

REDUKSI ORBIT PADA INSAR UNTUK PENGAMATAN DEFORMASI GUNUNG MERAPI

ORBIT REDUCTION IN INSAR FOR DEFORMATION OBSERVATIONS MOUNT MERAPI

Agustan¹

¹ Pusat Teknologi Inventarisasi Sumberdaya Alam (PTISDA)
 Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
 Email: agustan@bppt.go.id

Abstrak

Deformasi permukaan atau perubahan bentuk pada permukaan merupakan salah satu parameter penting dalam pemantauan gunungapi. Informasi ini berguna untuk mengetahui proses dinamika magma di bawah permukaan dan memungkinkan untuk pemodelan dan prediksi aktivitas gunungapi. Salah satu teknik untuk memantau perubahan permukaan adalah interferometri dari dua data satelit radar atau *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR). Salah satu komponen yang cukup penting dalam teknik ini adalah estimasi orbit. Pengaruh orbit ini cenderung bersifat sistematis sehingga dapat didekati dengan model matematik. Tulisan ini membahas tentang pengaruh dari orbit terhadap estimasi InSAR dan upaya untuk mereduksi pengaruh orbit menggunakan model polinomial. Sebagai contoh kajian, data satelit ALOS-PALSAR untuk daerah Gunung Merapi diolah menggunakan perangkat lunak bebas dan terbuka (*Free Open Source Software*). Dapat disimpulkan bahwa trend pengaruh orbit pada satelit ALOS-PALSAR dapat direduksi menggunakan model matematik polinomial orde 2 sampai orde 4.

Kata kunci: orbit, InSAR, deformasi, polinomial

Abstract

Ground deformation is an important parameter to monitor volcanic activities. It reflects the dynamic processes beneath the surface and should be monitored to understand the volcano status. One technique to monitor ground deformation is Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) which works based on radar data that observed whether by airplane or satellite. One important factor in InSAR data processing is orbital effect that appears as a systematic phase in interferogram. The systematic orbital phase can be modelled by mathematical approach especially polynomial equation. This article assesses the utilization of polynomial approach to reduce the orbital phase by using free open source software. As a case study, ALOS-PALSAR data for Merapi Volcano is chosen and it is found that the polynomial function order 2 to 4 is suitable to reduce orbital phase for InSAR estimates after phase unwrapping process.

Keywords: orbital phase, InSAR, deformation, polynomial

PENDAHULUAN**Latar Belakang**

Salah satu keunggulan metode penginderaan jauh berbasis data satelit (*satellite based remote sensing*) adalah kemampuan untuk mencakup daerah yang lebih luas dalam satu kali pengamatan sehingga informasi yang diberikan lebih komprehensif untuk skala regional. Salah satu teknik dalam penginderaan jauh adalah Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR).

Teknik ini mengacu pada sebuah sistem atau konfigurasi yang menimbulkan hubungan yang koheren antara dua data SAR dari pengamatan satelit radar untuk beberapa target yang sama. Teknik ini menggunakan prinsip dasar penjalaran gelombang elektromagnetik dan menekankan pada pengamatan fase dan beda fase gelombang. Teknik InSAR ini mempunyai dua aplikasi utama yaitu: membuat bentuk permukaan digital (*digital elevation model* atau DEM) dan mengestimasi deformasi (Capcova, 2005).

Teknik InSAR untuk pemetaan topografi dikenalkan pertama kali oleh Graham (1974) dan Goldstein et al. (1988) pertama kali menyajikan DEM hasil dari InSAR menggunakan data SEASAT-A L-band SAR. Selanjutnya teknik ini terus dikembangkan dan digunakan untuk memantau perubahan permukaan atau deformasi yang terjadi akibat suatu proses kegiatan alamiah (*tectogenic* dan *seismogenic*) atau aktivitas manusia (*anthropogenic*). Aplikasi ini dikenalkan oleh Gabriel et al. (1989) dengan istilah *differential* InSAR atau DInSAR yang selanjutnya dibuktikan oleh Massonnet et al. (1993; 1994) yang menggambarkan dengan jelas perubahan atau deformasi permukaan bumi dan daerah yang terdampak akibat gempa bumi. Teknik InSAR ini juga dapat diterapkan dalam aplikasi lain, misalnya: untuk aplikasi kelautan (*ocean current measurement*), klasifikasi lahan, deformasi gunungapi, penurunan tanah (*land subsidence*), dan pemantauan kutub bumi.

