

DETEKSI PENURUNAN MUKA TANAH KOTA SEMARANG DENGAN TEKNIK *DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR (DINSAR)* MENGGUNAKAN *SOFTWARE ROI_PAC* BERBASIS *OPEN SOURCE*

Eko Andik Saputro¹⁾, Sutomo Kahar²⁾, Bandi Sasmito³⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

²⁾ Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

³⁾ Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

ABSTRAK

Kota Semarang merupakan ibukota provinsi Jawa Tengah yang terletak di koordinat $-6^{\circ}58'$ LS dan $+110^{\circ}25'$ BT. Semarang terbentuk dari endapan alluvial yang terdiri dari material berukuran lempung dan pasir. Lapisan pembentuk tersebut berumur muda (sekitar 10.000 tahun) yang memiliki derajat kompaksi rendah sehingga masih memungkinkan tahapan pemadatan dan berpengaruh dengan penurunan muka tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan muka tanah di Kota Semarang dengan teknik DInSAR. DInSAR adalah teknologi pencitraan radar kesamping dengan memanfaatkan informasi fase, amplitudo dan panjang gelombang dalam pengolahannya untuk mendapatkan topografi dan deformasi. Metode yang digunakan adalah two-pass interferometric dengan menggunakan 3-arsec (90 m) *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* sebagai *Digital Elevation Model (DEM)* referensi untuk menghapus unsur fase topografi.

Data yang digunakan adalah tiga citra satelit ALOS PALSAR (Level 1.0) dengan akuisisi data Juni 2007 sampai September 2009. Teknik DInSAR ini diproses dengan menggunakan *software ROI_PAC* berbasis *open source*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa laju penurunan muka tanah dengan teknik DInSAR rata-rata sebesar 0.78 cm/tahun hingga 14.13 cm/tahun. Hasil pengolahan DInSAR dibandingkan dengan hasil penurunan muka tanah menggunakan teknik *levelling* yang menghasilkan nilai standar deviasi sebesar 1.217 cm. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknik DInSAR dapat digunakan dalam mendeteksi penurunan muka tanah di kota Semarang.

Kata kunci : ALOS PALSAR, DInSAR, Penurunan Muka Tanah, ROI_PAC

PENDAHULUAN

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan fenomena yang sedang dikaji di beberapa negara, termasuk Indonesia. Penurunan muka tanah dapat menyebabkan beberapa masalah, seperti rusaknya struktur bangunan, peningkatan daerah resapan air laut dan peningkatan area banjir. Fenomena ini dapat disebabkan oleh beberapa proses baik alamiah seperti pemampatan sedimen maupun non-alamiah seperti ekstraksi air tanah, minyak bumi, gas atau pertambangan bawah tanah [Moh. Fifik Syafiudin and R.S. Chatterjee, 2009].

Semarang merupakan ibukota Provinsi Jawa Tengah yang mengalami perkembangan dan pertumbuhan kota yang pesat. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan laju pembangunan di kota tersebut. Dengan perkembangan ini, tentunya akan menimbulkan masalah baru yaitu penurunan muka tanah.

Semarang terbentuk dari endapan alluvial yang terdiri dari material berukuran lempung dan pasir. Lapisan pembentuk tersebut berumur muda (sekitar 10.000 tahun) yang memiliki derajat kompaksi rendah sehingga masih memungkinkan tahapan pemadatan dan berpengaruh dengan penurunan muka tanah. Selain itu pengambilan air tanah secara besar-besaran mengakibatkan kekosongan di ruang bawah tanah dan ditambah juga dibebani dengan pembangunan gedung-gedung baru. Penurunan muka tanah tidaklah fenomena baru di Semarang. Dampak dari fenomena ini dapat dilihat dari adanya perluasan area banjir dan peningkatan daerah resapan air laut. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh JICA bekerja sama dengan Direktorat Geologi Tata Guna Lingkungan dan UNDIP pada tahun 2011 tentang penurunan muka tanah di Semarang menunjukkan bahwa Semarang mengalami penurunan

muka tanah sebesar 1 cm/tahun - 10 cm/tahun [PT. Garda Mandiri Tunggal, 2011].

