

PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMANTAUAN PENURUNAN MUKA TANAH (*LAND SUBSIDENCE*)

Junita Monika Pasaribu, Jalu Tejo Nugroho, Wiweka

Abstract

Land subsidence has been occurred in several areas in various countries. Interferometry method is one of the techniques which was considered effective for land subsidence mapping due to its ability to map an area with large coverage. This paper reviews the utilization of remote sensing data by using several interferometric techniques which has been used by several researcher and has been applied in some areas in Indonesia. Synthetic Aperture Radar (SAR) data is an appropriate satellite data to monitor and map land subsidence due to the ability of SAR data which can be operate in day time or night time in all wheather condition, and SAR data also has an ability to penetrate clouds, smoke or rain. Research which has been done by several researcher with Indonesia as the study area, indicate that the main cause of land subsidence is an intensive ground water usage for settlement, industry, and agriculture, urban development and natural gas extraction.

Key Words: remote sensing, land subsidence, Synthetic Aperture Radar (SAR)

Abstrak

Penurunan muka tanah atau yang dikenal dengan *land subsidence* telah banyak terjadi di beberapa lokasi di berbagai negara. Metode *interferometry* adalah salah satu teknik yang dinilai efektif untuk memetakan *land subsidence* karena kemampuannya memetakan daerah dengan cakupan yang luas. Tulisan ini mengulas pemanfaatan data penginderaan jauh menggunakan beberapa teknik interferometri yang telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti dan telah diaplikasikan di beberapa daerah di Indonesia. Data *Synthetic Aperture Radar* (SAR) merupakan data satelit yang tepat untuk memantau dan memetakan *land subsidence* karena SAR dapat beroperasi siang maupun malam dalam segala kondisi cuaca, dapat menembus awan, asap ataupun hujan. Penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan daerah kajian Indonesia menunjukkan bahwa penyebab utama terjadinya *land subsidence* adalah penggunaan air tanah yang intensif untuk keperluan permukiman, industri, dan pertanian, pembangunan daerah perkotaan dan ekstraksi gas alam.

Kata Kunci: penginderaan jauh, *land subsidence*, *Synthetic Aperture Radar* (SAR)

1. PENDAHULUAN

Land subsidence merupakan perubahan posisi permukaan tanah dalam arah vertikal. Penurunan permukaan tanah ini dapat disebabkan adanya kompaksi ataupun konsolidasi tanah, turunnya elevasi muka air tanah, dan juga pengaruh beban dipermukaan tanah tersebut (Murdohardono dan Sudarsono, 1998).

Studi karakteristik penurunan muka tanah diperlukan dalam penentuan pola dan laju penurunannya. Pada prinsipnya, penurunan tanah dari suatu wilayah dapat dipantau dengan menggunakan beberapa metode, baik metode-metode hidrogeologis (misalnya pengamatan level muka air tanah serta pengamatan dengan ekstensometer dan piezometer) dan metode geoteknik, maupun metode-metode geodetik seperti survei sifat datar (*levelling*), survei gaya berat mikro, survei GPS (*Global Positioning System*), dan InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*).

Teknologi penginderaan jauh dengan kemampuannya yang semakin canggih dewasa ini, baik dari sisi spasial maupun temporal, sangat potensial untuk mengamati penurunan muka tanah dan memetakannya dengan cakupan spasial yang luas dan informasi yang lebih detail. Salah satu data penginderaan jauh yang sangat baik untuk digunakan dalam pemetaan deformasi permukaan tanah adalah data *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Tujuan dari tulisan ini adalah mencoba untuk memaparkan pemanfaatan data penginderaan jauh SAR dengan menggunakan beberapa metode interferometri untuk mengamati dan memetakan *land subsidence*.

2. DATA DAN METODE

2.1 Data

Penggunaan data penginderaan jauh untuk deteksi *land subsidence* telah banyak dikembangkan, terutama dengan menggunakan data SAR yang merupakan salah satu jenis penginderaan jauh dengan sensor aktif. Sistem SAR menggunakan daerah gelombang mikro dari spektrum elektromagnetik antara frekuensi 0.3 GHz sampai 300 GHz. Sistem SAR terdiri atas pemancar (*transmitter*), penerima (*receiver*), antena dan sistem elektronis untuk memproses dan merekam data. Bagian pemancar akan mengirimkan sinyal gelombang mikro secara kontinyu yang dipantulkan oleh permukaan bumi, kemudian antena penerima akan menerima bagian dari energi hamburan balik (*backscattered*) dari objek untuk kemudian direkam dan diproses lebih lanjut. SAR mempunyai sumber energi sendiri tanpa tergantung dengan sumber energi matahari, sehingga dapat beroperasi pada waktu siang maupun malam dalam segala kondisi cuaca karena gelombang mikro dapat menembus awan, asap dan hujan. Gelombang mikro juga memiliki kemampuan untuk menembus lapisan permukaan, sebagai contoh kanopi vegetasi, lebih dalam daripada panjang gelombang optis. SAR juga sensitif terhadap kekasaran permukaan, kelembaban, dan sifat

elektris objek. Penelitian dengan menggunakan data penginderaan jauh SAR telah banyak dilakukan untuk deteksi dan monitoring *land subsidence*. Beberapa penelitian untuk deteksi dan monitoring *land subsidence* dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Beberapa data penginderaan jauh SAR dan metode yang digunakan untuk deteksi *land subsidence*.