Dalam prakteknya, teknik InSAR ini membutuhkan dua data SAR dari dua waktu pengamatan yang berbeda untuk lokasi yang sama dan diolah dengan prinsip perkalian bilangan kompleks. Data SAR itu sendiri merupakan produk dari hasil pengolahan data radar yang informasinya disimpan dalam sebuah piksel dengan format bilangan kompleks. Bilangan kompleks tersebut mewakili dua komponen data radar yaitu *amplitude* dan *phase* sehingga data SAR juga dikenal dengan istilah *Single Look Complex (SLC) image* (Hansen, 2001). Data SAR atau SLC dapat dimodelkan secara sederhana sebagai:

$$y = A.e^{i\phi} \dots\dots\dots(1)$$

dengan: y mewakili simbol medan elektromagnetik data SAR atau SLC; A mewakili amplitudo atau kekuatan pulsa (*electromagnetic pulse*) yang menggambarkan jumlah gelombang elektromagnetik yang diterima oleh sensor dari pantulan obyek di permukaan bumi; dan ϕ adalah sudut fase gelombang yang mewakili informasi jarak antara sensor (satelit) dengan piksel suatu area permukaan bumi (Raucoules et al., 2007).

Perkalian dua data SAR yang terdiri dari *master* (biasanya data yang diamati lebih dulu atau waktu pengamatan pertama) dan *slave* (data

pengamatan kedua) menghasilkan interferogram yang dapat dimodelkan sebagai:

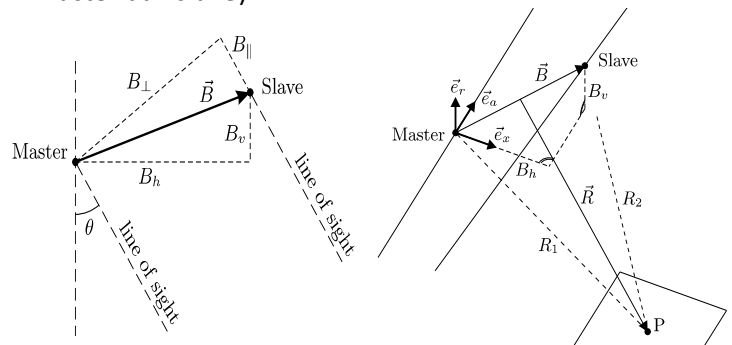
$$y_{master} * y_{slave} = A_{master} A_{slave} e^{i(\phi_{master} - \phi_{slave})} \dots\dots\dots(2)$$

$$\phi = \phi_{master} - \phi_{slave} = \tan^{-1}\left(\frac{I}{R}\right) = -\frac{4\pi(R_{master} - R_{slave})}{\lambda} \dots\dots\dots(3)$$

$$\phi = \phi_{curv} + \phi_{topo} + \phi_{orb} + \phi_{defo} + \phi_{atm} + \phi_{noise} \dots\dots\dots(4)$$

dengan: ϕ sebagai fase interferogram, R sebagai jarak antara obyek dipermukaan bumi dengan sensor, ϕ_{curv} sebagai sinyal fase akibat kelengkungan bumi, ϕ_{topo} sebagai sinyal fase akibat efek topografi, ϕ_{orb} sebagai sinyal fase akibat orbit satelit, ϕ_{atm} sebagai sinyal fase akibat pengaruh atmosfer, ϕ_{noise} sebagai sinyal fase akibat noise yang mungkin terjadi.

Untuk keperluan penentuan deformasi permukaan bumi, maka sinyal fase selain deformasi pada persamaan (4) harus dihilangkan dari interferogram sehingga informasi yang diperoleh betul merupakan akibat perubahan permukaan. Tulisan ini akan membahas metode untuk menghilangkan pengaruh orbit yang timbul dalam sebuah interferogram. Pengaruh orbit yang timbul pada sebuah interferogram disebabkan oleh perbedaan komponen paralel pada orbit satelit saat melakukan pengamatan pada dua waktu yang berbeda (perbedaan posisi orbit *master* dan *slave*).



Gambar 1. Ilustrasi Komponen Baseline dari Teknik InSAR. Master adalah posisi satelit pada pengamatan pertama, Slave adalah posisi satelit pada pengamatan kedua. B adalah *baseline* orbit, B_{\perp} adalah komponen tegak lurus (*perpendicular baseline*) dan B_{\parallel} adalah komponen paralel dari baseline antar dua waktu pengamatan.

