



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Hasanuddin Z. Abidin

**PERANAN GEODESI SATELIT
DALAM MEMAHAMI DINAMIKA BUMI
DI WILAYAH INDONESIA**

9 Februari 2008
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

© Hak cipta ada pada penulis

KATA PENGANTAR

Buku ini merupakan naskah pidato ilmiah penulis sebagai Guru Besar dalam bidang Geodesi Satelit di Institut Teknologi Bandung. Atas amanah keilmuan yang tidak ringan ini, puji syukur ke hadirat Allah swt sebagai pemilik semua ilmu, adalah suatu kewajiban bagi penulis. Semoga Allah swt menjadikan amanah ini sebagai salah satu jalan untuk memperluas ladang amal penulis bagi manusia dan kemanusiaan. Amin.

Sesuai dengan bidang keilmuan yang penulis tekuni selama ini, pidato ilmiah ini akan menjelaskan secara umum "*peranan geodesi satelit dalam memahami dinamika bumi di wilayah Indonesia*". Pidato ilmiah ini akan dimulai dengan penjelasan tentang pengertian dan ruang lingkup bidang ilmu geodesi satelit, serta metode dan sistem pengamatannya. Peranan geodesi satelit dalam mempelajari karakteristik dari beberapa fenomena dinamika bumi di wilayah Indonesia selanjutnya akan dijelaskan. Dalam hal ini pidato ilmiah akan difokuskan pada pemanfaatan metode GPS untuk studi pergerakan lempeng, aktivitas sesar tektonik, deformasi gunung api, pergerakan tanah dan penurunan tanah pada beberapa lokasi di wilayah Indonesia.

Semoga esensi keilmuan dan metodologi yang dijelaskan dalam pidato ilmiah ini dapat bermanfaat bagi sebanyak mungkin pihak.

Bandung, 9 Februari 2008

Hasanuddin Z. Abidin

SINOPSIS

Menurut IAG (International Association of Geodesy) Geodesi adalah disiplin ilmu yang mempelajari tentang pengukuran dan perepresentasian dari Bumi dan benda-benda langit lainnya, termasuk medan gaya beratnya masing-masing, dalam ruang tiga dimensi yang berubah dengan waktu. Sedangkan Geodesi Satelit adalah sub-bidang ilmu Geodesi yang menggunakan bantuan satelit (alam ataupun buatan manusia) untuk menyelesaikan tugas dan permasalahan geodesi, yang secara mendasar terkait dengan penentuan posisi, penentuan medan gaya berat, serta penentuan variasi temporal dari posisi dan medan gaya berat.

Pada saat ini aplikasi sistem-sistem Geodesi Satelit, seperti SLR (Satellite Laser Ranging), LLR (Lunar Laser Ranging), VLBI (Very Long Baseline Interferometry), Satelit Altimetri, Satelit Navigasi (e.g. GPS dan Glonass) sangat luas dan beragam, mulai dari bidang geodesi, survei dan pemetaan, navigasi, kelautan, kebumihan maupun kedirgantaraan.

Dalam orasi ini, penulis secara umum akan terlebih dahulu menjelaskan peranan yang dapat diberikan metode-metode geodesi satelit dalam memahami dinamika Bumi di wilayah Indonesia, yang secara geografis, geologis maupun geofisis mempunyai dinamika yang relatif cukup tinggi. Selanjutnya pembahasan akan dikonsentrasikan pada pemanfaatan dari metode Satelit Navigasi, dalam hal ini GPS (Global Positioning System), yang telah dilakukan untuk lebih memahami dinamika Bumi di wilayah Indonesia.

Hasil-hasil penelitian yang terkait dengan pemanfaatan GPS dalam studi geodinamika, studi aktivitas sesar aktif, studi deformasi gunung api, studi penurunan tanah (*land subsidence*), dan studi pergerakan tanah (*landslides*) pada beberapa lokasi di wilayah Indonesia akan dijelaskan secara umum.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR
SINOPSIS
DAFTAR ISI

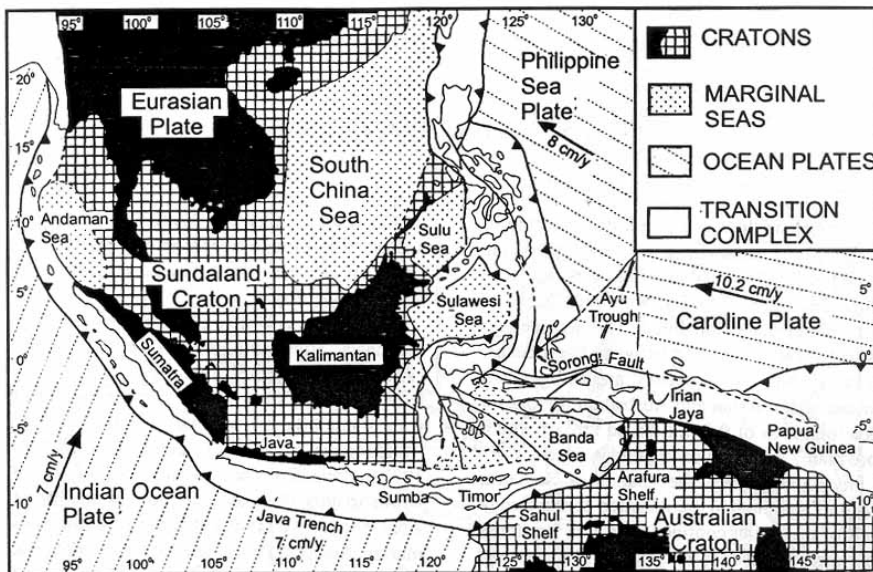
1. PENDAHULUAN
2. PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP GEODESI SATELIT
 - 2.1. Ilmu Geodesi
 - 2.2. Pengertian Dan Ruang Lingkup Geodesi Satelit
 - 2.3. Sistem Pengamatan Geodesi Satelit
 - 2.4. Peranan Geodesi Satelit Dalam Studi Dinamika Bumi
3. STUDI GEODINAMIKA DENGAN GPS
 - 3.1. Studi Deformasi Ko-Seismik dan Post-Seismik Gempa Aceh
 - 3.2. Studi Deformasi Ko-Seismik dan Post-Seismik Gempa Yogyakarta
 - 3.3. Studi Deformasi Ko-Seismik dan Post-Seismik Gempa Pangandaran
 - 3.4. Studi Aktivitas Sesar Aktif
4. STUDI DEFORMASI GUNUNG API DENGAN GPS
 - 4.1. Pemantauan Aktivitas Gunung Api
 - 4.2. Pemantauan Deformasi Gunungapi Secara Episodik
5. STUDI PENURUNAN TANAH DENGAN GPS
 - 5.1. Prinsip Studi Penurunan Tanah Dengan Survei GPS
 - 5.2. Studi Kasus Penurunan Tanah di Jakarta
 - 5.3. Studi Kasus Penurunan Tanah di Bandung
6. STUDI PERGERAKAN TANAH DENGAN GPS
 - 6.1. Studi Kasus Pergerakan Tanah di Ciloto
 - 6.2. Studi Kasus Pergerakan Tanah di Megamendung
7. STUDI PERGERAKAN TANAH DI KAWASAN LUMPUR SIDOARJO
8. CATATAN PENUTUP

UCAPAN TERIMA KASIH
DAFTAR PUSTAKA
CURICULUM VITAE

PERANAN GEODESI SATELIT DALAM MEMAHAMI DINAMIKA BUMI DI WILAYAH INDONESIA

1. PENDAHULUAN

Benua maritim Indonesia terletak pada pertemuan dari beberapa lempeng benua dan samudera, yaitu lempeng-lempeng Eurasia, Australia, Pasifik, dan Philippine (lihat Gambar 1). Dinamika pertemuan lempeng-lempeng ini menghasilkan spektrum topografi yang bervariasi, serta aktivitas kegempaan dan vulkanisme yang relatif aktif [Hamilton, 1979]. Karena geodinamika nya yang relatif aktif, wilayah Indonesia rentan terhadap beberapa bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, pergerakan tanah (*landslides*), penurunan tanah (*land subsidence*).

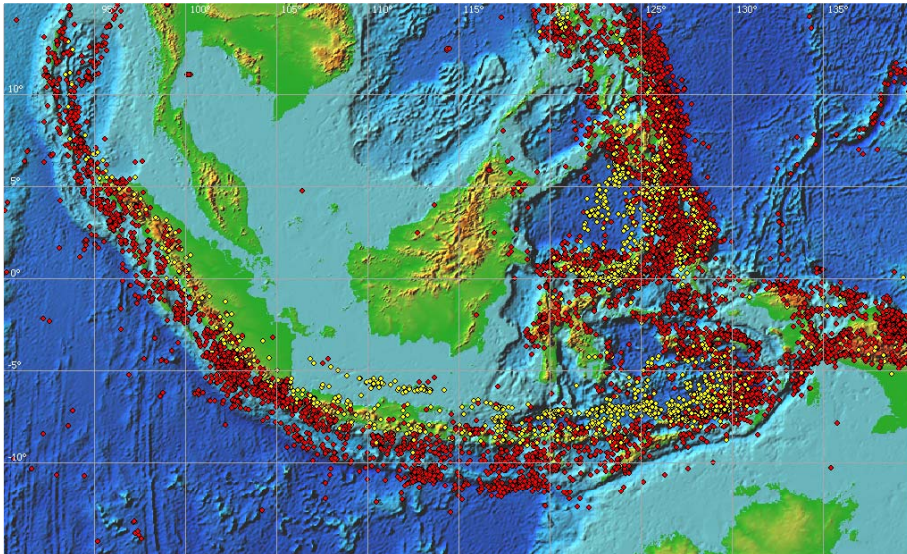


Gambar 1. Karakteristik tektonik Indonesia; dari Simandjuntak and Barber (1996).

Tingkat seismisitas yang tinggi di wilayah Indonesia ditunjukkan oleh Gambar 2 yang menunjukkan banyaknya gempa bumi yang telah terjadi di wilayah Indonesia. Secara umum setiap tahunnya lebih dari 450 gempa bumi yang intensitasnya lebih besar dari 4.0 (Mw) terjadi di wilayah Indonesia. Gempa bumi di lautan juga telah menimbulkan banyak bencana tsunami di wilayah Indonesia.

Indonesia juga mempunyai 129 gunung api aktif serta 271 titik erupsi yang merupakan konsekuensi dari interaksi dan tumbukan antara beberapa

lempeng benua. Gunung-gunungapi yang paling aktif ditunjukkan lokasinya pada Gambar 3. Menurut [Katili & Siswowidjojo, 1994], sekitar 10% penduduk Indonesia hidup di kawasan rawan bencana letusan gunung api.



Gambar 2. Lokasi gempa-gempa di wilayah Indonesia [USGS, 2006].



Gambar 3. Sejumlah gunung api Indonesia; courtesy of USGS.

Karena topografinya yang berbukit dan bergunung, serta curah hujannya yang relatif tinggi, bencana longsor juga cukup kerap melanda beberapa wilayah di Indonesia. Penurunan tanah (*land subsidence*) juga terjadi di beberapa kota besar di Indonesia, seperti Jakarta, Bandung dan Semarang; yang disebabkan oleh pengambilan air tanah yang berlebihan, kompaksi sedimen, beban bangunan, dan/atau aktivitas tektonik.

Dalam konteks mitigasi beberapa bencana alam tersebut, pemahaman yang baik tentang dinamika bumi di wilayah Indonesia sangatlah penting. Beberapa metode dan sistem (e.g. geofisik, geologi, geodetik) sudah banyak diterapkan dalam studi dinamika bumi di wilayah Indonesia. Tulisan ini akan terutama membahas peranan geodesi satelit untuk memahami dinamika bumi di wilayah Indonesia. Secara khusus tulisan ini akan berkonsentrasi pada studi yang dilaksanakan oleh Kelompok Keilmuan Geodesi ITB, baik secara mandiri maupun yang berkolaborasi dengan instansi dan periset lainnya, baik dalam tataran nasional maupun internasional.

2. PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP GEODESI SATELIT

2.1. Ilmu Geodesi

Berdasarkan *definisi klasik* dari *Helmert* (1880), Geodesi adalah *ilmu tentang pengukuran dan pemetaan permukaan Bumi*. Menurut *Torge* (1980), definisi ini juga mencakup permukaan dasar laut. Meskipun definisi klasik tersebut sampai batas tertentu masih berlaku, tapi ia tidak dapat menampung perkembangan ilmu Geodesi yang terus berkembang dari waktu ke waktu. *Definisi modern* untuk ilmu Geodesi adalah seperti yang dijabarkan oleh IAG (*International Association of Geodesy*) yaitu [*Rinner*, 1979] : "*Geodesi adalah disiplin ilmu yang mempelajari tentang pengukuran dan perepresentasian dari Bumi dan benda-benda langit lainnya, termasuk medan gaya beratnya masing-masing, dalam ruang tiga dimensi yang berubah dengan waktu*".

Berdasarkan definisi modern Geodesi dari IAG, *Vanicek and Krakiwsky* (1986), mengklasifikasikan tiga bidang kajian utama dari ilmu Geodesi, yaitu : *penentuan posisi, penentuan medan gaya berat, dan variasi temporal dari posisi dan medan gaya berat*; dimana domain spasialnya adalah Bumi beserta benda-benda langit lainnya. Setiap bidang kajian di atas mempunyai spektrum yang sangat luas, dari teoritis sampai praktis, dari Bumi sampai benda-benda langit lainnya, dan juga mencakup matra darat, laut, udara, dan juga luar angkasa.

Disamping itu dalam konteks aktivitas, ruang lingkup aktivitas pekerjaan-pekerjaan ilmu geodesi umumnya akan mencakup tahapan-

tahapan: *pengumpulan data, pengolahan dan manipulasi data, perepresentasian informasi, serta analisa dan utilisasi informasi.*

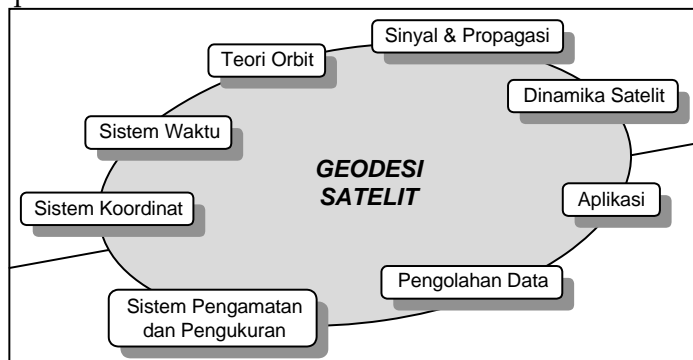
Mengingat luasnya bidang kajian ilmu Geodesi, beberapa sub-bidang ilmu Geodesi juga bermunculan. Beberapa contoh di antaranya adalah sub-sub bidang Geodesi Geometrik, Geodesi Fisik Geodesi Matematik, dan Geodesi Dinamik. Selanjutnya dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bidang-bidang aplikasi baru, dikenal sub-sub bidang baru seperti Geodesi Satelit, Geodesi Kelautan, Geodesi Geofisik, dan lain-lainnya.

2.2. Pengertian Dan Ruang Lingkup Geodesi Satelit

Sejak peluncuran satelit buatan manusia yang pertama ke luar angkasa, yaitu satelit SPUTNIK-1 pada 4 Oktober 1957 [Seeber, 1983], geodesi satelit telah berkembang menjadi suatu sub-disiplin ilmu Geodesi yang mandiri dan kuat.

Geodesi Satelit dapat didefinisikan sebagai sub-bidang ilmu geodesi yang menggunakan bantuan satelit (alam ataupun buatan manusia) untuk menyelesaikan problem-problem geodesi. Menurut Seeber (1983) Geodesi Satelit meliputi teknik-teknik pengamatan dan perhitungan yang digunakan untuk memecahkan problem-problem geodesi dengan menggunakan pengukuran-pengukuran yang teliti *ke, dari, dan antara* satelit buatan yang umumnya dekat dengan permukaan bumi.

Geodesi satelit memiliki banyak aspek-aspek keilmuan, yang sebagian besarnya ditunjukkan secara ilustratif pada Gambar 4 berikut. Penjelasan yang lebih detail dari aspek-aspek geodesi satelit ini diberikan oleh Abidin (2001).



Gambar 4. Aspek-aspek Geodesi Satelit.

Secara umum permasalahan mendasar yang ingin diselesaikan oleh disiplin Geodesi Satelit adalah [Seeber, 1983]: (1) penentuan posisi 3D yang teliti secara global, regional, maupun lokal, (2) penentuan medan gaya berat bumi dan fungsi-fungsi linearnya (seperti geoid yang teliti) dalam skala global, regional, maupun lokal, dan (3) pengukuran dan pemodelan dari fenomena geodinamika, seperti pergerakan kutub, rotasi bumi, dan deformasi

kerak bumi. Pada saat ini sistem-sistem pengamatan yang berbasis satelit sudah banyak dimanfaatkan untuk menyelesaikan permasalahan geodesi tersebut, dengan kecenderungan aplikasi yang semakin intensif dan berkembang dari waktu ke waktu.

