

PENURUNAN MUKA TANAH DAN HUBUNGANNYA DENGAN DAERAH RAWAN BANJIR DI JAKARTA

Junita Monika Pasaribu, Indah Prasasti, Parwati Sofan
Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN
E-mail: junita.monika@lapan.go.id

ABSTRAK

Penurunan muka tanah telah terjadi di beberapa lokasi di wilayah DKI Jakarta yang diduga sebagai penyebab makin meluasnya dan tinggi daerah genangan banjir. Penurunan muka tanah dapat diestimasi dengan memanfaatkan data penginderaan jauh, seperti ALOS/PALSAR (*Advanced Land Observation Sattelite/Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengestimasi penurunan muka tanah di Jakarta dan hubungannya dengan daerah rawan banjir. Estimasi penurunan muka tanah menggunakan data ALOS/PALSAR tahun 2007–2008 dengan mengaplikasikan teknik *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR), sedangkan informasi distribusi spasial daerah rawan banjir diekstraksi dari data penginderaan jauh hasil penelitian Pengembangan Model Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Penentuan Zona Bahaya dan Analisis Risiko Banjir–Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) tahun 2013. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data ALOS/PALSAR dengan teknik InSAR dapat digunakan untuk mengestimasi penurunan muka tanah dengan cukup baik, yakni daerah Kecamatan Cakung, Kecamatan Cilincing, Kecamatan Cengkareng, dan Kecamatan Penjaringan merupakan

daerah dengan tingkat penurunan muka tanah tertinggi dengan nilai penurunan 20–27 cm. Berdasarkan peta distribusi spasial daerah rawan banjir, keempat kecamatan yang mengalami penurunan muka tanah yang paling tinggi ini berada pada kategori kelas kerawanan tinggi dan sangat tinggi. Dengan demikian, penurunan muka tanah yang terjadi diprediksi dapat meningkatkan luas area dan ketinggian genangan banjir.

Kata Kunci: ALOS/PALSAR, daerah rawan banjir, InSAR, penurunan muka tanah

ABSTRACT

Land subsidence occurred in several location in Jakarta which was expected as the cause of the increasing of the extent and height of inundated area. Land subsidence can be estimated by utilize remote sensing data, such as ALOS/PALSAR (Advanced Land Observation Sattelite/Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar). The purpose of this research is to estimate land subsidence in Jakarta and its relation with flood prone area. Land subsidence estimation using ALOS/PALSAR data from 2007–2008 using Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), whereas the spatial distribution information of flood prone area was extracted from remote sensing data from the research of Remote Sensing Model Development for Flood Hazard Zone Determination and Flood Risk Analysis- National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN) 2013. Research shows that ALOS/PALSAR data with InSAR technique can be used to estimate land subsidence with good result. Kamal Muara, Cakung, Cilincing, Cengkareng, and Penjaringan district have highest subsidence rate around 20–27 cm. Based on spatial distribution of flood prone area, these four districts were experienced the highest subsidence is located on the high and highest class of flood prone. Thus, the increasing of the extent and height of inundation area is predicted caused by land subsidence.

Keywords: ALOS/PALSAR, flood prone area, InSAR, land subsidence

1. PENDAHULUAN

Jakarta adalah ibukota negara dengan tingkat kepadatan penduduk yang paling tinggi di Indonesia. Berdasarkan data Biro Pusat Statistik(BPS) tahun 2010 jumlah penduduk di Jakarta mencapai 9.607.787 jiwa dengan tingkat kepadatan 14.469 jiwa/km² (BPS, 2010). Secara geomorfologi dataran Jakarta digolongkan ke dalam dataran alluvial pantai dan sungai. Dataran ini mempunyai bentang alam datar, sungai bermeander yang sebelumnya dataran rawa, baik rawa pantai, laguna, maupun rawa belakang akibat limpasan yang melampaui tanggul alam. Dilihat dari karakteristik geologi, formasi geologi Jakarta berumur holosen, dicirikan dengan batu endapan permukaan dengan jenis batuan sedimen, batuan endapan permukaan, batuan gunung api, dan batuan intrusi. Wilayah fisiografi Jakarta terletak pada dataran rendah berupa paparan banjir yang berasal dari gunung Gede Pangrango, Salak, dan Halimun membentang mulai dari daerah Serang sampai Cirebon yang mengalami proses pelipatan (BPS, 2010).