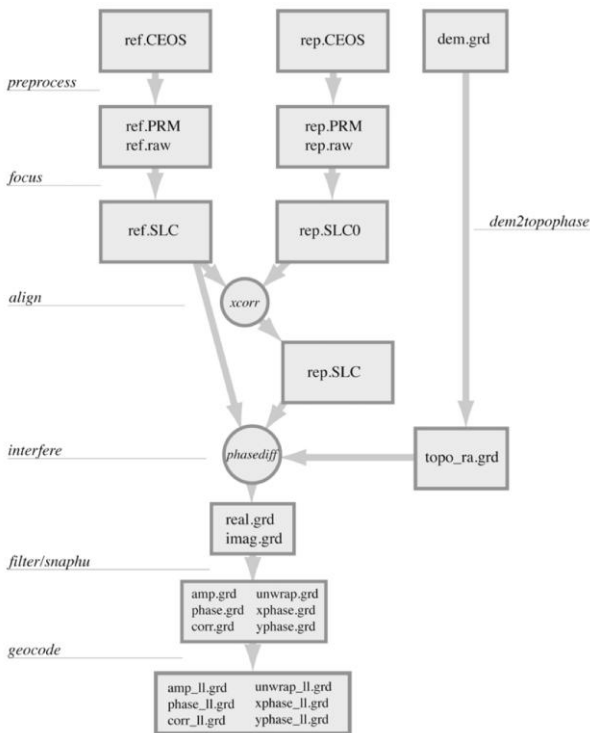
METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Untuk mengkaji pengaruh orbit yang timbul, data satelit ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) dengan sensor PALSAR (*Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar*) diolah menggunakan teknik InSAR. Data daerah Gunung Merapi yang disediakan oleh RESTEC (*The Remote Sensing Technology Center of Japan*) melalui kerjasama yang tergabung dalam *Working Group 3 (WG-3)* dijadikan sebagai bahan kajian. Data tersebut diamati pada tanggal 16 September 2010 dan 1 November 2010, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak GMTSAR (Sandwell et al., 2011).



Gambar 2. Ilustrasi Pasangan Data ALOS-PALSAR untuk Gunung Merapi



Gambar 3. Ilustrasi Alur Pengolahan Data Menggunakan GMTSAR (Sandwell et al., 2011)

Perangkat lunak GMTSAR merupakan perangkat lunak bebas terbuka (*free open source software* atau FOSS) yang dikembangkan oleh Scripps Institution of Oceanography, San Diego State University dan didukung oleh perusahaan Conoco Phillips. Secara umum, alur pengolahan data menggunakan GMTSAR dapat dilihat pada gambar 3.

Tahapan pengolahan data ALOS-PALSAR dimulai dengan menjadikan data pengamatan 16 September 2012 sebagai *master* dan data pengamatan 1 November 2012 dijadikan sebagai *slave*. Tahapan selanjutnya adalah *preprocess* dan *focusing* yang intinya adalah untuk merekonstruksi nilai tengah dari fungsi Doppler untuk merekonstruksi data radar menjadi citra radar. Selanjutnya perangkat lunak GMTSAR langsung membentuk interferogram (proses *interfere*) dan mengeliminasi fase akibat topografi melalui teknik *differential* menggunakan data SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.

Pengaruh orbit terlihat biasanya terlihat pada hasil setelah tahap *phase unwrapping*, untuk itu perlu dilakukan pemeriksaan terhadap produk setelah langkah *filter/snaphu* seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3 di atas. Apabila estimasi komponen paralel pada *baseline* orbit dalam pengolahan data SAR tidak terlalu akurat, maka akan tampak pengulangan sistematis (*trend*) pada interferogram yang dihasilkan. Gambar 1 memperlihatkan konfigurasi orbit untuk dua waktu pengamatan dan dapat ditentukan menurut persamaan (5) dan (6).

$$B_{//} = B_h \bullet \sin \theta(R) - B_v \bullet \cos \theta(R) \dots\dots\dots (5)$$

$$B_{\perp} = B_h \bullet \cos \theta(R) + B_v \bullet \sin \theta(R) \dots\dots\dots (6)$$

Dari persamaan (3) dan (5) dapat ditemukan hubungan pada persamaan (7) (Tobita et al., 1998) dan dapat dimodelkan dengan persamaan polinomial.