Peneliti	Sensor	Metode	Tujuan/Keterangan
Hirose <i>et al.</i> (2001)	JERS-1	InSAR Levelling GPS	Monitoring <i>land subsidence</i> di kota Jakarta, Indonesia yang disebabkan adanya penggunaan air tanah secara intensif. Hasil pengolahan ini divalidasi dengan survey levelling dan GPS.
Lubis <i>et al.</i> (2011)	ALOS PALSAR	InSAR	Monitoring <i>land subsidence</i> di kota Semarang, Indonesia. Dari hasil penelitian ini ditemukan bahwa peta <i>displacement</i> menunjukkan kejadian <i>land subsidence</i> yang ekstrim yang terjadi di sepanjang daerah pantai dan daerah dataran rendah dimanadaerah ini merupakan daeah industri dengan pemukiman yang padat, ekstraksi air tanah dalam jumlah besar, dan perubahan fungsi lahan dari lahan pertanian dan kebun menjadi kawasan industri dan permukiman. Hasil penelitian menunjukkan konsistensi dengan pola historis penurunan muka tanah dengan data leveling.
Chaussard <i>et al.</i> (2013)	ALOS PALSAR	DInSAR	Memetakan <i>land subsidence</i> di beberapa wilayah di bagian barat Indonesia. Dalam penelitian ini dilakukan korelasi hasil observasi penurunan muka tanah dengan struktur geologi permukaan dan tutupan lahan. Penurunan muka tanah disebabkan oleh ekstraksi air tanah oleh industri, pertanian, dan ekstraksi gas alam.
Chatterjee <i>et al.</i> (2006)	ERS-1/2	DInSAR	Identifikasi fenomena <i>land subsidence</i> di kota Kalkuta dan melakukan analisis kuantitatif dan modeling fenomena deformasi yang menekan presisi pengukuran.
Syafiudin dan Chatterjee (2009)	JERS-1 ALOS PALSAR ENVISAT ASAR	DInSAR	Identifikasi daerah yang terkena dampak <i>land subsidence</i> dan mengukur secara teliti besarnya penurunan muka tanah untuk pemetaan penurunan permukaan tanah secara kontinu pada periode 1990an.
Herra <i>et al.</i> (2010)	TerraSAR-X ERS ENVISAT	PSInSAR – Coherent Pixel	Monitoring <i>land subsidence</i> yang disebabkan oleh eksploitasi airtanah di daerah permukiman Murcia, Spanyol. Hasil pengolahan dengan data TerraSAR-X dibandingkan dengan hasil dengan menggunakan data ERS dan ENVISAT.
Yan <i>et al.</i> (2009)	ENVISAT	SInSAR Small Baseline	Monitoring <i>land subsidence</i> di kota Mexico dengan membandingkan metode PSInSAR dan SBAS. Laju deformasi diekstraksi dari menggunakan beberapa citra diferensial interferogram dengan

Peneliti	Sensor	Metode	Tujuan/Keterangan
		(SBAS)	menggunakan regresi linier 2D.
Osmanoglu et al. (2011)	ENVISAT ASAR	PSInSAR	Monitoring <i>land subsidence</i> di kota Mexico akibat penggunaan airtanah dalam jumlah besar. Hasil pengolahan data ENVISAT kemudian dibandingkan dengan data lapangan dengan menggunakan GPS. Variasi tahunan yang signifikan untuk data vertikal yang diperoleh dari pengukuran GPS tidak diamati.
Hung et al. (2011)	ENVISAT	PSInSAR	Monitoring <i>land subsidence</i> di daerah Choushui River Alluvial Fan, Taiwan yang merupakan daerah pertanian. Penurunan muka tanah disebabkan oleh penggunaan air tanah secara intensif untuk kebutuhan pertanian. Terdapat korelasi yang baik antara pergeseran vertikal dari metode PSI dengan data leveling.
Ng et al. (2012)	ALOS PALSAR	PSInSAR GPS	Pemetaan <i>land subsidence</i> di kota Jakarta, Indonesia dan divalidasi dengan pengukuran lapangan dengan menggunakan GPS.

1.2 Metode

1.2.1 Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)

InSAR merupakan teknik pencitraan yang memanfaatkan perbedaan fasa gelombang elektromagnetik untuk mendapatkan informasi tinggi di suatu daerah (Ismullah, 2004). Ismullah juga memaparkan beberapa proses pengolahan data menggunakan teknik InSAR secara umum adalah:

a. Citra Kompleks Synthetic Aperture Radar

Citra Synthetic Aperture Radar (SAR) yang diolah secara interferometri disebut dengan citra *Single Look Complex (SLC)*, dimana setiap pixelnya mempunyai nilai dalam bilangan kompleks. Bilangan riil dan bagian imajiner dari bentuk bilangan kompleks di setiap piksel tersebut terdiri atas informasi tentang amplitudo dan fasa. Informasi fasa dari dua atau lebih sinyal radar dalam bentuk bilangan kompleks kemudian dikombinasikan. Dengan demikian setiap piksel pada citra SAR menyatakan amplitudo dan fasa dari sinyal balik yang berasal dari sinyal yang dipancarkan sensor.

b. Koregistrasi Citra

Pada InSAR, digunakan dua data citra SAR untuk menghitung beda fasa dari kedua kumpulan data tersebut, hasilnya divisualisasikan dalam bentuk interferogram. Pada hasil interferogram tersebut tergambar garis-garis tepi (*fringes*) yang menunjukkan rentang fasa antara 0 sampai 2π dalam bentuk warna. Tahap yang sangat penting dalam pembentukan interferogram adalah ko-registrasi citra. Pada pengolahan koregistrasi dua citra kompleks, citra kedua (*slave image*) diolah hingga cocok dengan citra utama (*master image*). Kemudian

amplitudo dan fasa dari setiap fasor dihitung. Pada koregistrasi citra, parameter registrasi yang paling penting di antaranya adalah translasi, skala, rotasi dan kemiringan. Parameter-parameter registrasi ini umumnya linier terhadap koordinat.

c. Koherensi

Interferometri didefinisikan sebagai penggabungan dari fungsi gelombang dari suatu sumber yang koheren. Nilai koherensi antara citra menunjukkan hasil seberapa jauh pencocokan kedua citra tersebut. Sesuai dengan persyaratan yang diberikan oleh *European Space Agency* (ESA), nilai minimum koherensi untuk pembentukan *Digital Elevation Model* adalah 0.2.

d. Pembentukan *Interferogram*

Pembentukan *Interferogram* dilakukan dengan menghitung lebih dahulu bilangan kompleks dari hasil perkalian kompleks konjugasi antara citra utama *master* dengan citra kedua *slave*.

e. Pengolahan *Phase Unwrapping*

Interferogram merupakan informasi beda fasa, yang berhubungan langsung dengan bentuk topografi. Informasi ini terbatas antara 0 sampai 2π , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas dalam menghitung siklus fasa yang diperlukan untuk mendapatkan jarak miring yang benar. Fasa ini disebut fasa relatif. Penyelesaian ambiguitas ini adalah pengolahan *phase unwrapping*, yaitu untuk mendapatkan fasa absolut. Metode pengolahan *phase unwrapping* pertama-tama dikembangkan oleh Goldstein *et al.* (1988). Metode ini disebut dengan pendekatan *branch cuts*, yang pertama-tama diidentifikasi adalah residunya, kemudian *branch cut* ini digunakan untuk menghalangi proses integrasi sehingga tidak dimungkinkan melakukan integrasi memotong *branch cut* ini. Masalah yang timbul dalam teknik ini adalah diperlukan waktu perhitungan yang sangat lama.

