS memiliki deviasi rendah dikarenakan koordinat pendekatan *file* rinex CORS sudah berisi koordinat fix. Hasil berbeda dengan titik ikat dari pilar JKH, koordinat pendekatan dihasilkan melalui pengamatan satelit pada waktu itu. Koordinat belum dikoreksi sehingga kesalahan posisi yang dihasilkan memiliki kualitas yang rendah.

## KESIMPULAN

Blunder merupakan kesalahan akibat kekuranghatian atau bahkan kekurangpahaman pengolah data terkait dengan metode penentuan tinggi pada peralatan penerima satelit. Kebanyakan blunder terjadi dalam hal penentuan tinggi instrumen (*Height of Instrument*) yang sebenarnya setiap alat sudah diberikan petunjuk cara menentukan tinggi alat. Kesalahan ini mutlak harus dihindari dan harus dihilangkan dalam pengolahan data.

Seorang pengolah data harus tahu pasti jenis antenna yang digunakan pada saat pengukuran di lapangan. Kesalahan tidak mengetahui jenis antenna berakibat pada kesalahan posisi yang dihasilkan. Kesalahan tidak mengetahui jenis antenna akan berakibat nilai komponen tinggi salah sebesar *Phase Center Offset* antenna GPS yang digunakan, pada penelitian ini ditunjukkan dengan nilai deviasinya sampai ketelitian centimeter. Begitu pula ketika salah memasukkan antenna yang digunakan, akan menimbulkan kesalahan khususnya pada komponen vertikalnya hingga beberapa centimeter, karena setiap antenna memiliki nilai *Phase Center Offset* yang berbeda dan tidak bisa disamaratakan, bergantung pada dimensi antenna yang dibuat oleh pabrik. Meskipun pengukuran dilakukan dengan menggunakan interval data 1 detik dan lama pengamatan yang berjam-jam, kesalahan kecil ini akan merusak hasil pengukuran. Memasukkan informasi jenis antenna yang digunakan sangat penting, terlebih ketika kita menginginkan hasil pengukuran dengan kualitas data yang baik.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa blunder yang bersumber dari tidak ditentukannya tipe antenna akan mempengaruhi hasil koordinat tinggi sebesar nilai offset dari antenna tersebut yaitu 10 cm dari nilai sebenarnya. Sumber kesalahan pengolahan dari tidak memasukkan nilai koordinat definitif memiliki kesalahan error sebesar 3,113 m untuk komponen tinggi dan 73 cm dan 32 cm untuk komponen horizontalnya. Kesalahan tidak memasukkan koordinat definitif

akan menghasilkan koordinat sesuai dengan koordinat pendekatan file RINEX titik ikatnya. Ketika pengolahan data tidak memasukkan informasi posisi yang benar dari titik *base* tersebut, maka seluruh titik *rover* yang terikat dengan *base* tersebut akan salah. Pengolah data harus memastikan bahwa titik *base* sudah di set *Control Point* (pada perangkat lunak pengolah data satelit) baik horizontal, vertikal maupun keduanya. Pengolah data juga harus memastikan bahwa koordinat *Control Point* sudah diinputkan dengan koordinat fix titik tersebut.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kesalahan blunder pada pengolahan data satelit sangat mempengaruhi kualitas data posisi yang dihasilkan, terutama pada koordinat tingginya. Diperlukan ketelitian dan pemahaman yang memadai dari seorang pengolah data, sehingga kesalahan-kesalahan blunder ini dapat dihindari.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim GCP Ambon yang sudah bersedia memberikan datanya untuk uji pengolahan pada penelitian ini. Penulis juga tak lupa mengucapkan terima kasih kepada Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika Badan Informasi Geospasial yang sudah memberikan data CORS Ambon beserta koordinat definitif titik AMB1, dua titik ikat yang digunakan pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2002). Jaring Kontrol Horizontal. SNI 19-6724-2002. Jakarta.
- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya* (1st ed.). Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Bartels, G. A. (1997). *GPS-Antenna Phase Center Measurements Performed in an Anechoic Chamber*. Delft: Delft University Press.
- Dawidowicz, K. (2014). Phase center variations problem in GPS / GLONASS observations processing. In *The 9th International Conference Environmental Engineering*. Vilnius: VGTU Press.
- El-hattab, A. I. (2013). Influence of GPS antenna phase center variation on precise positioning. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 2(2), 272–277.  
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.nrjag.2013.11.002>
- Geoscience Australia. (n.d.). AUSPOS GPS Antenna. Retrieved January 11, 2017, from <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos/faq5>
- Kaplan, E., & Hegarty, C. (2005). *Understanding GPS: Principles and Applications* (Second). Artech house.
- Meyer, T. H., & Hiscox, A. (2005). POSITION ERRORS CAUSED BY GPS HEIGHT OF INSTRUMENT BLUNDERS. *Survey Review*, 38(298).

- Pan, L., Cai, C., Santerre, R., & Zhu, J. (2014). Combined GPS/GLONASS Precise Point Positioning with Fixed GPS Ambiguities. *Sensors, 14*, 17530–17547. <http://doi.org/10.3390/s140917530>
- Pan, Z., Chai, H., & Kong, Y. (2017). Integrating multi-GNSS to improve the performance of precise point positioning. *Advances in Space Research*. <http://doi.org/10.1016/j.asr.2017.01.014>
- Yu, X., & Gao, J. (2017). Kinematic Precise Point Positioning Using Multi-Constellation Global Navigation Satellite System ( GNSS ) Observations. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 6*. <http://doi.org/10.3390/ijgi6010006>

# PENGGUNAAN KINEMATIK GNSS PRECISE POINT POSITIONING (PPP) PADA SURVEI GAYABERAT AIRBORNE SULAWESI

*(The Application of Kinematic GNSS Precise Point Positioning (PPP) for Sulawesi Airborne Gravity Survey)*

**Prayudha Hartanto**

Pusat Penelitian, Promosi dan Kerjasama Badan Informasi Geospasial

Jl. Raya Jakarta-Bogor Km. 46, Cibinong, 16914

E-mail : [prayudha.hartanto@big.go.id](mailto:prayudha.hartanto@big.go.id)

*Diterima: 15 Maret 2017; Direvisi (Revised): 25 April 2017; Disetujui untuk Dipublikasikan (Accepted): 30 Mei 2017*

## ABSTRAK

Metode *Precise Point Positioning* (PPP) adalah metode penentuan posisi teliti yang hanya menggunakan sebuah receiver GNSS dual frekuensi. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan posisi teliti objek-objek yang diam (*static*) maupun bergerak (*kinematic*). Pada penelitian ini, akan dipaparkan mengenai penggunaan kinematik PPP dalam penentuan posisi pesawat terbang pada survei gayaberat *airborne* di Sulawesi tahun 2008. Data yang digunakan adalah jalur terbang pesawat pada *day of year* (DOY) 291 dan 274. Perangkat lunak yang digunakan adalah Waypoint® Grafnav. Hasil pengolahan menggunakan metode PPP tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengolahan data Diferensial GPS (DGPS) dengan 1 titik ikat untuk DOY 291 dan 2 titik ikat untuk DOY 274. Hasil perbandingan pada DOY 291 menunjukkan nilai RMS untuk arah timur, utara dan tinggi masing-masing sebesar 0,024 m; 0,020 m dan 0,039 m. Pada DOY 274, RMS yang diperoleh adalah 0,032 m; 0,011 m dan 0,058 m masing-masing untuk arah timur, utara dan tinggi. Hasil-hasil tersebut mengindikasikan bahwa metode PPP dapat digunakan untuk menentukan posisi pesawat terbang dengan fraksi ketelitian sentimeter. Tingkat ketelitian posisi ini sudah memenuhi syarat untuk digunakan pada survei gayaberat *airborne*.