Tingginya populasi penduduk di kota ini mengakibatkan pesatnya pembangunan area permukiman. Perkembangan kota yang sangat pesat juga terjadi untuk sektor industri, transportasi dan sektor lainnya sehingga memberikan beban yang sangat besar terhadap permukaan tanah dan penggunaan air tanah dalam skala besar. Kondisi geomorfologi dan fisiologi seperti ini, didukung dengan pesatnya pembangunan perkotaan Jakarta, secara alami akan rawan terhadap banjir dan penggenangan, disertai penurunan muka tanah. Penurunan muka tanah merupakan suatu proses gerakan permukaan tanah yang didasarkan pada suatu datum geodesi yang terdapat berbagai macam variabel penyebabnya (Marfai and King, 2007). Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, penyebab penurunan muka tanah di Jakarta disebabkan oleh pengambilan air tanah secara berlebihan, konsolidasi alamiah lapisan tanah dan penurunan akibat beban bangunan (Abidin *et al.* 2009; Chaussard *et al.* 2013;Ng *et al.* 2012).Penurunan tanah suatu wilayah dapat dipantau dengan menggunakan beberapa metode, baik metode-metode hidrogeologi (misalnya pengamatan level muka air tanah serta pengamatan dengan *ekstensometer* dan *piezometer*), geoteknik, maupun

metode geodetik seperti survei sipat datar (*levelling*), survei gayaberat mikro, survei GPS (*Global Positioning System*), dan InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*). Umumnya penurunan muka tanah terjadi pada periode waktu yang lama dan dalam ukuran perubahan yang kecil sampai hitungan sentimeter sehingga dibutuhkan metode yang mampu memetakan perubahan permukaan sampai pada level tersebut. Oleh karena itu, teknik InSAR yang digunakan dalam pemetaan penurunan muka tanah dalam penelitian ini diharapkan mampu menghitung perubahan sampai skala kecil. Hal ini dikarenakan, InSAR merupakan teknik pencitraan yang memanfaatkan perbedaan fasa gelombang elektromagnetik untuk mendapatkan informasi tinggi di suatu daerah (Ismullah, 2004; Ferretti *et al.* 2007)

Penurunan muka tanah dapat diestimasi menggunakan data penginderaan jauh, seperti dengan data ALOS/PALSAR (*Advanced Land Observation Sattelite/Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar*). ALOS/PALSAR merupakan salah satu jenis data penginderaan jauh SAR yang diluncurkan oleh JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) pada 24 Januari 2006 melalui roket H-IIA. Data *Synthetic Aperture Radar* (SAR) dipilih karena kemampuannya untuk merekam citra pada waktu siang dan malam hari serta dapat menembus awan, kabut, dan asap sehingga informasi keadaan permukaan dapat diperoleh untuk semua daerah dalam *scene* citra tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah mengestimasi penurunan muka tanah dengan memanfaatkan data penginderaan jauh ALOS/PALSAR dengan menggunakan teknik InSAR dan hubungannya dengan daerah rawan banjir di Jakarta.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan data ALOS/PALSAR dengan lokasi kajian daerah Jakarta. Pengolahan data menggunakan 3 citra *ascending* ALOS/PALSAR dari tanggal 3 Agustus 2007–2 Juni 2008 menggunakan metode InSAR. Citra tanggal 3 Agustus 2007 dijadikan sebagai acuan nilai awal kombinasi citra untuk menghitung perubahan ketinggian permukaan tanah.

