

## **Studi Pemantauan Penurunan Muka Tanah di Cekungan Bandung dengan Metode Survei GPS dan InSAR**

**Irwan Gumilar<sup>1</sup>, H.Z. Abidin<sup>1</sup>, L.M. Hutasoit<sup>2</sup>, D.M. Hakim<sup>3</sup>, D. A. SArsito<sup>1</sup>, H. Andreas<sup>1</sup>, T.P Sidiq<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geodesy Research Division, Faculty of Earth Sciences and Technology, Institut Teknologi Bandung, Ganesha 10, Bandung 40132, West Java, INDONESIA

<sup>2</sup>Research Division on Applied Geology, Faculty of Earth Sciences and Technology, Institut Teknologi Bandung, Ganesha 10, Bandung 40132, West Java, INDONESIA

<sup>3</sup>Remote Sensing and Geographical Informartion Systems Research Division, Faculty of Earth Sciences and Technology, Institut Teknologi Bandung, Ganesha 10, Bandung 40132, West Java, INDONESIA

**Abstract.** Land subsidence is a phenomena that has been commonly occurs in big cities around the world. Especially in Indonesia, Bandung as the one of big cities in Indonesia, has been identified for land subsidence. This land subsidence is suspected to ground water explotation by the factories which are located around Bandung basin. Land subsidence has caused many problems, such as damage to houses, buildings, and infrastructures (roads, bridges, etc.), and as the most serious problem is that land subsidence can increase the size of areas susceptible for flooding. In 2010 was noted that for almost the whole year, in the south Bandung experienced a terrible flood. Seeing the causes which is caused by land subsidence, it is a necessary to do charachteristic mapping of land subsidence. As one of the method that will be use for monitorizing the land subsidence is using GPS (Global Positioning System) survey and InSAR (Interferometry Synthetic Aperture Radar). In this paper, will be explained about land subsidence that occur in Bandung from GPS data.

**Keywords :** *GPS, groundwater, InSAR, land subsidence.*

**Abstrak.** Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan fenomena yang sering terjadi di kota-kota besar baik di dunia maupun di Indonesia. Bandung salah satu kota di Indonesia yang telah diidentifikasi mengalami penurunan muka tanah. Penurunan muka tanah diduga disebabkan oleh pengambilan airtanah yang berlebihan yang dilakukan oleh pabrik-pabrik di wilayah Cekungan Bandung. Penurunan muka tanah ini memberikan dampak seperti kerusakan pada bangunan rumah, infrastruktur (jalan, jembatan, dll), dan yang paling parah adalah memperluas area genangan banjir. Tahun 2010 tercatat hampir sepanjang tahun daerah Bandung bagian selatan mengalami banjir yang parah. Dengan melihat dampak yang ditimbulkan oleh penurunan muka tanah ini maka perlu dilakukan pemetaan karakteristik penurunan muka tanah. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memantau penurunan muka tanah adalah dengan menggunakan metode survei GPS (Global Positioning System) dan InSAR (Interferometri Syntetic Aperture Radar). Pada makalah ini akan dibahas mengenai penurunan muka tanah di Cekungan Bandung dari data GPS.

**Kata Kunci :** airtanah, GPS, InSAR, *land subsidence*.

## 1 Pendahuluan

Penurunan muka tanah merupakan fenomena yang sering terjadi di kota-kota besar di Indonesia, seperti Bandung, Jakarta, dan Semarang (Abidin dkk, 2001; Abidin dkk, 2008; Kadir dkk, 2004). Setiap kota mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, begitupun dengan faktor penyebabnya.

