



## Penentuan Tinggi Orthometrik Gunung Semeru Berdasarkan Data Survei GPS dan Model Geoid EGM 1996

Hasanuddin Z. Abidin <sup>1)</sup>, Heri Andreas <sup>1)</sup>, Dinar Maulana <sup>1)</sup>, M. Hendrasto <sup>2)</sup>,  
M. Gamal <sup>1)</sup> & Oni K. Suganda <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Departemen Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung (ITB)  
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, e-mail: hzabidin@gd.itb.ac.id

<sup>2)</sup> Direktorat Vulkanologi and Mitigasi Bencana Geologi (DVMBG),  
Jl. Diponegoro 57, Bandung 40122

**Abstrak.** Semeru merupakan gunung tertinggi di Pulau Jawa dengan ketinggian sekitar +3676 m di atas permukaan laut. Ketinggian ini ditentukan pada zaman penjajahan Belanda dengan menggunakan metode pengukuran Triangulasi, yang berdasarkan pada pengukuran sudut dengan menggunakan alat ukur theodolit pada titik-titik pengamatan. Saat ini dengan kemajuan teknologi penentuan posisi dan pemahaman yang lebih baik terhadap karakteristik fisis Bumi, tinggi orthometrik suatu gunung juga dapat ditentukan dengan memanfaatkan data pengamatan ke satelit GPS (Global Positioning System) dan model global gaya berat Bumi. Pada makalah ini akan dijelaskan dan didiskusikan metodologi, mekanisme dan hasil penentuan tinggi orthometrik Gunung Semeru berdasarkan data survei GPS yang telah dilaksanakan pada Agustus 2003 dan Agustus 2004, serta model geoid EGM 1996. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tinggi gunung Semeru saat ini adalah sekitar +3677 m di atas muka laut rata-rata. Makalah akan diakhiri dengan beberapa catatan penutup.

**Kata kunci:** *EGM 1996; Model Gayaberat; GPS; Semeru; Tinggi Orthometrik.*

**Abstract.** Semeru is the highest mountain in Java island with an altitude of about +3676 m above the sea level. This altitude was measured during the Dutch colonial times using the Triangulation method, which is based on angles measurements using a theodolite on the measurement points. At the present times, with the advancement in positioning technology and better knowledge on the Earth's gravity field, an orthometric altitude of a mountain can also be determined by utilizing GPS satellites observation data and a global geopotential model. In this paper, the methodology, mechanism and results of the altitude determination of Semeru mountain using the August 2003 and August 2004 GPS survey data and EGM 1996 geoid model will be described and discussed. The obtained results show that the altitude of Semeru at the present times is about +3677 m above the mean sea level. The paper will be sum up with some closing remarks.

**Keywords:** *EGM 1996; GPS; Gravity Model; Orthometric Height; Semeru,*

## 1 Pendahuluan

Semeru adalah gunungapi yang terletak di wilayah Malang dan Lumajang, Jawa Timur, dan merupakan gunung tertinggi di Pulau Jawa (lihat Gambar 1). Mahameru yang merupakan puncak gunung Semeru dilaporkan mempunyai ketinggian +3676 m di atas permukaan laut.

Semeru adalah gunungapi aktif tipe-A yang kerap meletus sampai saat ini. Sejarah letusan G. Semeru tercatat sejak 1818, dengan jumlah letusan sampai saat ini tercatat sudah sekitar 90 kali. Menurut [DVMBG, 2004] aktivitas G. Semeru terdapat di Kawah Jonggring Seloko yang terletak di sebelah tenggara puncak Mahameru. Letusan G. Semeru umumnya bertipe vulkanian dan strombolian. Letusan tipe vulkanian dicirikan dengan letusan eksplosif yang kadang-kadang menghancurkan kubah dan lidah lava yang telah terbentuk sebelumnya ; dan selanjutnya terjadi letusan bertipe strombolian yang biasanya diikuti dengan pembentukan kubah dan lidah lava baru.



**Gambar 1** Lokasi Gunung Semeru.

Ketinggian G. semeru pertama kali ditentukan pada zaman penjajahan Belanda dengan menggunakan metode Triangulasi, yang berbasis pada pengukuran sudut menggunakan alat ukur theodolit pada titik-titik pengamatan. Titik-titik triangulasi umumnya ditempatkan di puncak-puncak gunung dan bukit untuk mendapatkan medan pandang yang luas ke titik-titik pengamatan di sekitarnya. Puncak gunung Semeru merupakan salah satu titik triangulasi primer dengan nomor P786. Titik ini merupakan salah satu titik dari Jaring Triangulasi Jawa dan Madura yang diukur pada periode 1862 sampai 1880 [Schepers and Schulte, 1931].