Pemantauan penurunan muka tanah suatu wilayah dapat dikaji dengan beberapa metode geodesi, seperti survei sipat datar (*levelling*), survei GPS (*Global Positioning System*) dan yang saat ini sedang dikembangkan yakni teknologi lidar dan teknologi radar. Salah satu teknologi radar yang digunakan dalam pemantauan penurunan muka tanah adalah DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*). DInSAR adalah teknologi geodesi yang telah dikembangkan dengan baik selama beberapa dekade terakhir untuk pengamatan deformasi permukaan dengan akurasi yang tinggi pada sentimeter. Metode yang digunakan adalah *two-pass interferometric*. Teknik DInSAR diharapkan mampu mengetahui nilai penurunan muka tanah di wilayah Semarang dan diharapkan menjadi metode alternatif untuk memantau penurunan muka tanah.

Rumusan Masalah

Permasalahan yang muncul dari latar belakang penelitian yang telah disebutkan sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Berapa nilai besaran penurunan muka tanah kota Semarang menggunakan teknik DInSAR?
2. Berapa laju penurunan muka tanah kota Semarang menggunakan teknik DInSAR?
3. Bagaimana hubungan penurunan muka tanah di kota Semarang dengan batuan pembentuk tanahnya?
4. Bagaimana hasil pengolahan teknik DInSAR dibandingkan dengan penelitian sebelumnya?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan besaran penurunan muka tanah dari setiap kecamatan di wilayah kota Semarang dari citra satelit ALOS PALSAR menggunakan teknik DInSAR.

2. Mendapatkan laju penurunan muka tanah dari setiap kecamatan di wilayah kota Semarang dari citra satelit ALOS PALSAR menggunakan teknik DInSAR.
3. Mengetahui hubungan penurunan muka tanah di kota Semarang dengan batuan pembentuk tanahnya.

Batasan Masalah

Adapun pembatasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan kajian teknologi tentang penurunan muka tanah di wilayah Semarang pada kurun waktu 2007-2009.
2. Menggunakan citra satelit ALOS PALSAR Level 1.0 (band L) dengan resolusi 10 m tahun 2007, 2008, dan 2009.
3. Perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan DInSAR adalah ROI_PAC 3.0.1 yang merupakan perangkat lunak pengolahan data radar berbasis *open source*.

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini dijelaskan secara lengkap sebagai berikut :

Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Citra satelit ALOS PALSAR HH-HV level 1.0 wilayah Kota Semarang pada tahun perekaman 2007, 2008 dan 2009
2. SRTM DEM dalam format .hgt Kota Semarang
3. Peta Administrasi Kota Semarang.

Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. ROI_PAC 3.0.1, digunakan untuk proses DInSAR.
2. Envi 4.8 digunakan untuk proses *geocoding*, *overlay* peta Administrasi, pembentukan ROIs (*Region Of Interest*), pembentukan Statistik ROIs.

3. ArcGIS 9.3 digunakan untuk proses penentuan titik-titik validasi.

Metodologi Penelitian

Adapun metodologi penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. *Baseline Estimation* Pasangan Citra

No.	Pasangan Data	Waktu (Tahun)	Normal Baseline (meter)	Critical Baseline (meter)	2π Ambiguity Height (m)
1.	20070608-20080726	1.125	97.104	6588.658	664.659
2.	20070608-20090910	2.244	903.238	6588.658	71.455
3.	20080726-20090910	1.119	806.333	6582.708	79.978

Setelah itu dilakukan proses DInSAR di *software* ROI_PAC 3.0.1. Disini dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Pembentukan *Single Look Complex*

Proses ini dilakukan agar citra terkalibrasi secara radiometrik pada masukan sensornya. Hal ini disebabkan karena pada citra ALOS PALSAR (*raw data*) memiliki susunan data signal yang belum dipadatkan dan dilengkapi dengan koreksi geometrik.