f. Konversi Fasa menjadi Tinggi

Setelah dilakukan pengolahan *phase unwrapping*, didapatkan nilai fasa disetiap pixel, fasa ditunjukkan mulai yang terendah hingga tertinggi, berbeda sekali dengan *interferogram*, yang periodenya hanya setiap 2π .

g. Pengolahan *Geo-Coding*

Dari titik setiap titik hasil konversi dari fasa ke tinggi, dilakukan pengolahan *Geo-coding*, yaitu proses untuk mendapatkan semua titik tersebut terhadap suatu referensi tertentu. Hitungan untuk mendapatkan posisi titik di permukaan bumi dilakukan dengan menggunakan (Ismullah, 2002) :

- a. Persamaan Doppler: posisi suatu titik di permukaan bumi terletak tegak lurus terhadap satelit, akibat kondisi zero Doppler.
- b. Jarak: jarak ini merupakan jarak antara sensor ke titik permukaan bumi, yaitu kecepatan cahaya dikalikan waktu perjalanan dari sensor ke titik tersebut.

c. **Elipsoid:** Elipsoid yang dipilih adalah yang digunakan pada WGS 84.

Hasil yang didapat adalah semua titik dalam koordinat kartesian X,Y dan Z (*Geocentric*), hasil ini kemudian ditransformasikan dalam sistem koordinat Geodetik (ϕ , λ dan h).

Lubis *et al.* (2001) menerapkan metode InSAR untuk mendeteksi *land subsidence* di kota Semarang, dengan menggunakan data ALOS PALSAR. Lubis melakukan pengolahan data dengan menggunakan 22 citra *ascending* ALOS PALSAR dari Januari 2007 – Januari 2009 dan dua citra *descending* SAR tanggal 6 Juni 2006 dan 17 Juni 2007. Analisis time series interferometri dilakukan dengan menggunakan 12 pasang interferogram relatif terhadap citra tanggal 21 Januari 2007 dan 8 pasang interferogram relatif terhadap citra 24 Januari 2008. Untuk menghilangkan eror yang disebabkan oleh fase topografi digunakan data DEM SRTM 3 arcsec (90m). Untuk meniluti kontribusi pergerakan horizontal, dibangun 2 interferogram yaitu untuk orbit *ascending* dan *descending*.

Penulis juga menerapkan metode InSAR untuk mendeteksi *land subsidence* di Provinsi DKI Jakarta dalam kegiatan kerjasamanya dengan BPBD Provinsi DKI Jakarta. Data yang digunakan untuk deteksi *land subsidence* tersebut adalah data ALOS PALSAR. Penulis melakukan pengolahan data menggunakan 4 citra *ascending* ALOS PALSAR dari 3 Agustus 2007 - 2 Juni 2008. Analisis dilakukan untuk 3 pasang interferogram relatif terhadap citra 3 Agustus 2007.

1.2.2 *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*

Dalam Saputro *et al.* (2012) dijelaskan mengenai DInSAR yang merupakan teknologi pencitraan radar dengan memanfaatkan informasi fase, amplitude dan panjang gelombang dalam pengolahannya untuk memperoleh topografi dan deformasi. Secara umum proses yang dilakukan dalam metode ini adalah:

1. Pembentukan *Single Look Complex (SLC)*. Proses ini dilakukan agar citra terkalibrasi secara radiometrik pada masukan sensornya. Hal ini disebabkan karena pada citra ALOS PALSAR (*raw data*) memiliki susunan data sinyal yang belum dipadatkan dan dilengkapi dengan koreksi geometrik.
2. Pembentukan *raw* interferogram yang merupakan citra beda fase antara citra master dan slave. Informasi ini berhubungan dengan bentuk topografi dimana antara 0 dan 2π , fase ini disebut fase relatif dalam bentuk dua dimensi.
3. Tahapan *flattening*. Setelah *raw* interferogram diperoleh, 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 DEM SRTM.
5. Tahapan *phase unwrapping*. Informasi pada interferogram masih terbatas antara 0 - 2π saja, sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Untuk mengatasi ambiguitas ini dilakukan *phase unwrapping*. Hal ini bertujuan untuk menentukan fase absolut

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

Chaussard *et al.* (2013) melakukan penelitian untuk mendeteksi dan memantau *land subsidence* terhadap citra *time-series* dengan menggunakan 900 citra ALOS PALSAR tahun 2007-2008 untuk memetakan *land subsidence* di beberapa wilayah bagian barat Indonesia yaitu Sumatera, Jawa, dan Bali. Teknik pengukuran deformasi permukaan tanah ini dilakukan dengan menggunakan teknik DInSAR yang menghasilkan lebih dari 1300 citra interferogram. Dasar teknik pengukuran pergeseran permukaan tanah ini adalah dengan menghitung perbedaan fasa dari dua citra SAR dengan tanggal perekaman yang berbeda (Gabriel *et al.*, 1989; Hanssen, 2001). Analisis *time series* dilakukan terhadap beberapa citra interferogram yang mencakup daerah yang sama dengan menggunakan metode *small based subset* (SBAS) (Berardino *et al.*, 2002). Tahap berikutnya adalah fase *unwrapped* untuk citra interferogram dengan nilai spasial *baseline* maksimum yaitu sebesar 2600 m, nilai *baseline* yang kecil dapat meminimalisir eror fase DEM interferogram. Untuk menghilangkan bias dari eror fase *unwrapping*, *coherence* dari setiap pixel citra interferogram dihitung, nilai koherensi yang dipilih dalam penelitian ini adalah diatas 0.7 (Tizzani *et al.*, 2007). Chaussard tidak melakukan proses filter untuk menghilangkan eror atmosferik tetapi menggunakan *pairwise logic* untuk mengeliminasi data yang memiliki *delay* atmosferik yang besar.