**Kata kunci:** GNSS, kinematik PPP, gayaberat airborne, DGPS

## ABSTRACT

*The Precise Point Positioning (PPP) is a positioning method which only use a dual frequency GNSS receiver. This method can be used to determine the precise position of either static (static) or moving objects (kinematic). In this paper, we will discuss the application of kinematic PPP for the 2008 Sulawesi airborne gravity survey. By using a commercial GNSS processing software called Waypoint® Grafnav, we determine the PPP solutions for the aircraft trajectory of the day of year (DOY) 291 and 274. Each solution then be compared to the Differential GPS (DGPS) results, which use one base station for DOY 291 and two reference stations for DOY 274. The PPP solution of DOY 291 gives RMS error of 0.024 m eastward, 0.020 m northward, and 0.039 m upward. Moreover, the comparison of DOY 274 gives RMS error of 0.032 m eastward, 0.011 m northward, and 0.058 m upward. These centimeter level RMS errors show that PPP is a compatible positioning method for airborne gravity survey.*

**Keywords:** GNSS, kinematic PPP, airborne gravity, DGPS

## PENDAHULUAN

Metode *Precise Point Positioning* (PPP) adalah teknik penentuan posisi teliti yang hanya menggunakan sebuah *receiver* GNSS (Lachapelle, *et al.*, 2006). Metode ini dapat digunakan untuk penentuan posisi baik statik maupun kinematik, namun untuk memperoleh ketelitian pada level sentimeter, seluruh kesalahan pada pengamatan GNSS harus dimodelkan secara seksama dan dihilangkan dari data pengamatan (Chen *et al.*, 2009).

Pada aplikasi penentuan posisi statik, penambahan data satelit Glonass terhadap satelit

GPS mampu menghasilkan ketelitian level sentimeter hanya dalam tempo 2 jam pengamatan (Pandey *et al.*, 2016). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dawidowicz dan Krzan (2014), penggunaan data satelit GPS saja (tanpa tambahan Glonass) pada metode PPP statik mampu menghasilkan ketelitian horizontal sebesar 5 cm dan vertikal sebesar 10 cm dalam tempo setengah jam waktu pengamatan.

Metode PPP juga telah banyak digunakan dalam penentuan posisi kinematik, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Martin *et al.* (2012). menurut penelitian tersebut, penggunaan metode PPP untuk penentuan posisi kinematik

mampu mencapai tingkat ketelitian planimetris di bawah 10 cm dan 20 cm untuk komponen tinggi. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa pemilihan algoritma pengolahan PPP sangat menentukan kualitas solusi yang diperoleh. Tahun 2012, Marreiros juga menggunakan metode kinematik PPP untuk penentuan posisi wahana perairan dengan tingkat ketelitian di level desimeter (Marreiros, 2012).

Faktor lain yang juga berpengaruh dalam ketelitian solusi kinematik PPP adalah durasi pengamatan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Witchayangkoon, rerata ketelitian 3D yang dihasilkan oleh metode PPP dual frekuensi adalah sebesar  $9,3 \pm 3$  cm (Witchayangkoon, 2000). Ketelitian tersebut diperoleh untuk pengamatan selama 6 jam. Untuk data pengamatan yang lebih dari 4 jam, dapat diperoleh konvergensi beberapa sentimeter tanpa disertai bias yang signifikan (Kalita *et al.*, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas penggunaan metode PPP kinematik (selanjutnya disebut metode PPP) pada penentuan posisi pesawat dalam survei gayaberat *airborne* di Sulawesi. Perangkat lunak yang digunakan adalah Waypoint® Grafnav yang merupakan *software* komersial yang memiliki fitur *multi-pass PPP processing* (Waypoint, 2007).

Solusi posisi pesawat yang dihasilkan dari metode PPP kemudian diuji akurasi menggunakan solusi Diferensial GPS (DGPS). Solusi DGPS yang dijadikan pembandingan menggunakan satu dan dua titik ikat. Tujuan penggunaan jumlah titik ikat yang berbeda adalah untuk mengetahui kedekatan solusi PPP dengan DGPS *single-base* atau DGPS *multi-base*. Pada penelitian serupa yang dilakukan oleh Abdallah dan Schwieger, dua buah trayektori posisi kinematik diolah menggunakan metode PPP dengan perangkat lunak GIPSY-OASIS dan CSRS-PPP. Simpangan baku yang diperoleh pada trayektori pertama adalah 6 cm *east*, 2,1 cm *north*, dan 6,8 cm *height*, sedangkan untuk trayektori kedua (*quasi-static*) nilainya adalah 1,7 cm *east*, 2,6 cm *north*, dan 4,9 cm *height* untuk trayektori kedua. (Abdallah dan Schwieger, 2015).

Ketelitian posisi yang diperlukan dalam survei gayaberat *airborne* bergantung pada ketelitian nilai gayaberat yang diharapkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hwang dkk, kesalahan posisi vertikal sebesar 0,293 m menghasilkan kesalahan kecepatan vertikal sebesar 0,0013 m/s dan kesalahan akselerasi vertikal sebesar 104,85 m/s<sup>2</sup>. (Hwang, *et al.*, 2007)

## METODE

Penelitian ini menggunakan data jalur terbang pesawat pada *survey* gayaberat *airborne*

di Sulawesi. Jalur terbang yang dipilih adalah jalur pada *day of year* (DOY) 291 dan 274. Akuisisi data dilakukan pada tahun 2008. Kedua data dipilih untuk mewakili kualitas PPP dibanding DGPS *single base* (DOY 291) dan DGPS *dual base* (DOY 274). Kedua data tersebut juga memiliki epok pengamatan lebih dari 4 jam.

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data kode dan data fase dual frekuensi dari satelit GPS dan GLONASS. Penggunaan kedua jenis satelit tersebut disebabkan oleh keterbatasan perangkat lunak Waypoint® Grafnav versi 8.50 yang hanya mampu mengolah data dari dua satelit tersebut. Pada Waypoint® Grafnav versi terbaru (8.70), seluruh data satelit GNSS seperti GPS, Glonass, Galileo, dan Bei Dou dapat diolah dan dikombinasikan satu sama lain untuk memperoleh solusi terbaik (Waypoint, 2016).

Pengolahan PPP dilakukan menggunakan perangkat lunak Waypoint® Grafnav. *Software* ini menyediakan fitur untuk mengunduh data orbit teliti dan koreksi jam satelit dari situs IGS. Strategi pengolahan PPP yang digunakan adalah *multi-pass processing*. Metode pengolahan PPP ini dirancang untuk memaksimalkan konvergensi solusi *float*.

Fitur *multi-pass processing* pada perangkat lunak Waypoint® Grafnav mengolah data GNSS sebanyak tiga kali secara berurutan. Urutan pengolahannya adalah maju-mundur-maju. Pada akhir tiap-tiap tahap pengolahan, estimasi kesalahan *Kalman filter* yang dihasilkan kemudian diaplikasikan pada tahap selanjutnya. Tahap akhir pengolahan, seluruh solusi dikombinasikan untuk mendapatkan solusi akhir. Keunggulan dari teknik ini adalah kemampuannya untuk memaksimalkan konvergensi ambiguitas fase (solusi *float*), sehingga pada beberapa kasus, dapat diperoleh solusi yang kualitasnya setara dengan solusi *fixed* (Waypoint, 2016).