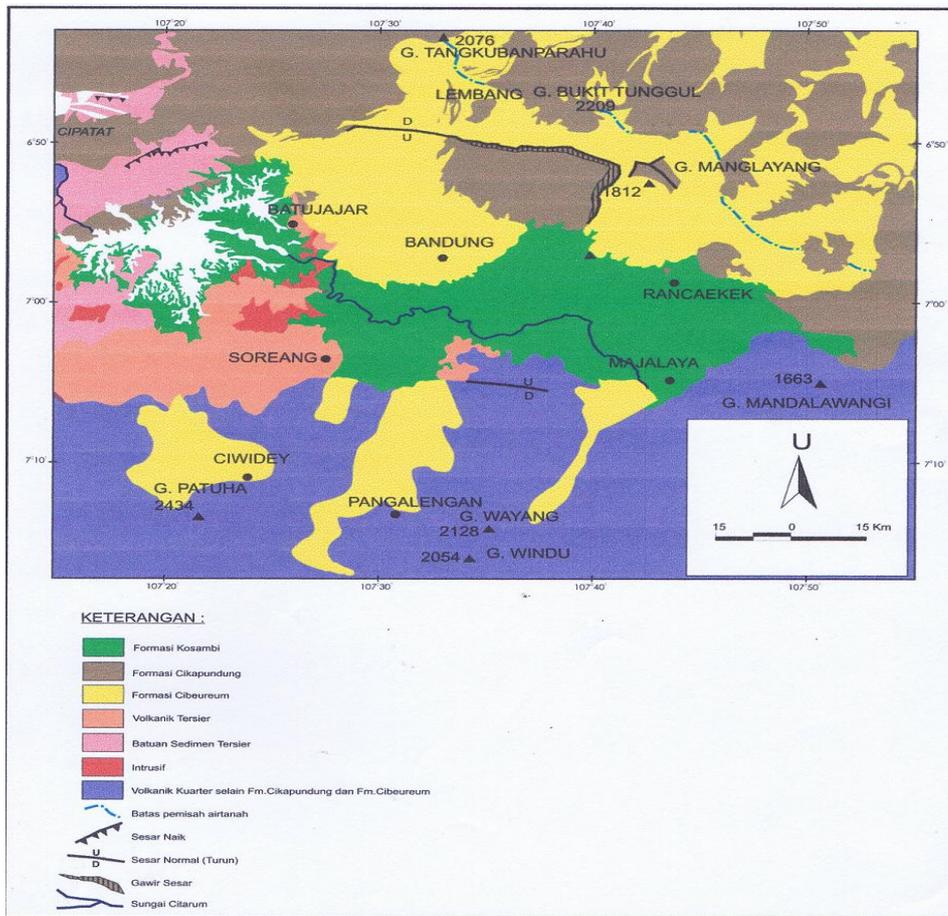
Cekungan Bandung merupakan wilayah yang cukup rentan dengan penurunan muka tanah (Abidin, 2008; Sumatyo dkk, 2009; Narulita, 2008). Turunnya permukaan tanah di wilayah Cekungan Bandung diduga disebabkan oleh ekstraksi airtanah yang berlebihan (Abidin, 2008). Tercatat hampir semua industri yang ada di Cekungan Bandung menggunakan airtanah sebagai bahan baku untuk keperluan industrinya. Data pengambilan airtanah di Cekungan Bandung cenderung semakin naik dari tahun ke tahun (Wirakusumah, 2006). Seperti halnya di Jakarta, di Bandung banyak pula sumur bor-sumur bor yang tidak tercatat. Faktor lain yang di duga menyebabkan penurunan muka tanah di Cekungan Bandung adalah pergerakan struktur geologi/tektonik (Hutasoit, 2010).

Penurunan muka tanah di Cekungan Bandung memberikan dampak negatif seperti kerusakan pada bangunan, jalan, serta semakin meluasnya kejadian banjir terutama di Bandung selatan. Melihat dampak yang ditimbulkan maka perlu kiranya dilakukan pemetaan karakteristik penurunan muka tanah. Makalah ini akan dibahas mengenai penurunan muka tanah di Cekungan Bandung dengan menggunakan metode survei GPS dan InSAR.