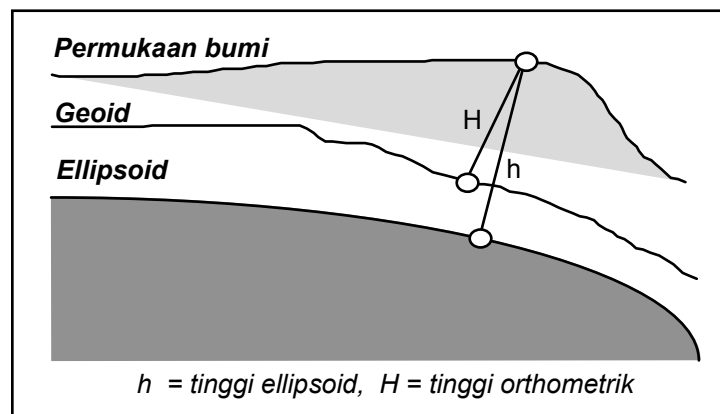
Saat ini dengan kemajuan teknologi penentuan posisi dan pemahaman yang lebih baik terhadap karakteristik fisis Bumi, tinggi orthometrik suatu gunung

juga dapat ditentukan dengan memanfaatkan data pengamatan ke satelit GPS (*Global Positioning System*) serta model global gaya berat Bumi. Pada makalah ini akan dijelaskan dan didiskusikan metodologi, mekanisme dan hasil penentuan tinggi orthometrik Gunung Semeru berdasarkan data survei GPS [Abidin, 2000 ; Abidin et al, 2002] yang telah dilaksanakan pada Agustus 2003 dan Agustus 2004, serta model geoid EGM 1996 [NASA/GSFC, 2003]. Dalam studi ini penentuan tinggi gunung Semeru direferensikan ke stasion tetap GPS BAKOSURTANAL yang ada di Cibinong (lihat Gambar 1 di atas). Stasion ini diketahui koordinat geodetik serta tinggi orthometriknya secara teliti dan presisi.

Sebelum studi kasus penentuan tinggi orthometrik Gunung Semeru tersebut dipaparkan, berikut ini beberapa konsep dasar tentang penentuan tinggi dan beda tinggi dengan GPS serta karakteristik *Earth Gravitational Model* (EGM) 1996 akan dijelaskan terlebih dahulu.

## 2 Penentuan Tinggi dan Beda Tinggi dengan GPS

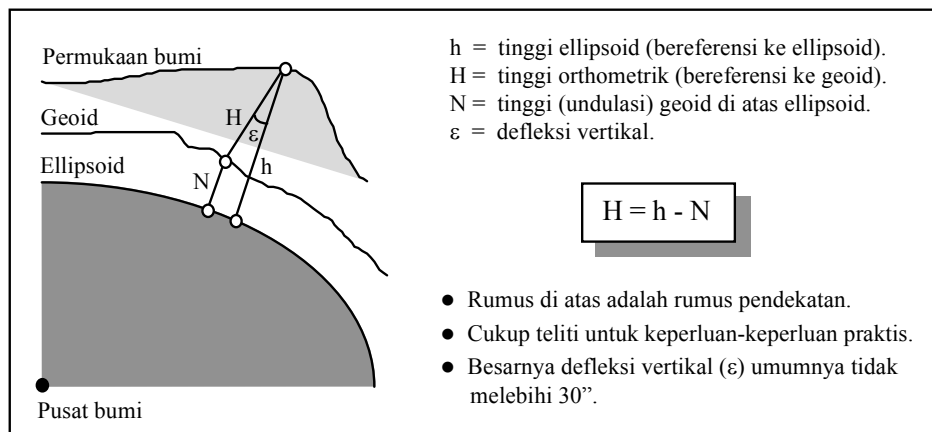
Ketinggian titik yang diberikan oleh GPS adalah ketinggian titik di atas permukaan ellipsoid, yaitu ellipsoid WGS (*World Geodetic System*) 1984 [Abidin, 2001]. Tinggi ellipsoid ( $h$ ) tersebut tidak sama dengan tinggi orthometrik ( $H$ ) yang umum digunakan untuk keperluan praktis sehari-hari yang biasanya diperoleh dari pengukuran sipat datar (*levelling*). Tinggi orthometrik suatu titik adalah tinggi titik tersebut di atas geoid diukur sepanjang garis gaya berat yang melalui titik tersebut, sedangkan tinggi ellipsoid suatu titik adalah tinggi titik tersebut di atas ellipsoid dihitung sepanjang garis normal ellipsoid yang melalui titik tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Tinggi ellipsoid dan tinggi orthometrik.