Pada penelitian ini, koreksi troposfer yang diterapkan menggunakan model densitas spektral. Terdapat 4 mode perubahan status troposfer dalam *software* ini. Mode-mode ini mengendalikan seberapa cepat asumsi perubahan kondisi troposfer yang digunakan sebagai koreksi. Mode medium dipilih karena pada *survey* gayaberat *airborne* ini diasumsikan tidak terjadi perubahan elevasi secara cepat dan berulang. Mode-mode lain yang tersedia adalah *high*, *low* dan manual. Mode manual memungkinkan peneliti untuk menentukan nilai error troposfer sesuai dengan yang dikehendakinya.

Parameter pra-pengolahan sinyal GNSS yang digunakan adalah 10° untuk *elevation mask* dan 4 detik untuk L1 *locktime cutoff*. L1 *locktime cutoff* adalah banyaknya waktu (dalam detik) yang dibutuhkan bagi pengamatan fase kontinyu untuk dapat digunakan sebagai data ukuran (Waypoint, 2016).

Hasil pengolahan metode PPP kemudian dievaluasi ketelitiannya menggunakan solusi DGPS sebagai nilai acuan. Pengolahan DGPS menggunakan *software* yang sama dengan parameter yang sama, baik untuk jenis satelit, maupun pra pengolahan sinyal. Untuk menentukan koordinat tetap titik ikat, digunakan pengolah data GNSS online, yaitu Auspos.

Data pengamatan di titik ikat setidaknya harus berdurasi sama atau lebih panjang dari data pengamatan di pesawat. Jika terdapat kesalahan besar dalam solusi DGPS, maka kesalahan besar tersebut harus dibuang terlebih dulu, dan tidak disertakan sebagai data pembanding untuk solusi PPP. Selanjutnya akan dilakukan penghitungan statistik hasil perbandingan tersebut. Nilai statistik yang digunakan adalah *Root Mean Square* (RMS) yang menjadi indikasi akurasi solusi PPP terhadap solusi DGPS (Abdallah dan Schwieger, 2015).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**DOY 291**

Pada DOY 291, survei gayaberat *airborne* dilakukan di atas daerah Luwuk, di mana jalur terbang pesawat memanjang dari timur ke barat, seperti tampak pada **Gambar 1**. Pengukuran tersebut dilakukan pada detik ke 421355-439948. Titik ikat yang digunakan pada pengamatan DGPS adalah LUW2, dengan koordinat tetap yakni 1° 2' 20,85415" LS, 122° 46' 21,20839" BT dan 79.505 m. Koordinat tetap tersebut diperoleh dari situs pengolahan data GPS Auspos, dengan ketidakpastian posisi pada tingkat kepercayaan 95% sebesar 0,009 m, 0,006 m, dan 0,018 m masing-masing untuk komponen *easting, northing* dan tinggi.

Hasil pengolahan DGPS dengan titik ikat LUW2 menunjukkan terdapatnya *blunder* pada detik ke 421355-421368 yang disajikan pada **Gambar 2**. *Blunder* ini disebabkan oleh inisiasi pengamatan satelit di titik ikat dan di pesawat

pada awal pengukuran membutuhkan waktu sekitar 10 detik. Agar dapat digunakan lebih lanjut, kesalahan-kesalahan besar tersebut tidak disertakan sebagai data pembanding pada hasil pengolahan PPP.

Pengolahan PPP jalur terbang pesawat pada DOY 291 memberikan hasil yang teliti, di mana seluruh koordinat 3D titik-titik pengamatan memiliki standar deviasi 0 - 0.1 m disajikan pada **Tabel 1**. Sedangkan untuk data mentah pengamatan, nilai RMS untuk data fase L1 adalah 0,011 m, data kode sebesar 0,9 m, dan untuk data L1 Doppler sebesar 0,028 m/s disajikan pada **Tabel 2**. Nilai RMS pengamatan Doppler merupakan indikator ketelitian pengamatan kecepatan sesaat pada fase L1. Untuk kecepatan terbang pesawat sekitar 70-80 m/s, ketelitian pengamatan kecepatan tersebut telah memenuhi syarat ketelitian pengukuran gayaberat *airborne*.

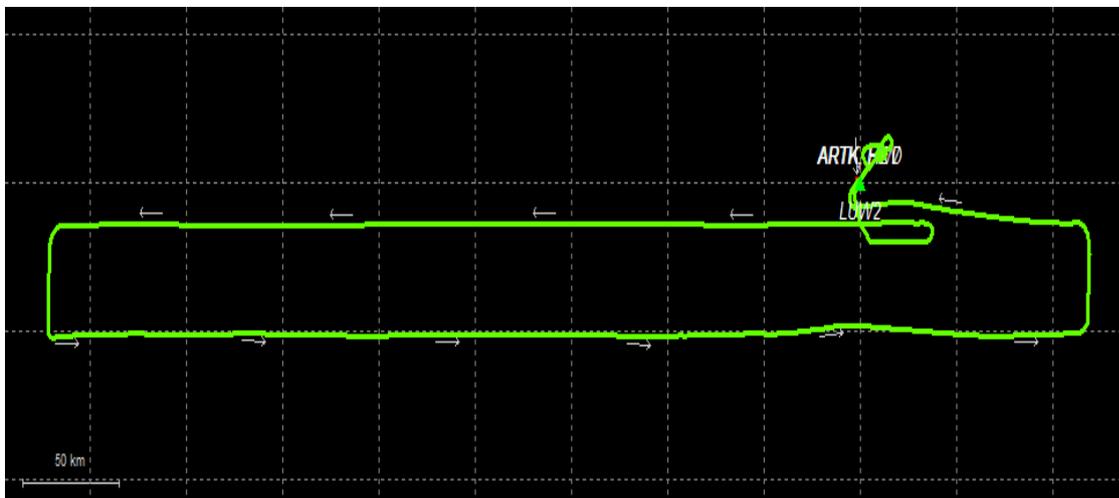
**Tabel 1.** Distribusi Standar Deviasi Posisi 3D.

Standar Deviasi	Distribusi (%)
0.00 - 0.10 m	100,0
0.10 - 0.30 m	0,0
0.30 - 1.00 m	0,0
1.00 - 5.00 m	0,0
>5.00 m	0,0