1.2.3 *Persistent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar (PSInSAR)*

Persistent/permanenet Scatter Interferometry Synthetic Aperture Radar (PSInSAR) merupakan pengembangan dari teknik InSAR dan DInSAR dengan menekankan pada eliminasi kesalahan akibat adanya dekorelasi temporal dan dishomogenitas atmosferik yang sering ditemui pada metode sebelumnya. Tujuan dari penerapan metode PSInSAR pada awal penelitian adalah melakukan identifikasi pada *single coherent pixel* yang dimulai dari beberapa citra SAR yang terpisah oleh *baseline* yang besar dalam rangka mendapatkan akurasi DEM hingga sub-meter dan pergerakan permukaan bumi pada area koheren rendah berdasarkan basis piksel. Teknik PSInSAR menggunakan beberapa citra SAR untuk meningkatkan kemampuan deteksi untuk deformasi tanah untuk periode yang panjang (Feretti *et al.*, 2001). PSInSAR menganalisis hamburan balik (*backscatter*) dari objek dipermukaan tanah atau objek. *Backscatter* objek ini dapat dengan mudah dideteksi di daerah permukiman, dan minim untuk daerah vegetasi. Teknik PSInSAR untuk pemantauan deformasi permukaan tanah telah banyak dilakukan untuk berbagai aplikasi, diantaranya yaitu deformasi *subsidence* yang terjadi di daerah permukiman (Chen *et al.*, 2010; Osmanoglu *et al.*, 2011), stabilitas infrastruktur (Jiang dan Lin, 2010), seismik patahan (Massironi *et al.*, 2009), aktivitas gunung api (Hooper, 2006), dan tanah longsor (Farina *et al.*, 2006). Fenomena *land subsidence* di kota Jakarta telah dikenal selama bertahun-tahun dan telah dilakukan berbagai penelitian untuk memantau fenomena tersebut (Abidin *et al.*, 2008, 2011; Murdohardono dan Sudarsono, 1998).

Ng *et al.*, (2012) melakukan pemetaan penurunan muka tanah dengan menggunakan metode PSInSAR pada 17 citra ALOS PALSAR. Ng menggunakan software GEOS_PSI yang dikembangkan oleh *Geodesy and Earth Observing System* group untuk mendeteksi dan memetakan penurunan muka tanah dengan menggunakan PSInSAR.

Terdapat beberapa tahap yang dilakukan dalam teknik PSInSAR ini, yaitu:

1. Fase diferensial interferometrik untuk deteksi pergeseran permukaan tanah
Fase diferensial interferogram berisi informasi pergeseran permukaan tanah, eror DEM, eror atmosferik, dan eror residu orbital.
2. Seleksi persistent scatterer candidate (PSC)
Metode PSInSAR menganalisa setiap titik *persistent scatterer* (PS) yang memanfaatkan informasi fase guna mengukur time series pergeseran permukaan tanah. Indeks dispersi amplitudo (D_A) digunakan untuk mengestimasi stabilitas fase setiap piksel dan mendeteksi PSC (Feretti *et al.*, 2001). Piksel-piksel dengan nilai (D_A) < 0.25 diasumsikan dapat sebagai jaringan referensi. Jaringan ini dibangun berdasarkan jaringan triangulasi Delaunay dengan panjang busur maksimum 1.5 km.
3. Proses fase *unwrap*
Pada dasarnya proses fase *unwrap* ini memiliki tujuan yang sama dengan teknik lainnya yaitu untuk menghilangkan ambiguitas fase.
4. Estimasi sinyal atmosfer dan penghapusan eror
Dilakukan proses *unwrapped* terhadap fase residual untuk setiap interferogram dengan menggunakan algoritma *Minimum Cost Flow* (MCF) (Costantini dan Rosen, 1999). Faktor topografi dan non-topografi yang berkaitan dengan sinyal atmosferik untuk setiap diferensial interferogram diestimasi berdasarkan hubungan linier antara elevasi piksel-piksel (misalnya ketinggian DEM + eror DEM).
5. Estimasi pergeseran permukaan tanah linier and non-linier
Setelah parameter-parameter model dan sinyal atmosferik diperkirakan, fase residual dihitung dengan menghilangkan kontribusi fase yang terkait dengan parameter-parameter model dan sinyal atmosferik dari fase diferensial untuk setiap *interferogram*. Fase residual diharapkan berisi dua komponen yaitu *displacement* non-linier dan eror. Nilai pergeseran permukaan tanah yang diukur dari data SAR adalah sepanjang arah *Line-of Sight* (LoS) radar tersebut. Pergeseran yang diukur dari data SAR adalah gabungan pergeseran arah vertikal, timur dan utara.

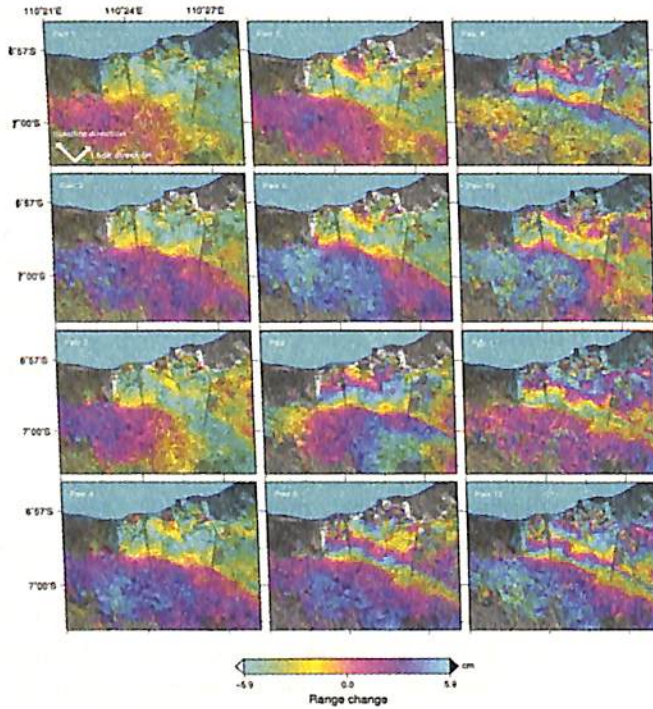
Dalam pencitraan dengan menggunakan teknik interferometri terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari citra yang dihasilkan. Kesalahan tersebut dipengaruhi oleh kemampuan memisahkan dan menganalisis fase yang dihasilkan. Fase yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh topografi permukaan bumi, deformasi, pengaruh atmosfer dan perubahan pada objek yang disebut sebagai dekorelasi.

Menurut Zebker dan Villasenor (1992) dalam Maraden H. (2012) ada beberapa dekorelasi yang mempengaruhi koherensi dari data InSAR.