Perlu juga dicatat bahwa berdasarkan pendekatannya dalam menggunakan satelit dikenal kategorisasi *geodesi satelit geometrik* dan *geodesi satelit dinamik*. Pada pendekatan geodesi satelit geometrik, satelit dianggap sebagai *target, titik kontrol, atau wahana pengukur*; dan pada pendekatan geodesi satelit dinamik, satelit dianggap sebagai *sensor atau prober* dari medan gaya berat. Pendekatan geodesi satelit geometrik banyak berperan dalam penentuan posisi serta variasi spasial dan temporalnya; sedangkan pendekatan geodesi satelit dinamik berperan dalam penentuan medan gaya berat serta variasi spasial dan temporalnya.

Kalau dibandingkan dengan metode-metode terestris, dimana sistem peralatan untuk pengukuran atau akuisasi data berada pada atau dekat permukaan Bumi, maka penggunaan satelit dalam bidang geodesi relatif lebih atraktif dilihat dari hal-hal berikut yaitu : (1) wilayah cakupannya relatif lebih luas, (2) dapat mengamati dan mengukur parameter yang lebih banyak dan lebih beragam, (3) dapat mengamati lebih baik dinamika suatu fenomena, baik secara spasial maupun temporal, (4) operasionalisasinya bersifat lebih kontinyu, (5) memberikan nilai dan ketelitian parameter dalam sistem yang umumnya terdefinisi secara baik dan jelas (sistem koordinat global, tiga-dimensi, dan homogen), dan (6) relatif lebih tidak dipengaruhi oleh cuaca, kondisi topografis, ataupun batas-batas politis maupun administratif. Disamping itu dalam konteks penentuan posisi relatif antar titik, sistem-sistem satelit, mempunyai tingkat dan rentang ketelitian yang relatif lebih baik dibandingkan metode-metode non-satelit (terestris), terutama untuk jarak beberapa km sampai ribuan km.

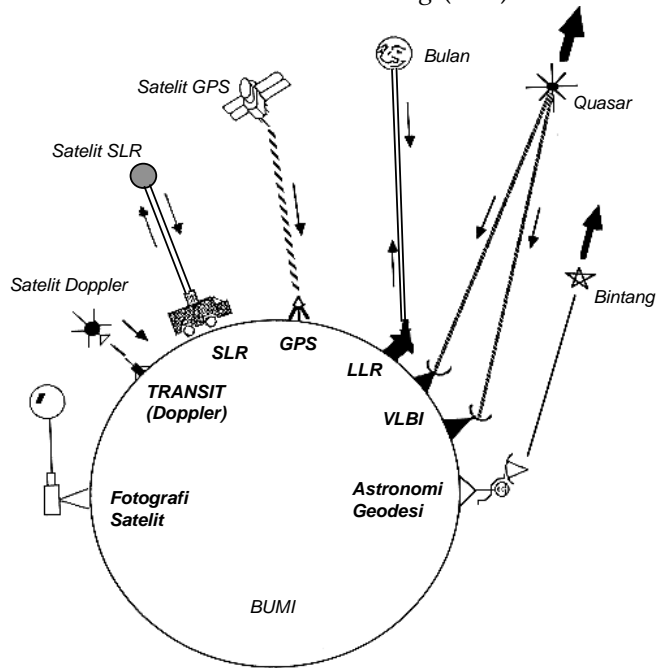
3.3. Sistem Pengamatan Geodesi Satelit

Sampai saat ini ada beberapa metode atau sistem pengamatan geodesi satelit yang dikenal, yaitu antara lain: astronomi geodesi, fotografi satelit, SLR (*Satellite Laser Ranging*), LLR (*Lunar Laser Ranging*), VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), Satelit Altimetri seperti TOPEX Poseidon, Satelit Gradiometri, seperti GRACE dan GOCE, dan Satelit Navigasi seperti GPS dan GLONASS. Beberapa sistem geodesi satelit tersebut, secara ilustratif ditunjukkan pada Gambar 5.

Secara umum, menurut *Seeber* (1993), sistem-sistem pengamatan geodesi

satelit dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok yaitu : (1) Sistem bumi ke angkasa, seperti sistem fotografi satelit (*satellite photography*), SLR (*Satellite Laser Ranging*), LLR (*Lunar Laser Ranging*), dan satelit navigasi (seperti Doppler, GPS, dan GLONASS), ; (2) Sistem angkasa ke bumi, seperti sistem satelit altimetri, *spaceborne laser*, VLBI, dan satelit gradiometri; dan (3) Sistem angkasa ke angkasa, seperti sistem *satellite-to-satellite tracking* (SST).

Pada saat ini metode fotografi satelit sudah tidak operasional, dan metode astronomi geodesi tidak terlalu banyak lagi digunakan dengan maraknya sistem satelit navigasi, seperti GPS, GLONASS dan selanjutnya GALILEO. Gambar 6 mengilustrasikan implementasi dari metode dan sistem geodesi satelit sampai saat ini.



Gambar 5. Beberapa metode Geodesi Satelit untuk penentuan posisi menggunakan sistem satelit dan benda langit [Wells et.al., 1986].

Sistem	← 1884	→ 2008
Astronomi Geodesi		
Satelit Fotografi	1957	1964
SLR	1964	
LLR	1969	
VLBI	1965	
Satelit Altimetri	1973	
Satelit Navigasi	1964	

Gambar 6. Periode implementasi dari sistem geodesi satelit.

3.4. Peranan Geodesi Satelit Dalam Studi Dinamika Bumi

Secara umum metode dan sistem geodesi satelit akan punya peran yang cukup penting dalam studi fenomena dinamika bumi di masa mendatang, baik dalam cakupan lokal, regional maupun global. Kemampuannya dalam memberikan informasi tentang perubahan posisi 3D serta perubahan nilai gaya berat secara teliti, baik dalam domain spasial maupun temporal, membuat metode dan sistem geodesi satelit ini punya potensi yang baik dalam meningkatkan pemahaman kita terhadap fenomena dinamika bumi (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Peranan Metode/Sistem Geodesi Satelit Dalam Studi Fenomena Dinamika Bumi.

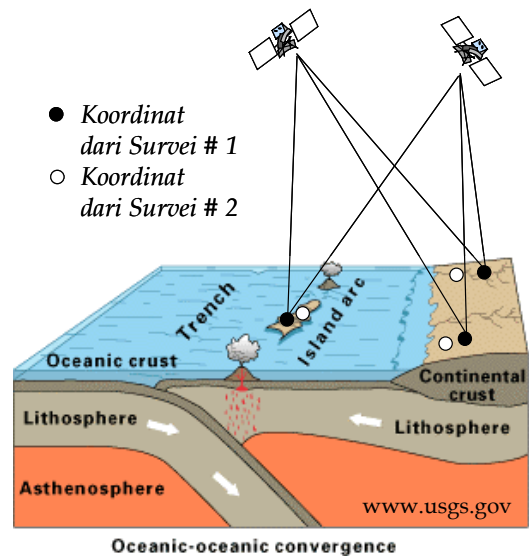
Dinamika Bumi	Peran dari Metode Geodesi Satelit
Pergerakan Lempeng	<ul style="list-style-type: none"> • Pendefinisian sistem referensi koordinat global • Penentuan vektor pergerakan lempeng • Estimasi distribusi dan akumulasi <i>stress</i> • Estimasi perubahan medan gaya berat regional • Estimasi vektor deformasi ko-seismik dan post-seismik Metode : Satelit Navigasi (e.g. GPS), VLBI, SLR, LLR, Satelit Gradiometri
Aktivitas Sesar	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan vektor pergerakan sesar • Estimasi distribusi dan akumulasi <i>stress</i> • Estimasi vektor deformasi ko-seismik dan post-seismik Metode : Satelit Navigasi (e.g. GPS), InSAR
Tsunami	<ul style="list-style-type: none"> • Indikasi kenaikan muka air laut • Studi perambatan gelombang tsunami Metode : GPS (Buoy), Satelit Altimetri
Deformasi Gunungapi	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan vektor pergerakan tubuh gunungapi • Estimasi distribusi dan akumulasi <i>stress</i> • Estimasi posisi dan pergerakan sumber tekanan Metode : Satelit Navigasi (e.g. GPS), InSAR
Pergerakan Tanah	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan vektor pergerakan muka tanah Metode : Satelit Navigasi (e.g. GPS), InSAR
Penurunan Tanah	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan besarnya penurunan tanah Metode : Satelit Navigasi (e.g. GPS), InSAR

Selanjutnya tulisan ini akan membahas status penggunaan metode satelit navigasi, dalam hal ini GPS, dalam studi beberapa fenomena dinamika bumi di wilayah Indonesia, terutama dimana KK Geodesi ITB terlibat di dalamnya.

3. STUDI GEODINAMIKA DENGAN GPS

GPS (Global Positioning System) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa tergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan. Pada saat ini, sistem GPS sudah sangat banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi. Di Indonesia pun, GPS sudah banyak diaplikasikan, terutama yang terkait dengan aplikasi-aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi ataupun perubahan posisi. Penjelasan yang lebih detil tentang sistem GPS dan aplikasinya dapat dilihat di [Abidin, 2007; Abidin et al., 2002].

Studi geodinamika dengan GPS dapat dilakukan dalam metode episodik maupun kontinyu. Dengan metode episodik, pergerakan dari lempeng-lempeng bumi dideteksi dengan mengamati secara teliti perubahan koordinat beberapa titik yang terletak pada lempeng tersebut secara periodik, misalnya setahun sekali (lihat Gambar 7). Sedangkan pada metode kontinyu, pengamatan GPS dilakukan secara kontinyu. Vektor pergerakan yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk mempelajari potensinya gempa bumi di kawasan pergerakan lempeng tersebut [Segall and Davis, 1997].



Gambar 7. Penggunaan GPS untuk studi geodinamika dalam moda episodik

Karena dalam studi geodinamika, tingkat ketelitian pergeseran posisi yang dicari umumnya adalah dalam level mm/tahun, maka studi ini umumnya memerlukan penggunaan receiver geodetik dua-frekuensi dengan lama pengamatan yang relatif panjang (beberapa hari di suatu titik pengamatan untuk moda episodik) atau bahkan sebaiknya kontinyu. Pengolahan datanya juga menuntut penggunaan perangkat lunak ilmiah serta penggunaan orbit yang teliti (precise ephemeris).

Saat ini secara internasional pemanfaatan GPS untuk studi geodinamika sudah banyak dilakukan, baik dalam moda episodik maupun kontinyu, seperti contoh kasus yang dilaporkan oleh *Segall and Davis (1997)*; *Vigny et al. (2002, 2005)*; *Nocquet and Calais (2004)*; dan SOPAC (2006). Dalam hal ini data-data GPS kontinyu dari stasiun-stasiun IGS (*International Global Navigation Satellite System Service*) banyak digunakan, disamping data-data GPS dari stasiun-stasiun yang khusus dibangun untuk studi geodinamika di suatu wilayah tertentu.

Penggunaan GPS untuk studi geodinamika di Indonesia secara resmi dimulai pada bulan Februari 1989 dengan penanda tangan MOU antara BAKOSURTANAL dan *U.S. National Science Foundation (NSF)* untuk melakukan investigasi terhadap pergerakan-pergerakan lempeng sepanjang Sesar Sumatera dengan menggunakan teknik GPS. Dalam program ini pihak Geodesi ITB terlibat dalam pelaksanaan survei GPS di lapangan. Sebagian hasil dari studi geodinamika yang dijelaskan di atas dapat dilihat di [*Bock et al., 2003*; *Subarya et al., 2006*].

Pada tahun 1994/95, studi geodinamika dengan yang lebih luas yang meliputi wilayah Asia Tenggara dimulai, bekerjasama dengan *European Community (EC)*. Nama resmi dari proyek ini adalah *Plate Motions and Crustal Deformations Deduced from Space Geodetic Measurements for the Assessment of Related Natural Hazards in South East Asia*, yang disingkat sebagai proyek geodinamika EC-ASEAN dengan sandi GEODYSSSEA. Keterangan yang lebih detail tentang proyek ini serta hasil-hasilnya diberikan di *GEODYSSSEA (2008)*.

Proyek geodinamika dengan GPS yang cakupannya lebih kecil juga dilaksanakan setiap tahunnya sejak tahun 1992 di daerah Jawa Barat sampai sekitar tahun 1997. Dibawah program *International Decade for Natural Disaster Reduction (INDR)*, *Disaster Prevention Research Institute (DPRI)*, *Kyoto University* melaksanakan kerjasama penelitian dengan Puslitbang Geoteknologi-LIPI. Kerjasama penelitian ini juga melibatkan Jurusan Teknik Geodesi-ITB. Tujuan utama dari proyek ini, yang akan berlangsung selama 5 tahun, adalah untuk mendeteksi pergerakan-pergerakan kerak bumi yang terkait dengan kegiatan-kegiatan vulkanik dan tektonik di daerah Jawa Barat. Sebagian hasil dari investigasi ini dapat dilihat di [*Kahar et al., 1993*].

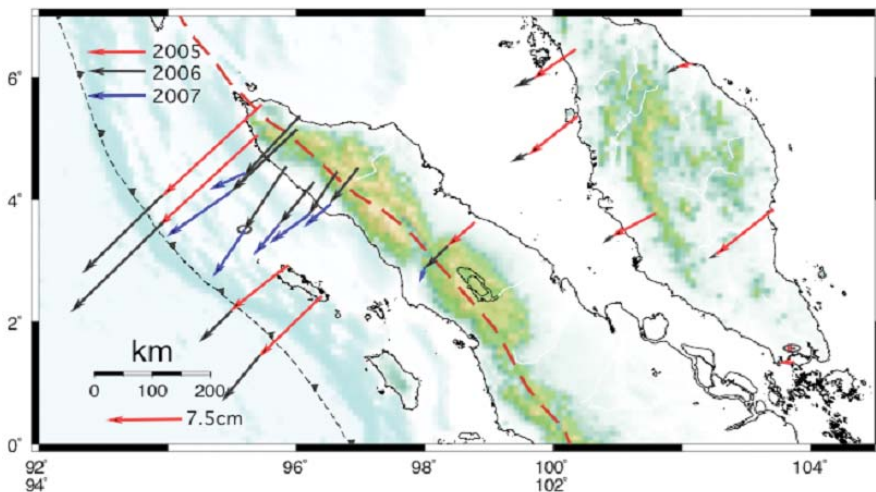
Sejak 1997, data survei GPS yang diamati dalam rangka *Asia Pacific Regional Geodetic Project (APRGP)* dalam lingkup *Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia and the Pacific (PC-GIAP)* juga mulai digunakan untuk memperkuat jaring kontrol geodetik nasional [*Subarya, 2004*]. Selama pelaksanaan proyek-proyek tersebut lebih dari 250 titik GPS yang berketelitian tinggi telah ditentukan yang menyebar di seluruh Indonesia.

Titik-titik ini umumnya telah diamati tiga kali atau lebih dengan selang waktu pengamatan setidaknya satu tahun. Secara umum titik-titik ini terikat dengan jaring kerangka dasar GPS dunia, yaitu jaring IGS.

3.1. Studi Deformasi Ko-Seismik dan Post-Seismik Gempa Aceh

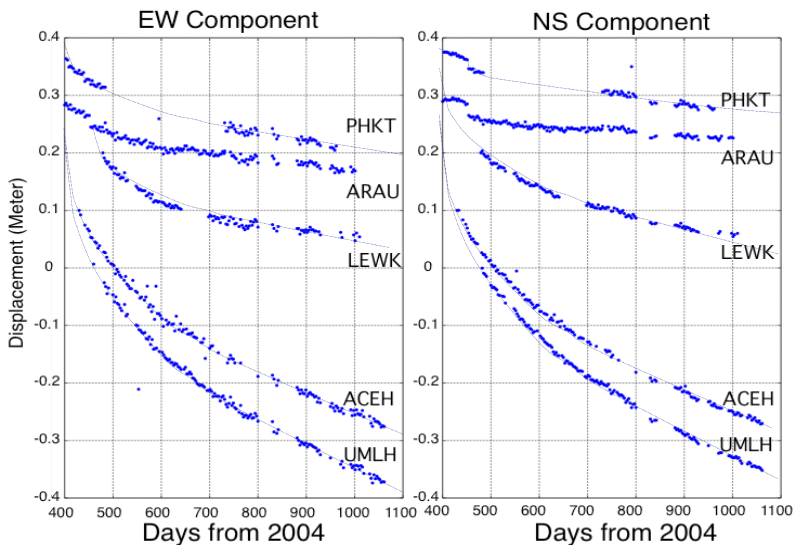
Setelah terjadinya gempabumi dan tsunami di Aceh pada 26 Desember 2004, KK Geodesi ITB, bekerjasama dengan Nagoya University, Universitas Syiah Kuala dan BPPT, melakukan studi deformasi ko-seismik dan post-seismik yang disebabkan oleh gempa bumi berskala besar tersebut (9.3 Mw). Studi deformasi ini dilakukan baik secara episodik maupun kontinyu.

Sampai saat ini sudah 5 kali survei GPS yang dilaksanakan pada 24 stasion GPS, masing-masing pada Maret 2005, Mei 2005, Nov. 2005, Nov. 2006 dan Nov. 2007. Hasil lengkap dari survei GPS ini diberikan oleh *Meilano et. al.* (2006; 2007). Gambar 8 menunjukkan contoh deformasi post-seismik dalam arah horisontal yang diperoleh dari survei GPS, dan Gambar 9 menunjukkan contoh hasil deformasi post-seismik dari data stasion kontinyu GPS.