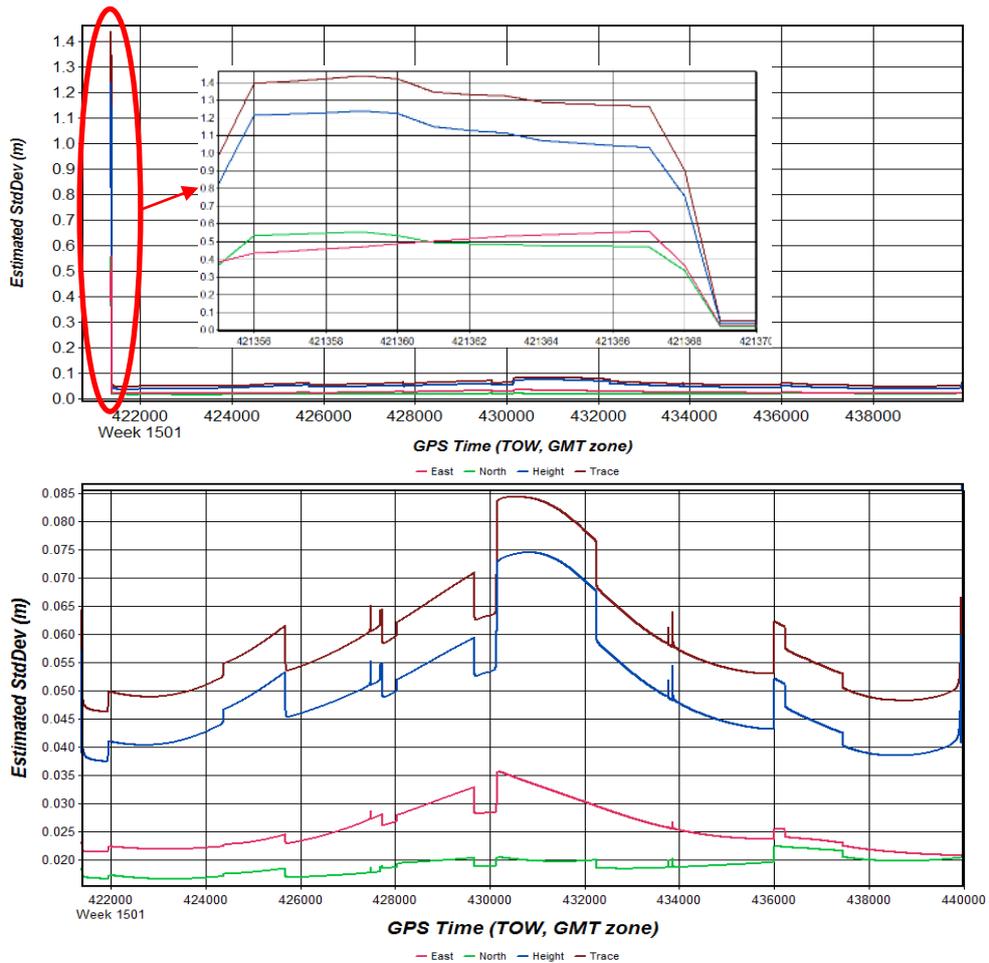
**Tabel 2.** RMS Data Pengamatan.

Variabel	RMS
L1 Phase	0,011 (m)
C/A Code	0,900 (m)
L1 Doppler	0,028 (m/s)

Seperti yang telah disebutkan dalam Bab Metode, penelitian ini menggunakan metode *multi-pass* PPP. Untuk mengetahui ketelitian solusi yang dihasilkan, solusi posisi pada arah maju diselisahkan dengan solusi arah mundur. Hasil perbandingan kedua solusi tersebut disajikan pada **Tabel 3**.



**Gambar 1.** Jalur Terbang Pesawat pada DOY 291, dengan Titik Ikat DGPS adalah LUW2.



**Gambar 2.** Estimasi Ketelitian Posisi Hasil Pengolahan DGPS untuk Detik ke 421355-439948, di dalamnya Terdapat Plot Hasil-Hasil Pengukuran yang Buruk pada Detik ke 421355-421368 (Atas); Estimasi Ketelitian Posisi setelah Menghilangkan Data-data *Blunder* (Bawah).

Kedua solusi tersebut lalu dikombinasikan untuk memperoleh solusi PPP terbaik. Pada **Gambar 3**, tampak bahwa pola ketelitian posisi arah *easting* berbeda dengan arah *northing*, kecuali di beberapa detik terakhir pengamatan di mana kedua komponen tersebut hampir berhimpit. Selain itu, ketelitian posisi komponen *easting* lebih rendah daripada komponen *northing*. Hal ini disebabkan oleh bentuk jalur terbang pesawat yang memanjang pada arah timur-barat, kecuali di bagian akhir pengamatan, dimana dilakukan pendaratan dengan arah utara-selatan.

Statistik estimasi ketelitian posisi dapat dilihat pada **Tabel 4**. Nilai ketelitian posisi 3D terburuk adalah 0,097 m, atau masih berada dalam fraksi sentimeter sehingga dapat digunakan untuk penentuan posisi pesawat dalam survei gayaberat *airborne* ini.

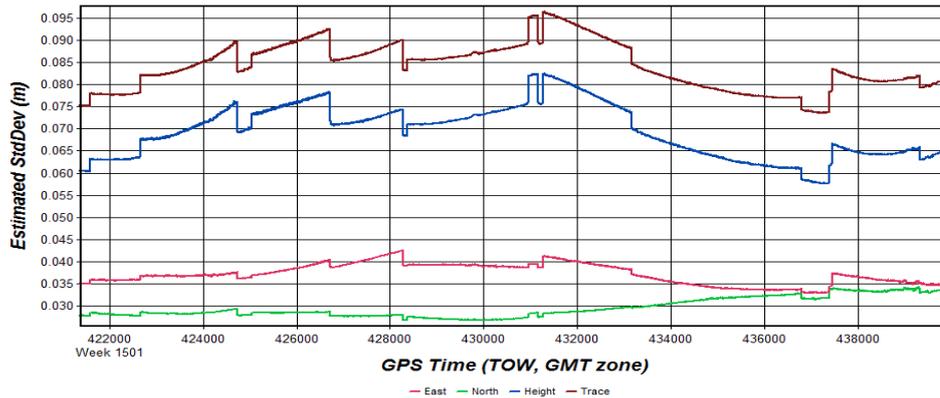
**Tabel 3.** RMS Selisih *Forward* dan *Reverse Solution*.

Komponen	RMS (m)
East	0,005
North	0,004
Tinggi	0,030

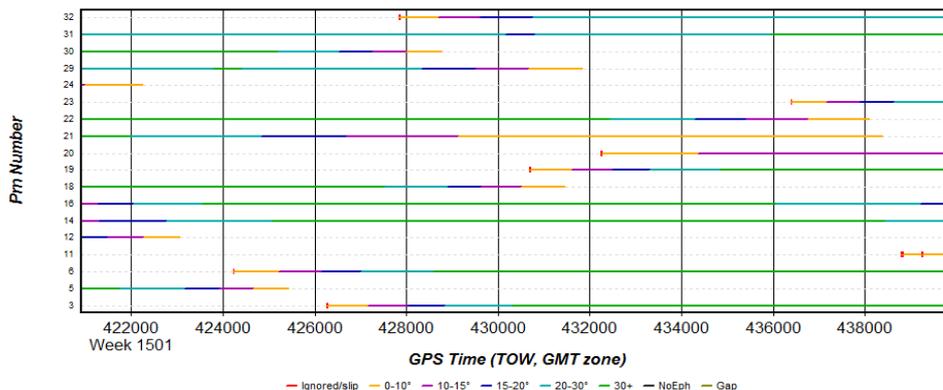
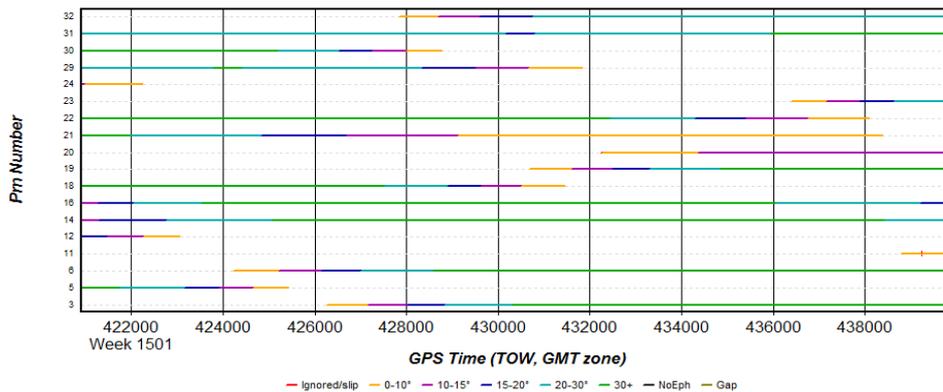
**Tabel 4.** Statistik Estimasi Ketelitian Posisi Hasil Pengolahan PPP DOY 291.