Patut dicatat di sini bahwa geoid adalah salah satu bidang ekuipotensial medan gaya berat Bumi. Untuk keperluan praktis umumnya geoid dianggap berimpit dengan muka air laut rata-rata (*Mean Sea Level*, MSL). Geoid adalah bidang referensi untuk menyatakan tinggi orthometrik. Secara matematis, geoid adalah suatu permukaan yang sangat kompleks yang memerlukan sangat banyak parameter untuk merepresentasikannya. Oleh karena itu untuk merepresentasikan bumi ini secara matematis serta untuk perhitungan-perhitungan matematis orang umumnya menggunakan suatu ellipsoid referensi dan bukan geoid. Ellipsoid referensi dan geoid umumnya tidak berimpit, dan dalam hal ini ketinggian geoid terhadap ellipsoid dinamakan *undulasi geoid* (N).

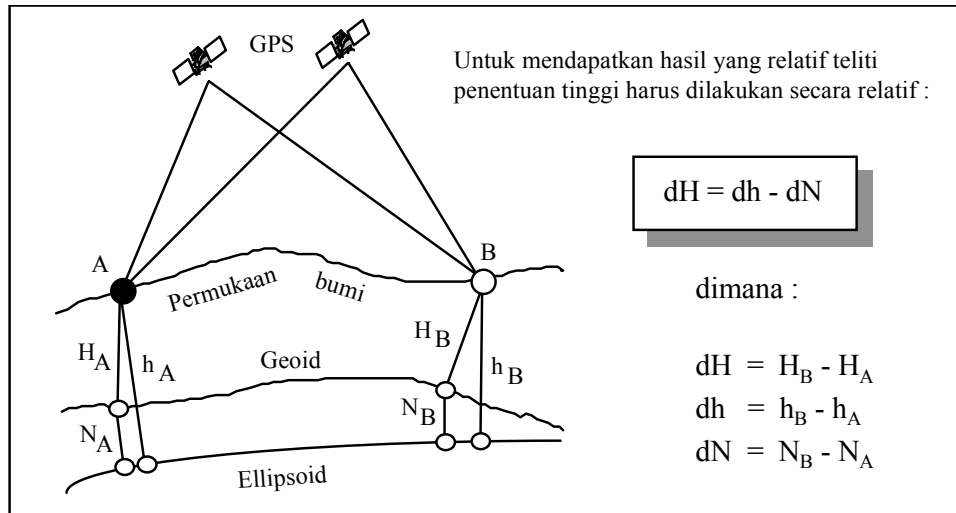
Untuk dapat mentransformasi tinggi ellipsoid hasil ukuran GPS ke tinggi orthometrik maka diperlukan undulasi geoid di titik yang bersangkutan. Geometri dari dan rumus untuk transformasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3** Transformasi tinggi ellipsoid ke tinggi orthometrik.

Ketelitian dari tinggi orthometrik yang diperoleh akan tergantung pada ketelitian dari tinggi GPS serta undulasi geoid. Perlu dicatat di sini bahwa penentuan undulasi geoid secara teliti (orde ketelitian cm) bukanlah suatu pekerjaan yang mudah. Disamping diperlukan data gaya berat yang detil, juga diperlukan data ketinggian topografi permukaan bumi serta data densitas material dibawah permukaan bumi yang cukup. Untuk mendapatkan hasil yang relatif teliti, transformasi tinggi GPS ke tinggi orthometrik umumnya dilakukan secara diferensial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Karena  $dh$  dapat ditentukan lebih teliti dibandingkan  $h$  [Abidin, 2000] dan  $dN$  dapat ditentukan

lebih teliti dibandingkan  $N$ , maka dapat diharapkan bahwa  $dH$  yang diperolehpun akan lebih teliti.