2. Pembentukan *raw interferogram*

Raw interferogram merupakan citra beda fase antara citra *master* dan *slave*, dimana informasi ini berhubungan langsung dengan bentuk topografi. Informasi ini terbatas antara 0 dan 2π , fase ini disebut fase relatif dalam bentuk dua dimensi.

3. Tahapan *flattening*

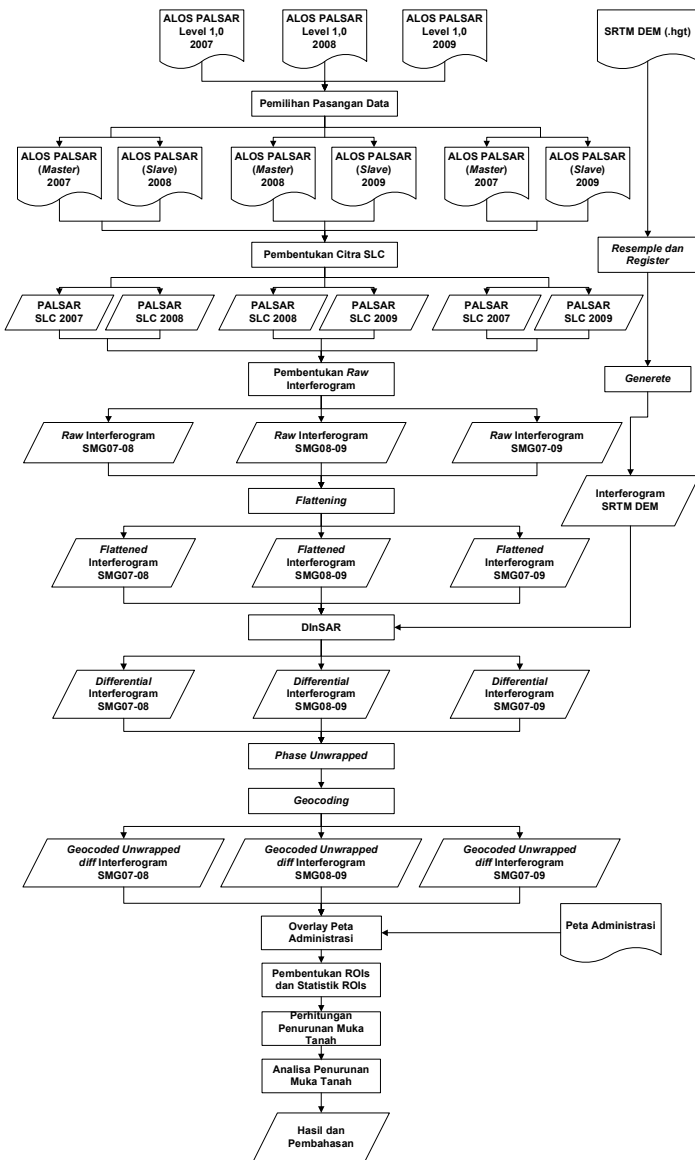
Setelah didapatkan *raw* interferogram yang didalamnya masih terdapat pengaruh dari pencitraan kesamping (*side looking*) sehingga bidang proyeksi bukan pada bidang datar, maka harus dilakukan proses *flattening*. Proses ini bertujuan untuk mendatarkan ke bidang proyeksi.

4. Tahapan DInSAR

Pada tahapan ini dilakukan penghapusan fase topografi yang dimiliki oleh interferogram hasil dari dua pasangan citra dengan interferogram SRTM DEM.