Stat	East (m)	North (m)	Tinggi (m)	3D (m)
STD	0,0023	0,0022	0,0059	0,0053
RMS	0,0372	0,0296	0,0697	0,0843
Rerata	0,0371	0,0296	0,0694	0,0842
Maks	0,0425	0,0343	0,0826	0,0966
Min	0,0328	0,0267	0,0576	0,0736

Satelit yang diamati oleh *receiver* di pesawat pada DOY 291 berjumlah total 18 buah seperti tampak pada **Gambar 4**. Namun dari 18 buah satelit tersebut, jumlah satelit yang diamati pada rentang waktu yang sama hanya berkisar 10-11 buah. Pada **Gambar 4** juga terlihat masih terdapatnya *cycle slip* yang tidak terkoreksi, baik pada fase L1 maupun L2. *Cycle slip* paling menonjol terlihat pada satelit nomor 11, yang teramati pada akhir pengamatan. Hal ini disebabkan oleh *maneuver* pesawat yang akan mendarat, dimana terjadi perubahan posisi dan ketinggian pesawat secara signifikan.



Gambar 3. Estimasi Ketelitian Posisi Hasil Pengolahan PPP.



Gambar 4. Plot Satelit Teramati dan Cycle Slip untuk Data L1 (atas) dan L2 (bawah).

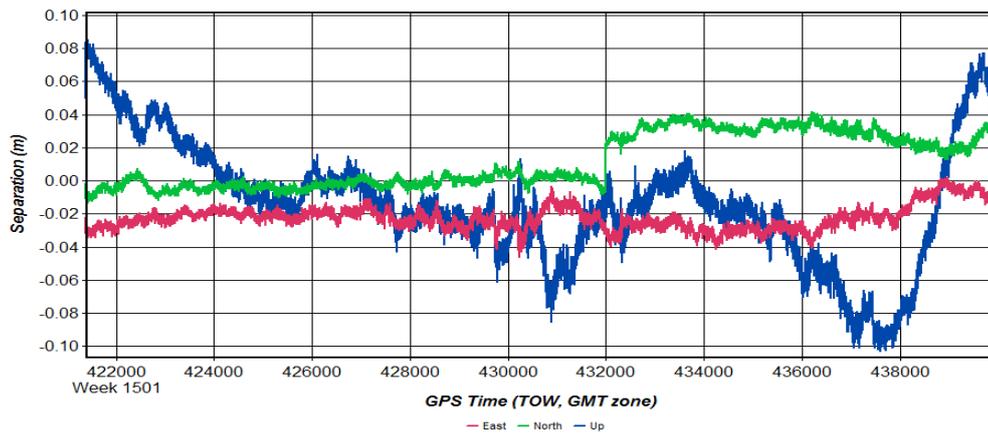
Pada tahap selanjutnya, dilakukan perbandingan antara hasil pengolahan PPP dengan DGPS. Berdasarkan perbandingan hasil tersebut diketahui bahwa perbedaan antara kedua metode tersebut memiliki RMS sebesar: 0,024 m, 0,020 m, dan 0,040 m, masing-masing untuk komponen *east*, *north*, dan tinggi. Hasil perbandingan selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 5.

Selisih antara solusi PPP dengan DGPS cenderung stabil dan bernilai rendah pada komponen *easting*, seperti tampak pada Gambar 5. Hal ini disebabkan oleh jalur terbang pesawat yang melintang timur-barat, sehingga ketelitian DGPS tidak terlalu baik dan mendekati ketelitian

solusi PPP. Selain itu, pada komponen vertikal terlihat adanya lonjakan nilai selisih kedua solusi pada rentang 437000 sampai dengan selesai. Penyebabnya adalah manuver pesawat yang akan mendarat, sehingga ketelitian solusi PPP memburuk.

Tabel 5. Statistik Uji Akurasi Solusi PPP DOY 291.

	East (m)	North (m)	Up (m)
<b>Max</b>	0,002	0,042	0,098
<b>Min</b>	-0,046	-0,014	-0,103
<b>Ave</b>	-0,022	0,012	-0,014
<b>STD</b>	0,007	0,016	0,037
<b>RMS</b>	0,024	0,020	0,040



Gambar 5. Selisih antara Solusi PPP dengan DGPS.

**DOY 274**

Pada DOY 274, jalur terbang pesawat melintasi wilayah perairan Sulawesi Selatan dan sebagian Sulawesi Tenggara. Titik ikat yang digunakan pada pengamatan DGPS adalah MAK1 dan KEN2. Koordinat kedua titik ikat tersebut adalah 5° 3' 43,4967" LS, 119° 32' 48,2715" BT, dan 68,003 m untuk MAK1, 3° 58' 12,3951" LS, 122° 31' 29,0098" BT, dan 79,775 m untuk KEN2. Koordinat tetap tersebut diperoleh dari situs Auspos dengan ketidakpastian posisi (tingkat kepercayaan 95%) untuk MAK1 adalah 0,008 m east, 0,006 m north, dan 0,016 m up. Nilai ketidakpastian untuk KEN2 adalah 0,01m east, 0,006 m north, dan 0,018 m up. Plot jalur terbang pada DOY 274 dapat dilihat pada Gambar 6.

Solusi DGPS yang diperoleh menunjukkan adanya kesalahan besar pada detik ke 162848-162858. Total epok yang berhasil diolah adalah 16147 detik. Untuk mendapatkan hasil perbandingan yang lebih dapat dipertanggungjawabkan, data-data kesalahan besar tersebut tidak disertakan pada perbandingan dengan solusi PPP. Grafik estimasi ketelitian posisi hasil pengolahan DGPS disajikan pada Gambar 7.

Sementara itu, hasil pengolahan PPP menunjukkan ketelitian yang baik dengan 95,8% solusi memiliki simpangan baku posisi 3D di bawah 0,1 m. Distribusi simpangan baku selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 6. Untuk data pengukuran fase L1, nilai RMS adalah 0,009

m disajikan pada Tabel 7. Hasil ini lebih baik jika dibandingkan dengan pengukuran fase L1 pada DOY 291.

Tabel 6. Distribusi Standar Deviasi Posisi 3D solusi PPP.

Simpangan Baku (m)	%
0.00 - 0.10	95,8
0.10 - 0.30	4,2
0.30 - 1.00	0,0
1.00 - 5.00	0,0
>5.00	0,0

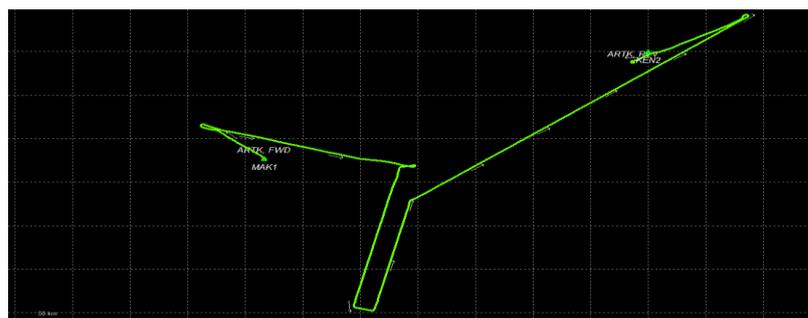
Pada Tabel 8 tampak bahwa selisih solusi arah maju dan mundur untuk DOY 274 sedikit lebih besar daripada DOY 291. Hal ini mengindikasikan bahwa pada DOY 274 kesalahan akibat *loss of lock* satelit lebih besar daripada DOY 291.