**Gambar 4** Penentuan tinggi secara diferensial.

Karena tingkat fleksibilitas operasionalnya yang tinggi serta tingkat ketelitiannya yang relatif cukup tinggi, dapat diperkirakan bahwa penentuan tinggi dengan GPS akan punya peran yang cukup besar di masa mendatang. Beberapa contoh aplikasi yang dapat dipertimbangkan dalam hal ini adalah :

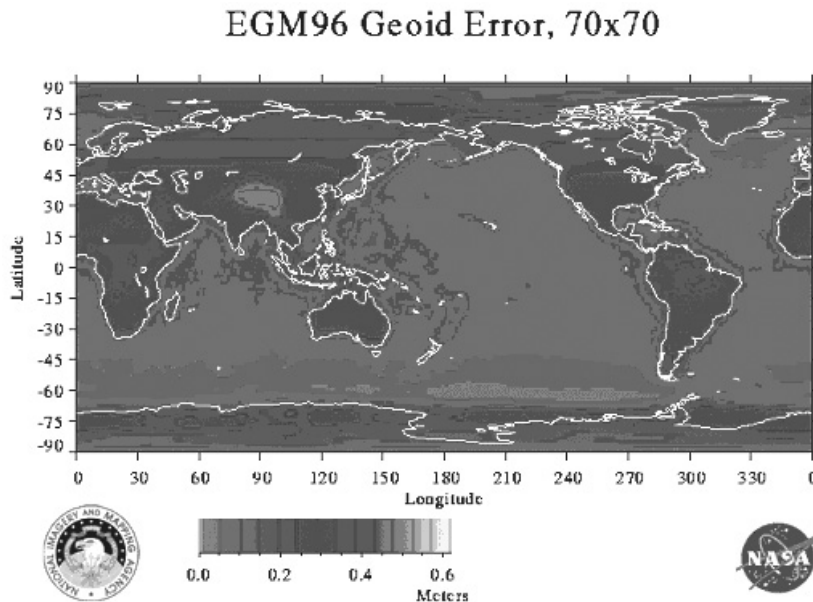
- pemantauan perubahan beda tinggi antar titik (berguna untuk mempelajari deformasi struktur, pergerakan lempeng, survai rekayasa, dll. nya);
- penentuan tinggi orthometrik suatu titik (seandainya geoid yang diketahui);
- penentuan geoid (seandainya tinggi orthometrik diketahui), dan
- transfer datum tinggi antar pulau.

### 3 Earth Gravitational Model (EGM) 1996

EGM 1996 adalah model harmonik bola dari potensial gravitasi yang dibangun bersama-sama oleh *the NASA Goddard Space Flight Center*, *the National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), dan *the Ohio State University* [NASA/GSFC, 2004]. Model ini disusun oleh koefisien-koefisien harmonik bola yang lengkap sampai derajat dan orde 360. Model ini dibentuk berdasarkan data dari seluruh dunia berupa :

- data gayaberat permukaan (*surface gravity data*),

- data anomali gaya berat yang diturunkan dari data satelit altimeter ERS-1 dan GEOSAT,
- data penjejakan satelit (GPS, TDRSS, DORIS, TRANET) yang ekstensif, dan
- direct altimeter ranges from TOPEX/POSEIDON, ERS-1, and GEOSAT.



**Gambar 5** Kesalahan Geoid EGM96, dari [NASA/GSFC, 2004].

Model EGM96 merefleksikan karakter regional dan global dari medan gayaberat Bumi, dan tidak karakter lokalnya. Undulasi geoid di suatu titik dapat dihitung dengan hubungan berikut [Priyatna, 2004; Kahar, 2004] :

$$N(\varphi, \lambda) = R \sum_{n=2}^{360} \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \Delta \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \cdot \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) \quad (1)$$

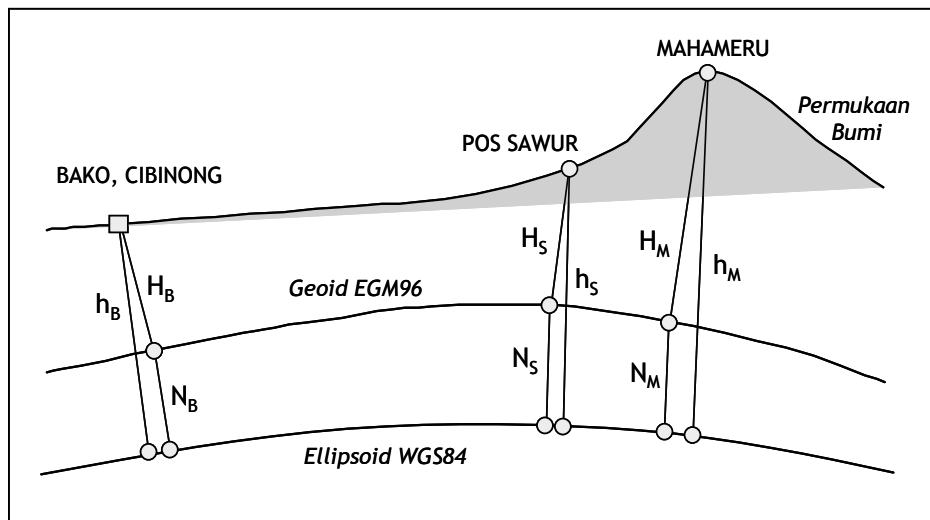
dengan  $\Delta \bar{C}_{nm} = \bar{C}_{nm} - \bar{C}'_{nm}$  dan  $\Delta \bar{S}_{nm} = \bar{S}_{nm} - \bar{S}'_{nm}$ , dimana (n, m) adalah derajat dan orde dari model, R adalah radius rata-rata Bumi,  $(\Delta \bar{C}_{nm}, \Delta \bar{S}_{nm})$  adalah koefisien geopotensial yang dinormalisasi penuh (*fully normalized geopotential coefficients*), dan  $\bar{P}_{nm}$  adalah fungsi Legendre yang dinormalisasi penuh (*fully normalized Legendre Functions*). Nilai dari koefisien-koefisien harmonik bola tersebut dapat di akses di situs NASA/GSFC (2004). Pada rumus di atas  $(\varphi, \lambda)$  adalah (lintang, bujur) geosentrik. Ellipsoid referensi WGS84 digunakan sebagai