Gambar 8. Deformasi post-seismik gempa Aceh dari survei GPS; courtesy of Irwan Meilano (KK Geodesy ITB).

Dari Gambar 8 dan 9 terlihat bahwa tiga tahun setelah gempa, deformasi post-seismik masih berlangsung dalam orde cm-dm per tahunnya. Kalau kita menggunakan model dari *Marone et al.* (1991), maka durasi fase deformasi post-seismik dari gempa Aceh ini dapat berlangsung selama 15 tahun (*Abidin et al., 2008a*).



Gambar 9. Deformasi post-seismik gempa Aceh dari stasiun kontinyu GPS; courtesy of Irwan Meilano (KK Geodesy ITB).

3.2. Studi Deformasi Ko-Seismik dan Post-Seismik Gempa Yogyakarta

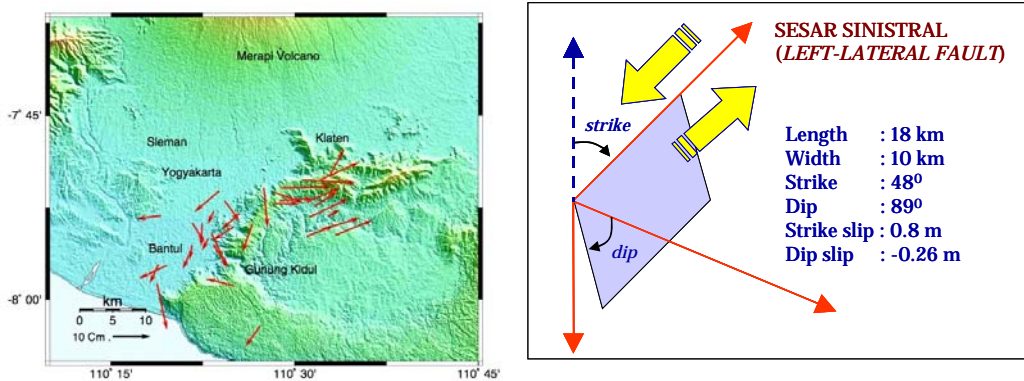
Pada tanggal 27 Mei 2006, sekitar jam 05:54:01 WIB, terjadi gempa bumi dengan magnitudo 6.4 Mw yang mengguncang kawasan Bantul, Yogyakarta, Sleman dan Klaten, selama lebih kurang 60 detik.

Untuk mempelajari deformasi ko-seismik dari gempa Jogjakarta 2006, seminggu sesudah terjadinya gempa, yaitu tanggal 4 sampai 8 Juni 2006, survei GPS dilakukan pada 48 titik dari jaring kerangka kadastral nasional orde-2 di Jogjakarta dan Jawa Tengah yang berada sekitar kawasan gempa. Jaring kerangka kadastral ini pertama kali ditentukan koordinatnya dengan metode survei GPS pada tahun 1998.

Survei GPS sesudah gempa tersebut dilaksanakan menggunakan 14 receiver GPS tipe geodetik dua-frekuensi. Dalam pengamatan satelit-satelit GPS, setiap titik umumnya diamati sekitar 12-20 jam. Survei GPS dilaksanakan oleh Kelompok Keilmuan Geodesi ITB, bekerjasama dengan RCSVDM Nagoya University, Jurusan Teknik Geodesi UGM, serta Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

Vektor pergeseran horisontal dari deformasi ko-seismik yang diperoleh dari hasil pengolahan data survei GPS ditunjukkan pada Gambar 10 (kiri). Vektor pergeseran tersebut selanjutnya digunakan untuk mengestimasi geometri sesar penyebab gempa, dengan menggunakan asumsi bahwa model

kerak bumi homogen, linier dan elastik [Okada, 1985]. Parameter geometri sesar yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 10 (kanan). Hasil yang lebih lengkap tentang deformasi ko-seismik gempa Yogyakarta 2006 dari hasil survei GPS ini dapat dilihat di *Abidin et al.* (2007b).



Gambar 10. Vektor pergeseran horisontal akibat Gempa Yogyakarta 2006 (kiri) dan hasil estimasi parameter geometri sesar penyebabnya (kanan).

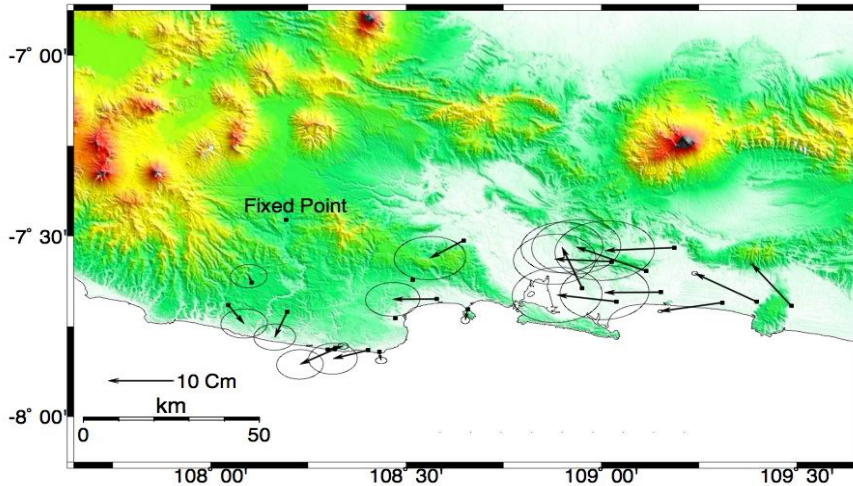
KK Geodesi melalui program Riset ITB 2008 juga akan melaksanakan kembali survei GPS di kawasan gempa Yogyakarta. Tujuan utamanya adalah untuk mempelajari karakteristik deformasi post-seismik gempa tersebut dan implikasinya terhadap potensi gempa di masa mendatang.

3.3. Studi Deformasi Ko-Seismik dan Post-Seismik Gempa Pangandaran

Pada tanggal 17 Juli 2006 jam 15:19:25 WIB, telah terjadi gempa bumi berkekuatan 7.7 skala Richter di lepas pantai Selatan Jawa Barat, dengan episentrum berada sekitar 200 km di sebelah Selatan Pameungpeuk. Gempa ini juga diikuti dengan setidaknya 22 gempa susulan berkekuatan antara 4.6 sampai 6.1 skala Richter. Gempa Bumi ini menimbulkan gelombang tsunami berketinggian sekitar 5 sampai 7 m yang melanda kawasan pantai yang cukup panjang, dari sekitar kawasan pantai Pameungpeuk sampai kawasan pantai selatan Jogyakarta. Akibatnya sekitar 650 orang meninggal, 33 orang hilang, 520 orang luka dan 6727 orang mengungsi. Disamping itu 5 orang WNA juga meninggal, 9 orang luka dan seorang hilang.

Untuk mempelajari deformasi ko-seismik dan post-seismik akibat gempa Pangandaran (*July 2006 South Java earthquake*), KK geodesi ITB bekerjasama dengan LIPI dan Tokyo University telah melaksanakan dua kali survei GPS yaitu pada Juli 2006 dan Agustus 2007 pada sekitar 30 titik GPS

yang tersebar dari pantai Pameungpeuk di Jawa Barat sampai pantai Ayah di Jawa tengah. Survei GPS selanjutnya direncanakan akan dilaksanakan pada bulan Juli 2008 ini. Hasil sementara dari deformasi ko-seismik gempa Pangandaran ini ditunjukkan pada Gambar 11. Saat ini proses pengolahan data masih berlangsung, dan hasil deformasi ko-seismik maupun post-seismik yang lebih definitif akan dipublikasikan dalam waktu dekat



Gambar 11. Vektor pergeseran horisontal awal dari survei GPS 1995 dan Juli 2006.

3.4. Studi Aktivitas Sesar Aktif

Sudah banyak diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi akibat pergerakan sesar (*fault*) dapat melahirkan sejumlah bencana, misalnya korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerusakan pada berbagai struktur bangunan, longsor, dan lain-lain. Wilayah Indonesia mempunyai banyak sesar aktif yang kawasannya relatif berpenduduk cukup padat. Kawasan Jawa barat pun mempunyai beberapa sesar aktif.

Melalui beberapa program Riset ITB, KK Geodesi juga melakukan studi terhadap aktivitas beberapa sesar (*fault*) di Jawa Barat, yaitu sesar Cimandiri, sesar Lembang dan sesar Baribis (lihat Gambar 12).

Sesar Lembang adalah sesar yang terletak sekitar 10 km di sebelah Utara kota Bandung, memanjang dalam arah Barat-Timur melalui kota Lembang. Sesar Lembang sangat rawan gempa, dan menurut data dari Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan (DTLGKP), sesar Lembang akan mengalami siklus gempa sekira 500 tahun sekali. Karena kedatangan gempa besar dalam siklus gempa tersebut sulit untuk diprediksi secara tepat,

maka pemantauan terhadap aktivitas sesar Lembang ini perlu dilakukan secara baik dan sekontinyu mungkin. Apalagi mengingat jumlah penduduk yang berdiam di sekitar kawasan sesar Lembang (e.g. kawasan Bandung Utara dan Lembang) yang berjumlah cukup besar.



Gambar 12. Lokasi beberapa sesar utama di Jawa Barat.

Sesar Cimandiri adalah sesar aktif yang terdapat di daerah Sukabumi Selatan, yang memanjang dari Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Cianjur dan Padalarang. Menurut *Darji et al.* (1994), *Sesar Cimandiri* adalah sesar geser mengiri (sinistral strike-slip fault). Menurut *LIPi* (2006), karakteristik *Sesar Cimandiri* belum sepenuhnya diketahui karakternya seperti halnya *Sesar Sumatera*. Yang baru diketahui hanyalah bahwa beberapa gempa yang terjadi di Jawa Barat seperti yang terjadi di Pelabuhanratu (1900), Cibadak (1973), Gandasoli (1982), Padalarang (1910), Tanjungsari (1972), Conggeang (1948) dan Kab. Sukabumi (2001), pusat gempabumi nya terletak pada Lajur sesar aktif *Cimandiri*.

Sesar Baribis adalah sesar yang terletak di sekitar wilayah Majalengka dan Kuningan. Kelurusan sesar *Baribis* ini di lapangan masih belum teridentifikasi secara jelas. Menurut beberapa pihak sesar *Baribis* ini adalah sesar aktif, dan beberapa gempa kecil kecil kerap terjadi di wilayah ini Karena sesar *Baribis* ini berada disekitar beberapa kota kecil yang berpenduduk cukup padat, seperti Kuningan, Cilimus, Majalengka, Jatiwangi dan Subang, dan juga selama ini gempa besarnya belum pernah terjadi lagi, maka pemantauan terhadap aktivitas sesar *Baribis* ini perlu dilakukan secara baik dan sekontinyu mungkin.

Beberapa survei GPS telah dilaksanakan untuk memantau sesar-sesar tersebut. Survei GPS untuk sesar Cimandiri telah dilaksanakan pada Des. 2006 dan Agustus 2007; sesar Lembang pada Juni 2006, Nov. 2006, dan Agustus 2007; dan sesar Baribis pada Juli 2006 dan Agustus 2007. Survei GPS selanjutnya direncanakan akan dilaksanakan pada bulan Juli 2008 ini. Saat ini data survei GPS di ketiga sesar aktif tersebut sedang diolah, dan hasilnya akan segera dipublikasikan.

4. STUDI DEFORMASI GUNUNG API DENGAN GPS

Letusan-letusan gunung api umumnya didahului dengan beberapa gejala dan fenomena awal, seperti meningkatnya aktivitas seismik, terjadinya deformasi dari tubuh gunung api, adanya perubahan komposisi dan kecepatan dari semburan gas, adanya perubahan-perubahan temperatur, serta adanya perubahan harga percepatan gaya berat di kawasan gunung api yang bersangkutan. Oleh sebab itu untuk dapat memprediksi terjadinya letusan gunung api dengan baik, maka gejala dan fenomena awal tersebut, yang pada dasarnya mengkarakterisir aktivitas gunung berapi, harus diamati dan dipantau secara baik pula.

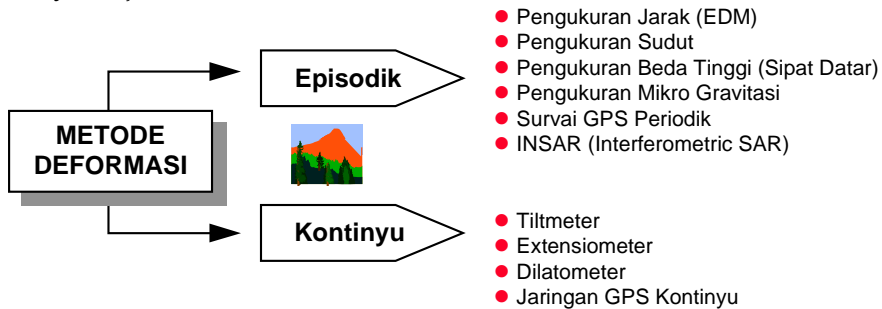
Di Indonesia, mengingat jumlah gunung api nya yang relatif cukup banyak, bahaya letusan gunung api harus mendapatkan perhatian yang serius baik dari pemerintah maupun masyarakat. Dengan jumlah penduduk sekitar 200 juta, dan juga kenyataan bahwa P. Jawa yang penduduknya paling padat juga mempunyai gunung api yang paling banyak, maka tidak dapat dipungkiri bahwa bahaya letusan gunung api adalah sesuatu yang nyata bagi rakyat Indonesia. Oleh sebab itu pemantauan aktivitas gunung api di Indonesia haruslah selalu dilaksanakan secara maksimal dan kontinyu.

4.1. Pemantauan Aktivitas Gunung Api

Ada beberapa metode pemantauan aktivitas gunung api yang telah diaplikasikan sekarang ini [*Banks et al., 1989; McGuire, 1995; McGuire et al., 1995; Scarpa and Tilling, 1996*], yaitu antara lain metode seismik, metode visual, metode deformasi, metode kimia gas, metode termal, metode gaya berat, metode geomagnetik, dan metode penginderaan jauh (dengan menggunakan sistem video, citra satelit, dan sebagainya). Metode-metode ini dapat diimplementasikan secara episodik dengan selang waktu tertentu, maupun secara kontinyu.

Disamping metode seismik, yang paling banyak digunakan untuk

pemantauan gunung api di Indonesia, metode-metode deformasi pun (lihat Gambar 13) cukup banyak diaplikasikan dalam pemantauan gunung api dengan menggunakan berbagai macam sensor atau sistem. Metode ini pada dasarnya ingin mendapatkan pola dan kecepatan dari deformasi permukaan gunung api, baik dalam arah horisontal maupun vertikal. Data dan informasi deformasi permukaan ini selanjutnya digunakan untuk mengungkapkan karakteristik dari aktivitas magmatik dari gunung api yang bersangkutan (lokasi dan pusat tekanan), dan juga volume muntahan magmanya seandainya terjadi letusan.



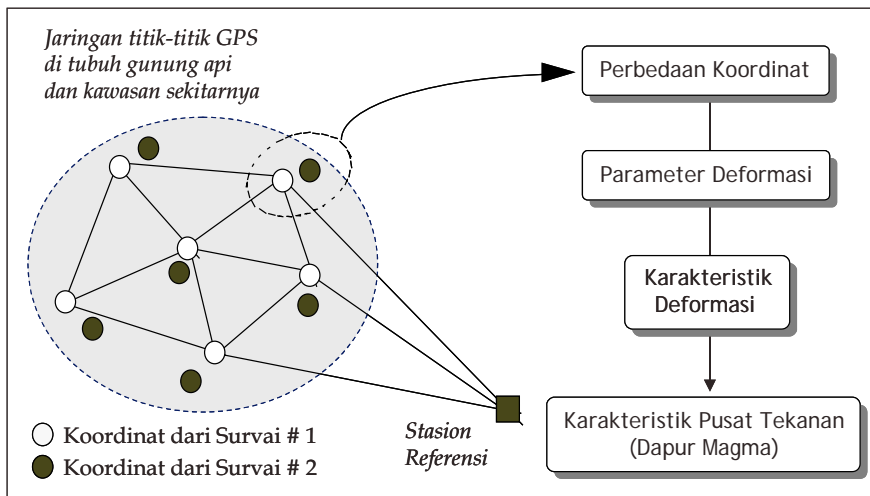
Gambar 13. Metode deformasi untuk pemantauan gunung api.

Pemantauan deformasi suatu gunungapi dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam sensor atau sistem, dan berdasarkan moda implementasinya dapat diklasifikasikan atas dua tipe, yaitu *metode episodik* dan *metode kontinyu* (lihat Gambar 12). Pada metode episodik, pemantauan dilakukan secara episodik dalam selang waktu tertentu. Metode *deformasi episodik* ini umumnya menggunakan data-data pengamatan terestris, seperti jarak (dari EDM, Electronic Distance Measurement), arah (dari theodolit), beda tinggi (dari sipat datar), dan perubahan gaya berat (dari pengukuran mikrogravitas); dan sekarang ini juga banyak menggunakan data GPS. Sedangkan pada metode deformasi kontinyu pemantauan dilakukan secara terus menerus menggunakan bantuan sistem telemetri/komunikasi *on-line*.