## 2 Geologi dan Hidrogeologi Cekungan Bandung

Cekungan Bandung adalah cekungan *intra-montane* besar yang dikelilingi oleh deretan pegunungan. Pusat cekungan Bandung mempunyai ketinggian sekitar 665 m dan dikelilingi oleh daerah vulkanik *Late Tertiary* dan *Quaternary* (Dam dkk, 1996). Secara Geologi ada beberapa formasi yang dikenal di Cekungan Bandung seperti Formasi Kosambi, Formasi Cibereum, dan Formasi Cikapundung (Hutasoit, 2009). Formasi Cikapundung adalah satuan tertua yang tersingkap di Cekungan Bandung dan terdiri dari konglomerat dan breksi kompak, tuf, dan lava andesit. Umur formasi ini diperkirakan adalah Plistosen bawah (Koesoemadinata dan Hartono, 1981). Formasi Kosambi diusulkan oleh Koesoemadinata dan Hartono (1981) untuk menggantikan nama Endapan Danau yang digunakan oleh Silitonga (1973). Sebaran formasi ini terdapat di bagian tengah Cekungan Bandung. Litologinya terutama terdiri dari batu lempung, batulanau, dan batu pasir yang belum kompak, dengan umur Holosen. Formasi ini mempunyai hubungan jarjemari dengan formasi Cibereum Atas (Hutasoit, 2009). Formasi Cibereum terutama terdiri dari perulangan breksi dan tuf dengan tingkat konsolidasi rendah serta beberapa sisipan lava basal, dengan umur Plistosen Atas – Holosen. Breksi dalam formasi ini adalah breksi vulkanik yang disusun oleh fragmen-fragmen scoria beku andesit basal dan batu apung. Permukaan formasi ini terdapat di bagian utara dan bagian selatan (Hutasoit, 2009). Selain formasi di atas, berdasarkan litologi yang membedakan batuan penyusunnya dikenal Endapan Tersier dan Hasil Gunungapi Tua. Gambar formasi-formasi di atas dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Cekungan air tanah (CAT) Bandung – Soreang bagian utara berbatasan dengan CAT Lembang dan sebelah barat berbatasan dengan CAT Batujajar, di bagian timur CAT Sumedang dan CAT Malangbong, di bagian selatan berbatasan dengan CAT Garut, CAT Banjarsari dan CAT Cibuni. Di Cekungan Bandung, Formasi Cibereum merupakan akuifer utama, sedangkan formasi kosambi adalah akuitar, serta batuan dasar adalah formasi Cikapundung dan beberapa satuan batuan lain (Hutasoit, 2009). Berdasarkan karakteristik hidrolik dan kedalamannya, secara sederhana konfigurasi akuifer di Cekungan Bandung dibagi menjadi dua yaitu *shallow aquifers* (kedalaman beberapa meter sampai 40 m di bawah permukaan tanah) dan *deep aquifers* (kedalaman di atas 40 m sampai 250 m di bawah permukaan tanah (Soetrisno, 1996)).



**Gambar 1** Peta geologi Cekungan Bandung (Hutasoit, 2009); hasil kompilasi dan modifikasi Silitonga (1973), Alzwar dkk (1992), Iwaco-Waseco dan PU (1990), Koesoemadinata dan Hartono (1981), Kusmono dkk (1996), dan Sujatmiko (2003)

### 3 Pemantauan Penurunan Muka Tanah dengan Menggunakan Metode Survei GPS di Cekungan Bandung

Prinsip pemantauan penurunan muka tanah dengan metode survei GPS menggunakan beberapa titik pantau GPS (berupa monumen/*benchmark*) yang dipasang di area terdampak. Posisi yang teliti titik-titik tersebut relatif ditentukan dari titik referensi yang dianggap stabil dengan metode survei GPS. Koordinat teliti ditentukan secara berkala (periodik) dengan interval waktu tertentu. Dengan mempelajari perubahan pola dan kecepatan perubahan tinggi dari satu survei ke survei yang lain, maka karakteristik penurunan muka tanah dapat ditentukan.



#### **4 Pemantauan Penurunan Muka Tanah dengan Menggunakan Metode Survei InSAR di Cekungan Bandung**

Sejak tahun 2004 fenomena penurunan muka tanah di Jakarta, Bandung, dan Semarang juga mulai dipelajari dengan menggunakan metode InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) yang berbasis pada penggunaan citra satelit radar (Abidin dkk, 2004). Hasil dari metode InSAR mengkonfirmasi dan melengkapi hasil dari metode-metode sipat datar dan survei GPS tentang karakteristik fenomena penurunan muka tanah di Jakarta.