Metode InSAR ini telah dipergunakan pada beberapa penelitian untuk pemetaan penurunan muka tanah (Abidin *et al.* 2009; Chaussard *et al.* 2013; Cigna *et al.* 2012; Lazecky *et al.* 2010) Metode InSAR dipilih karena kemampuannya menghitung perubahan ketinggian muka tanah dalam hitungan sentimeter. Mekanisme yang digunakan dalam metode ini adalah melihat perubahan pada dua citra satelit pada daerah yang sama dan pada waktu berbeda untuk mengukur perubahan yang terjadi dimana hal yang diperhatikan adalah perbedaan fasa sinyal balik (*backscatter*) dari dua akuisisi data. Hal yang penting diperhatikan dalam pemilihan kombinasi citra adalah kombinasi citra yang memiliki *temporal baseline* dan *perpendicular baseline* yang kecil untuk meminimalisasi dekohorelasi spasial dan temporal dari interferogram kombinasi citra.

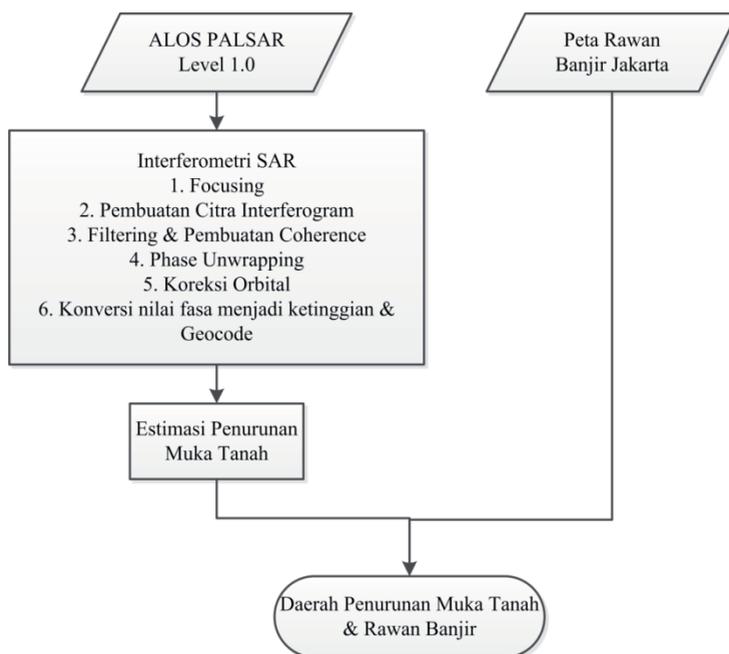
InSAR menghitung perubahan muka tanah dari total fasa perubahan permukaan ($\Delta\phi$) yang merupakan penjumlahan dari perubahan fasatopografi (ϕ_{topo}), *baseline* (ϕ_{orbit}), deformasi (ϕ_{defo}) untuk aktivitas seismik ataupun bukan aktivitas seismik dan juga untuk aktivitas penggunaan air tanah, perubahan akibat dari efek atmosfer (ϕ_{atmos}) dan fasa *noise* (ϕ_{noise}). Total perubahan tersebut dapat ditulis dengan Formula 1 sebagai berikut ini¹⁴.

$$\Delta\phi = \phi_{topo} + \phi_{orbit} + \phi_{defo} + \phi_{atmos} + \phi_{noise} \dots \dots \dots (1)$$

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* SARscape¹¹ melalui beberapa tahap yakni 1. *Focusing* untuk mengonversi *raw* data ALOS/PALSAR level 1.0 menjadi *Single Look Complex* (SLC). Dengan demikian setiap piksel pada citra SAR menyatakan amplitudo dan fasa dari sinyal balik yang berasal dari sinyal yang dipancarkan sensor, 2. Pembentukan citra interferogram yang dihasilkan dari dua citra pada daerah perekaman yang sama namun pada waktu yang berbeda. Perbedaan fasa kedua citra dapat diperhatikan dari citra interferogram tersebut. 3. Pembentukan *coherence* untuk menentukan kualitas pengukuran. Fasa yang memiliki nilai koherensi lebih rendah dari 0.3 tidak diperhitungkan pada proses berikutnya. Pada tahap ini juga dilakukan filter data interferometri, yang menghasilkan informasi

Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana Banjir

tematik dari objek permukaan bumi dikombinasi dengan koefisien sinyal balik. Oleh karena fasa citra interferogram adalah 2π , maka fasa perubahan menjadi sangat besar dikarenakan pengulangan nilai fasa tersebut. Dalam tahap ini dilakukan *phase unwrapping* untuk menghilangkan ambiguitas nilai fasa dan mendapatkan nilai fasa yang absolut. 4. Setelah dilakukan pengolahan *phase unwrapping*, maka dilakukankoreksi untuk memperbaiki orbit sehingga diperoleh estimasi orbit dan baseline yang lebih akurat. 5/. Konversi nilai fasamenjadi nilai ketinggian, dan dilakukan proses geocode ke dalam proyeksi peta. Secara keseluruhan tahapan pengolahan data untuk estimasi penurunan muka tanah dan hubungannya dengan daerah rawan banjir disajikan dalam Gambar 1.



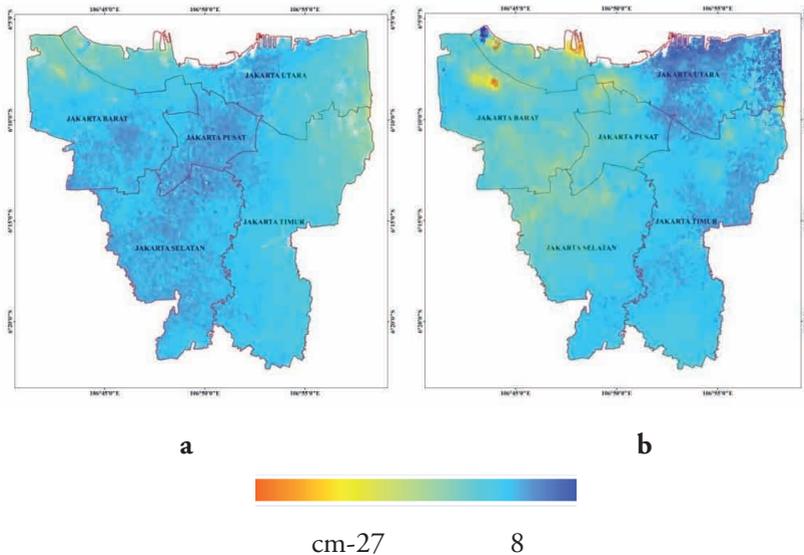
Gambar 1. Bagan alir penelitian

Selanjutnya, dari hasil pengolahan data penurunan muka tanah tersebut dianalisis hubungannya dengan daerah rawan banjir dan dampak terhadap lingkungan. Data daerah rawan banjir ini diperoleh dari hasil pengolahan data kegiatan penelitian Pengembangan Model Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Penentuan Zona Bahaya dan Analisis Risiko Banjir-LAPAN tahun 2013. Penentuan daerah rawan banjir tersebut diperoleh dari integrasi beberapa parameter data penginderaan jauh, yaitu penutup penggunaan lahan dari data Landsat Tematik Mapper dan informasi kemiringan lereng, elevasi lahan, dan jaringan sungai dari data *Digital Elevation Model Shuttle Radar Topography Mission* (DEMSRTM).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil estimasi penurunan muka tanah di wilayah Jakarta menggunakan data ALOS/PALSAR dengan teknik InSAR disajikan dalam Gambar 2a dan Gambar 2b. Gambar 2a memberikan gambaran penurunan muka tanah yang terjadi selama periode 3 Agustus 2007 hingga 18 September 2007, sedangkan Gambar 2b yang terjadi selama periode 3 Agustus 2007 hingga 2 Juni 2008. Nilai penurunan muka tanah yang makin tinggi ditunjukkan dengan warna makin mengarah kekuning hingga kemerahan. Berdasarkan Gambar 2 tersebut terlihat bahwa penurunan muka tanah di Jakarta dalam periode 3 Agustus 2007–2 Juni 2008 yang tertinggi mencapai 27 cm, yakni yang terjadi di Kamal Muara (Gambar 2b). Daerah dengan nilai penurunan muka tanah yang tinggi terjadi di bagian timur Jakarta yaitu daerah Cakung dengan tingkat penurunan muka tanah sebesar 24 cm. Sementara itu, penurunan muka tanah di bagian utara Jakarta, yaitu di daerah Penjaringan sebesar 20 cm dan Cilincing sebesar 23 cm dan penurunan muka tanah yang terjadi di daerah barat Jakarta yaitu Cengkareng sebesar 22 cm.