4.2. Pemantauan Deformasi Gunungapi Secara Episodik

Prinsip pemantauan gunung api dengan GPS secara episodik pada dasarnya sama dengan prinsip penggunaan GPS untuk studi geodinamika yang dijelaskan sebelumnya, yaitu dengan menggunakan metode survei GPS statik [Abidin *et al.*, 2002] yang dilakukan secara berkala. Pada pemantauan gunung api dengan metode survei GPS ini beberapa monumen yang membentuk

suatu kerangka (jaringan) yang tersebar pada tubuh gunung api yang bersangkutan serta daerah sekitarnya, ditentukan koordinatnya secara teliti dengan menggunakan metode survei GPS relatif terhadap suatu stasiun referensi yang ditempatkan pada suatu lokasi yang stabil di luar zone deformasi gunung api yang bersangkutan (lihat Gambar 14).



Gambar 14. Pemantauan deformasi gunung api secara episodik dengan GPS.

Dengan mempelajari pola dan kecepatan perubahan vektor koordinat dari titik-titik tersebut, maka karakteristik deformasi dari gunung api tersebut dapat dipelajari. Karakteristik deformasi ini, baik dalam arah horisontal maupun vertikal, selanjutnya dapat digunakan sebagai salah satu data masukan untuk mempelajari karakteristik dari pusat tekanan (dapur magma). Dalam hal ini model Mogi [Mogi, 1958] umum digunakan untuk menentukan lokasi dari pusat tekanan tersebut. Pemodelan medan deformasinya juga umum menggunakan model Mogi ini yang kerap dikombinasikan dengan model Okada [Okada, 1985].

Dalam pemantauan deformasi gunung api secara episodik dengan GPS ini ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan yaitu : karakteristik geometrik dari deformasi gunung api, karakteristik dari kerangka GPS yang sesuai untuk pemantauan deformasi gunung api, strategi pelaksanaan survei GPS untuk merealisasikan kerangka GPS di atas, metode pengolahan data survei GPS yang optimal dalam konteks pemantauan deformasi gunung api, metode analisis terhadap hasil-hasil dari pengolahan data yang diperoleh, serta korelasi antara hasil pemantauan dengan GPS yang bersifat geometrik

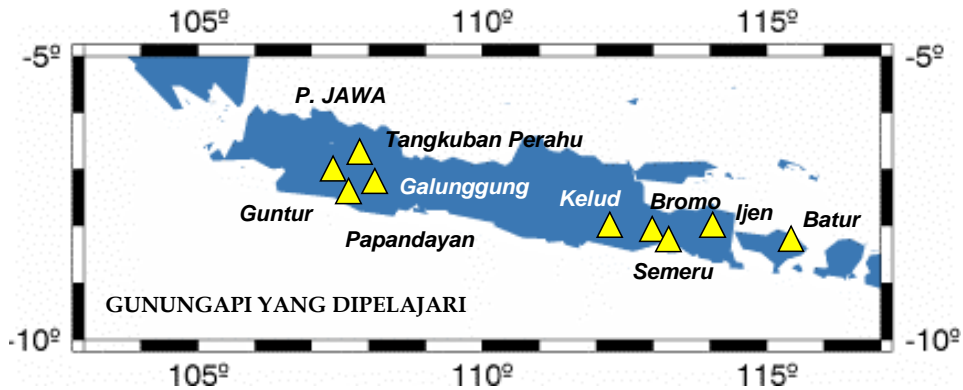
(deformasi) dengan hasil dari metode pemantauan lainnya, seperti metode seismik, metode termal, metode kimia gas, dan metode deformasi lainnya.

Akhirnya patut dicatat bahwa secara operasional pemantauan deformasi gunung api dengan GPS, baik secara episodik maupun kontinyu, sudah diterapkan di banyak gunungapi di seluruh dunia. Contoh-contoh kasus dalam hal ini bias dilihat di [USGS-Volcano, 2008]. Untuk kasus gunung api di Indonesia, pemantauan gunung api secara episodik dengan metode survei GPS telah diterapkan di beberapa gunungapi. Gambar 15 menunjukkan beberapa lokasi gunungapi yang deformasinya dipelajari dengan survei GPS yang dilaksanakan oleh Kelompok Keilmuan (KK) Geodesi ITB bekerjasama dengan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Departemen ESDM.

Sebagai bagian dari kerjasama ini, beberapa survei GPS telah dilaksanakan, (lihat Tabel 2). Umumnya survei di gunung-gunung tersebut dilaksanakan setahun sekali. Beberapa hasil dari studi deformasi gunungapi dengan metode survei GPS tersebut diberikan di *Abidin et al.* (1998a, 1998b, 1998c, 1998d, 2002, 2003a, 2004a, 2005).

Tabel 2. Beberapa survei GPS yang telah dilaksanakan di kawasan gunungapi.

Gunungapi	Survei GPS	Gunungapi	Survei GPS
Guntur	Nov. 1996, Feb. 1997, June 1997, Nov. 1997, March 1998, Oct. 1998, April 1999, Sept. 1999, Feb. 2000, April 2001, Aug.2002, June 2003, Feb 2006, Apr 2006	Kelud	May 1999, Feb. 2001, June 2002, Aug. 2003, June 2004, June 2005
		Semeru	Aug. 2003, Aug. 2005
		Ciremai	October 2003
Papandayan	Oct. 1998, March 1999, Dec. 1999, June 2001, Aug. 2002, Nov. 2002, June 2003, September 2005	Ijen	June 2002, June 2004, June 2005, May 2006, Aug 2006
Galunggung	June 2001, Aug. 2002, June 2003	Tangkuban Perahu	September 2002
Batur	May 1999, Feb. 2001, June 2002, Aug. 2003, June 2004	Bromo	Feb. 2001, June 2002, Aug. 2003, June 2004, July 2005, June 2006, Sept 2006, Feb 2007



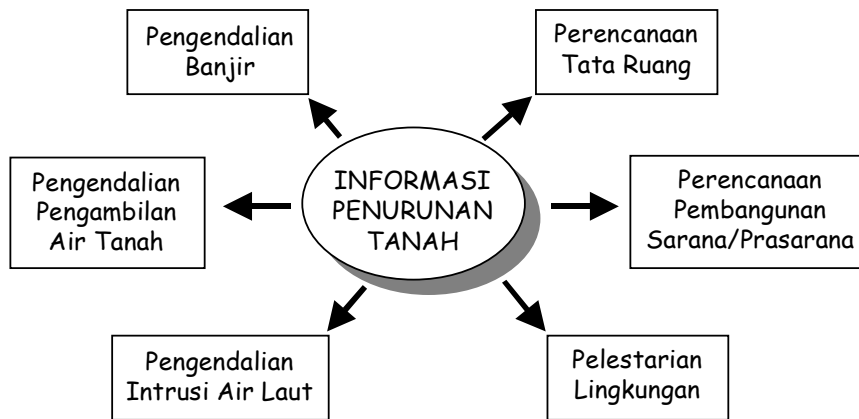
Gambar 15. Beberapa gunungapi yang dipantau secara episodik.

5. STUDI PENURUNAN TANAH DENGAN GPS

Penurunan tanah (*land subsidence*) adalah suatu fenomena alam yang banyak terjadi di kota-kota besar yang berdiri diatas lapisan sedimen, seperti Jakarta, Bangkok, Shanghai, dan Tokyo. Di Indonesia, fenomena penurunan tanah sudah teramati di Jakarta, Bandung dan Semarang. Dari muka airtanahnya yang terus menurun, fenomena penurunan tanah juga ditengarai terjadi di kota-kota Surabaya, Denpasar, Cilegon, dan Medan

Dari studi penurunan tanah yang dilakukan selama ini, diidentifikasi ada beberapa faktor penyebab terjadinya penurunan tanah yaitu : pengambilan airtanah yang berlebihan, penurunan karena beban bangunan (*settlement*), penurunan karena adanya konsolidasi alamiah dari lapisan-lapisan tanah, serta penurunan karena gaya-gaya tektonik.

Karena penurunan muka tanah ini akan terkait dengan fenomena-fenomena alam lainnya seperti terjadinya banjir, intrusi air laut, keamanan bangunan-bangunan gedung, keamanan sarana perhubungan darat, perubahan aliran sungai, dan lain sebagainya yang nota bene bersifat destruktif; maka sudah sewajarnya bahwa informasi tentang karakteristik penurunan tanah di suatu wilayah dapat diketahui dengan sebaik-baiknya dan kalau bisa sedini mungkin. Dengan kata lain sistem pemantauan penurunan tanah adalah suatu hal yang penting untuk direalisasikan. Manfaat dari informasi penurunan tanah ini secara skematis diberikan pada Gambar 16 berikut ini.



Gambar 16. Beberapa Manfaat Informasi Penurunan Tanah.

Penurunan tanah pada suatu wilayah dapat dipelajari dengan menggunakan beberapa metode, baik itu metode-metode hidrogeologis (e.g. pengamatan level muka air tanah serta pengamatan dengan ekstensometer dan piezometer) maupun metode-metode geodetik seperti survei sipat datar (*leveling*), survei GPS dan INSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) [Massonnet and Feigl, 1998]. Mengingat laju penurunan tanah yang umumnya relatif lambat, maka studi (pemantauan) fenomena penurunan lebih efisien dilakukan secara episodik (periodik).

5.1. Prinsip Studi Penurunan Tanah Dengan Survei GPS

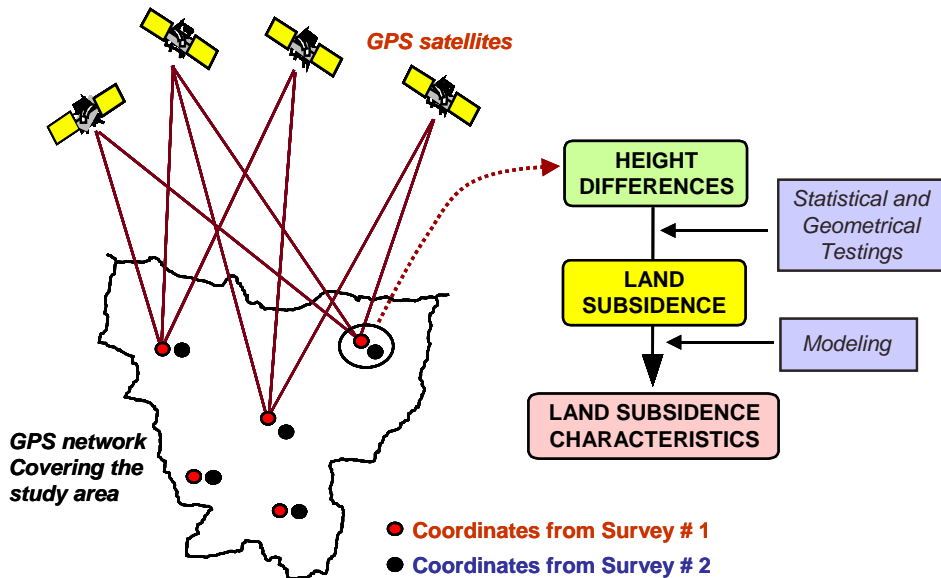
Prinsip studi penurunan tanah dengan metode survei GPS, pada prinsipnya dapat diilustrasikan dengan Gambar 17. Pada metode ini, beberapa titik yang ditempatkan pada beberapa lokasi yang dipilih, secara periodik ditentukan koordinatnya secara teliti dengan menggunakan metode survei GPS [Abidin *et al.*, 2002]. Dengan mempelajari pola dan kecepatan perubahan tinggi ellipsoid dari titik-titik tersebut dari survei yang satu ke survei berikutnya, maka karakteristik penurunan tanah akan dapat dihitung dan dipelajari lebih lanjut.

Studi permukaan tanah dengan metode survei GPS, mempunyai beberapa keunggulan dan keuntungan, yaitu antara lain :

1. GPS memberikan nilai penurunan tanah dalam suatu sistem koordinat referensi yang tunggal, sehingga dapat digunakan untuk memantau fenomena penurunan tanah di suatu wilayah yang relatif luas secara efektif dan efisien.
2. GPS dapat memberikan komponen beda tinggi ellipsoid dengan tingkat

presisi sampai beberapa mm, dengan konsistensi yang tinggi baik secara spasial maupun temporal. Dengan tingkat presisi yang tinggi dan konsisten ini maka fenomena penurunan tanah yang kecil sekalipun akan dapat terdeteksi dengan baik.

- GPS dapat dimanfaatkan secara kontinyu tanpa tergantung waktu (siang maupun malam), dalam segala kondisi cuaca. Dengan karakteristik semacam ini maka pelaksanaan survei GPS untuk studi penurunan muka tanah dapat dilaksanakan secara efektif dan fleksibel.



Gambar 17. Prinsip studi penurunan tanah dengan survei GPS.

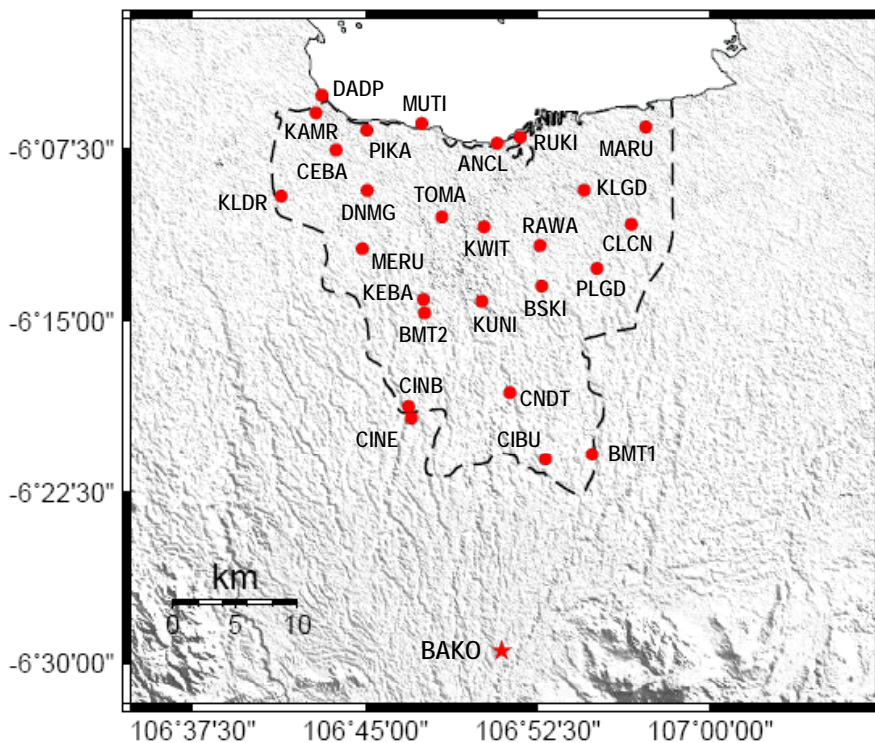
5.2. Studi Kasus Penurunan Tanah di Jakarta

Penurunan tanah (*land subsidence*) adalah suatu fenomena alam yang telah cukup lama terjadi di beberapa tempat di wilayah Jakarta [Murdohardono & Tirtomihardjo, 1993; Murdohardono & Sudarsono, 1998; Rajiyowiryono, 1999]. Dalam hal ini, penurunan tanah sebesar 20 sampai 200 cm telah dideteksi oleh metode survei sipat datar, pada periode 1982 sampai 1997. Secara keseharian akibat dari adanya penurunan tanah di wilayah Jakarta memang sudah dirasakan akhir-akhir ini yaitu antara lain dalam bentuk beberapa fenomena yang bersifat destruktif seperti : meluasnya daerah banjir sebagai akibat dari timbulnya daerah-daerah cekungan/ amblasan, terjadinya retak pada gedung/bangunan-bangunan besar yang mungkin dapat mengakibatkan

robohnya gedung/bangunan tersebut, tidak berfungsinya saluran air serta kerusakan sarana jalan, serta adanya penurunan kualitas lingkungan secara umum.

Survei GPS untuk studi penurunan tanah di wilayah Jakarta telah dilaksanakan sejak Desember 1997 oleh Kelompok Keilmuan Geodesi ITB. Sampai saat ini survei GPS untuk studi dan pemantauan penurunan tanah di wilayah Jakarta telah dilaksanakan 9 kali, yaitu masing-masing pada : 24 - 26 Desember 1997, 29 - 30 Juni 1999, 31 Mei - 3 Juni 2000, 14 - 19 Juni 2001, 26 - 31 Oktober 2001, 02 - 07 Juli 2002, 21 - 26 Desember 2002, 21 - 25 September 2005, dan September 2007. Survei GPS dilakukan menggunakan receiver GPS tipe geodetik dua-frekuensi dengan lama pengamatan sekitar 6-12 jam.