- a. Dekorelasi geometrik, merupakan hasil dari perbedaan sudut pencitraan (*incidence angle*) antara kedua sensor yang digunakan untuk pencitraan pada permukaan bumi. Dekorelasi ini semakin meningkat seiring dengan meningkatnya perbedaan spasial antara kedua akuisisi SAR. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti deformasi, pengaruh atmosfer dan topografi.
- b. Dekorelasi *Doppler Centroid*, terjadi karena perbedaan frekuensi *Doppler Centroid* pada azimuth yang sama pada kedua citra.
- c. Dekorelasi volume, terjadi dikarenakan penetrasi dari gelombang radar sehingga hal ini bergantung pada panjang gelombang dari gelombang radar yang digunakan serta media pemendaran gelombang tersebut.
- d. Dekorelasi termal, merupakan dekodekorelasi termal atau gangguan sistem (*system noise*) yang disebabkan oleh karakteristik dari sistem termasuk faktor penambahan dan karakteristik arena.
- e. Dekorelasi waktu. Untuk dapat mengamati deformasi yang terjadi dalam perbedaan waktu dapat dilakukan dengan berbagai metode salah satunya adalah dengan menggunakan InSAR. Deformasi ini diamati karena adanya dekodekorelasi waktu antara kedua citra sehingga melalui dekodekorelasi waktu ini perubahan yang terjadi antara kedua citra yang diamati. Dekodekorelasi waktu ini sebisa mungkin dihilangkan apabila citra yang digunakan memiliki selang waktu pencitraan semaksimal mungkin. Untuk tujuan pengamatan deformasi dekodekorelasi waktu diperlukan untuk mengamati perubahan yang terjadi pada permukaan bumi. Namun tidak semua dekodekorelasi waktu disebabkan oleh deformasi seperti adanya perubahan vegetasi ataupun penambahan populasi yang menyebabkan adanya perbedaan objek yang ada dipermukaan bumi.

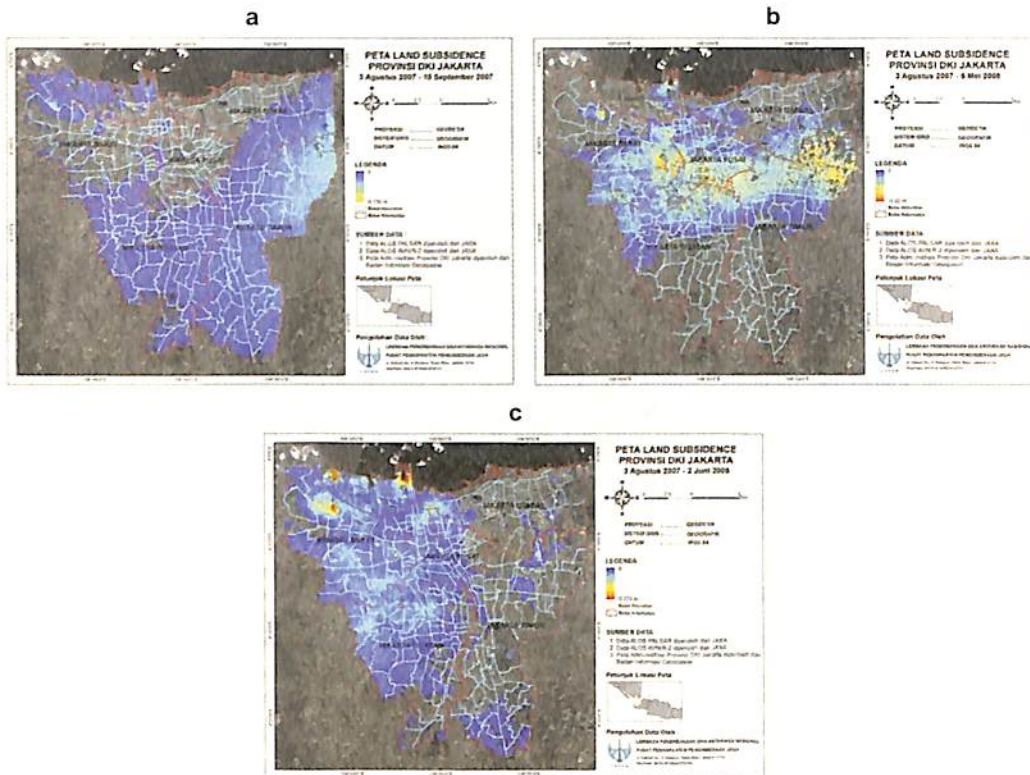
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Time-series InSAR menyediakan resolusi spasial *land subsidence* dan cakupan temporal yang kontinu. *Subsidence* di Kota Semarang yang diamati oleh Lubis, *et al.* (2011) dengan menggunakan teknik InSAR mencapai 8 cm/tahun. Daerah-daerah yang mengalami penurunan muka tanah yang cukup ekstrim terjadi pada daerah pantai dan dataran rendah. Pada daerah ini tutupan lahannya didominasi oleh kawasan industri dan kepadatan permukiman yang tinggi, dan penggunaan air tanah dalam jumlah besar. Hasil menunjukkan pola yang konsisten dengan data leveling. Peta *subsidence* yang terjadi di Kota Semarang diperlihatkan pada Gambar 1.



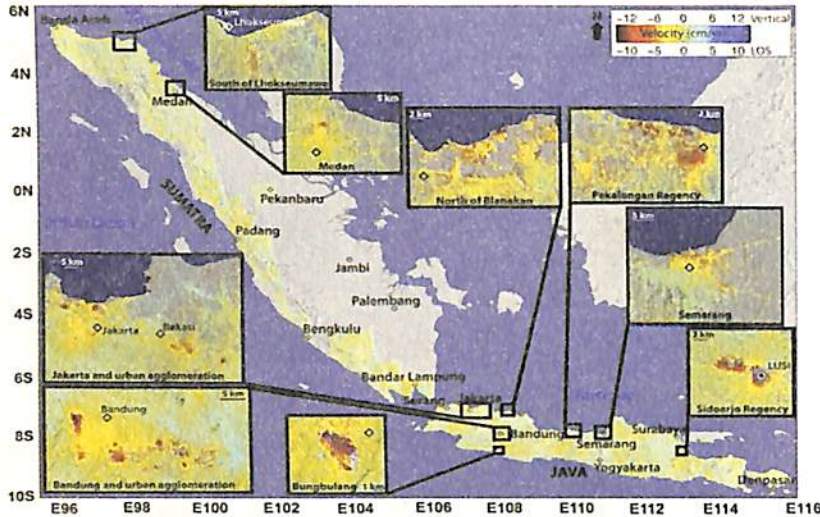
Gambar 1. Displacement time series di kota Semarang dari citra ascending ALOS PALSAR tanggal 8 Juni 2007 – 26 Januari 2009 yang mengacu pada tanggal 21 Januari 2007 (Sumber : Lubis, et al., 2011)