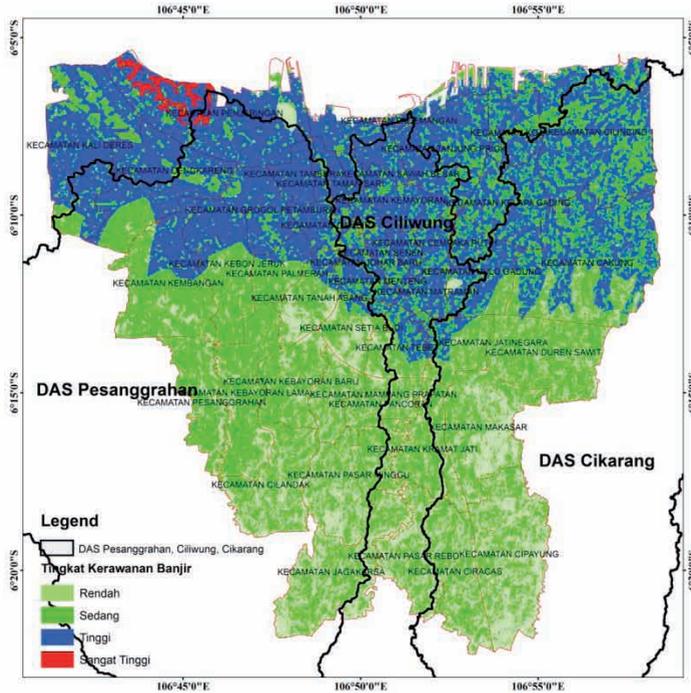
Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana Banjir



Gambar 2. Distribusi spasial penurunan muka tanah yang diestimasi menggunakan ALOS/PALSAR dengan teknik InSAR di Jakarta periode a. 3 Agustus 2007–18 September 2007 dan b. 3 Agustus 2007–2 Juni 2008. Daerah yang mengalami penurunan tanah yang tinggi ditunjukkan oleh tanda panah merah.

Apabila dibandingkan dengan pertambahan nilai penurunan muka tanah yang disajikan dalam Gambar 2a, maka penurunan muka tanah dalam periode 3 Agustus 2007–18 September 2007 adalah kecil. Hal ini disebabkan oleh perbedaan waktu akuisisi data yang singkat yaitu 1 bulan dibandingkan dengan yang terjadi dalam periode 3 Agustus 2007–2 Juni 2008 yaitu sekitar 11 bulan (Gambar 2b). Jika dihubungkan dengan Gambar 3, tampak bahwa kelima daerah dengan tingkat penurunan muka tanah di atas 20 cm tersebut berada pada daerah dengan kategori tingkat kerawanan banjir yang tinggi (Penjaringan, Cengkareng, Cakung, dan Cilincing) hingga sangat tinggi (Kamal Muara).

Penurunan Muka Tanah dan Hubungannya dengan Daerah Rawan Banjir di Jakarta



Gambar 3. Distribusi spasial daerah rawan banjir di Jakarta tahun 2012
 Sumber : Kegiatan Penelitian Pengembangan Model Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Penentuan Zona Bahaya dan Analisis Risiko Banjir-LAPAN tahun 2013

Informasi daerah-daerah yang mengalami penurunan muka tanah secara rinci disajikan dalam Tabel 1. Informasi ini diperoleh dari ekstraksi nilai penurunan muka tanah pada periode 3 Agustus 2007–2 Juni 2008 dan ekstraksi tingkat kerawanan banjir tahun 2012 untuk setiap kecamatan. Tingkat kerawanan banjir dominan diperoleh dengan menghitung jumlah piksel tingkat kerawanan yang paling dominan pada setiap kecamatan. Selain memperhatikan daerah yang mengalami penurunan muka tanah diatas 20 cm, daerah lain juga perlu mendapat perhatian misalnya daerah dengan nilai penurunan muka tanah dibawah 20 cm tetapi berada pada tingkat kerawanan

**Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh
untuk Mitigasi Bencana Banjir**

banjir yang tinggi (Grogol Petamburan, Kali Deres, Pademangan, Sawah Besar, Taman Sari, Kelapa Gading, Gambir, Kemayoran, Tabora, Tanjung Priok, Menteng, dan Senen). Jika diperhatikan dari lokasinya, sebagian besar tersebut berada di DAS Ciliwung yang memiliki potensi besar untuk terjadinya banjir limpasan dari hulu sungai. Perubahan tata guna lahan kota Jakarta yang sangat pesat dengan luas permukiman yang besar merupakan salah satu penyebab terjadinya penurunan muka tanah tersebut. Konsolidasi terjadi pada lapisan tanah pada wilayah ini yang merupakan daerah sedimen disebabkan oleh beban bangunan, disamping itu wilayah ini juga mengalami kompaksi akibat ekstraksi air tanah. Kondisi penurunan muka tanah ini yang diperkirakan sebagai penyebab makin luasnya daerah terdampak banjir dewasa ini.

Tabel 1. Estimasi penurunan muka tanah periode 3 Agustus 2007–2 Juni 2008 dan tingkat kerawanan tahun 2012 untuk masing-masing kecamatan

No.	Kecamatan	Nilai Maksimum Penurunan Muka Tanah (cm)	Tingkat Kerawanan Banjir Dominan
1	Penjaringan	27	Tinggi
2	Cakung	24	Tinggi
3	Cilincing	23	Tinggi
4	Cengkareng	22	Tinggi
5	Grogol Petamburan	15	Tinggi
6	Kali Deres	15	Tinggi
7	Pademangan	13	Tinggi
8	Kembangan	13	Sedang
9	Tanah Abang	12	Sedang
10	Sawah Besar	11	Tinggi
11	Makasar	11	Rendah
12	Taman Sari	11	Tinggi
13	Kebon Jeruk	9	Sedang

**Penurunan Muka Tanah dan Hubungannya
dengan Daerah Rawan Banjir di Jakarta**

Tabel 1. Estimasi penurunan muka tanah periode 3 Agustus 2007–2 Juni 2008 dan tingkat kerawanan tahun 2012 untuk masing-masing kecamatan (lanjutan)

No.	Kecamatan	Nilai Maksimum Penurunan Muka Tanah (cm)	Tingkat Kerawanan Banjir Dominan
14	Setia Budi	9	Sedang
15	Cipayung	9	Rendah
16	Pesanggrahan	9	Sedang
17	Kebayoran Baru	9	Sedang
18	Kelapa Gading	8	Tinggi
19	Gambir	8	Tinggi
20	Mampang Prapatan	8	Sedang
21	Kemayoran	7	Tinggi
24	Tambora	6	Tinggi
25	Kebayoran Lama	6	Sedang
26	Tanjung Priok	6	Tinggi
27	Palmerah	6	Sedang
28	Menteng	5	Tinggi
30	Pasar Minggu	5	Sedang
31	Cilandak	4	Sedang
32	Tebet	4	Sedang
33	Senen	4	Tinggi
34	Pancoran	3	Sedang

Secara umum daerah Jakarta merupakan daerah padat penduduk dan industri, laju infiltrasi yang sangat rendah disebabkan kurangnya daerah resapan air dan lapisan tanah yang telah mengalami kompaksi, dan sistem drainase yang buruk juga menyebabkan semakin luasnya daerah dan tingginya genangan banjir. Perlu diketahui juga bahwa wilayah pesisir pantai Jakarta yang relatif sangat dipengaruhi oleh kondisi pasang surut air laut yang sering menyebabkan terjadinya banjir rob. Di sisi lain, adanya fenomena kenaikan muka air laut juga turut memperburuk situasi. Kondisi ini telah

Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana Banjir

menyebabkan wilayah tergenang banjir makin luas, ketinggian genangan makin tinggi, dan durasi genangan makin lama. Tinggi muka air laut dalam skala regional saat ini meningkat sebesar 1.5–4.4 mm/tahun (Mimura dan Yoki, 2004), dan kemungkinan akan meningkat dua kali lipat dalam 1–2 dekade ke depan (IPCC, 2007).