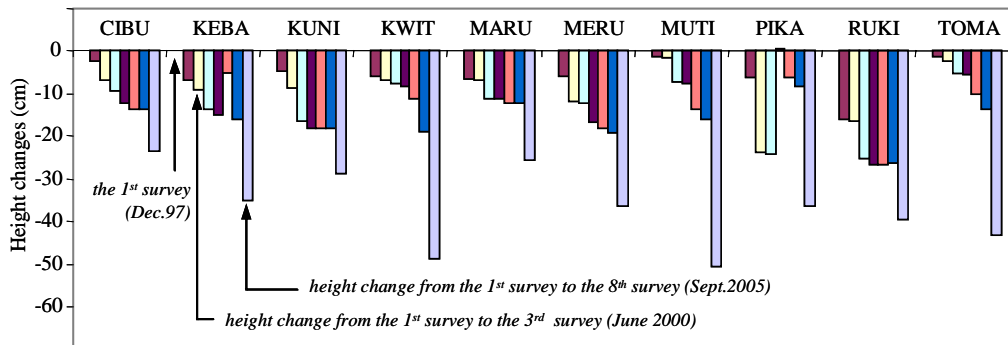
Lokasi dan distribusi dari titi-titik GPS untuk studi pemantauan penurunan tanah di Jakarta ini ditunjukkan pada Gambar 18 berikut. Titi referensi GPS (BAKO) dalam studi ini dianggap sebagai titik stabil yang koordinatnya diketahui secara teliti.



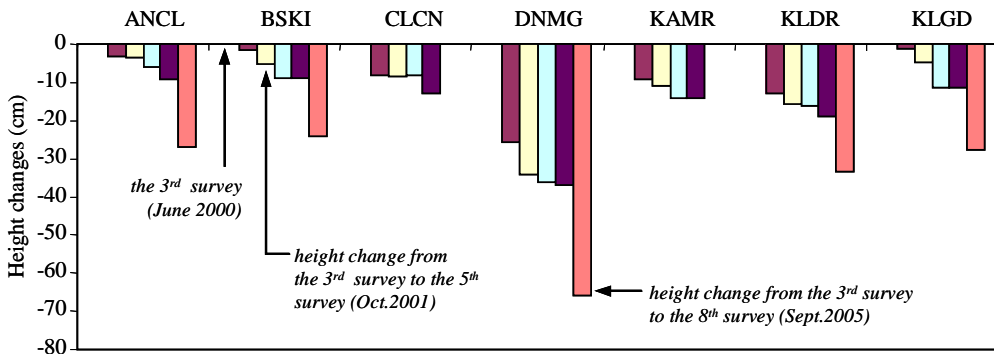
Gambar 18. Lokasi dan Distribusi Titi-Titik Jaringan GPS Untuk Pemantauan Penurunan Tanah di Wilayah Jakarta.

Cotah hasil penurunan tanah di beberapa lokasi di Jakarta yang ditentukan dengan survei GPS ditunjukkan pada Gambar 19 dan 20. Secara umum dari survei GPS yang dilaksanakan dari Desember 1997 sampai September 2005 terdeteksi penurunan tanah dengan laju sekitar 1 sampai 10 cm/tahun dan kadang sampai 15 – 20 cm/tahun, yang bervariasi secara spasial maupun temporal. Kecepatan penurunan tanah terbesar terjadi di kawasan barat-daya Jakarta, yaitu di kawasan.

Hasil yang lebih lengkap dan lebih detil dari studi penurunan tanah di wilayah Jakarta, dapat dilihat di *Abidin et al.* (2001, 2004b, 2007a).



Gambar 19. Penurunan tanah akumulatif (cm) di Jakarta dari Dec. 1997 ke Sept. 2005.



Gambar 20. Penurunan tanah akumulatif (cm) di Jakarta dari Juni 2001 ke Sept. 2005.

5.3. Studi Kasus Penurunan Tanah di Bandung

Cekungan Bandung awalnya merupakan endapan danau yang terdiri dari batu lempung, batu lanau, maupun batu pasir yang semuanya bersifat tufaan, yang kemudian diendapkan pada saat cekungan ini masih berupa danau akibat pembendungan aliran sungai Citarum purba oleh material letusan

gunung Tangkuban Perahu. Ketika limpahan air terjadi, air danau secara perlahan-lahan kering, sampai akhirnya daratan tinggi Bandung terbentuk seperti kondisinya saat ini. Pada saat ini karena pengambilan air tanah yang berlebihan oleh industri, beberapa lokasi di cekungan Bandung diperkirakan mengalami penurunan tanah (*land subsidence*).

Survei GPS untuk studi penurunan tanah di cekungan Bandung telah dilaksanakan sejak Februari 2000 oleh Kelompok Keilmuan Geodesi ITB. Sampai saat ini survei GPS untuk studi dan pemantauan penurunan tanah di cekungan Bandung telah dilaksanakan 5 kali, yaitu masing-masing pada : 21-24 Februari 2000, 21-30 November 2001, 11-14 Juli 2002, 1-3 Juni 2003, dan 24-27 Juni 2005. Survei GPS dilakukan menggunakan receiver GPS tipe geodetik dua-frekuensi dengan lama pengamatan umumnya sekitar 7 – 12 jam.

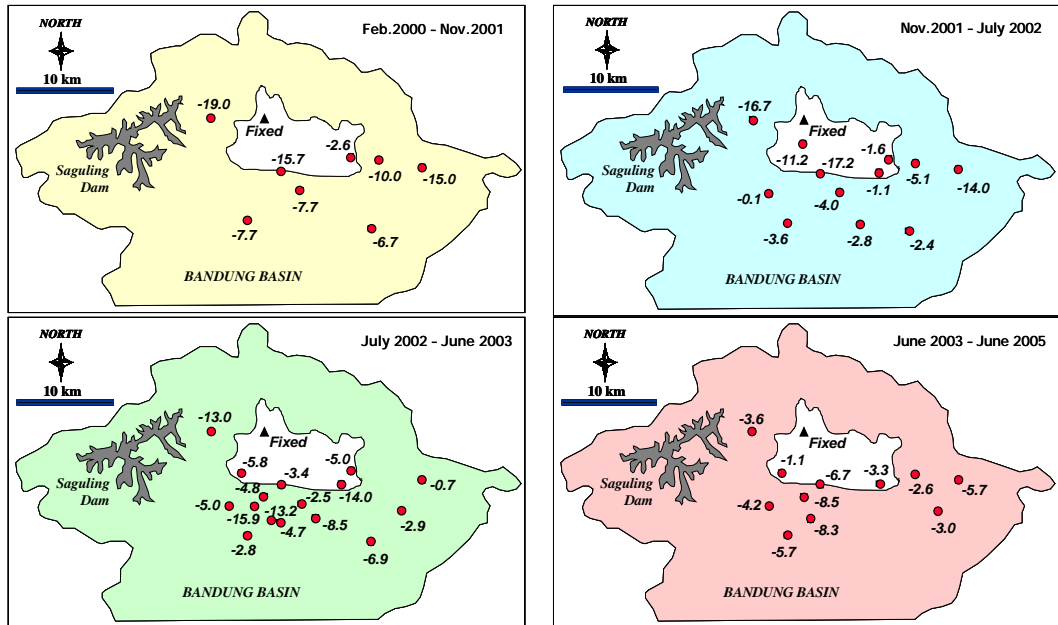
Lokasi dan distribusi dari titik-titik GPS untuk studi pemantauan penurunan tanah di cekungan Bandung ini ditunjukkan pada Gambar 21 berikut. Saat ini jaring pemantauan GPS ini terdiri dari 21 titik pantau GPS serta satu titik referensi GPS, yaitu titik PSCA di kampus ITB, yang dalam studi ini dianggap sebagai titik stabil.



Gambar 21. Jaring GPS untuk studi penurunan tanah di Bandung.

Hasil survei GPS menunjukkan bahwa fenomena penurunan tanah memang terjadi pada beberapa lokasi dari kawasan cekungan Bandung. Dalam periode sekitar 5 tahun, yaitu dari Februari 2000 sampai Juni 2005, penurunan tanah di beberapa lokasi dapat mencapai 70 cm dengan laju penurunan maksimum sekitar 1-2 cm/bulan (lihat Gambar 22). Hasil survei GPS juga menunjukkan

bahwa besarnya penurunan tanah dan kecepatan penurunannya bervariasi baik secara spasial maupun temporal. Hasil studi juga menunjukkan bahwa besarnya penurunan tanah di beberapa lokasi di cekungan Bandung tidak selalu berkorelasi positif dengan volume pengambilan air tanah yang terdaftar, tetapi dapat juga dipengaruhi oleh besarnya produktivitas akuifer dan keragaman tanah penyusunnya. Hasil yang lebih lengkap dan lebih detail dari studi penurunan tanah di wilayah Bandung, dapat dilihat di *Abidin et al.* (2003b, 2003c, 2004b, 2006).



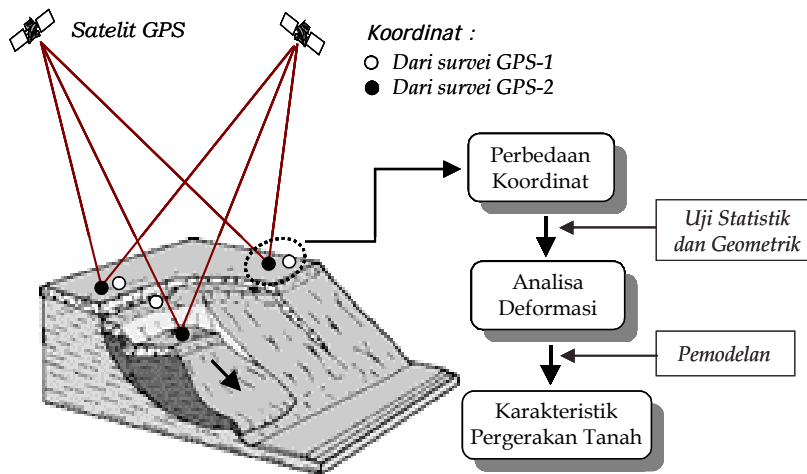
Gambar 22. Variasi temporal dan spasial dari kecepatan penurunan tanah (mm/bulan) di basin Bandung dalam periode 2000 sampai 2005.

6. STUDI PERGERAKAN TANAH DENGAN GPS

Pergerakan tanah (landslide), yang kadang disebut juga longsor, adalah salah satu bencana kebumihian yang cukup sering terjadi di Indonesia, terutama selama musim hujan di kawasan perbukitan dan pegunungan. Bencana ini tidak hanya menghancurkan lingkungan hidup serta sarana dan prasarana, tapi juga umumnya juga menimbulkan korban jiwa. Oleh karena itu proses pemantauan bahaya dan mitigasi bencana pergerakan tanah ini adalah sangat penting dilaksanakan secara baik dan berkesinambungan.

Pemantauan gerakan tanah pada suatu daerah pada dasarnya adalah

pemantauan perubahan jarak, beda tinggi, sudut ataupun koordinat antara/dari titik-titik yang mewakili daerah studi. Banyak metode dan teknik yang telah diterapkan untuk mempelajari fenomena gerakan tanah, dimana salah satunya adalah metode survei GPS. Prinsip studi gerakan tanah dengan metode survei GPS adalah dengan membandingkan koordinat dari beberapa titik pada daerah rawan gerakan tanah yang diperoleh dari beberapa survei GPS yang dilakukan dengan selang waktu tertentu. Karakteristik gerakan tanah diperoleh dengan melakukan analisa pergeseran terhadap perbedaan koordinat dari titik-titik GPS yang diperoleh tersebut (lihat Gambar 23).



Gambar 23. Prinsip studi gerakan tanah dengan Survei GPS.

Untuk mendapatkan nilai perbedaan koordinat yang baik dengan tingkat ketelitian dalam orde beberapa mm, survei GPS harus dilakukan dengan receiver GPS tipe geodetik, sebaiknya dari jenis dua frekuensi. Lama pengamatan di setiap titik disesuaikan dengan jarak antar titik pengamatan. Untuk jarak lebih pendek dari 5 km, maka pengamatan selama 2-3 jam biasanya sudah memadai untuk mencapai tingkat ketelitian beberapa mm.

Survei GPS sudah banyak dimanfaatkan untuk studi gerakan tanah, terutama di luar Indonesia, seperti yang dapat dilihat di [Gili et al., 2000; Moss, 2000; Malet et al., 2002; Rizzo, 2002; Mora et al., 2003]. Berikut ini akan dijelaskan dua studi kasus penggunaan survei GPS untuk studi gerakan tanah di Indonesia yang pernah dilaksanakan oleh KK Geodesi ITB. Untuk mendapatkan informasi gerakan tanah yang lebih baik, karakteristik gerakan tanah yang diperoleh dari GPS ini sebaiknya diintegrasikan dan dikorelasikan dengan data hidro-geologi dan geologi teknik dari kawasan studi.

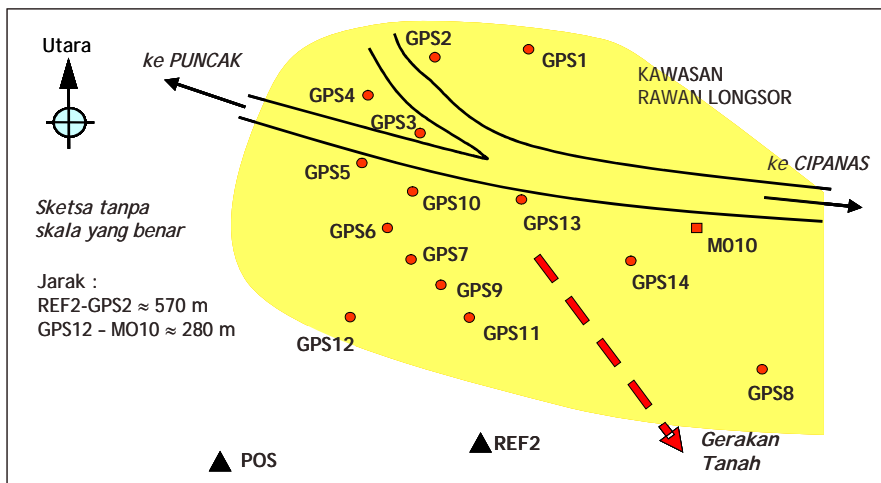
6.3. Studi Kasus Pergerakan Tanah di Ciloto

Salah satu kawasan longsor di Jawa Barat yang cukup terkenal adalah Ciloto, di kawasan Puncak. Kawasan rentan longsor ini terletak pada dan sekitar ruas jalan negara antara Bandung-Jakarta pada Km 88+150 (lihat Gambar 24). Longsoran pada kawasan ini telah terjadi berulang kali dan telah merusak tidak hanya badan jalan tapi juga bangunan di sekitar ruas jalan tersebut.



Gambar 24. Kawasan rawan longsor Ciloto

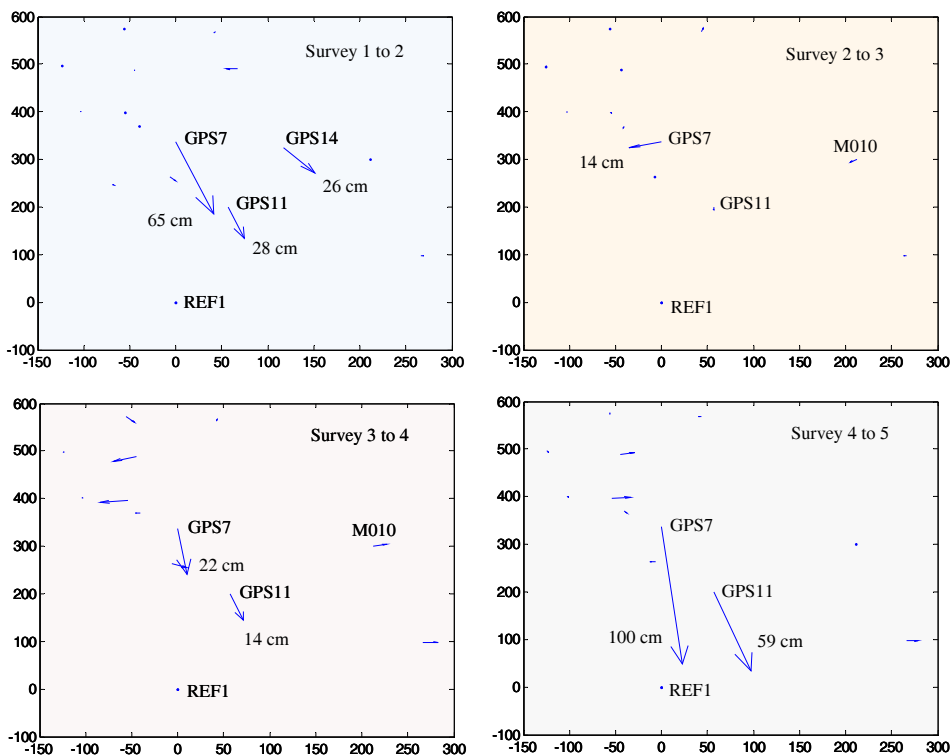
Survei GPS untuk pemantauan gerakan tanah di Ciloto telah dilaksanakan sebanyak lima kali, yaitu pada Januari 2002, April 2002, Mei 2003, Mei 2004 dan Juli 2005. Jaring GPS untuk pemantauan gerakan tanah di Ciloto terdiri atas 17 titik yang distribusinya ditunjukkan pada Gambar 25 berikut.



Gambar 25. Distribusi titik-titik GPS di kawasan rawan longsor Ciloto.