Berkaitan dengan studi penurunan muka tanah yang umumnya menuntut ketelitian pada tingkat mm-cm, penggunaan sistem radar ini haruslah dalam moda interferometri, yaitu dengan memanfaatkan teknik interferometri radar. Teknik ini yang umum juga dinamakan InSAR (*Interferometric SAR*) pada prinsipnya menggunakan perbedaan fase antara dua citra radar, yang juga dinamakan *interferogram*.

Perbedaan fase yang terlihat pada interferogram ini pada dasarnya disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu (Francis dkk, 1996 dan Abidin dkk, 2004) adanya perbedaan relatif posisi satelit pada saat pengambilan kedua citra, adanya perbedaan paralaks yang disebabkan oleh pencitraan obyek dari posisi satelit yang berbeda, adanya perbedaan kondisi permukaan tanah dan troposfer antara dua saat pengambilan citra, dan adanya perubahan posisi titik-titik permukaan tanah (deformasi) antara dua saat pengambilan citra.

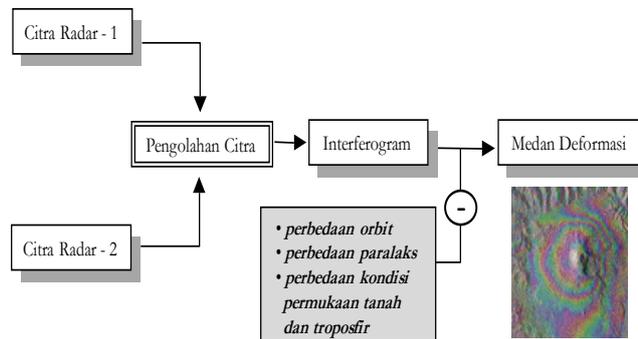
Perubahan posisi titik-titik dipermukaan tanah dapat dilihat pada interferogram dengan mengaplikasikan mekanisme dan strategi pengolahan data tertentu dengan mengeliminir efek-efek perbedaan orbit satelit, paralaks, dan kondisi permukaan tanah dan troposfir dari citra *interferogram*. Dengan kata lain fenomena deformasi dari permukaan tanah, termasuk komponen penurunan muka tanah, yang terjadi antara dua waktu pengambilan citra dapat dipelajari menggunakan citra *interferogram* tersebut.

Pemantauan penurunan muka tanah dengan menggunakan metode InSAR telah dilakukan sejak tahun 2006. Data citra yang digunakan adalah citra ALOS PALSAR. ALOS PALSAR merupakan citra satelit dengan sensor radar yang dimiliki oleh Jepang, dan efektif beroperasi sejak Juli 2006. Adapun data mengenai citra ALOS PALSAR yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2** dan untuk penelitian ini akan digunakan data tahun 2008-2010.

Tabel 2 Waktu pengambilan data InSAR

| No. | Tanggal Pengamatan | Tipe Data | Arah Pengamatan |
|-----|--------------------|-----------|-----------------|
| 1   | 03 June 2006       | FBS       | Ascending       |
| 2   | 06 March 2007      | FBS       | Ascending       |
| 3   | 14 January 2007    | FBS       | Ascending       |
| 4   | 18 April 2008      | FBS       | Ascending       |
| 4   | 28 Januari 2009    | FBS       | Descending      |
| 5   | 16 Desember 2009   | FBS       | Descending      |
| 6   | 3 Mei 2010         | FBS       | Descending      |