Tabel 7. RMS Data Pengukuran.

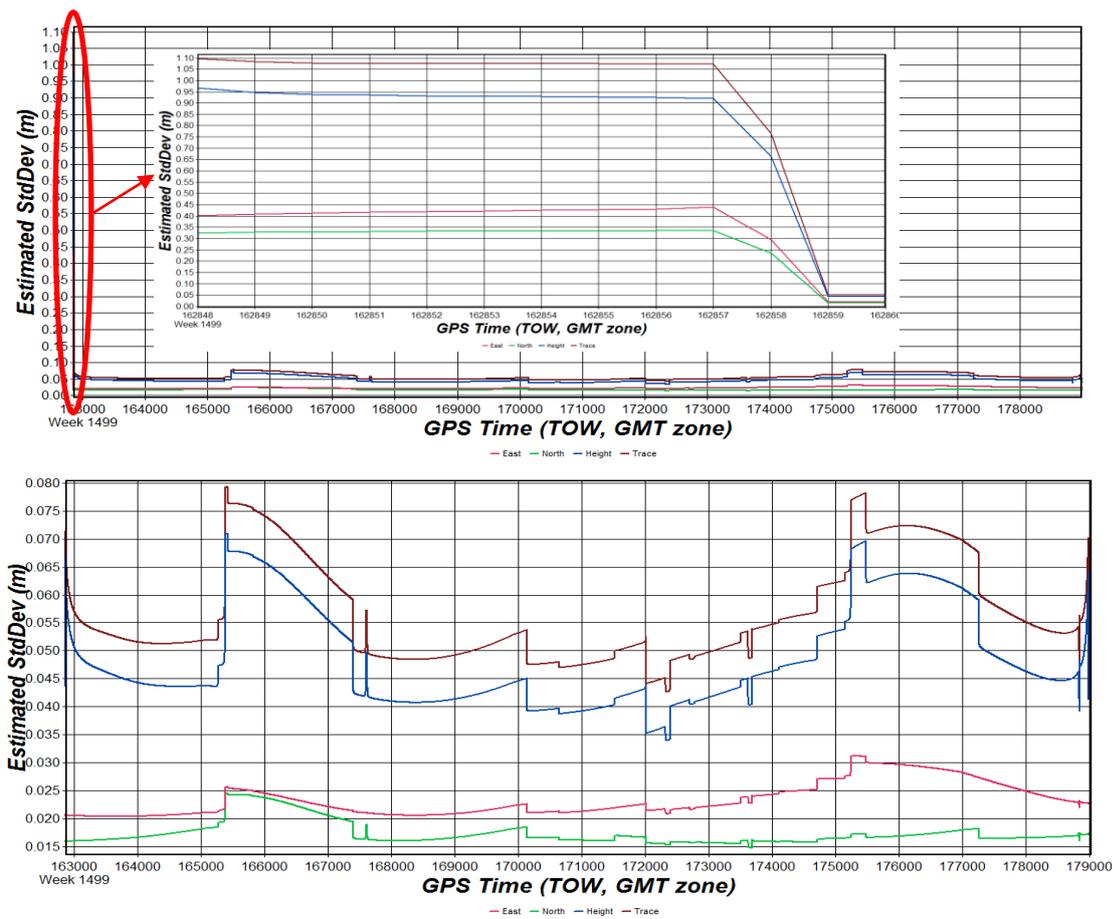
Variabel	RMS
L1 Phase	0,009 (m)
C/A Code	0,860 (m)
L1 Doppler	0,027 (m/s)

Tabel 8. RMS selisih Forward dan Reverse Solution.

Komponen	RMS (m)
East	0,007
North	0,004
Tinggi	0,031



Gambar 6. Jalur Terbang Pesawat pada DOY 274, dengan Titik Ikat MAK1 dan KEN2.



**Gambar 7.** Estimasi Ketelitian Posisi Hasil Pengolahan DGPS untuk Detik ke 162848-178995 (DOY 274). Dalam *Inset* Tampak juga *Blunder* pada Detik ke 162848-162858 (atas). Estimasi Ketelitian Posisi Hasil Pengolahan DGPS setelah Menghilangkan *Blunder*.

Hasil pengolahan PPP pada DOY 274 menunjukkan pola ketelitian yang serupa untuk arah *northing* dan *easting* seperti yang disajikan pada **Gambar 8**. Hal ini disebabkan oleh bentuk jalur terbang pesawat yang tidak sejajar garis lintang maupun bujur. Ketelitian posisi pesawat hasil pengolahan PPP memiliki RMS 3D sebesar 0,090 m dengan standar deviasi 0,005 m disajikan pada **Tabel 9**. Hasil ini masih masuk toleransi dan dapat digunakan untuk pengolahan data gayaberat *airborne*.

**Tabel 9.** Statistik Estimasi Ketelitian Posisi Solusi PPP DOY 274.

Stat	East (m)	North (m)	Tinggi (m)	3D (m)
STD	0,0018	0,0014	0,0057	0,0055
RMS	0,0387	0,0298	0,0752	0,0897
Rerata	0,0387	0,0298	0,0750	0,0895
Maks	0,0512	0,0357	0,1079	0,1208
Min	0,0360	0,0270	0,0650	0,0803

Pada DOY 274 ini, satelit yang berhasil diamati sejumlah 15 buah. Jumlah tersebut lebih sedikit daripada DOY 291. Pada **Gambar 9**, terlihat bahwa jumlah *cycle slip* pada fase L1 adalah 8, sedangkan pada L2 sebanyak 13. Mayoritas *cycle slip* terjadi pada awal dan akhir

penerbangan. Hal ini disebabkan oleh rendahnya ikatan satelit (*satellite's loss of lock*). Ikatan satelit yang rendah terjadi karena pesawat melakukan manuver lepas landas, belok, maupun pendaratan, di mana terjadi perubahan posisi, *altitude* dan kecepatan yang signifikan dalam waktu relatif singkat.

Munculnya *cycle slip* pada satelit nomor 29, 21, dan 18 berdampak langsung pada estimasi ketelitian posisi pesawat pada sekitar detik ke 177000 disajikan pada **Gambar 8**. Terlihat jelas adanya *spike* pada periode tersebut, terutama pada arah *easting* dan vertikal. Hal ini terjadi karena bentuk lintasan pesawat pada rentang waktu tersebut yang melintang di arah timur laut ke barat daya dengan *altitude* yang menurun.

Selanjutnya, solusi PPP yang diperoleh dibandingkan dengan solusi DGPS untuk periode bebas *blunder* (162859-179040). Hasil perbandingan memiliki RMS sebesar 0,032 m, 0,011 m, dan 0,058 m, masing-masing untuk arah *easting*, *northing* dan vertikal. Sedangkan standar deviasinya adalah 0,019 m, 0,006 m, dan 0,057 m. Hasil selengkapnya disajikan dalam **Tabel 10**.