Titik-titik GPS yang ditunjukkan pada Gambar 25 tersebut dipilih sedemikian rupa sehingga disamping dapat mewakili kawasan gerakan tanah Ciloto juga memenuhi persyaratan sebagai titik pengamatan GPS, seperti lokasi yang relatif stabil, ruang pandang yang relatif luas ke langit serta minimal dari pengaruh efek multipath. Titik-titik POS dan REF2 adalah titik-titik ikat yang dianggap sebagai titik-titik stabil dalam studi ini, dan terletak di luar kawasan gerakan tanah. Jarak antara titik ikat REF2 dengan titik-titik GPS lainnya berkisar antara 200 sampai 600 m. Mengingat ruang pandang ke langitnya yang lebih luas karena terletak di punggung bukit, titik REF2 adalah titik referensi yang digunakan dalam studi gerakan tanah ini.

Untuk mempelajari fenomena gerakan tanah maka koordinat dari dua survei GPS yang berurutan diselisihkan. Seandainya diplot, maka pergerakan horizontal titik-titik pantau GPS sejak survei-1 ke survei-5 ditunjukkan pada Gambar 26. Hasil yang lebih lengkap dan lebih detail dari studi pergerakan tanah di kawasan Ciloto, dapat dilihat di *Abidin et al. (2004c, 2004d, 2007c)*.



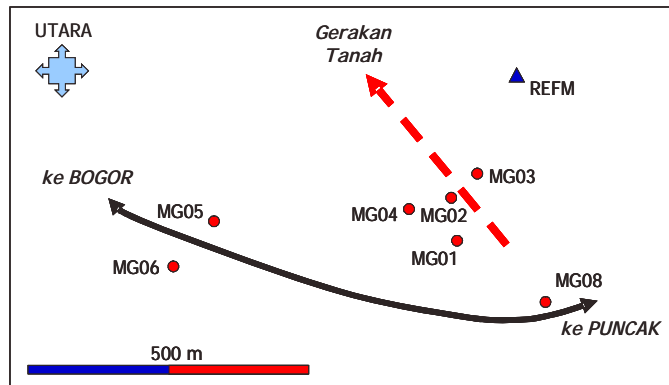
Gambar 26. Pergerakan tanah dalam arah horizontal di kawasan Ciloto, dari Survei-1 (Januari 2002) sampai Survei-5 (Juli 2005).

6.4. Studi Kasus Pergerakan Tanah di Megamendung

Fenomena gerakan tanah di kawasan Megamendung sudah terjadi dalam beberapa tahun ini. Gerakan tanah telah menghancurkan tidak hanya bangunan di kawasan tersebut, tapi juga lingkungan sekitarnya.

Survei GPS untuk studi gerakan tanah di kawasan Megamendung telah dilaksanakan sebanyak 5 kali, yaitu masing-masing pada 6 April 2002, 19 April 2002, 11 Mei 2003, 13 Mei 2004 dan 3 Jul 1 2005. Survei dilakukan pada jaring GPS yang terdiri atas 8 titik GPS. Distribusi dan lokasi dari titik-titik pantau ini ditunjukkan pada Gambar 27 berikut.

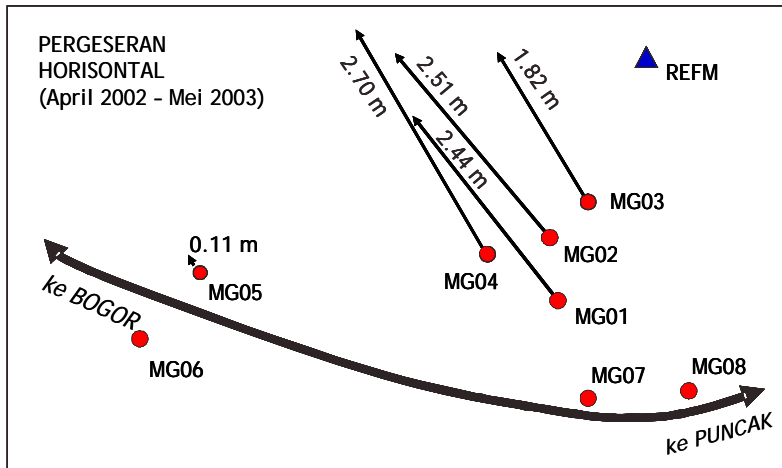
Pada jaring GPS ini, REFM adalah titik referensi yang berada di luar kawasan gerakan tanah. Jarak antara titik REFM dengan titik-titik lainnya lebih pendek dari 1 km. Pengamatan GPS di setiap titik dilakukan sekitar 3-4 jam. Survei dilakukan menggunakan receiver GPS tipe geodetik dua-frekuensi.



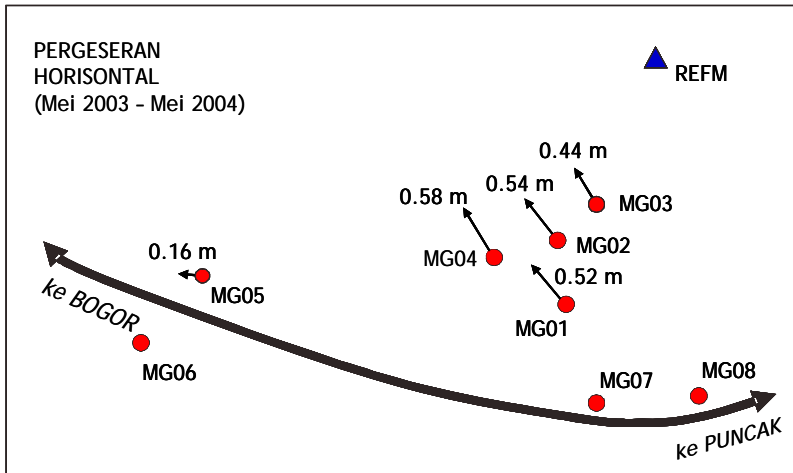
Gambar 27. Distribusi titik-titik GPS di kawasan rawan longsor Megamendung.

Contoh gerakan tanah yang diperoleh dari hasil survei GPS ditunjukkan pada Gambar 28 dan 29 dalam bentuk pergerakan horizontal dari titik-titik GPS yang diamati. Ellips kesalahan untuk setiap titik pengamatan tidak digambarkan mengingat ukurannya yang sangat kecil dibandingkan besarnya pergeseran titik. Dari kedua Gambar tersebut terlihat bahwa empat titik, yaitu MG01, MG02, MG03 dan MG04, menunjukkan pergerakan yang relatif besar, yaitu sekitar 2-3 m dalam periode April 2002 sampai Mei 2003, dan sekitar 3-4 dm dalam periode Mei 2003 sampai Mei 2004. Titik-titik lainnya menunjukkan pergerakan yang relatif lebih kecil. Kenyataan di lapangan mendukung besarnya pergeseran yang diamati dengan survei GPS ini.

Hasil yang lebih lengkap dan lebih detil dari studi pergerakan tanah di kawasan Megamendung, dapat dilihat di *Abidin et al.* (2004d, 2004e).



Gambar 28. Pergeseran horizontal titik GPS dari April 2002 sampai Mei 2003.



Gambar 29. Pergeseran horizontal titik GPS dari Mei 2003 sampai Mei 2004.

7. STUDI PERGERAKAN TANAH DI KAWASAN LUMPUR SIDOARJO

Semburan lumpur di kawasan Porong, Sidoarjo, Jawa Timur, pertama terjadi pada 29 Mei 2006 sekitar 150 meter arah Barat Daya dari sumur pengeboran eksplorasi Lapindo Brantas Banjarpanji-1 (BJP-1), dan sampai saat ini masih aktif (lihat Gambar 30).

Volume lumpur yang dikeluarkan semula berkisar antara 50.000-100.000 m³ per hari. Namun sekarang, volume semburan sekitar 126.000 m³ per hari dan belum ada kecenderungan menurun [MCL, 2007]. Lumpur yang keluar semakin lama menggenangi kawasan yang semakin luas..



Gambar 30. Lubang utama semburan lumpur di Porong Sidoarjo

Terjadinya pergerakan tanah, baik dalam arah horisontal maupun vertikal, di kawasan semburan lumpur Sidoarjo, adalah sesuatu hal yang secara teoritis lumrah. Pergerakan tanah di kawasan Porong Sidoarjo ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor secara bersama-sama, yaitu :

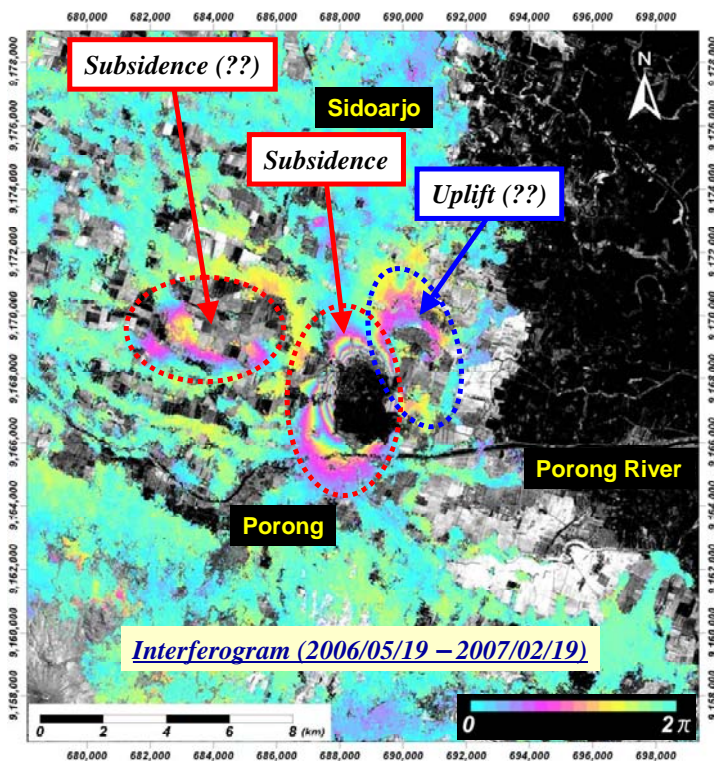
- proses relaksasi tanah (*ground relaxation*) akibat keluarnya lumpur ke permukaan tanah dalam volume yang sangat besar,
- beban dari lumpur,
- pemampatan tanah (*land settlement*) karena adanya pekerjaan dan aktivitas di permukaan tanah, seperti pembuatan tanggul, kendaraan-kendaraan berat yang berlalu lalang, dan lain-lainnya, dan/atau
- aktifnya kembali struktur geologi, seperti sesar Watukosek yang melalui kawasan lumpur tersebut.

Untuk mempelajari karakteristik pergerakan tanah di kawasan Lumpur Sidoarjo ini, KK Geodesi ITB telah melaksanakan beberapa kali survei GPS yaitu pada Juni 2006, Juli 2006, Agustus 2006, September 2006, Oktober 2006, Februari 2007 dan Maret 2007. Dari hasil survei GPS teramati adanya pergerakan tanah, baik dalam arah horisontal maupun vertikal, dengan karakteristik sebagai berikut :

- Kecepatan pergerakan adalah sekitar 0.5-2 cm/hari (komponen horisontal) dan sekitar 1-4 cm/hari (komponen vertikal),
- Pergerakan tanah bervariasi, baik secara spasial maupun temporal, dengan nilai pergerakan yang berubah-ubah besarnya,
- Pergerakan dalam arah vertikal, meskipun didominasi pergerakan tanah (*subsidence*), kadang juga dapat berupa kenaikan muka tanah (*uplift*).
- Luasan kawasan pergerakan tanah cenderung membesar dari waktu ke waktu.

Hasil yang lebih komprehensif dari studi pergerakan tanah di kawasan Lumpur Sidoarjo ini diberikan oleh *Abidin et al.* (2008c).

Pola pergerakan tanah di kawasan semburan lumpur Porong (Sidoarjo) juga terdeteksi dengan metode *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR) [*Massonnet and Feigl, 1998*] yang berbasis pada data radar (PALSAR) dari satelit ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) [*JAXA, 2007*]. Dari hasil InSAR yang diberikan pada Gambar 31, terdeteksi adanya pergerakan tanah dengan magnitudo maksimum sekitar 3.8 m dalam periode sekitar 7.5 bulan; atau sekitar 1.7 cm/hari. Hasil InSAR juga menunjukkan adanya kawasan uplift di sebelah Timur Laut dari kawasan semburan lumpur. Secara umum hasil dari survei GPS konsisten dengan hasil dari metode InSAR, meskipun cakupan wilayah kedua metode tidak persis sama. Dalam hal ini, daerah cakupan survei GPS relatif lebih kecil dari daerah cakupan metode InSAR.



Gambar 31. Pola pergerakan tanah di kawasan semburan lumpur Sidoarjo, dari Mei 2006 sampai Februari 2007, yang diperoleh dari metode InSAR [*Deguchi et al., 2007*].

Dalam penelitian selanjutnya, pemantauan pergerakan tanah di kawasan sekitar Lumpur Sidoarjo ini akan diteruskan. Pemodelan pergerakan tanah

baik secara spasial maupun temporal akan dilakukan untuk mengantisipasi potensi bencana di masa mendatang.

8. CATATAN PENUTUP

Tidak dapat dipungkiri, metode dan sistem geodesi satelit punya potensi yang besar untuk berkontribusi dalam meningkatkan pemahaman kita terhadap dinamika bumi wilayah Indonesia. Pemahaman yang baik ini akan sangat bermanfaat dalam proses mitigasi bencana alam yang kerap melanda Indonesia.

Untuk itu sebagai bentuk tanggung jawab keilmuan dan juga keinginan untuk selalu berkontribusi dalam proses mitigasi bencana alam di Indonesia secara berkelanjutan; KK Geodesi FITB ITB akan terus melibatkan diri dalam program penelitian dan pengembangan berkaitan dengan aplikasi metode geodesi satelit (terutama GPS dan InSAR) dalam studi-studi deformasi dan geodinamika di wilayah Indonesia. Tabel 3 berikut menunjukkan program-program penelitian yang sedang dan akan terus dilanjutkan oleh kami di KK Geodesi FITB ITB.

Kegiatan dari penelitian dari staf peneliti di lingkungan KK Geodesi tersebut, insya Allah akan selalu dipublikasikan di situs KK Geodesi pada alamat : <http://geodesy.gd.itb.ac.id/>.

Tabel 3. Status dan rencana kegiatan penelitian KK Geodesi FITB ITB dalam bidang studi dinamika bumi di wilayah Indonesia

Topik Penelitian	Kerjasama Dengan
Studi post-seismik gempa Aceh dengan metode survei GPS dan Metode GPS kontinyu	<ul style="list-style-type: none"> • Nagoya University, Jepang • Universitas Syiah Kuala • BPPT • KK terkait di lingkungan ITB
Studi deformasi terkait aktivitas tektonik di P. Jawa	<ul style="list-style-type: none"> • Nagoya University, Jepang • ERI, Tokyo University • KK terkait di lingkungan ITB
Studi aktivitas sesar aktif : sesar Cimandiri, sesar Lembang, sesar Baribis, sesar Semangko, dan sesar Palu-Koro Sulawesi	<ul style="list-style-type: none"> • ERI, Tokyo University • Nagoya University • LIPI • ENS Paris • TU Delft • Bakosurtanal • KK terkait di lingkungan ITB

Studi ko-seismik dan post-seismik gempa Yogyakarta dan gempa Pangandaran	<ul style="list-style-type: none"> • ERI, Tokyo University • Nagoya University • LIPI • Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, ESDM • KK terkait di lingkungan ITB
Studi deformasi gunungapi di Jawa dan Bali	<ul style="list-style-type: none"> • Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, ESDM • JAXA, Jepang • KK terkait di lingkungan ITB
Studi Penurunan Tanah di wilayah Jakarta, Bandung dan Semarang dengan metode GPS dan InSAR	<ul style="list-style-type: none"> • Pusat Lingkungan Geologi, ESDM • ERSDAC, Jepang • Kyoto University, Jepang • KK terkait di lingkungan ITB
Studi pergerakan tanah di kawasan Lumpur Sidoarjo (LUSI) dengan metode GPS dan InSAR	<ul style="list-style-type: none"> • ERSDAC, Jepang • KK terkait di lingkungan ITB

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala sesuatu tercapai karena izin Allah swt dan bantuan dari banyak pihak, individual maupun institusional, di sekitar penulis. Jabatan fungsional Guru Besar penulis pun mengikuti *golden rule* tersebut.

Setelah memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah swt, perkenankanlah penulis menyampaikan pertama-tama ungkapan terima kasih pada semua pilar institusi ITB, yang secara langsung maupun tidak langsung, telah berkontribusi dalam proses pencapaian jabatan fungsional Guru Besar penulis, sejak penulis pertama bergabung dengan ITB pada tahun 1986 sampai saat yang berbahagia ini. Berkenaan dengan pidato ilmiah ini penulis mengucapkan banyak terima kasih pada pimpinan dan anggota MGB ITB yang telah memfasilitasi penyelenggaraan pidato ilmiah ini.