Penulis memperoleh hasil pengolahan dengan menggunakan teknik InSAR, dimana subsidence yang diamati di Provinsi DKI Jakarta dengan waktu pengamatan dari 3 Agustus 2007 - 2 Juni 2008 mencapai nilai maksimum sebesar 22 cm. Daerah dengan nilai subsidence yang tinggi terjadi pada daerah utara Jakarta dan daerah barat Jakarta. Berdasarkan beberapa referensi penyebab terjadinya *subsidence* di Provinsi DKI Jakarta sebagian besar disebabkan oleh penggunaan air tanah secara masif. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Chaussard, *et al.* (2013), sebagian besar kejadian *subsidence* yang terjadi di Jakarta disebabkan akibat ekstraksi airtanah yang digunakan untuk keperluan industri. Faktor lain yang menyebabkan terjadinya *land subsidence* adalah efek beban bangunan yang besar. Informasi *subsidence* yang dihasilkan oleh penulis hanyalah bersifat ekstraksi informasi dari pengolahan data, belum dilakukan verifikasi lapangan (Gambar 2).



Gambar 2. Pengukuran *time-series subsidence* dengan menggunakan InSAR di Provinsi DKI Jakarta tanggal a. 18 September 2008, b. 5 Mei 2008, c. 2 Juni 2008. Semua citra mengacu pada citra 3 Agustus 2007.

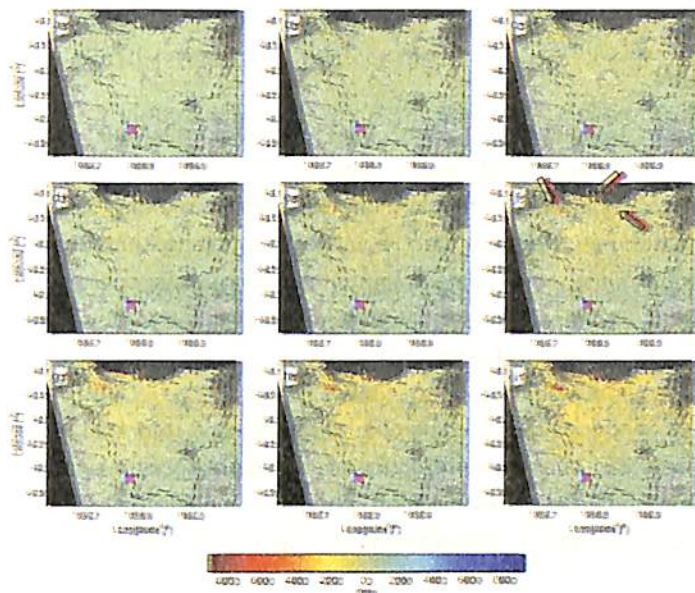
Chaussard *et al.* (2013) yang melakukan pengolahan citra dengan menggunakan teknik DInSAR namun tidak menemukan korelasi antara penurunan muka tanah dengan geologi permukaan. Penurunan muka tanah di Lhokseumawe, Jakarta, Bandung, Blanakan, Pekalongan, Semarang, dan Kabupaten Sidoarjo terjadi pada daerah dengan endapan surficial (alluvial, fan, dan endapan danau). Namun, tingkat penurunan tidak berkorelasi dengan tingkat ketebalan endapan. Chaussard *et al.* juga menemukan bahwa terjadinya penurunan muka tanah secara umum disebabkan oleh penggunaan airtanah secara intensif baik untuk keperluan permukiman, industri dan pertanian. Di sisi lain, penurunan muka tanah yang terjadi di daerah Lhokseumawe dan Kabupaten Sidoarjo disebabkan adanya eksplorasi gas alam. Di Medan, Jakarta, Bandung, dan Semarang, sebagian besar *subsidence* terjadi di daerah industri, sementara di pantai utara Blanakan dan sekitar Pekalongan *subsidence* terjadi di daerah pertanian. *Subsidence* yang terjadi di daerah Lhokseumawe dan Sidoarjo disebabkan oleh eksplorasi gas alam di ladang gas alam Arun dan Wunut. Nilai *subsidence* terpantau sebesar 11,3, 8,3, 21,8, 22,5, 12,0, 10,5, 13,0, dan 16,5 cm/tahun untuk masing-masing daerah Lhokseumawe, Medan, Jakarta, Bandung, Blanakan, Pekalongan, Semarang, dan Kabupaten Sidoarjo. Hasil pemetaan *subsidence* oleh Chaussard *et al.*, dapat diperlihatkan Gambar 3.



Gambar 3. Peta rata-rata LOS velocity tahun 2006-2009 di beberapa daerah di Sumatera, Jawa dan Bali dengan analisis *time-series* ALOS PALSAR. *Inset* gambar menunjukkan perbesaran daerah *subsidence* beberapa daerah yang dikaji. Warna merah pada gambar menunjukkan nilai negatif LOS velocity yang merupakan daerah *subsidence*. (Sumber: Chaussard E., et al., 2013)

Terjadinya *subsidence* di Medan, Jakarta, Bandung, Blanakan, Pekalongan, dan Semarang disebabkan adanya kompaksi sedimen tanah (sedimen Holocene) akibat beban bangunan. Kompaksi lapisan akuifer menyebabkan *land subsidence* stabil, tetapi ketika kompaksi akuifer ini mencapai maksimum maka laju *subsidence* akan berkurang.