5. Tahapan *phase unwrapping*

Informasi pada interferogram masih terbatas antara 0 - 2π saja, sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Untuk mengatasi ambiguitas ini adalah dengan melakukan *phase unwrapping*. Hal ini bertujuan untuk menentukan fase absolut



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

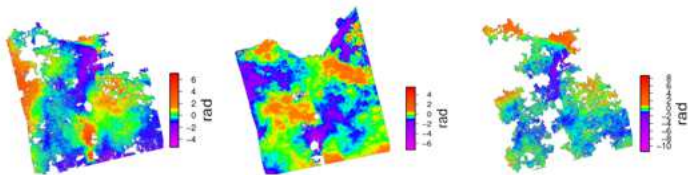
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Dalam penelitian ini digunakan tiga citra satelit ALOS PALSAR (Level 1.0) dengan akuisisi data Juni 2007 sampai September 2009. Dari ketiga citra tersebut dibentuk tiga pasangan citra sebagai berikut :

interferometrik dari fase relatif karena berhubungan langsung dengan topografi dan deformasi.

Hasil akhir dari interferogram proses DInSAR adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Interferogram Akhir Proses DInSAR

Analisis Penurunan Muka Tanah

Berdasarkan proses statistik ROIs dihasilkan besaran penurunan muka tanah per kecamatan berdasarkan nilai *minimum*, *mean*, dan *maximum*. Dari ketiga nilai tersebut, penelitian ini menggunakan nilai *mean* untuk mewakili nilai penurunan muka tanah per kecamatan. Hal ini dikarenakan nilai *mean* merupakan nilai rata-rata yang dihitung dari jumlah total nilai penurunan muka tanah di wilayah tertentu. Sehingga dianggap mewakili dari wilayah tersebut. Setelah itu, dihitung laju penurunan muka tanah per tahunnya sesuai dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Velocity PMT} = \frac{\text{Nilai PMT} \times 365}{\text{Selang Waktu Akuisi Pasangan Citra (dalam hari)}}$$

Berikut ini adalah laju penurunan muka tanah per kecamatan :

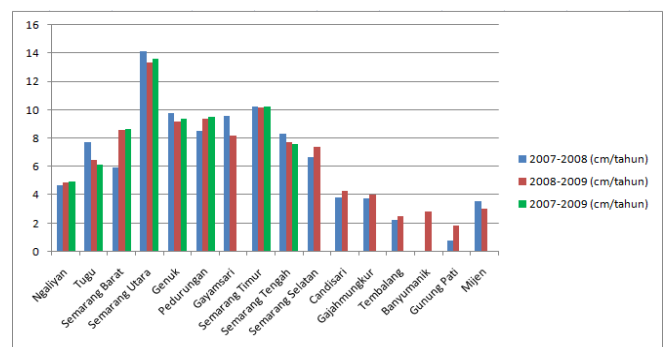
Tabel 2. Laju Penurunan Muka Tanah

No.	Kecamatan	2007-2008 (cm/year)	2008-2009 (cm/year)	2007-2009 (cm/year)
1	Ngaliyan	4.70	4.91	4.93
2	Tugu	7.75	6.51	6.18
3	Semarang Barat	5.94	8.60	8.69
4	Semarang Utara	14.13	13.37	13.59
5	Genuk	9.76	9.19	9.40
6	Pedurungan	7.62	7.60	7.71
7	Gayamsari	9.61	8.21	No data
8	Semarang Timur	10.27	10.18	10.23

9	Semarang Tengah	7.42	7.71	7.60
10	Semarang Selatan	3.10	4.45	No data
11	Candisari	3.84	4.28	No data
12	Gajahmungkur	3.75	4.02	No data
13	Tembalang	2.25	2.50	No data
14	Banyumanik	No data	2.85	No data
15	Gunung Pati	0.78	1.86	No data
16	Mijen	3.54	3.02	No data

Dari Tabel 2. terdapat beberapa kecamatan pada tahun tertentu yang tidak memiliki laju penurunan muka tanah. Hal ini dikarenakan pada proses *open image*, ENVI hanya menampilkan sebagian hasil interferogram proses ROI_PAC. Interferogram yang meliputi keseluruhan daerah Semarang adalah tahun 2008-2009. Untuk tahun 2007-2008, wilayah Kecamatan Banyumanik tidak tercakup. Sedangkan untuk tahun 2007-2009 terdapat delapan kecamatan yang tidak tercakup, diantaranya Banyumanik, Mijen, Semarang Selatan, Candisari, Gajahmungkur, Tembalang, Gayamsari dan Gunung Pati.