Selama proses penggodokan di 'kawah candradimuka' ITB ini, penulis banyak berhutang budi pada para guru dan senior penulis di lingkungan Geodesi dan Geomatika ITB seperti Prof. Sjamsir Mira, Prof. Jacob Rais, Prof. Joenil Kahar, Prof. Ishak H. Ismullah, Ir. Klaas J. Villanueva, Dr. Widyo N. Sulasdi, Dr. Dudung M. Hakim, Dr. T. Lukman Azis, Ir. Hadwi Soendjojo, Dr. Bobby S. Dipokusumo dan banyak lagi yang terlalu panjang untuk disebutkan. Prof. David E. Wells dan Prof. Alfred Kleusberg, yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan program MSc dan PhD di

University of New Brunswick Canada juga banyak berjasa dalam mewarnai pola pikir dan pendekatan ilmiah penulis.

Rekan-rekan seperjuangan dan sepenanggungan di KK Geodesi FITB ITB juga wajib penulis apresiasi, atas dukungan serta perhatian mereka yang tulus dan penuh rasa kekeluargaan. Staf dosen dan asisten akademik di lingkungan KK Geodesi ITB, yaitu : Ir. Bambang Subekti MT, Ir. Kosasih Prijatna MSc, Ir. Mipi A. Kusuma, Dr. Wedyanto Kuntjoro, Dr. Bambang Setyadji, Ir. Dina A. Sarsito MT, Dr. Irwan Meilano, Ir. Dudy Darmawan MSc, Ir. Heri Andreas MT, dan Ir. Irwan Gumilar MT, telah secara langsung maupun tidak langsung banyak membantu penulis dalam pelaksanaan program-program pendidikan, penelitian dan pengembangan keilmuan.

Dukungan dan bantuan sanak keluarga dalam segala bentuknya, sangatlah sulit untuk dikuantifikasi besar dan manfaatnya bagi penulis. Dalam hal ini, jasa ayahanda Drs. Zainal Abidin Ahmad (alm) dan ibunda Siti Maryam (almh) sangat sulit untuk penulis balas dengan setimpal. Semoga amanah keguru-besaran ini dapat membuat penulis menjadi 'anak yang lebih soleh' di sisi Allah swt bagi mereka berdua. Amin.

Akhirnya, cinta tulus lah yang membuat penulis merasa lebih ringan dan nyaman menapaki setapak-demi-setapak jenjang keilmuan di kampus Ganesha yang prestisius ini. Manfaat dan dampak positif karena cinta, dukungan moral dan pengertian dari *the apple of my eyes*, Dr. Budi Mulyanti, dan putra-putri kami : Fatima Aulia Khairani, Muhammad Hanif Abidin, Muhammad Ihsan Abidin dan Muhammad Ilman Abidin, sulit dipresentasikan dalam kata dan kalimat. Semoga Allah swt merahmati dan memberkati mereka semua untuk jasa mereka pada penulis yang mungkin tidak mereka sadari. Amin.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. (2001). *Geodesi Satelit*. P.T. Pradnya Paramita, Jakarta. ISBN 979-408-462-X. 219 pp.
- Abidin, H.Z. (2007). *Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya*. P.T. Pradnya Paramita, Jakarta. Third edition. ISBN 978-979-408-377-2. 398 pp.
- Abidin, H.Z., A. Jones, J. Kahar (2002). *Survei Dengan GPS*. P.T. Pradnya Paramita, Jakarta. ISBN 979-408-380-1. Second Edition. 280 pp.
- Abidin, H.Z., I. Meilano, O.K. Suganda, M.A. Kusuma, D. Muhardi, O. Yolanda, B. Setyadji, R. Sukhyar, J. Kahar, T. Tanaka (1998a). "Monitoring the Deformation of Guntur Volcano Using Repeated GPS Survey Method." *Proceedings of the XXI International Congress of FIG, Commission 5 : Positioning and Measurements*, Brighton, U.K., 19 – 25 July, pp. 153 - 169.

- Abidin, H.Z., O.K. Suganda, I. Meilano, M.A. Kusuma, B. Setyadji, R. Sukhyar, J. Kahar, T. Tanaka, C. Rizos (1998b). " Deformation Monitoring of Indonesian Volcanoes Using Repeated GPS Survey Method : Status and Plan." *Proceedings of Symposium on Japan-Indonesia IDNDR Project Volcanology, Tectonics, Flood, and Sediment Hazards*, Bandung, 21-23 September, pp. 39 – 50.
- Abidin, H.Z. (1998c). " Monitoring the deformation of volcanoes in Indonesia using repeated GPS survey method: status, results and future plan." *Proceedings of the International Workshop on Advances in GPS Deformation Monitoring*, ISBN : 1-86308-073-2, Curtin University, Perth, 24-25 September, Paper no. 18.
- Abidin, H.Z., I. Meilano, O.K. Suganda, M.A. Kusuma, O. Yolanda, D. Muhandi, B. Setyadji, R. Sukhyar, J. Kahar, T. Tanaka (1998d). "Some Aspects of Volcano Deformation Monitoring Using Repeated GPS Surveys." *Proceedings of Spatial Information Science, Technology and Its Applications*, Wuhan, China, 13-16 December, pp. 92 - 109.
- Abidin, H. Z., R. Djaja, D. Darmawan, S. Hadi, A. Akbar, H. Rajiyowiryo, Y. Sudibyo, I. Meilano, M. A. Kusuma, J. Kahar, C. Subarya (2001). "Land Subsidence of Jakarta (Indonesia) and its Geodetic-Based Monitoring System." *Natural Hazards. Journal of the International Society of the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, Vol. 23, No. 2/3, March, pp. 365 - 387.
- Abidin, H.Z., M. Hendrasto, H. Andreas, M. Gamal, F. Kimata, O.K. Suganda, M.A. Kusuma, M.A. Purbawinata (2002). " Studying the Deformation of Bromo Volcano by Using GPS and EDM Surveys". *Proceedings of the International Symposium on Geodesy in Kanazawa and 98th Meeting of the Geodetic Society of Japan*, Kanazawa, 28-30 October, Paper I10, pp. 19-20.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, M. Hendrasto, O.K. Suganda (2003a). " The Use of GPS Surveys Method for Volcano Deformation Monitoring in Indonesia". *Proceedings of the 7th South East Asian Survey Congress*, Hongkong, 3-7 Nov, in CD-Rom.
- Abidin, H.Z., R. Djaja, H. Andreas, M. Gamal, D. Murdohardono, H. Rajiyowiryo (2003b) "Penurunan Tanah di Cekungan Bandung Pada Periode (2000 – 2002) Hasil Estimasi Metode Survei GPS." *Jurnal Teknologi Mineral (JTM)*, Jurnal Fakultas Teknologi Mineral – ITB, ISSN : 0854-8528, Vol. X, No. 2, pp. 97-110.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, R. Djaja, D. Murdohardono, H. Rajiyowiryo, M. Hendrasto (2003c). " Studying Land Subsidence of Bandung Basin (Indonesia) Using GPS and EDM Surveys". *Proceedings of the International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2003 (ISG03)*, Shah Alam, Malaysia, 13-14 October, pp. 228-240.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, M. Hendrasto, Ony K. Suganda, M.A. Purbawinata, Irwan Meilano, and F. Kimata (2004a). "The Deformation of Bromo Volcano as Detected by GPS Surveys Method". *Journal of Global Positioning Systems*, Vol.3, No. 1-2, pp.16-24.
- Abidin, H.Z., R. Djaja, H. Andreas, M. Gamal, Indonesia K. Hirose, Y. Maruyama (2004b). "Capabilities and Constraints of Geodetic Techniques for Monitoring

- Land Subsidence in the Urban Areas of Indonesia". Geomatics Research Australia. No.81, Dec., pp. 45-58.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, Suroño, M. Hendrasto (2004c) "Studi Gerakan Tanah di Kawasan Rawan Longsor Ciloto (Jawa Barat) Dengan Survei GPS." *Jurnal Teknologi Mineral (JTM), Jurnal Fakultas Teknologi Mineral-ITB*, ISSN : 0854-8528, Vol. XI, No. 1, pp. 33-40.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, Suroño and M. Hendrasto (2004d). "On the Use of GPS Survey Method for Studying Land Displacements on the Landslide Prone Areas". *Proceedings of the FIG Working Week 2004 (in CD Rom)*, Athens, Greece, May 22 - 27, Paper TS16 - Deformation Measurements and Analysis I.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, Suroño, M. Hendrasto (2004e). "Studying Landslide Displacements in Megamendung (Indonesia) Using GPS Survey Method". *Proceedings ITB Engineering Science*, Vol. 36 B, No. 2, 2004, pp. 109-123.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, O.K. Suganda, I. Meilano, M. Hendrasto, M.A. Kusuma, D. Darmawan, M.A. Purbawinata, A.D. Wirakusumah, F. Kimata (2005). "Ground De-formation of Papandayan Volcano Before, During and After Eruption 2002 as Detected by GPS Surveys." *GPS Solutions*. Springer-Verlag GmbH.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, R. Djaja, D. Murdohardono, H. Rajiyowiryono, M. Hendrasto (2006). "Studying Landsubsidence of Bandung Basin (Indonesia) Using GPS Survey Method". *Survey Review*. Vol. 38, No. 299. Jan., pp.397-405.
- Abidin, H.Z. , H. Andreas, R. Djaja, D.Darmawa and M. Gamal (2007a). "Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys" *GPS Solutions*, Springer Berlin / Heidelberg, DOI : 10.1007/s10291-007-0061-0, Website : <http://dx.doi.org/10.1007/s10291-007-0061-0>
- Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, Irwan Meilano, M. Gamal, Mipi A. Kusuma, F. Kimata, M. Ando (2007b). "Deformasi Ko-Seismik Gempa Yogyakarta 2006 Dari Hasil Survei GPS". *Jurnal Geofisika*. Edisi 2007, No. 1. pp.22-30.
- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gamal, M., Sadarviana, V., Darmawan, D., Suroño, Hendrasto, M. and Suganda, O. K. (2007) Studying Landslide Displacements in the Ciloto Area (Indonesia) Using GPS Surveys, *Journal of Spatial Science*, Mapping Science Institute Australia, Vol. 52, No. 1. Homepage : http://www.mappingsciences.org.au/journal/june_07.html
- Abidin, H.Z., I. Malra, H. Andreas, I. Meilano, F. Kimata, T. Ito, Y. Ohta, Agustan, D. Sugi-yanto (2008a). "Post-Seismic Phase Duration of the 2004 Sumatra-Andaman Earth-quake as Estimated from GPS Continuous Data", *Proceedings of the International Symposium on the Restoration Program from Giant Earthquakes and Tsunamis*, Phuket, Thailand, January 22-24.
- Abidin, H.Z., H. Andreas, T. Kato, T. Ito, I. Meilano, F. Kimata, D. H. Natawidjaya, H. Harjono (2008b). "Crustal deformation studies in Java (Indonesia) using GPS". *Proceedings of the International Symposium on the Restoration Program from Giant Earthquakes and Tsunamis*, Phuket, Thailand, January 22-24.
- Abidin, H.Z., Richard J. Davies, M.A. Kusuma, P. Sumintadireja, H. Andreas, M.

- Gamal (2008c). "Deformation Due to Eruption of a Mud Volcano: The Lusi Mud Volcano (2006-Present), East Java", *Environmental Geology*. (in review).
- Banks, N.G., R.I. Tilling, D.H. Harlow, and J.W. Ewert (1989). "Volcano monitoring and short term forecast." In *Volcanic Hazards* (ed. R.I. Tilling), American Geophysical Union, Washington, D.C., USA.
- Bock Y, Prawirodirdjo L, Genrich JF, Stevens CW, McCaffrey R, Subarya C, Puntodewo SSO, and Calais E (2003) Crustal motion in Indonesia from global positioning system measurements. *Journal of Geophysical Research*, 108(2367). doi:10.1029/2001JB000324
- Bock, Y., L. Prawirodirdjo, J. F. Genrich, C. W. Stevens, R. McCaffrey, C. Subarya, S. S. O. Puntodewo and E. Calais (2003)." Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements." *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 108, No. B8, 2367, doi:10.1029/2001JB000324.
- Dardji, N, T. Villemin and J. P. Rampnoux (1994). " Paleostresses and strike-slip movement: the Cimandiri Fault Zone, West Java, Indonesia", *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, Vol. 9, No. I/2, pp. 3-11, 1994.
- Deguchi, T., Y. Maruyama, C. Kobayashi (2007). "Monitoring of deformation caused by the development of oil and gas field using PALSAR and ASTER data", Presentation at ERSDAC (Earth Remote Sensing Data Analysis Center) Tokyo, Japan, 14 Januari 2007.
- GEODYSSSEA (2008). The website explaining GEODYSSSEA Project and its Results, Address : <http://www.geologie.ens.fr/~vigny/geodysssea-e.html>.
- Gili, Josep A., Jordi Corominas, Joan Rius (2002)." Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring". *Engineering Geology*. Vol. 55, pp. 167–192.
- Hamilton, W. (1979). "Tectonics of the Indonesian region", *USGS Profesional Paper 1078*, U. S. Geological Survey, Boulder, Colorado.
- JAXA (2007). Website of Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), page on Advance Land Observing Satellite (ALOS), Address <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/>, Accessed date : 4 June 2007.
- Kahar, J., T. Tanaka, I. Murata, S. Suparka, F. Kimata, S. Okubo, K. Nakamura, K. Prijatna, P. Mentosumitro, B. Setyadji, S. Miura, K. Villanueva, Kamtono, A. Suwandito, and Sudarman (1993). 'GPS campaign for crustal deformation monitoring in West Java, Indonesia, 1992-1993.' *Proceedings of the CRCM '93*, Kobe, December 6-11, pp. 43-46.
- LIPI (2006). Website of Centre of Geotechnology LIPI, Website address : <http://www.geotek.lipi.go.id/>.
- Malet, J.-P., O. Maquaire, E. Calais (2002). "The use of Global Positioning System techniques for the continuous monitoring of landslides: application to the Super-Sauze earthflow (Alpes-de-Haute Provence, France)". *Geomorphology*, 43, 33– 54.
- Marone, C.J., Sholz, C. H. and Bilham, R. (1991). "On the mechanics of earthquake afterslip", *Journal of Geophysical Research*, 96, pp. 8441-8452.
- Mora, Paolo, Paolo Baldi, Giuseppe Casula, Massimo Fabris, Monica Ghirotti, En-rico Mazzini, Arianna Pesci (2003). "Global Positioning Systems and digital

- photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca' di Malta landslide (northern Apennines, Italy)". *Engineering Geology*, 68, 103–121.
- Moss, J. L. (2000). "Using the Global Positioning System to monitor dynamic ground deformation networks on potentially active landslides". *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 2, Issue 1, pp. 24-32.
- Meilano, I., Y.Ohta , F. Kimata , T. Ito, T.Tabei, D. Darmawan, H. Andreas, H.Z. Abidin, M.A. Kusuma, D. Sugiyanto, Agustan (2006), "GPS measurement of coseismic displacement in Aceh Province after the 2004 Aceh-Andaman earthquake", *2nd Investigation Report on the 2004 Northern Sumatra Earthquake*, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, pp. 103-108.
- Meilano, I., Y.Ohta , F. Kimata , T. Ito, T.Tabei, H.Z. Abidin, Agustan (2007), "Two years GPS observation in Aceh, *3rd Investigation Report on the 2004 Northern Sumatra Earthquake*", Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, pp. 7-10.
- McGuire, W.J. (1995). "Monitoring active volcanoes – an introduction", In *Monitoring Active Volcanoes* by B. McGuire, C.R.J. Kilburn, and J. Murray (Eds), pp. 1-31, UCL Press Limited, London, 421 pp.
- Massonnet, D. and K.L. Feigl (1998). "Radar Interferometry and its Application to Changes in the Earth's Surface." *Reviews of Geophysics*, Vol. 36, No. 4, November, pp. 441-500.
- McGuire B., C.R.J. Kilburn. and J. Murray (Eds) (1995) *Monitoring Active Volcanoes*. UCL Press Limited. London. 421 pp.
- Mogi, K. (1958). Relation between the eruption of various volcanoes and the deformation of the ground surface around them. *Bulletin of Earthquake Re-search Institute*, Vol. 36, pp. 99-134.
- Okada, Y. (1985). "Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space". *Bulletin Seismological Society of America*, Vol. 75, pp. 1135-1154.
- Rizzo, Vincenzo (2002). "GPS monitoring and new data on slope movements in the Maratea Valley (Potenza, Basilicata)". *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 27, pp. 1535–1544.
- Scarpa. R. and R.I. Tilling (Eds.) (1996). *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*. Springer Verlag. Berlin. 841 pp.
- Segall, P. and J.L. Davis (1997). "GPS Applications for Geodynamics and Earthquake Studies", *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, Vol. 25, pp. 301–336.
- Simandjuntak, T.O. and A.J. Barber (1996). "Contrasting tectonic styles in the Neogene orogenic belts of Indonesia", *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 106, pp. 185-201.
- Subarya, C. (2004). "The Maintenance of Indonesia Geodetic Control Network – In the Earth Deforming Zones". Paper presented at the 3rd FIG Regional Conference Jakarta, Indonesia, October 3-7.
- Subarya, C., Mohamed Chlieh, Linette Prawirodirdjo, Jean-Philippe Avouac, Yehuda Bock, Kerry Sieh, Aron J. Meltzner, Danny H. Natawidjaja and Robert McCaffrey (2006). "Plate-boundary deformation associated with the great Sumatra–Andaman

- earthquake", *Nature*, Vol 440, 2 March 2006, doi:10.1038/nature04522
- USGS (2006). Website of United States Geological Survey (USGS). Website address : <http://earthquake.usgs.gov/>.
- USGS-Volcano (2008). Situs internet dari U.S. Geological Survey Volcano Hazards Program. Alamat situs : <http://volcanoes.usgs.gov/>.
- Vigny, C., H. Perfettini, A. Walpersdorf, A. Lemoine, W. Simons, D. van Loon, B. Ambrosius, C. Stevens, R. McCaffrey, P. Morgan, Y. Bock, C. Subarya, P. Manurung, J. Kahar, H.Z. Abidin and S.H. Abud (2002). "Migration of seismicity and earthquake interactions monitored by GPS in SE Asia triple junction: Sulawesi, Indonesia". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. B10, ETG 7-1 to 7-11.
- Vigny C., W. J. F. Simons, S. Abu, R. Bamphenyu, C. Satirapod, N. Choosakul, C. Subarya, A. Socquet, K. Omar, H. Z. Abidin & B. A. C. Ambrosius (2005). "Insight into the 2004 Sumatra–Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia". *Nature*, Vol 436, 14 July 2005.
- Wells, D.E., N. Beck, D. Delikaraoglou, A. Kleusberg, E.J. Krakiwsky, G. La-chapelle, R.B. Langley, M. Nakiboglu, K.P. Schwarz, J.M. Tranquilla, P. Vanicek (1986). "Guide to GPS positioning." Canadian GPS Associates, Fredericton, N.B., Canada.