Ng *et al.* (2012) memperoleh hasil pengolahan dengan menggunakan metode PSInSAR dimana permukaan tanah di beberapa daerah Jakarta berubah dengan kecepatan yang berbeda. Penurunan muka tanah juga diukur dengan menggunakan GPS di 19 titik lokasi pada tahun 2007 dan 2010. Magnitude dan *trend* deformasi yang diperoleh baik dari dengan menggunakan GPS ataupun dengan PSInSAR memberikan hasil yang baik secara umum. Penurunan muka tanah berkisar antara -29 - 6 mm/tahun, dengan standar deviasi 9 mm/tahun dan perbedaan rata-rata absolut 8 mm/tahun. Ng *et al.* menyarankan penggunaan metode PSInSAR untuk memantau penurunan muka tanah untuk kota yang sangat besar seperti Jakarta dengan menggabungkan data survey GPS sebagai validasi hasil. Hasil pemetaan *subsidence* di kota Jakarta ini ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Pengukuran time-series subsidence dengan menggunakan PSInSAR di kota Jakarta tanggal a. 18 Juni 2007, b. 18 September 2007, c. 20 Maret 2008, d. 20 Juni 2008, e. 21 Desember 2008, f. 5 Februari 2009, g. 8 Agustus 2009, h. 8 Februari 2010 dan 26 September 2010. Semua citra mengacu pada data 21 Januari 2007. Tiga tanda panah merah pada gambar menunjukkan daerah-daerah yang mengalami *subsidence* paling besar.

Fenomena kenaikan muka laut juga turut memperburuk situasi. Tinggi muka laut dalam skala regional saat ini meningkat sebesar 1.5 - 4.4 mm/tahun (Mimura & Yokoki, 2004), dan kemungkinan akan meningkat dua kali lipat dalam 1 - 2 dekade kedepan (IPCC, 2007). Dengan demikian kejadian penurunan muka tanah dan kenaikan muka laut akan menyebabkan daerah dikawasan pantai menjadi rawan banjir. Tingginya curah hujan di beberapa daerah Indonesia juga meningkatkan daerah rentan banjir.

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan data penginderaan jauh SAR menjadi alternatif yang baik karena kemampuannya memetakan daerah dengan cakupan yang luas dan kemampuan perekaman data pada waktu siang dan malam, dan mampu merekam data dalam keadaan cuaca apapun. Pemanfaatan penginderaan jauh ini sangat menunjang kebutuhan terhadap deteksi dan pemetaan *subsidence*, serta kemampuan untuk menganalisis penyebab terjadinya *land subsidence* tersebut. Beberapa teknik interferometri yang telah diulas yang diaplikasikan pada beberapa daerah di Indonesia dinilai mampu untuk mendeteksi dan memantau kejadian *land subsidence* diantaranya adalah teknik InSAR, DInSAR dan PSInSAR. Berdasarkan hasil pengolahan yang diperoleh dari beberapa referensi menunjukkan bahwa sebagian besar kejadian *subsidence* di Indonesia disebabkan oleh penggunaan air tanah dalam jumlah besar baik untuk permukiman, keperluan industri dan juga pertanian. Faktor penyebab lainnya adalah akibat beban bangunan yang besar disejumlah kota-kota besar di Indonesia.

Chaussard *et al.* melakukan pemantauan di daerah Sumatera dan Jawa memperoleh nilai *subsidence* yang cukup tinggi yaitu 11.3, 8.3, 21.8, 22.5, 12.0, 10.5, 13.0, dan 16.5 cm/tahun untuk masing-masing daerah Lhokseumawe, Medan, Jakarta, Bandung, Blanakan, Pekalongan, Semarang, dan Kabupaten Sidoarjo. Efek yang ditimbulkan oleh kejadian *subsidence* adalah dapat merusak infrastruktur bangunan, juga dapat menyebabkan peningkatan genangan baik dari segi frekuensi dan luasannya, dan akan menyebabkan beberapa daerah di Indonesia memiliki tinggi permukaan daratan dibawah tinggi muka air laut dalam beberapa dekade kedepan. Indonesia yang memiliki curah hujan yang tinggi akan meningkatkan daerah rentan banjir di beberapa lokasi yang mengalami *land subsidence*. Sehingga data dan informasi *subsidence* tersebut akan sangat bermanfaat untuk perencanaan pembangunan dan tata kota, penggunaan lahan yang baik, perencanaan pembangunan sarana dan prasarana, pelestarian lingkungan, pengendalian dan pengambilan air tanah, pengendalian intrusi air laut. Tindakan dan perencanaan tersebut dilakukan sebagai tindakan pencegahan semakin luasnya daerah *subsidence*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Djaja, R., Darmawa, D., Gamal, M., 2008. Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys. *GPS Solutions*, 12(1):23-32.
- Berardino, P., G. Fornaro, R. Lanari, and E. Sansosti, 2002. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms.

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(11):2375–2383,
<http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792>.

- Chatterjee, R. S., B. Fruneau, J. P. Rudant, P. S. Roy, P.-L. Frison, R. C. Lakhera, V. K. Dadhwal, and R. Saha, 2006. Subsidence of Kalkota (Calcutta) city, India during the 1990s as observed from space by Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry (D-InSAR) technique. *Remote Sensing of Environment*, 102:176-185.
- Chaussard, E., F. Amelung, H. Abidin, and S.H. Hong, 2013. Sinking Cities in Indonesia: ALOS PALSAR Detects Rapid Subsidence due to Groundwater and Gas Extraction. *Remote Sensing of Environment* 128:150-161.
- Chen, Q., G. Liu, X. Ding, J.-C. Hu, L. Yuan, P. Zhong, and M. Omura, 2010. Tight integration of GPS observations and persistent scatterer InSAR for detecting vertical ground motion in Hong Kong. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(6):477-486.
- Costantini, M., P.A. Rosen, 1999. A generalized phase unwrapping approach for sparse data. In: IGARSS 1999, Hamburg, Germany, 28 June-2 July, pp. 267-269.
- Farina, P., Colombo, D., Fumagalli, A., Marks, F., and Moretti, S., 2006. Permanent scatterers for landslide investigations: outcomes from the ESA-SLAM project. *Engineering Geology*. 88(3-4):200-217.
- Ferretti, A., C. Prati, and F. Rocca, 2001. Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 39 (1):8-20.
- Gabriel, A., R. Goldstein, and H.A. Zebker, 1989. Mapping small elevation changes over large areas-Differential radar interferometry. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth and Planets*, 94:9183-9191.
- Goldstein R.M., H. A. Zebker, and C.L. Werner, 1988. Satellite radar interferometry: two dimensional phase unwrapping. *Radio Science*, 23(4):713-720.
- IPCC (2007). IPCC: Synthesis report. Contribution of working groups I - Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge Univ Press.
- Hanssen, R. F., 2001. Radar interferometry: Data interpretation and error analysis. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Herra, G., R. Tomas, D. Monells, G. Centolanza, J. J. Mallorqui, F. Vicente, V. D. Navarro, J. M. L-Sanchez, M. Sanabria, M. Cano, and J. Mulas, 2010. Analysis of subsidence using TerraSAR-X data: Murcia case study. *Engineering Geology*, 116:284-295.
- Hirose, K., Y. Maruyama, D. Murdohardono, A. Effendi, and H. Z. Abidin, 2001. Land subsidence detection using JERS-1 SAR interferometry. *Asian Conference on Remote Sensing*.
- Hooper, A.J., 2006. Persistent scatterer radar interferometry for crustal deformation studies and modelling of volcanic deformation. PhD Thesis. Department of Geophysics, Stanford University, USA, 124 pp.