\*) FBS : Fine Beam Sensor

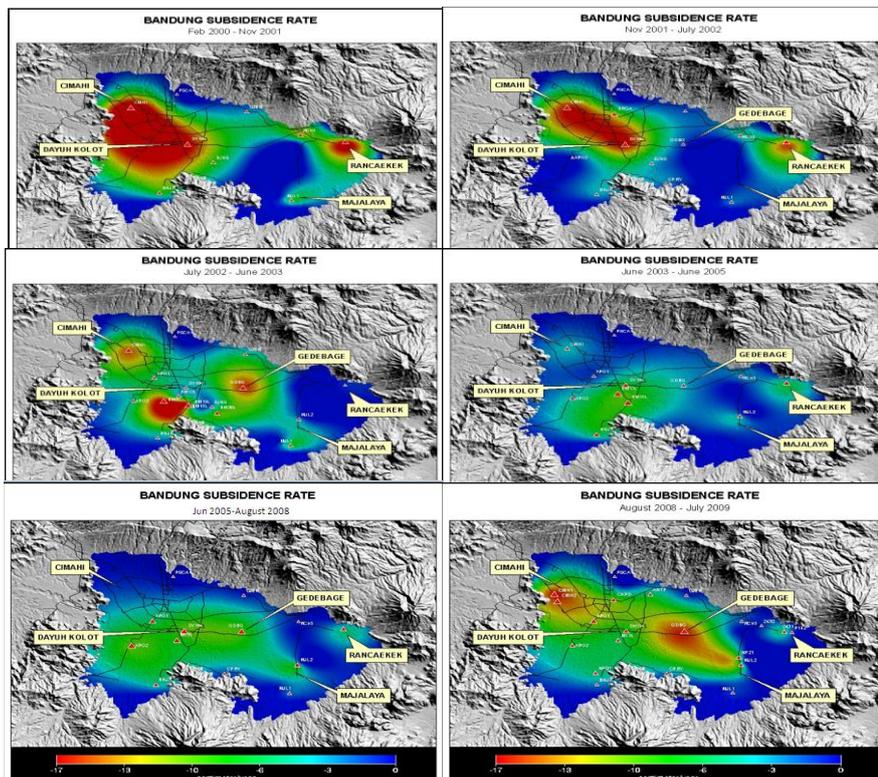


Gambar 3 Prinsip pemantauan deformasi dengan metode InSAR (Abidin dkk, 2004)

### 5 Hasil dan Pembahasan

Pengolahan GPS pada penelitian ini menggunakan data fase dengan metode differensial untuk mereduksi beberapa kesalahan seperti kesalahan jam receiver, kesalahan akibat troposfer dan ionosfer dengan menggunakan perangkat lunak ilmiah Bernese 5.0. Residual bias troposfer diestimasi di semua titik. Informasi orbit yang digunakan adalah informasi orbit teliti (*precise ephemeris*).

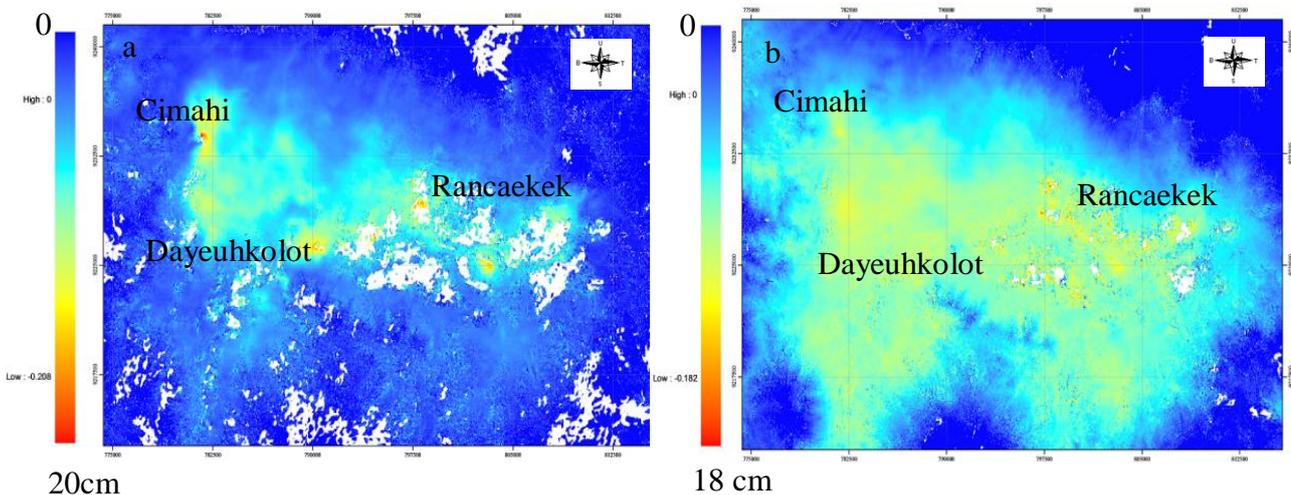
Berdasarkan hasil pengolahan data GPS dari tahun 2000-2009, beberapa lokasi di Cekungan Bandung telah mengami penurunan muka tanah. Gambar 4 menunjukkan penurunan muka tanah di beberapa station pengamatan GPS pada tahun 2000-2009.