referensi bagi penentuan undulasi. Ellipsoid ini mempunyai sumbu panjang  $a=6378137.0$  m serta pengepengan sebesar  $f=1.0/298.2572235630$ .

Tingkat ketelitian undulasi geoid di suatu titik yang dihitung dengan model ini secara global lebih baik dari 0.6 m seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5, dan pada sebagian kecil daerah ada yang mencapai 1.2 m. Untuk kawasan pulau Jawa, Gambar ini menunjukkan bahwa kesalahan undulasi geoidnya secara umum lebih kecil dari 0.4 m.

#### 4 Prinsip Penentuan Tinggi Orthometrik Gunung Semeru

Prinsip penentuan tinggi orthometrik Gunung Semeru yang digunakan dalam studi ini diilustrasikan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6 Prinsip penentuan tinggi orthometrik gunung Semeru.

Dalam hal ini tinggi orthometrik Mahameru ( $H_M$ ) yang merupakan puncak Gunung Semeru, dapat dihitung berdasarkan hubungan pendekatan berikut :

$$H_M = H_B + dh_{BS} - dN_{BS} + dh_{SM} - dN_{SM}, \tag{2}$$

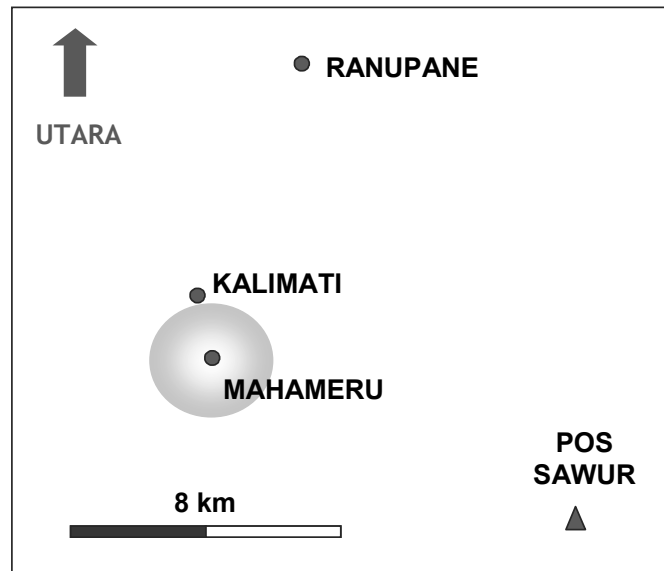
dimana :

$$\begin{aligned} dh_{BS} &= (h_S - h_B), & dh_{SM} &= (h_M - h_S), \\ dN_{BS} &= (N_S - N_B), & dN_{SM} &= (N_M - N_S). \end{aligned}$$

Pada rumus di atas tinggi orthometrik stasion BAKOSURTANAL (BAKO) diketahui dari pengukuran sipat datar teliti. Beda-beda tinggi ellipsoid antara stasion BAKO dan stasion SAWUR ( $dh_{BS}$ ) dan antara stasion SAWUR dan

stasiun MAHAMERU ( $dh_{SM}$ ) ditentukan dengan metode survei GPS. Sedangkan undulasi-undulasi geoid di stasiun-stasiun BAKO, SAWUR dan MAHAMERU dihitung menggunakan model EGM96 dengan menggunakan lintang dan bujur geodetik dari setiap stasiun yang diperoleh dari survei GPS.