- Hung, W.-C., C. Hwang, Y.-A. Chen, C.-P. Chang, J.-Y. Yen, A. Hooper, and C.-Y. Yang, 2011. Surface deformation from persistent scatterer SAR interferometry and fusion with leveling data: A case study over the Choushui River Alluvial Fan, Taiwan. *Remote Sensing of Environment*, 115:957-967.
- Ismullah, I.H., 2002. Model tinggi permukaan digital hasil pengolahan radar apertur sintetik interferometri data satelit untuk wilayah berawan, studi kasus daerah Gunung Cikurai-Jawa Barat, Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Ismullah, I. H., 2004. Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Digital (DEM) pada Radar Apertur Sintetik Interferometri (InSAR) Data Satelit. *PROC. ITB Sains & Tek.* 36A(1):11-32.
- Jiang, L., and H. Lin, 2010. Integrated analysis of SAR interferometric and geological data for investigating long-term reclamation settlement of Chek Lap Kok Airport, Hong Kong. *Engineering Geology*, 110:(3-4):77-92.
- Lubis, A. M., T. Sato, N. Tomiyama, N. Isezaki, and T. Yamanokuchi, 2011. Ground Subsidence in Semarang-Indonesia Investigated by ALOS-PALSAR Satellite SAR Interferometry. *Journal of Asian Earth Sciences* 40:1079-1088.
- Maraden, H., 2012. Penggunaan metode InSAR diferensial untuk pemantauan deformasi erupsi gunung Merapi pada tahun 2010. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Institut Teknologi Bandung.
- Massonnet, D., M. Rossi, C. Carmona, F. Adragna, G. Peltzer, and K.L. Feigl, 1993. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. *Nature*, 364:138-142.
- Mimura, N., and H. Yokoki, 2004. Sea level changes and vulnerability of the coastal region of East Asia in response to global warming. SCOPE/START monsoon Asia rapid assessment report.
- Murdohardono, D., and U. Sudarsono, 1998. Land subsidence monitoring system in Jakarta. In: Proceedings of Symposium on Japan - Indonesia IDNDR Project: Volcanology, Tectonics, Flood and Sediment Hazards, Bandung, 21-23 September, pp. 243-256.
- Ng, A. H., L. Ge, X. Li, H. Z. Abidin, H. Andreas, K. Zhang, 2012. Mapping land subsidence in Jakarta, Indonesia using persistent scatterer interferometry (PSI) technique with ALOS PALSAR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18:232-242.
- Osmanoglu, B., T.H. Dixon, S. Wdowinski, E. Cabral-Cano, and Y. Jiang, 2011. Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(1):1-12.
- Raucoules, D., C. Colesanti, and C. Carnec, 2007. Use of SAR Interferometry for Detecting and Assessing Ground Subsidence. *C. R. Geoscience* 339:287-302.
- Saputra, E.A., S. Kahar, dan B. Sasmito, Deteksi penurunan muka tanah kota Semarang dengan teknik differential interferometric synthetic aperture radar (DInSAR)

menggunakan software ROI_PAC berbasis open source. *Jurnal geodesi Undip*. 1(1). (ISSN:2337-845X).

Syafiudin, M. F. dan R. S. Chatterjee, 2009. Potensi pemanfaatan teknologi Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (D-InSAR) berbasis satelit untuk pemantauan penurunan muka tanah di cekungan Bandung. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 15(1).

Tizzani, P., P. Berardino, F. Casu, P. Euillades, M. Manzo, and G.P. Ricciardi, 2007, Surface deformation of Long Valley caldera and Mono Basin, California, investigated with the SBAS-InSAR approach. *Remote Sensing of Environment*, 108(3):277-289, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.015>.

Yan, Y., P. L-Quiroz, M-P. Doin, F. Tupin, and B. Fruneau, 2009. Comparison of two methods in multi-temporal differential SAR interferometry: Application the measurement of Mexico city subsidence. The Fifth International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images.

BIOGRAFI PENULIS

Junita Monika Pasaribu, S.Si



Email : junita.monika@lapan.go.id

Pendidikan:

- Sarjana Sains (S.Si.) program studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB).

Junita Monika Pasaribu telah bekerja di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 2011. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan aplikasi data penginderaan jauh untuk bencana banjir, kekeringan dan penurunan muka tanah. Saat ini mengikuti kegiatan penelitian mengenai aplikasi penginderaan jauh untuk deteksi limbah B3.

Jalu Tejo Nugroho, S.Si., M.Si



Email : imeljalu@yahoo.com

Pendidikan:

- Magister Sains (M. Si) pada Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia (UI), 2001
- Sarjana Sains (S. Si) pada Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia (UI), 1998

Penelitian yang diminati: Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk analisis curah hujan dan kebencanaan (banjir, kekeringan, kebakaran hutan, gunung api).

Dr. Wiweka



Email :wiweka@lapan.go.id

Pendidikan:

- Doktor (Dr), pada program studi Ilmu Komputer, Fakultas Pasca Sarjana, Universitas Indonesia (UI), 2006
- Magister Teknik (MT), pada program studi Teknik Geodesi, Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung (ITB), 1995
- Sarjana Teknik (Ir), pada program studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Bandung (ITB), 1988

Profesi sebagai fungsional peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Deputi Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, sejak 1 Maret 1989. Kegiatan penelitian yang telah dilakukan, pengembangan model diaplikasikan untuk berbagai tipe bencana. Organisasi profesi yang diikuti adalah Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN) dan Ikatan Surveyor Indonesia (ISI).