Gambar 4 Peta Kecepatan penurunan muka tanah Cekungan Bandung 2000-2009

Beberapa wilayah seperti seperti Cimahi, Gedebage, Majalaya, dan Dayeuhkolot mengalami penurunan muka tanah yang cukup besar. Wilayah Cimahi khususnya wilayah Leuwigajah mengalami penurunan sekitar 14 cm per tahun, wilayah Dayeuhkolot dan Majalaya mengalami penurunan sekitar 4-7 cm per tahun, sedangkan wilayah Gedebage dan sekitarnya mengalami penurunan sekitar 9-14 cm. Perlu dicatat disini bahwa semua wilayah tersebut merupakan kawasan industri yang diduga mengambil banyak airtanah (artesis).

Pengolahan data InSAR pada penelitian ini, metode *dual-pass Differential InSAR* (DInSAR) digunakan untuk menghasilkan citra deformasi di Cekungan Bandung. Dual-pass DInSAR memiliki kelebihan karena cukup memerlukan sepasang citra yang terdiri dari *master* dan *slave*. Pada pengamatan *subsidence* tahun 2009, digunakan citra dengan tanggal pengamatan 28 Januari 2009 sebagai *master*, dan citra bertanggal 16 Desember 2009 sebagai *slave*. Sedangkan untuk pengamatan deformasi tahun 2010, digunakan citra dengan tanggal 16 Desember 2009 sebagai *master*, dan citra bertanggal 5 Mei 2010 sebagai *slave*. **Gambar 4** menunjukkan rangkaian pengolahan data secara umum untuk menghasilkan peta *subsidence* di wilayah Bandung. Dual-pass DInSAR memerlukan data model elevasi digital atau DEM untuk menghasilkan peta *subsidence*. Pada penelitian ini, digunakan DEM SRTM yang dengan resolusi horizontal 3-arc second atau sekitar 90 meter. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software Gamma. Hasil pengolahan DInSAR menunjukkan beberapa lokasi penurunan tanah di wilayah Bandung cukup besar. **Gambar 5** menunjukkan penurunan tanah yang teramati dari data SAR di atas, citra hanya difokuskan pada area Bandung dan sekitarnya.



**Gambar 5** Penurunan muka tanah di Cekungan Bandung hasil pengolahan data InSAR pada Januari 2009-Desember 2009 (a) dan Desember 2009-Mei 2010 (b)

Seperti yang terlihat pada **Gambar 5a**, deformasi yang terjadi mulai dari Januari 2009 hingga Desember 2009 penurunan mencapai 22 cm, sedangkan untuk rentang waktu Desember 2009 hingga Mei 2010, terjadi penurunan sekitar 10-12 cm. Skala warna pada **Gambar 5b** yang menunjukkan nilai penurunan maksimum mencapai 18 cm, merupakan kesalahan yang diakibatkan proses *unwrapping* yang salah. Hal ini dapat disebabkan karena pada daerah tersebut, derajat koherensinya cukup rendah.

Hasil dari pengolahan data di atas masih mengacu pada arah pandang satelit (*Line of Sight*), sehingga seluruh komponen horizontal dan vertikal pada penurunan tanah masih tercampur. Selain itu, kesalahan yang diakibatkan oleh efek atmosfer dan residu dari kesalahan DEM masih melekat, sehingga validasi dari pengamatan GPS yang lebih teliti masih harus dilakukan. Dari Gambar 6 terlihat pada kurun waktu Januari 2009-Desember 2010 daerah Cimahi, Dayeuhkolot, Gedebage, dan Majalaya mengalami penurunan muka tanah yang sangat besar. Penurunan muka tanah di wilayah Cimahi bahkan mencapai 12 cm.