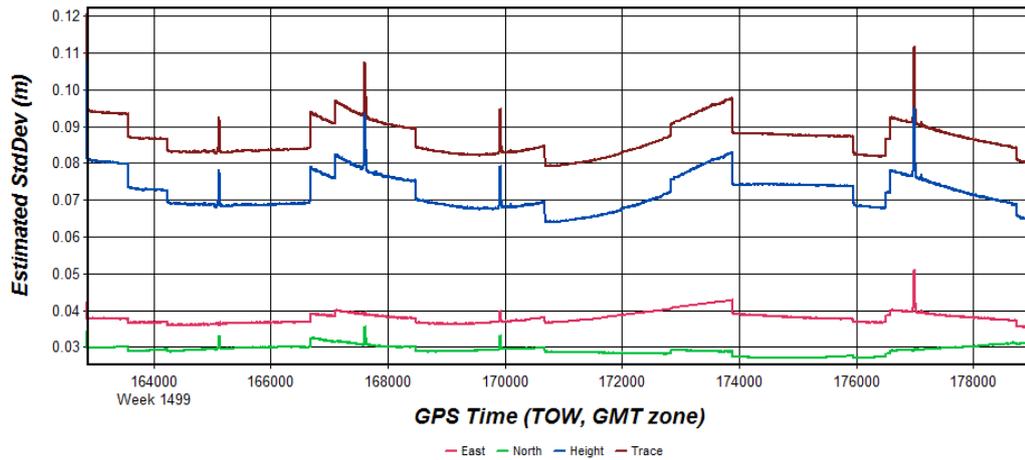
Selisih solusi PPP dan DGPS disajikan dalam **Gambar 10**. Pada gambar tersebut tampak bahwa pada sekitar detik 172800 terjadi *shifting*

akurasi solusi PPP hingga 4 cm, khususnya di arah *easting* dan vertikal. Hal ini disebabkan oleh faktor eksternal, mengingat ketelitian pengamatan PPP (**Gambar 8** dan **Gambar 9**) pada waktu tersebut relatif tinggi dan stabil, begitu pula ketelitian solusi DGPS. Faktor eksternal yang dimaksud adalah perubahan kondisi atmosfer setempat pada epok tersebut. Perubahan kondisi atmosfer (troposfer) yang mendadak dapat mempengaruhi ketelitian koreksi troposferik pada metode PPP. Selain itu, perubahan kondisi

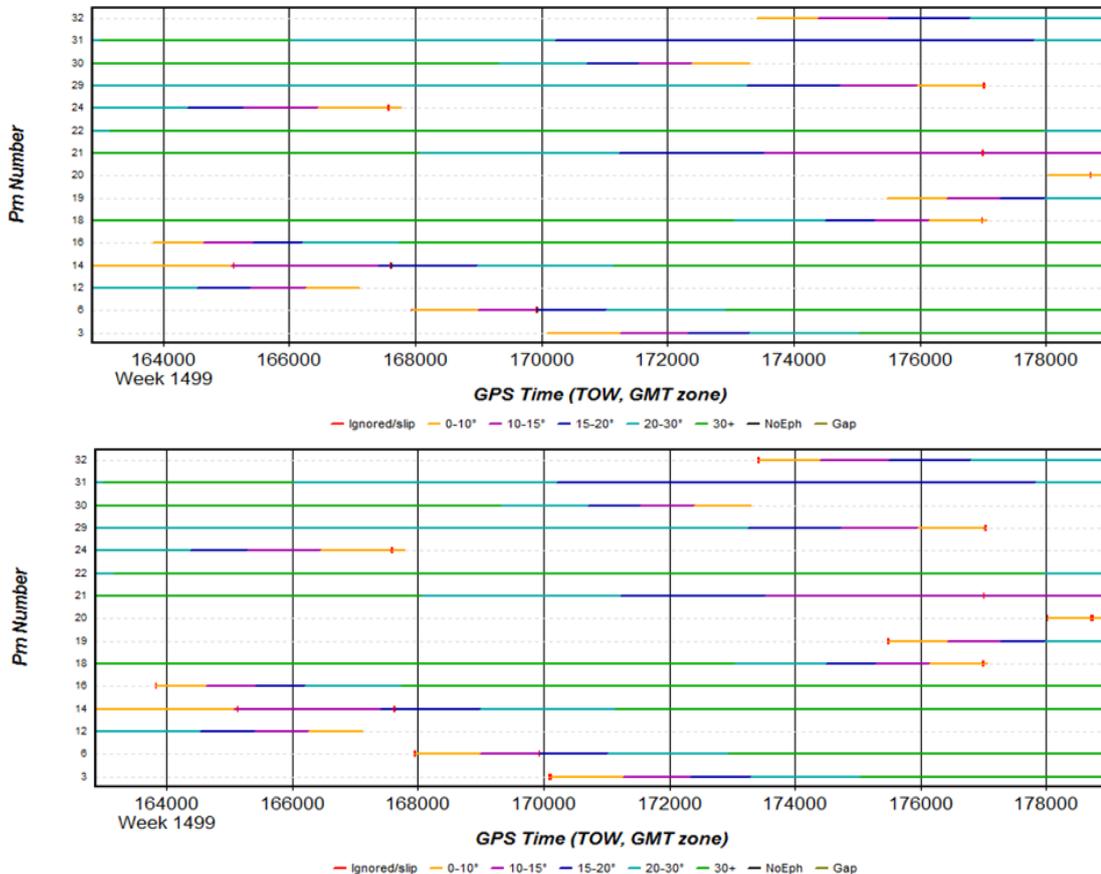
meteorologi seperti munculnya awan tebal juga dapat mempengaruhi besarnya *multipath* yang diterima oleh *receiver*.

**Tabel 10.** Statistik Uji Akurasi Solusi PPP DOY 274.

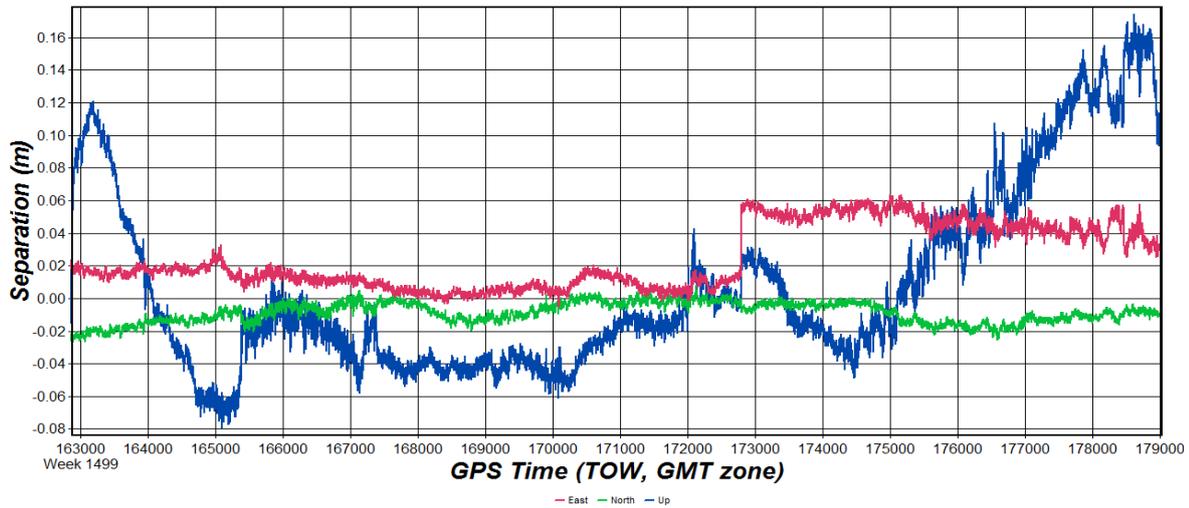
	<i>East</i> (m)	<i>North</i> (m)	<i>Up</i> (m)
Max	0,0637	0,0075	0,1742
Min	-0,0051	-0,0273	-0,0791
Ave	0,0250	-0,0086	0,0081
Std	0,0191	0,0063	0,0570
RMS	0,0315	0,0107	0,0576



**Gambar 8.** Estimasi Ketelitian Posisi Hasil Pengolahan PPP.



**Gambar 9.** Plot Satelit Teramati Beserta *Cycle Slip* untuk Data L1 (atas) dan L2 (bawah).



Gambar 10. Selisih antara Solusi PPP dengan DGPS.