Beberapa penelitian penurunan muka tanah di daerah DKI Jakarta dengan menggunakan teknik interferometri telah dilakukan sebelumnya dan memberikan hasil yang baik. Pemetaan penurunan muka tanah di Jakarta oleh Abidin dengan menggunakan teknik InSAR pada untuk data ALOS/PALSAR periode 2006–2007 menunjukkan bahwa penurunan muka tanah memiliki variasi nilai baik secara spasial maupun temporal. Namun diperoleh rata-rata penurunan muka tanah secara umum adalah sebesar 1–15 cm/tahun dan pada beberapa daerah penurunan muka tanah mencapai 20 cm/tahun. Hasil pengamatan tersebut telah divalidasi dengan data yang diperoleh dari survei leveling dan GPS. Disimpulkan dalam penelitiannya bahwa penurunan muka tanah tersebut disebabkan oleh ekstraksi air tanah pada lapisan akifer menengah dan lapisan akifer dalam, beban bangunan, dan konsolidasi lapisan tanah sedimen secara alami (Abidin *et al.* 2009)

Chaussard juga melakukan penelitian untuk pemetaan penurunan muka tanah dengan teknik InSAR terhadap citra *time-series* menggunakan 900 citra ALOS PALSAR tahun 2007–2008 untuk memetakan penurunan muka tanah di beberapa wilayah bagian barat Indonesia yaitu Sumatera, Jawa, dan Bali. Hasil yang diperoleh untuk penurunan muka tanah di Jakarta mencapai 21.8 cm/tahun. Dalam penelitian ini disimpulkan bahwa penurunan muka tanah ini disebabkan oleh beban bangunan dan ekstraksi air tanah secara intensif (Chaussard *et al.* 2013). Selain itu penelitian penurunan muka tanah lainnya untuk daerah Jakarta oleh Ng *et al.* dengan mengaplikasikan teknik *Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PSInSAR) terhadap 17 citra ALOS/PALSAR periode 2007–2010, diperoleh variasi nilai penurunan muka tanah sebesar 29.6 mm/tahun. Hasil pengolahan telah divalidasi dengan menggunakan data lapangan GPS dan hasilnya memiliki korelasi yang baik.

Penelitian serupa juga telah dilakukan untuk memetakan penurunan muka tanah daerah Semarang dengan mengaplikasikan teknik InSAR menggunakan 22 citra *ascending* ALOS/PALSAR dari Januari 2007–Januari 2009. Rata-rata penurunan muka tanah di wilayah Semarang adalah sebesar 8 cm/tahun, dan hasil penelitian tersebut memiliki konsistensi antara hasil pengolahan data dan hasil pengukuran lapangan. Berdasarkan hasil observasi penurunan muka tanah tersebut disebabkan oleh penggunaan air tanah secara intensif untuk keperluan industri, permukiman, dan pertanian. Kota Semarang yang berada pada daerah pantai memiliki kompresibilitas tanah yang tinggi (lempung dan pasir Holocene dengan ketebalan 80 m) turut memperburuk penurunan muka tanah (Lubis *et al.* 2011). Dampak dari penurunan muka tanah tersebut mengakibatkan semakin luasnya genangan banjir akibat pasang air laut (Abidin *et al.* 2010)

Jika membandingkan hasil pengolahan data dengan menggunakan ALOS/PALSAR pada periode 2007–2008 dengan nilai maksimum estimasi penurunan muka tanah sebesar 27 cm dengan penelitian lainnya dengan menggunakan data dan teknik yang sama memiliki kisaran nilai yang tidak jauh berbeda. Dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan data ALOS/PALSAR dengan menggunakan teknik InSAR memiliki potensi yang baik dalam melakukan estimasi penurunan muka tanah. Jika dibandingkan dengan penurunan muka tanah yang terjadi di Semarang ditinjau dari kondisi lingkungannya memiliki kondisi yang sama, yaitu berada pada lapisan tanah sedimen yang mengalami konsolidasi akibat perkembangan kota yang pesat dan penggunaan air tanah secara intensif untuk berbagai keperluan menjadi pemicu terjadinya penurunan muka tanah. Lokasi-lokasi dengan keadaan yang sama perlu mendapat perhatian untuk antisipasi semakin meluasnya penurunan muka tanah dan yang akan memicu semakin luasnya daerah rawan banjir.