CURICULUM VITAE



Nama : Hasanuddin Z. Abidin
Tempat/Tanggal lahir : Jakarta, 8 Agustus 1960
Nama Istri dan Anak : Dr. Budi Mulyanti
: Fatima Aulia Abidin
: Muhammad Hanif Abidin
: Muhammad Ihsan Abidin
: Muhammad Ilman Abidin
Alamat Kantor : KK Geodesi, Fakultas Ilmu dan
Teknologi Kebumian ITB,
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132
Telp. 022-2534286, 0811247265,
E-mail : hzabidin@gd.itb.ac.id

RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Jenjang Pendidikan	Perguruan Tinggi	Tahun Lulus	Gelar	Bidang
1.	S1	Institut Teknologi Bandung	1985	Ir.	Teknik Geodesi
2.	S2	University of New Brunswick, Canada	1989	MSc.	Geodesi Satelit (<i>Satellite Geodesy</i>)
3.	S3	University of New Brunswick, Canada	1992	PhD.	Geodesi Satelit (<i>Satellite Geodesy</i>)

RIWAYAT KEPANGKATAN

No.	Pangkat	Golongan	TMT
1.	Penata Muda Tk.I	III/B	1 December 1996
2.	Penata	III/C	1 November 1999
3.	Penata Tk. I	III/D	1 Januari 2001
4.	Pembina	IV/A	1 Oktober 2003

RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

No.	Jabatan Fungsional	TMT
1.	Lektor Muda	1 December 1996
2.	Lektor	1 November 1999
3.	Lektor Kepala	1 Januari 2001
4.	Guru Besar	2 April 2007

PENUGASAN DI LINGKUNGAN ITB

1993 – 1999	Anggota Komisi Penelitian ITB
1995 – 1997	Anggota Komisi Tanah ITB
1993 – 1996	Koordinator Perpustakaan Jurusan Teknik Geodesi – ITB
1995 – 1998	Ketua KBK GPS dan Geodesi Satelit
1995 – 2001	Ketua Laboratorium Geodesi, Jurusan teknik Geodesi ITB
1997 – 1998	Pejabat Sekretaris Jurusan Teknik Geodesi - ITB, Sejak 1 Juni 1997.
1997 – 2004	Anggota Dewan Redaksi <i>Proceedings ITB</i>
1998 - 2004	Anggota Senat Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITB
2001 – 2005	Anggota Senat Akademik ITB
2002 – 2005	Anggota Majelis Dept. Teknik Geodesi, FTSP ITB
2002 – now	Anggota Tim Redaksi Ahli dari Jurnal ITENAS
2002	Anggota Panitia Adhoc SA Penyusunan Agenda Akademik ITB
2003 – 2005	Sekretaris Komisi Program Pascasarjana Dept. Teknik Geodesi ITB
2003 – 2005	Anggota Majelis Program Pasca Sarjana FTSP ITB
2004 – 2006	Anggota Komisi Penelitian ITB
2004 – 2005	Sekretaris Komisi I Kebijakan Akademik Senat Akademik ITB
2004 – 2005	Anggota Senat FTSP ITB
2004	Sekretaris II Panitia Adhoc Pemilihan Calon Rektor ITB
2005	Sekretaris Panitia Adhoc Pemilihan Pimpinan Senat Akademik ITB
2005 – 2006	Anggota Dewan Redaksi <i>Proceedings ITB</i>
2005 – 2007	Anggota dan Sekretaris Senat FTSL ITB
2005 – 2007	Anggota Komisi Program Pascasarjana (KPPS) FTSL ITB
2005 – now	Anggota Panitia Program Doktor, Prodi Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB
2005 – 2007	Anggota Tim Penilai Angka Kredit Jabatan/Pangkat Dosen FTSL ITB
2005 – 2007	Anggota Komisi Penelitian ITB 2006-2007
2005 – now	Anggota Dewan Redaksi <i>ITB Journal of Engineering Science</i>
2007 – now	Asesor pada Satuan Penjaminan Mutu (SPM) ITB
2007 – now	Anggota Komisi Sumberdaya Insani SA ITB (non anggota Senat Akademik)
2007 – now	Anggota Majelis Guru Besar (MGB) ITB
2008 – now	Anggota Senat Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian (FITB)
2008 – now	Anggota Tim Penilai Angka Kredit Jabatan/Pangkat Dosen ITB
2008 – now	Anggota Tim Penyusun Akreditasi Program Doktor FITB ITB

PENGHARGAAN

1. 2nd ITB (Institute of Technology Bandung) Student of the Year (Mahasiswa Teladan) of 1984.

2. Best Graduating Student of the Department of Geodetic Engineering - ITB of 1985.
3. Certificate of Achievement from The Institute of Navigation (USA) for participation in the finals of the Student Paper Competition at ION GPS-88, The Broadmoor Hotel, Colorado Springs, U.S.A., September 21-23, 1988.
4. Certificate of Achievement from The Institute of Navigation (USA) for winning (one of the winners) the Student Paper Competition at ION GPS-90, The Broadmoor Hotel, Colorado Springs, U.S.A., September 19-21, 1990.
5. Certificate of Achievement from The Institute of Navigation (USA) for winning (one of the winners) the Student Paper Competition at ION GPS-91, Albuquerque, New Mexico, September 11-13, 1991.
6. *Nugraha Adikarya GPS'93* Award, presented by the Indonesian Surveyors Association., Jakarta, 25 June 1993.
7. Indonesian Young Scientist Award 1994 (in the category of Technology and Engineering); presented by LIPI, Ministry of Research and Technology, and Ministry of Education and Culture.
8. 1st ITB (Institute Of Technology Bandung) Lecturer of the Year (Dosen Teladan) of 1995.
9. 2nd Indonesian Lecturer of the Year (Dosen Teladan) of 1995.
10. ASEAN Young Scientist and Technologist Award 1995; presented by ASEAN Committee on Science and Technology, 29 August, Bangkok, Thailand.
11. ITSF (Indonesia Toray Science Foundation) Science and Technology Award. Presented in Jakarta, 20 March 1996.
12. PII (Persatuan Insinyur Indonesia) Adhicipta Rekayasa Award. Presented in Jakarta, 14 June 1996.
13. Penyaji poster terbaik kelompok Teknologi dalam Forum Pemaparan III Hasil Penelitian Hibah Bersaing, 15-17 Februari 1999, Jakarta.
14. Penerima penghargaan dari ITB dalam kategori : "Pelaksana Kegiatan LPPM : Kriteria Jumlah Publikasi Jurnal", Kamis 19 Agustus 2004 di Gedung Sasana Budaya Ganesa ITB.

KARYA ILMIAH DAN PUBLIKASI

BUKU

- Abidin, H.Z. (2007). *Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya*. P.T. Pradnya Paramita, Jakarta. Third edition. ISBN 978-979-408-377-2. 398 pp.
- Abidin, H.Z. (2001). *Geodesi Satelit*. P.T. Pradnya Paramita, Jakarta. ISBN 979-408-462-X. 219 pp.
- Abidin, H.Z., A. Jones, J. Kahar (2002). *Survei Dengan GPS*. P.T. Pradnya Paramita, Jakarta. ISBN 979-408-380-1. Second Edition. 280 pp.

BAB DARI BUKU

Abidin, H.Z. (2001). "Fundamentals of GPS signal and data", Chapter 8 of *Manual of Geospatial Science and Technology*, edited by J.D. Bossler, J.R. Jensen, R.B. McMaster, and C. Rizos, Taylor & Francis, London, ISBN 0-7484-0924-6, 623 pp.

TECHNICAL REPORT

Abidin, H.Z. (1993). *Computational and geometrical aspects of on-the-fly ambiguity resolution..* Technical Report no. 164, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, Canada.

Abidin, H.Z. (1994). *Pemetaan Laut Indonesia : Beberapa Aspek dan Permasalahannya*. Seri Pengetahuan Kelautan, 01. Bidang Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. Ikatan Surveyor Indonesia, Mei.

Subarya, C., R.W. Matindas, **H.Z. Abidin** (1996). *Klasifikasi, Standar Survei, dan Spesifikasi Survei Kontrol Geodesi*. Buku Pedoman dari Pusat Pemetaan, Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (BAKOSURTANAL), Versi 1 : Februari 1996.

JURNAL INTERNASIONAL

Abidin, H.Z. (1993). "On-the-fly ambiguity resolution: formulation and results." *Manuscripta Geodaetica*, Volume 18, Number 6, pp. 380 - 405.

Abidin, H.Z. (1993). "On the construction of the ambiguity searching space for on-the-fly ambiguity resolution." *Navigation*, Journal of the Institute of Navigation, Vol. 40, No. 3, Fall, pp. 321 - 338.

Abidin, H.Z. (1994). "On-the-fly ambiguity resolution." *GPS World*, April, Volume 5, Number 4, pp. 40 - 50.

Abidin, H.Z. (1994). "On the effects of observation differencing strategy on on-the-fly ambiguity resolution." *Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry, and Surveying*. No. 60, June, pp. 1-20.

Abidin, H.Z. and M.D. Subari (1994). "On the discernibility of the ambiguity sets during on-the-fly ambiguity resolution." *Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry, and Surveying*. No. 61, December, pp. 17-40.

Abidin, H.Z. (1995). "GPS and hydro-oceanographic surveying in Indonesia." *GIM, International Journal for Geomatics*, April, Volume 9, Number 4, pp. 35-37.

Abidin, H.Z. and W. S. Tjetjep (1996). "GPS-Based Volcano Deformation Monitoring in Indonesia." *GIS Asia Pacific*. Vol. 2, No. 5, October, pp. 30-33.

Abidin, H.Z., A. Jones, K. Sarah, and R. Anshari (1998). "GPS Groundwork : Building Indonesia's Cadastral Network." *GPS World*, September, Volume 9, Number 9, pp. 56 - 62.

Abidin, H.Z., R. Djaja, D. Darmawan, S. Hadi, A. Akbar, H. Rajiyowiryono, Y. Sudibyoy, I. Meilano, M. A. Kusuma, J. Kahar, C. Subarya (2001). "Land

- Subsidence of Jakarta (Indonesia) and its Geodetic-Based Monitoring System." *Natural Hazards. Journal of the International Society of the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, Vol. 23, No. 2/3, March, pp. 365 - 387.
- Janssen, V., Roberts, C., Rizos, C., **Abidin, H.Z.** (2001). "Experiences with a Mixed-Mode GPS-Based Volcano Monitoring System at Mt. Papandayan, Indonesia", *Geomatics Research Australasia*, No. 74, June, pp. 43 - 58.
- Janssen, V., C. Roberts, C. Rizos and **H.Z. Abidin** (2002): Low-Cost GPS-Based Volcano Deformation Monitoring at Mt. Papandayan, Indonesia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115(1-2), 139-151.
- Vigny, C., H. Perfettini, A. Walpersdorf, A. Lemoine, W. Simons, D. van Loon, B. Ambrosius, C. Stevens, R. McCaffrey, P. Morgan, Y. Bock, C. Subarya, P. Manurung, J. Kahar, **H.Z. Abidin** and S.H. Abud (2002). "Migration of seismicity and earthquake interactions monitored by GPS in SE Asia triple junction: Sulawesi, Indonesia". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. B10, ETG 7-1 to 7-11.
- Abidin, H.Z.**, R. Djaja, H. Andreas, M. Gamal, Indonesia K. Hirose, Y. Maruyama (2004). "Capabilities and Constraints of Geodetic Techniques for Monitoring Land Subsidence in the Urban Areas of Indonesia". *Geomatics Research Australia*. No.81, December, pp. 45-58.
- Abidin, H.Z.**, H. Andreas, M. Gamal, M. Hendrasto, Ony K. Suganda, M.A. Purbawinata, Irwan Meilano, and F. Kimata (2004). "The Deformation of Bromo Volcano as Detected by GPS Surveys Method". *Journal of Global Positioning Systems*, Vol.3, No. 1-2, pp.16-24.
- Abidin, H.Z.** (2005). "Suitability of Levelling, GPS and INSAR for Monitoring Land Subsidence in Urban Areas of Indonesia". *GIM International*. The Global Magazine for Geomatics, GITC Publication, Volume 19, Issue 7, July, pp. 12-15.
- Vigny C., W. J. F. Simons, S. Abu, R. Bamphenyu, C. Satirapod, N. Choosakul, C. Subarya, A. Socquet, K. Omar, **H. Z. Abidin** & B. A. C. Ambrosius (2005). "Insight into the 2004 Sumatra-Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia". *Nature*, Vol 436, 14 July 2005, pp. 201-206.
- Abidin, H.Z.**, H. Andreas, M. Gamal, O.K. Suganda, I. Meilano, M. Hendrasto, M.A. Kusuma, D. Darmawan, M.A. Purbawinata, A.D. Wirakusumah, F. Kimata (2005). "Ground Deformation of Papandayan Volcano Before, During and After Eruption 2002 as Detected by GPS Surveys." *GPS Solutions*. Springer-Verlag GmbH.
- Abidin, H.Z.**, S. Sutisna, T. Padmasari, K.J. Villanueva, J. Kahar, (2005) "Geodetic Datum of Indonesian Maritime Boundaries: Status and Problems". *Marine Geodesy*, Volume 28 Number 4. Taylor & Francis Inc. ISSN 0149-0419.
- Abidin, H.Z.**, H. Andreas, M. Gamal, R. Djaja, D. Murdohardono, H. Rajiyowiryo, M. Hendrasto (2006). "Studying Landsubsidence of Bandung Basin (Indonesia) Using GPS Survey Method". *Survey Review*. Vol. 38, No. 299. January, pp.397-405.
- Abidin, H.Z.** , H. Andreas, R. Djaja, D.Darmawa and M. Gamal (2007). "Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys" *GPS Solutions*, Springer Berlin / Heidelberg.

- Abidin, H.Z.**, Andreas, H., Gamal, M., Sadarviana, V., Darmawan, D., Surono, Hendrasto, M. and Suganda, O. K. (2007) Studying Landslide Displacements in the Ciloto Area (Indonesia) Using GPS Surveys, *Journal of Spatial Science*, Mapping Science Institute Australia, Vol. 52.
- Abidin, H.Z.** (2007). " Excessive Groundwater Extraction in Indonesia, GPS for LandSubsidence Monitoring", *GIM International*, May 2007, Volume 21, Issue 5, pp. 21-23.
- Kato, T, T. Ito, **H.Z. Abidin** and Agustan (2007). "Preliminary report on crustal deformation surveys and tsunami measurements caused by the July 17, 2006 South off Java Island Earthquake and Tsunami, Indonesia", *Earth Planets Space*, 59, 1055–1059, 2007.
- Abidin, H.Z.**, D. Santo, T.S. Haroen, E. Heryani (2008). "Post-Tsunami Land Administration Reconstruction in Aceh: Aspects, Status and Problems", *Survey Review*. (in review).
- Abidin, H.Z.**, Richard J. Davies, M.A. Kusuma, P. Sumintadireja, H. Andreas, M. Gamal (2008). "Deformation Due to Eruption of a Mud Volcano: The Lusi Mud Volcano (2006-Present), East Java", *Environmental Geology*. (in review).

JURNAL NASIONAL

1993 – 2007 : 72 (tujuh puluh dua) makalah dalam Jurnal Nasional

PROSIDINGS INTERNASIONAL

1988 – 2007 : 49 (empat puluh sembilan) makalah dalam Prosidings Internasional

POSTER INTERNASIONAL

1996 – 2007 : 11 (sebelas) poster dalam Seminar Internasional

PROSIDINGS NASIONAL

1993 – 2007 : 27 (dua puluh tujuh) makalah dalam Prosidings Nasional

MAJALAH UMUM DAN SURAT KABAR

1993 – 2006 : 43 (empat puluh tiga) tulisan populer dalam Majalah dan Surat Kabar