Data survei GPS yang digunakan adalah data survei GPS yang dilaksanakan pada Agustus 2002 dan Agustus 2003 pada jaring GPS untuk pemantauan deformasi G. Semeru (lihat Gambar 7). Survei Agustus 2002 hanya mengamati stasiun SAWUR dan MAHAMERU, sedangkan pada survei Agustus 2003 stasiun-stasiun RANUPANE dan KALIMATI juga diamati. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan receiver GPS tipe geodetik dua-frekuensi. Pengamatan di POS SAWUR dan RANUPANE berkisar sekitar 36 sampai 48 jam, di KALIMATI sekitar 6 jam dan di stasiun MAHAMERU sekitar 2 jam. Untuk studi kasus penentuan tinggi orthometrik stasiun MAHAMERU hanya data GPS yang diamati pada stasiun POS SAWUR dan MAHAMERU dari kedua survei yang digunakan.



**Gambar 7** Konfigurasi jaring GPS di kawasan G. Semeru (status 2003).

## 5 Pengolahan Data dan Hasil

Pengolahan data yang diamati pada dua survei GPS dilaksanakan dengan menggunakan perangkat lunak ilmiah Bernese 4.2 [Beutler *et al.*, 2001]. Untuk pengolahan data digunakan informasi orbit satelit yang teliti (*precise ephemeris*), model estimasi troposfir serta data fase dua frekuensi.



Untuk penentuan tinggi ellipsoid dari stasiun MAHAMERU pada kedua survei GPS, stasiun SAWUR digunakan sebagai titik acuan, karena lokasinya yang relatif stabil serta lama pengamatannya yang relatif panjang. Koordinat acuan dari stasiun SAWUR ini ditentukan menggunakan data survei GPS 2002 yang panjangnya sekitar 48 jam dari stasiun BAKO yang berada di kawasan kantor BAKOSURTANAL di Cibinong, Bogor, Jawa Barat. Koordinat geodetik (WGS 1984) dari stasiun BAKO yang digunakan adalah :

Lintang Geodetik	:	- 6 <sup>0</sup> 29' 27.795859"
Bujur Geodetik	:	106 <sup>0</sup> 50' 56.073609"
Tinggi Eellipsoid	:	158.1487 m

Sedangkan tinggi orthometrik dari stasiun BAKO yang diperoleh dari pengamatan sipat datar teliti adalah :

H <sub>B</sub>	:	138.457 m.
----------------	---	------------

Koordinat stasiun POS SAWUR yang diperoleh dari proses pengolahan data menggunakan perangkat lunak Bernesse 4.2 ditunjukkan pada Tabel 1, dalam bentuk koordinat kartesian geosentrik dan koordinat geodetik. Dari deviasi standar komponen koordinat yang diperoleh yang berada pada level mm maka dapat dikatakan bahwa pengolahan data telah dilaksanakan secara baik dan hasil koordinatnya dapat diterima.

<b>Koordinat Kartesian Geosentrik POS SAWUR</b>		
X :	-2469450.7743 m	± 0.0008 m
Y :	5811987.4811 m	± 0.0008 m
Z :	-899072.5980 m	± 0.0008 m
<b>Koordinat Geodetik POS SAWUR</b>		
Lintang Geodetik :	- 8 <sup>0</sup> 9' 24.682339"	± 0.0008 m
Bujur Geodetik :	113 <sup>0</sup> 1' 12.414691"	± 0.0008 m
Tinggi Ellipsoid :	825.6258 m	± 0.0008 m

**Table 1** Koordinat kartesian dan geodetik (dalam Datum WGS 1984) dari stasiun POS SAWUR yang diperoleh dari Survei GPS 2002

Dengan menggunakan koordinat stasiun SAWUR tersebut serta data survei GPS 2002 dan 2003 selanjutnya koordinat stasiun MAHAMERU diestimasi. Nilai koordinat geodetik yang diperoleh diberikan pada Tabel 2 berikut.

<b>Koordinat Mahameru 2002</b>		
Lintang Geodetik :	- 8 <sup>0</sup> 6' 28.000601"	± 0.0051 m
Bujur Geodetik :	112 <sup>0</sup> 55' 19.078396"	± 0.0248 m
Tinggi Ellipsoid :	3709.1530 m	± 0.0581 m

Koordinat Mahameru 2003		
Lintang Geodetik	: - 8° 6' 27.999037"	± 0.0052 m
Bujur Geodetik	: 112° 55' 19.080061"	± 0.0299 m
Tinggi Ellipsoid	: 3709.0992 m	± 0.0419 m

**Table 2** Koordinat geodetik (dalam Datum WGS 1984) stasiun MAHAMERU yang diperoleh dari Survei GPS 2002 dan 2003

Dari hasil pengolahan kedua survei GPS tersebut, maka nilai rata-rata untuk tinggi ellipsoid dari stasiun MAHAMERU dapat dihitung, yaitu :

$$h_M = (3709.1261 \pm 0.0358) \text{ m.}$$

Kalau dirangkumkan maka tinggi dan beda tinggi ellipsoid dari stasiun pengamatan yang diperoleh dari survei GPS adalah seperti yang diberikan pada Tabel 3 berikut.