## 6 Penutup

Berdasarkan hasil pengolahan data GPS dan InSAR, beberapa wilayah telah teridentifikasi mengalami penurunan muka tanah. Beberapa wilayah mengalami penurunan muka tanah yang cukup besar (lebih besar 7 cm per tahun) diantaranya wilayah Cimahi, Dayeuhkolot, Gedebage, dan Majalaya. Pada pengolahan data InSAR masih memiliki kekurangan terutama pada periode 2009-2010 terkait dengan kualitas datanya sehingga ketelitiannya masih dibawah ketelitian GPS. Secara umum metode GPS dan InSAR dapat digunakan untuk memantau penurunan muka tanah. Untuk penelitian selanjutnya bisa dicoba kombinasi antara data GPS dan InSAR serta dikorelasikan dengan turunnya permukaan airtanah yang diduga menjadi penyebab utama penurunan muka tanah di Cekungan Bandung.

## 7 Referensi

- [1] Abidin, H. Z., R. Djaja, S. Hadi, A. Akbar, M.A. Kusuma, D. Darmawan, I. Meilano, C. Subarya, Sumarwan, H. Rajiyowiryono, R. Songsang, *Observed Land Subsidence in Jakarta and Bandung and its Correlation With Ground Water Abstraction*, Western Pacific Geophysics Meeting, 2000.
- [2] Abidin, H. Z., H. Andreas, R. Djaja, D. Darmawan, & M. Gamal, Land Subsidence Characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as Estimated Using GPS Surveys. *GPS Solution*, pp. 12:23 – 32. 2008

- [3] Abidin, H.Z., H. Andreas, M. Gamal, A. D. Wirakusumah, D. Darmawan, T. Deguchi, Y. Maruyama., *Land Subsidence Characteristic of The Bandung Basin, Indonesia, as Estimated From GPS and InSAR*, Journal of Applied Geodesy 2, 167-177, 2008.
- [4] Abidin, H.Z., R. Djaja, H. Andreas, M. Gamal, Indonesia K. Hirose, Y. Maruyama, *Capabilities and Constraints of Geodetic Techniques for Monitoring Land Subsidence in The Urban Areas of Indonesia*, Proceedings of the 3rd FIG Regional Conference for Asia and the Pacific (in CDRom), 2004.
- [5] Abidin, H. Z., R. Djaja, D. Darmawan, S. Hadi, A. Akbar, H. Rajiyowiryo, C. Subarya, 2000, *Land Subsidence of Jakarta (Indonesia) and its Geodetic Monitoring System*, Natural Hazards **23**, pp. 365–387, 2001.
- [6] Dam, M. A. C., Suparan, P., Nossin, J. J., Voskuil, R. P. G. A. & Group, G. T. L., A. 1996. *Chronology for Geomorphological Developments in The Greater Bandung Area, West-Java, Indonesia*, Journal of Southeast Asian Earth Sciences 14, 1-2; 101-115, 1996.
- [7] Hutasoit, L. M., *Kondisi Muka Airtanah Dengan dan Tanpa Peresapan Buatan Daerah Bandung: Hasil Simulasi Numerik*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol 4 No 3, 177-188, 2009.
- [8] Hutasoit, L. H., *Komunikasi Pribadi*, Institut Teknologi Bandung, 2010.
- [9] Kadir, W.G.A., Santoso D. & Sarkowi M., *Time Lapse Vertical Gradient Microgravity Measurement for Subsurface Mass Change and Vertical Ground Movement (Subsidence) Identification, Case Study : Semarang Alluvial Plain, Central Java, Indonesia*. Proceeding of the 7<sup>th</sup> SEGJ International Symposium, 2004.
- [10] Narulita, I., A. Rachmat & R. Maria, *Aplikasi Sistem Informasi Geografi Untuk Menentukan Daerah Prioritas Rehabilitasi di Cekungan Bandung*, Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan, 2008.
- [11] Soetrisno, S., *Pemanfaatan Airtanah, Dampak dan Penanggulangannya, Studi Kasus: Cekungan Bandung, Jawa Barat*. Direktorat Geologi Tata Lingkungan, 1999.
- [12] Sumantyo, J. T. S., M. Shimada, P. P. Mathieu & H. Z. Abidin, *Long Term Continuously DInSAR for Volume Change Estimation of Land Deformation*, Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009.
- [13] Wirakusumah, A. D, *Airtanah Bandung Raya, Lokakarya Pemenuhan Kebutuhan Air Baku di Cekungan Bandung Tahun 2025*, 2006.