Integrasi hasil penelitian ini dengan hasil pemetaan daerah rawan banjir diharapkan dapat membuktikan semakin luasnya daerah terdampak banjir yang terjadi di wilayah Jakarta dewasa ini.

4. KESIMPULAN

Data ALOS/PALSAR dengan teknik InSAR cukup baik digunakan untuk estimasi penurunan muka tanah sehingga menjadi alternatif yang baik untuk dikembangkan lebih lanjut. Tingginya penurunan muka tanah di sebagian besar daerah Jakarta Utara yang memiliki tingkat kerawanan banjir yang tinggi dan sangat tinggi akan semakin meningkatkan peluang terjadinya banjir dengan semakin dalam dan luasnya permukaan tanah yang rendah. Akan tetapi, lokasi lainnya juga perlu mendapat perhatian karena sekitar 37% daerah Jakarta merupakan daerah dengan tingkat kerawanan banjir yang tinggi dan sangat tinggi sehingga perlu dilakukan antisipasi untuk memperkecil peluang terjadinya banjir di daerah yang mengalami penurunan muka tanah. Namun daerah dengan tingkat kerawanan banjir yang rendah dan sedang yang berada di bantaran sungai perlu diperhatikan karena adanya peluang banjir dari limpasan sungai.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LAPAN atas fasilitas yang diberikan dalam penyediaan data penelitian ini, dan tim Penelitian Pengembangan Model Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Penentuan Zona Bahaya dan Analisis Risiko Banjir-LAPAN tahun 2013. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Rochadi Abdulhadi atas bimbingannya dalam penyusunan karya tulis ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., H. Andreas, I. Gumilar, M. Gamal, Y. Fukuda, and T. Deguchi. 2009. Land subsidence and urban development in Jakarta (Indonesia). *TS 6F – Mapping, Aerial Survey and Remote Sensing I*.
- Abidin, H. Z., H. Andreas, I. Gumilar, T. P. Sidiq, M. Gamal, D. Murdohardono, Supriyadi, and Y. Fukuda. 2010. Studying land subsidence in Semarang (Indonesia) using geodetic methods. FIG Congress, Australia.

- 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.
- Cigna F., B. Osmanoglu, E. Cabral-Cano, T. H. Dixon, J. A. Avila-Olivera, V. H. Garduño-Monroy, C. DeMet, S. Wdowinski. 2012. Monitoring land subsidence and its induced geological hazard with synthetic aperture radar interferometry: A case study in Morelia, Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 117:146–161.
- Ferretti A., A. M. Guarnieri, C. Prati, and F. Rocca. 2007. InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. European Space Agency.
- Gambaran Umum Wilayah Jakarta (http://ppejawa.com/12_dki_jakarta.html, diakses 30 November 2014).
- 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.
- Ismullah, I. H. 2004. Pengolahan fasa untuk mendapatkan Model Tinggi Permukaan Dijital (DEM) pada Radar Apertur Sintetik Interferometri (InSAR) data satelit. *PROC. ITB Sains & Tek*, 36A(1):11–32.
- Jumlah penduduk Provinsi DKI Jakarta per Kab/Kota tahun 2010 (<http://jakarta.bps.go.id/index.php?bWVudT0yMzA0JnBhZ2U9ZGF0YSZzdWl9MDQmaWQ9MTE=>, diakses 30 November 2014)
- Lazecky, M., E. Jirankova, and D. Bohmova. 2010. Usage of InSAR techniques to detect and monitor terrain subsidence due to mining activities, *Geoscience Engineering*, LVI(4):32–49. ISSN 1802-5420.
- 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.

**Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh
untuk Mitigasi Bencana Banjir**

- Marfai, M.A and L. King. 2007. Monitoring *land subsidence* in Semarang, Indonesia. *Springer Journal of Environmental Geology*, 53:651–659.
- 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.
- 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.
- SARscape Software, <http://www.sarmap.ch>