Stasiun	Tinggi Ellipsoid (m)	Beda Tinggi (m)
BAKO	$h_B = 158.1487 \pm 0.0000$	$dh_{BS} = 667.4771 \pm 0.0008$
SAWUR	$h_S = 825.6258 \pm 0.0008$	$dh_{SM} = 2883.5003 \pm 0.0358$
MAHAMERU	$h_M = 3709.1261 \pm 0.0358$	

**Table 3** Tinggi dan Beda Tinggi Ellipsoid (Datum WGS 1984).

Selanjutnya dengan menggunakan model EGM96 undulasi geoid di setiap stasiun pengamatan dapat diestimasi dan hasilnya diberikan pada Tabel 4. Berdasarkan Gambar 5 sebelumnya dapat diasumsikan bahwa deviasi standar dari nilai-nilai undulasi ini adalah sekitar 0.4 m. Berdasarkan nilai undulasi ini maka beda undulasi antar stasiun juga dapat dihitung dan hasilnya juga diberikan pada Tabel 4.

Stasiun	Undulasi (m)	Beda Undulasi
BAKO	$N_B = 18.45 \pm 0.4$	$dN_{BS} = 11.95 \pm 0.6$
SAWUR	$N_S = 30.40 \pm 0.4$	$dN_{SM} = 0.02 \pm 0.6$
MAHAMERU	$N_M = 30.42 \pm 0.4$	

**Table 4** Tabel 4. Nilai Undulasi dan Beda Undulasi dari Model EGM96

Berdasarkan rumus (2) sebelumnya serta informasi yang diberikan pada Tabel 3 dan 4 maka tinggi orthometrik stasiun MAHAMERU dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 H_M &= 138.457 + 667.4771 - 11.95 + 2883.5003 - 0.02 \text{ ,} \\
 &= 3677.4644 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

Kalau kita simak rumus (2) sebelumnya variabel beda-beda tinggi  $dh_{BS}$  dan  $dh_{SM}$  ditentukan dan dihitung secara terpisah, sehingga korelasi matematis antara keduanya diasumsikan tidak ada. Sedangkan variabel beda-beda undulasi  $dN_{BS}$  dan  $dN_{SM}$  kalau kita jumlahkan sebagaimana pada rumus (2) adalah sama dengan variabel  $dN_{MB}$ , dimana  $= N_B - N_M$ . Karena jarak antara stasiun BAKO dan MAHAMERU relatif cukup jauh yaitu sekitar 800 km maka korelasi antara nilai undulasi  $N_B$  dan  $N_M$  akan relatif kecil dan dapat diabaikan. Dengan mempertimbangkan hal-hal di atas, serta dengan mengasumsikan deviasi standar tinggi orthometrik stasiun BAKO ( $H_B$ ) berada pada level beberapa mm karena ditentukan dari pengamatan sipat datar teliti, maka berdasarkan prinsip perambatan kesalahan yang diterapkan pada rumus (2), deviasi standar dari tinggi orthometrik stasiun MAHAMERU di atas dapat dihitung, dan nilai yang diperoleh adalah sekitar :

$$\sigma(H_M) = 0.85 \text{ m.}$$

Jadi tinggi orthometrik gunung Semeru yang ditentukan dengan menggunakan kombinasi data survei GPS, model gaya berat global EGM96 serta data tinggi orthometrik stasiun BAKO yang telah diketahui dari pengukuran sipat datar teliti adalah :

$$= (3677.4644 \pm 0.85) \text{ meter.}$$

## 6 Catatan Penutup

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode survei GPS yang dikombinasikan dengan model gayaberat global seperti EGM96 dapat digunakan untuk menentukan tinggi orthometrik suatu gunung dengan cukup teliti pada level lebih sekitar 1 meter atau lebih baik. Sumber kesalahan utama dalam hal ini adalah terkait dengan kualitas nilai undulasi yang ditentukan dengan model gayaberat EGM96 yang saat ini masih berada pada level beberapa dm untuk kawasan daratan pulau Jawa.