Berdasarkan pemaparan di atas, penggunaan metode PPP untuk penentuan posisi pesawat telah memiliki ketelitian dalam fraksi sentimeter. Tingkat ketelitian ini telah memenuhi kebutuhan survei gayaberat *airborne*. Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Xincun *et al.* (2014), dimana ketelitian posisi untuk arah *northing*, *easting*, dan tinggi masing-masing adalah 0,064 m, 0,020 m, dan 0,094 m.

Selain itu dapat diketahui pula bahwa solusi PPP yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki ketelitian yang setara dengan *software* ilmiah. Hal ini sesuai dengan laporan yang diterbitkan oleh Grup Waypoint (Waypoint, 2007). Pada pengujian yang dilakukan oleh Martin *et al.* (2012) terhadap beberapa *software* ilmiah, *software* Magic GNSS memberikan ketelitian terbaik untuk pengolahan posisi pesawat dengan RMS 0,019 m, 0,012 m, dan 0,035 m masing-masing untuk arah *northing*, *easting*, dan tinggi (Martin *et al.*, 2012). *Software* Magic GNSS merupakan *software* ilmiah yang dibuat oleh GMV Aerospace and Defence, Spanyol (Piriz *et al.*, 2008).

**KESIMPULAN**

Pada DOY 291, uji akurasi solusi PPP terhadap solusi DGPS memberikan RMS 2D sebesar 0,031 m dan RMS vertikal 0,04 m. Sementara itu, pada DOY 274 memberikan RMS 2D sebesar 0,033 m dan RMS vertikal 0,058 m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa solusi PPP lebih mendekati nilai solusi DGPS dengan satu titik ikat (DOY 291) daripada DGPS dengan dua titik ikat (DOY 274).

Faktor-faktor yang mempegaruhi kualitas pengolahan PPP adalah obstruksi langit, konfigurasi satelit, atmosfer, dan kehilangan ikatan satelit. Pada pemetaan gayaberat *airborne*, tinggi terbang pesawat yang berkisar 3 km memungkinkan munculnya gangguan terhadap sinyal GNSS, terutama dari awan tebal. Selain itu kondisi atmosfer yang berubah sewaktu-waktu

mengurangi kualitas koreksi troposfer yang diturunkan dari model matematis. Kehilangan ikatan satelit (*satellite's loss of lock*) timbul karena manuver satelit yang terlalu menukik saat akan melakukan pendaratan. Manuver pesawat yang berbelok tajam atau menukik untuk mempersiapkan pendaratan akan mengurangi ketelitian komponen tinggi.

Selain faktor-faktor yang terkait metode pengamatan, hal lain yang juga mempengaruhi kualitas solusi PPP adalah strategi pengolahan yang diterapkan. Pada penelitian ini, solusi PPP diperoleh menggunakan teknik pengolahan *multi-pass*. Teknik ini mengolah data GNSS dalam arah maju-mundur-maju, dan kemudian menggabungkannya menjadi solusi kombinasi. Penggunaan teknik kombinasi ini bertujuan mengurangi dampak *complete loss of lock* atau hilangnya ikatan *receiver-satelit* secara total selama beberapa waktu.

Bentuk jalur terbang serta manuver pesawat saat akan lepas landas/mendarat turut berpengaruh dalam ketelitian penentuan posisi dengan metode PPP. Jalur terbang yang sejajar atau hampir sejajar dengan garis lintang akan mengurangi ketelitian posisi komponen *easting*. Begitu juga sebaliknya, jalur terbang yang membujur utara-selatan akan mengurangi kualitas solusi PPP komponen *northing*.

Berdasarkan penelitian ini, dapat diketahui juga bahwa pengamatan DGPS kinematik membutuhkan waktu inisiasi setidaknya 10 detik, untuk mendapatkan kualitas posisi yang baik. Pada metode PPP, kualitas pengamatan yang baik dapat diperoleh sejak awal hingga akhir pengukuran. Penggunaan metode PPP untuk penentuan posisi pesawat telah memenuhi kebutuhan survei gayaberat *airborne*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika yang telah menyediakan perangkat lunak Waypoint® Grafnav. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Kelompok Keahlian Gayaberat yang telah membantu menginventarisasi data penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, A., & Schwieger, V. (2015). Accuracy Assessment Study of GNSS Precise Point Positioning for Kinematic Positioning. *FIG Working Week* (pp. 167-178). Sofia: FIG.
- Chen, W., Hu, C., Gao, S., Chen, Y., & Ding, X. (2009). Error Correction Models and Their Effects on GPS Precise Point Positioning. *Survey Review*, 41(313), 238-252.
- Dawidowicz, K., & Krzan, G. (2014). Coordinate estimation accuracy of static precise point positioning using on-line PPP service, a case study. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 37-55.
- Hwang, C., Hsiao, Y.-S., Shih, H.-C., Yang, M., Chen, K.-H., Forsberg, R., et al. (2007). Geodetic and geophysical results from a Taiwan airborne gravity survey : Data reduction and accuracy assessment. *Journal of Geophysical Research*, 112, B04407.
- Kalita, J., Rzepecka, Z., & Szuman-Kalita, I. (2014). The application of Precise Point Positioning in Geosciences. *The 9th International Conference "Environmental Engineering" Selected Papers*. Vilnius, Lithuania.
- Lachapelle, G., Petovello, M., Gao, Y., & Garin, L. J. (2006). GNSS Solutions: Precise Point Positioning and Its Challenges, Aided-GNSS and Signal Tracking. *Inside GNSS*, 16-21.
- Marreiros, J. P. (2012). *Kinematic GNSS Precise Point Positioning Application to Marine Platforms*. Porto: University of Porto.
- Martin, A., Anquela, A. B., Berne, J. L., & Sanmartin, M. (2012). Kinematic GNSS-PPP results from various software packages and raw data configurations. *Scientific Research and essays*, 7(3), 419-431.
- Pandey, D., Dwivedi, R., Dikshit, O., & Singh, A. K. (2016). GPS and Glonass Combined Static Precise Point Positioning (PPP). *The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (pp. 483-488). Prague: ISPRS.
- Piriz, R., Mozo, A., Navarro, P., & Rodriguez, D. (2008). MagicGNSS: Precise GNSS products out of the box. *Proceedings of ION GNSS 21th International Technical Meeting of The Satellite Division*, (pp. 1242-1251). Savannah, Georgia.
- Waypoint Products Group. (2007). *Airborne Multi-Pass Precise Point Positioning in GrafNav 8.10*. Novatel Inc.
- Waypoint Products Group. (2016). *Grafnav/Grafnet Gravnave Static User Manual*. Novatel.
- Witchayangkoon, B. (2000). *Elements of GPS Precise Point Positioning*. Maine: The University of Maine.
- Xincun, Y., Yongzhong, O., Yi, S., & Kailiang, D. (2014). Application of precise point positioning technology in airborne gravity measurement. *Geodesy and Geodynamics*, 5(4), 68-72.