Berikut ini adalah grafik laju penurunan muka tanah kota Semarang :

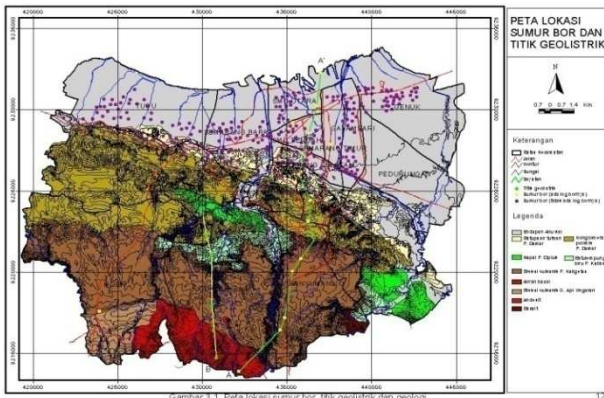


Gambar 3. Grafik Laju Penurunan Muka Tanah

Berdasarkan Tabel 2. dan Gambar 3., laju penurunan muka tanah yang terbesar berada di wilayah pesisir pantai, yakni Semarang Utara untuk ketiga pasangan citra, 14.13 cm/tahun (2007-2008), 13.37 cm/tahun (2008-2009), dan 13.59 cm/tahun (2007-2009). Sedangkan laju penurunan muka tanah kota Semarang dalam periode waktu 2007-2009 rata-rata sebesar 0.78 cm/tahun - 14.13 cm/tahun.

Analisis Geologi

Analisis geologi dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari aspek geologi terhadap laju penurunan muka tanah. Aspek geologi yang dimaksud disini adalah kondisi litologi, terutama ditinjau dari batuan pembentuk tanahnya. Laju penurunan muka tanah yang dihasilkan kemudian dilakukan analisis terhadap keadaan jenis batuan pembentuk tanah masing-masing wilayah. Berikut ini adalah sebaran jenis batuan pembentuk tanah kota Semarang yang terdapat pada peta lokasi sumur bor dan titik geolistrik :



Gambar 4. Peta Lokasi Sumur Bor dan Titik Geolistrik

Berdasarkan peta tersebut, wilayah yang mempunyai batuan pembentuk tanah jenis endapan alluvial (Tugu, Semarang Barat, Genuk, Pedurungan, Gayamsari, Semarang Timur, Semarang Tengah, dan Semarang Selatan) mengalami laju penurunan muka tanah yang relatif besar dibandingkan dengan wilayah yang mempunyai batuan pembentuk tanah jenis lainnya. Hal ini membuktikan bahwa untuk wilayah endapan yang masih berumur muda (alluvial) akan lebih mudah mengalami penurunan muka tanah.

Perbandingan Penurunan Muka Tanah antara Penelitian Sebelumnya dengan DInSAR

Penelitian tentang penurunan muka tanah kota Semarang sudah banyak dilakukan dengan metode yang berbeda-beda. Oleh karena itu, hasil laju penurunan muka tanah dengan teknik DInSAR dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Berikut hasil

laju penurunan muka tanah penelitian sebelumnya dengan beberapa teknik :