Karena survei GPS dapat memberikan ketelitian beda tinggi ellipsoid pada level beberapa cm atau bahkan dalam kondisi tertentu beberapa mm, maka untuk mendapatkan nilai tinggi orthometrik suatu gunung dalam level cm, kualitas undulasi geoid pada level cm juga diperlukan. Untuk itu diperlukan suatu model geoid lokal yang lebih teliti ketimbang model geoid global seperti EGM96.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa tinggi orthometrik gunung Semeru yang ditentukan dengan pengukuran triangulasi pada zaman Belanda, yaitu 3676 m, relatif sudah cukup baik dan tidak jauh berbeda dengan nilai yang ditentukan oleh penelitian ini. Meskipun begitu patut dicatat bahwa tidak ada informasi tentang tingkat ketelitian dari tinggi hasil pengukuran triangulasi pada zaman Belanda tersebut. Kalau kita mempertimbangkan tingkat ketelitian pengukuran sudut pada saat itu serta pengaruh refraksi atmosfer yang relatif akan cukup signifikan mengingat adanya perbedaan tinggi yang cukup besar, maka tingkat ketelitian pada level beberapa meter akan merupakan angka yang cukup realistis untuk ketinggian 3676 m tersebut.

Untuk tinggi orthometrik gunung Semeru yang diperoleh dari penelitian ini, yang menggunakan data survei GPS serta model gayaberat EGM96, kalau digunakan rentang satu deviasi standar (yaitu 0.85 m), maka ketinggiannya adalah antara 3676.6 m sampai 3678.3 m. Dalam kaitannya dengan informasi tinggi gunung Semeru yang diberikan dalam buku-buku pelajaran geografi atau dokumen-dokumen publik lainnya, yang umumnya setinggi 3676 m; maka berdasarkan hasil penelitian ini sebaiknya perlu dipertimbangkan untuk mengubahnya ke nilai 3677 m di atas permukaan laut.

Akhirnya perlu juga dicatat di sini bahwa karena Semeru adalah gunungapi yang relatif cukup aktif, maka kemungkinan adanya perubahan tinggi puncak Semeru akibat adanya aktivitas magmatik adalah sesuatu yang cukup logis. Meskipun begitu perlu penelitian khusus dan sistematis untuk mengkonfirmasi hipotesis tersebut. Pada saat ini sulit untuk mengetahui secara akurat besarnya perubahan tinggi Gunung Semeru sejak zaman Belanda akibat adanya aktivitas magmatik tersebut.

### **Ucapan Terima Kasih**

Tim penulis mengucapkan banyak terima kasih pada para pengamat gunungapi Semeru di Pos Pengamatan Gunung Sawur yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan kedua survei GPS. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada para staf Direktorat Vulkanologi and Mitigasi Bencana Geologi serta para mahasiswa Departemen Teknik Geodesi ITB yang terlibat dalam kedua survei GPS tersebut, yang namanya terlalu panjang untuk disebutkan satu per satu.

### **Daftar Referensi**

1. Abidin, H. Z., *Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, Edisi ke 2, ISBN 979-408-377-1, hal 268, (2000)
2. Abidin, H. Z., *Geodesi Satelit*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta. ISBN 979-408-462-X, hal 219, (2001).

3. Abidin, H. Z., Jones, A. & Kahar, J., *Survei Dengan GPS*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta, ISBN 979-408-380-1, Second Edition, Hal 280, (2002).
4. Beutler, G., Bock, H., Brockmann, E., Dach, R., Fridez, P., Gurtner, W., Hugentobler, U., Ineichen, D., Johnson, J., Meindl, M., Mervant, L., Rothacher, M., Schaer, S., Springer, T. & Weber, R., *Bernese GPS software version 4.2*. U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez (Eds.), Astronomical Institute, University of Berne, hal 515 (2001).
5. DVMBG, Situs internet dari Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, <http://www.vsi.esdm.go.id/>, (9 Juni 2004).
6. Kahar, J., *Komunikasi Pribadi*, Staf pengajar pada Departemen Teknik Geodesi ITB (September 2004).
7. NASA/GSFC, Situs dari NASA/GSFC Laboratory for Terrestrial Physics, Greenbelt, Maryland, <http://cddisa.gsfc.nasa.gov/926/egm96/egm96.html> (7 Juni 2004).
8. Prijatna, K., *Komunikasi Pribadi*, Staf pengajar pada Departemen Teknik Geodesi ITB, (11 Juni 2004).
9. Schepers, J. H. G., & Schulte, F. C. A., *Geodetic Survey in the Netherlands East Indies*, Report to Section Geodesy, IUGG, (1931).