Tabel 3. Perbandingan Laju Penurunan Muka Tanah dengan Beberapa Penelitian

No.	Nama Peneliti	Teknik	Tahun	Laju Penurunan Muka Tanah
1.	Tiger Tobing dan Murdohardono	Levelling	2007	1 - 17 cm/tahun
2.	Kuehn dan Murdohardono	PS InSAR	2009	0 - 8 cm/tahun
3.	Departemen Geofisika, ITB	Microgravity	2008	0 - 15 cm/tahun
4.	Sutomo Kahar	Levelling	2011	1 - 9 cm/tahun
5.	Hasanuddin Z. Abidin, Heri Andreas, et al	GPS	2011	0.8 - 13.5 cm/tahun
6.	Eko Andik Saputro	DInSAR	2012	0.78 - 14.13 cm/tahun

Sumber : Jurnal Penelitian

Dari tabel diatas, hasil penelitian dengan DInSAR tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Untuk validasinya digunakan penelitian penurunan muka tanah dengan teknik *levelling* [Sutomo Kahar, 2011]. Kajian dari penelitian tersebut adalah Semarang Bawah meliputi 7 kecamatan, yakni Semarang Utara, Semarang Selatan, Semarang Tengah, Semarang Timur, Pedurungan, Genuk, dan Gayamsari. Sehingga validasi hanya dilakukan pada ketujuh kecamatan tersebut. Validasi dilakukan dengan membandingkan laju penurunan muka tanah hasil DInSAR dengan *levelling* per titik. Dengan peta zonasi penurunan muka tanah teknik *levelling*, 131 titik validasi disebar kemudian dicatat nilai penurunan muka tanahnya. Titik-titik validasi ini juga *dioverlaykan* dengan hasil pengolahan DInSAR. Kemudian dicatat juga laju penurunan muka tanahnya. Dari kedua perbedaan nilai laju penurunan muka tanah ini kemudian dilakukan perhitungan statistika sederhana yang menghasilkan nilai standar deviasi sebesar 1.217 cm.

PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan dan beberapa saran untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam penelitian selanjutnya.

Kesimpulan

1. Nilai besaran penurunan muka tanah kota Semarang dalam periode waktu 2007-2009 sebesar 0.87 - 30.50 cm.
2. Laju penurunan muka tanah kota Semarang dalam periode waktu 2007-2009 sebesar 0.78 cm/tahun - 14.13 cm/tahun. Kecamatan yang mengalami penurunan muka tanah terbesar terjadi di Kecamatan Semarang Utara sebesar 14.13 cm/tahun (2007-2008), 13.37 cm/tahun (2008-2009), dan 13.59 cm/tahun (2007-2009).
3. Wilayah yang mempunyai batuan pembentuk tanah jenis endapan alluvial (Tugu, Semarang Barat, Genuk, Pedurungan, Gayamsari, Semarang Timur, Semarang Tengah, dan Semarang Selatan) mengalami laju penurunan muka tanah yang relatif besar dibandingkan dengan wilayah yang mempunyai batuan pembentuk tanah jenis lainnya.
4. Standar deviasi perbandingan hasil pengolahan teknik DInSAR dengan teknik *levelling* sebesar 1.217 cm.

Saran

1. Perlu adanya kajian DInSAR dengan satelit yang berbeda pada daerah yang sama untuk membandingkan seberapa akurat ALOS PALSAR dibandingkan satelit-satelit lainnya.
2. Perlu adanya kajian pengolahan DInSAR dengan *software* lain untuk membandingkan hasil pengolahan yang paling baik didapatkan.
3. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya kajian tidak hanya sampai mendapatkan nilai penurunan muka tanah. Kajian bisa diperluas lagi dengan menganalisis faktor-faktor dari penurunan muka tanah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Augustan. 2010. *Mengamati Perubahan Gunung Api di Indonesia dengan Metode InSAR*. Indonesia : INOVASI Online, Catatan Riset.

- Bayuaji, Luhur. 2011. *Tutorial of ROI_PAC Installation*. Jepang : Center for Enviromental Remote Sensing (CERes), Chiba University.
- Bayuaji, L., Josaphat T.S. Sumantyo, and Hiroaki Kuze. 2009. *Monitoring of Jakarta Urban Area Subsidence By Using Alos/Palsar DInSAR*. Jakarta : Jurnal Geografi Vol. 2 No. 2 / Juli 2009, Departemen Geografi FMIPA, Universitas Indonesia.
- European Space Agency. 2007. *Part A Iinterferometric SAR Image Processing and Interpretation (Tutorial)*. ESA Publications. ESTEC. Netherlands. 15 Mei 2012. <www.esa.int/esapub/tm/tm9/TM-19_ptA.pdf>
- European Space Agency. 2007. *Part B InSAR Processing : A Pratical Apprcoach (Tutorial)*. ESA Publications. ESTEC. Netherlands. 15 Mei 2012. <www.esa.int/esapub/tm/tm9/TM-19_ptB.pdf>
- European Space Agency. 2007. *Part C InSAR Processing : a Mathematical Apprcoach (Tutorial)*. ESA Publications. ESTEC. Netherlands. 15 Mei 2012. <www.esa.int/esapub/tm/tm9/TM-19_ptC.pdf>
- Gens, Rudiger, Genderan dan John L Van. 1995. *SAR Interferometry - Issues Techniques Application*. The International Journal of Remote Sensing.
- Hansen, R.F. 2001. *Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis*. Netherlands : Kluwer Academic Publishers, Delft University of Technology.
- International Laser Ranging Service. _____. *ALOS Satellite Information*. ILRS Publications. 15 Mei 2012. <www.ilrs.gsfc.nasa.gov/satellites/alos.html>
- Ismullah, I.H. 2002. *Model Tinggi Permukaan Dijital Hasil Pengolahan Radar Interferometri Satelit Untuk Wilayah Berawan (Studi Kasus : Gunung Cikurai – Jawa Barat)*. Bandung : Program Doktor Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB.
- Kahar, Sutomo. 2011. *Dampak Penurunan Tanah dan Kenaikan Muka Laut Terhadap Luasan Genangan Rob di Semarang*. Semarang : Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- Kusman, Arief. 2008. *Studi Deformasi Gunung Api Batur dengan Menggunakan teknologi SAR Interferometri (InSAR)*. Bandung : Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.
- Prasetyo, Yudo. 2009. *Teori Dasar Deformasi*. 6 Maret 2012. <<http://yudopotter.wordpress.com/2009/05/05/teori-dasar-deformasi>>
- Prasetyo, Yudo. 2009. *Teori, Konsep dan Metodologi Teknik Permanent Scatterer (PS-InSAR) Didalam Pemetaan Deformasi Permukaan Bumi*. 6 Maret

2012.

<<http://yudopotter.wordpress.com/2009/10/20/teori-konsep-dan-metodologi-teknik-permanent-scatterer-ps-insar-didalam-pemetaan-deformasi-permukaan-bumi>>

Prasetyo, Yudo. 2010. *Pemanfaatan Teknologi Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) Dalam Studi Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence)*. Semarang : Jurusan Teknik Geodesi, UNDIP.

ROI PAC. *Processing Strategies*. 20 Mei 2012.
<http://roipac.org/Processing_Strategies>

Syafiudin, Moh. Fifik dan R.S. Chatterjee. 2009. *Potensi Pemanfaatan Teknologi Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) Berbasis Satelit Untuk Pemantauan Penurunan Muka Tanah Di Cekungan Bandung*. Jurnal Ilmiah Geomatika Vol. 15 No. 1 : 47-58.

Tarikh, Parviz. 2010. *Synthetic Aperture Radar Differential Interferometry (DInSAR) Technique*. Iran : Mahdasht Satellite Receiving Station, ISA.

Telaga, Delia, Valentin Poncos, dan Juerg Lichtenegger. *DInSAR Applications for Deformation Monitoring*.