$$\phi = \frac{4\pi(R_{master} - R_{slave})}{\lambda} \approx \frac{4\pi}{\lambda} B_{//} \approx \frac{4\pi B}{\lambda} \sin \left\{ \theta - \cos^{-1} \left(\frac{H_{sat} - H_{topo}}{R} \right) \right\} \dots\dots (7)$$

Sehingga trend pengaruh orbit dapat diestimasi menggunakan model polinomial dengan fungsi dari dua dimensi data pengamatan (*gridded data*) dengan persamaan (8) yang disediakan dengan

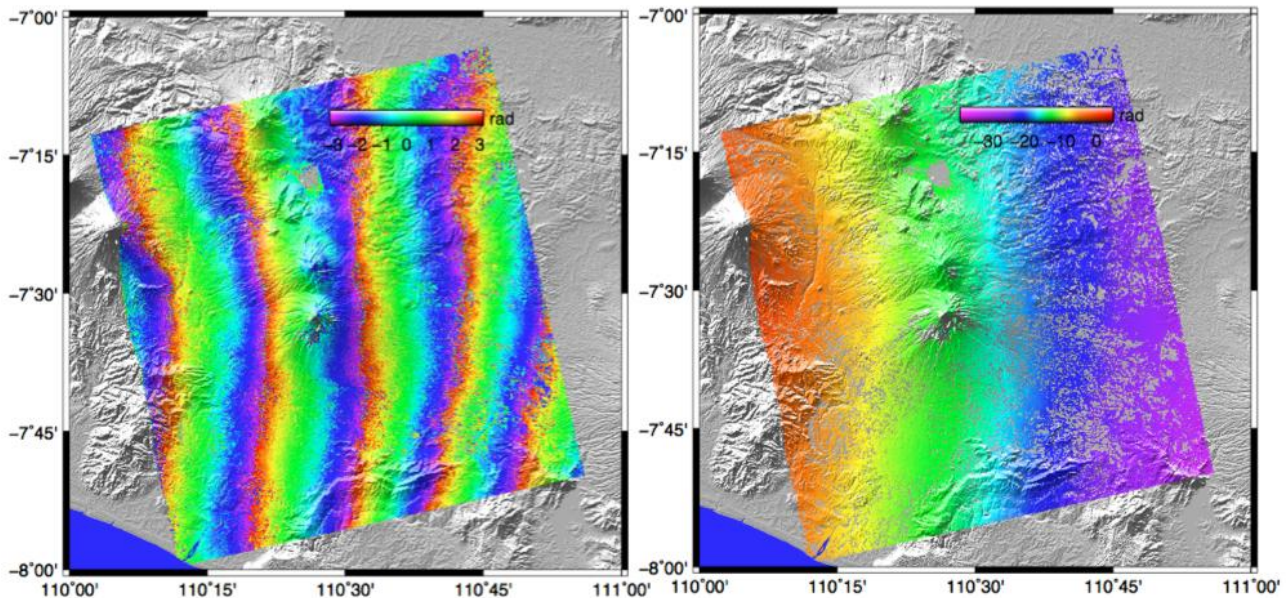
fungsi *grdtrend* pada perangkat lunak Generic Mapping Tools atau GMT (Wessel and Smith, 1991). Persamaan 8 dapat dilihat pada lampiran. Tulisan ini mengkaji dan memperlihatkan hasil yang diperoleh dari upaya reduksi pengaruh orbit pada interferogram dengan persamaan polinomial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data ALOS-PALSAR dengan perangkat lunak GMTSAR menghasilkan interferogram yang terdiri dari komponen fase dari topografi atau permukaan bumi, komponen fase dari kelengkungan bumi dan orbit satelit, komponen fase dari atmosfer, komponen fase dari perubahan

permukaan atau deformasi dan komponen fase dari noise. Untuk keperluan analisis deformasi, semua komponen fase kecuali deformasi harus dihilangkan.

Komponen fase akibat permukaan bumi dihilangkan dengan teknik *differential* menggunakan data SRTM seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Komponen fase akibat atmosfer bersifat acak (random) dan sangat bergantung pada keadaan atmosfer saat pengamatan. Sebaliknya, komponen fase akibat pengaruh orbit bersifat sistematis sehingga dapat dimodelkan. Hasil pengolahan data dengan GMTSAR dapat dilihat pada Gambar 4.

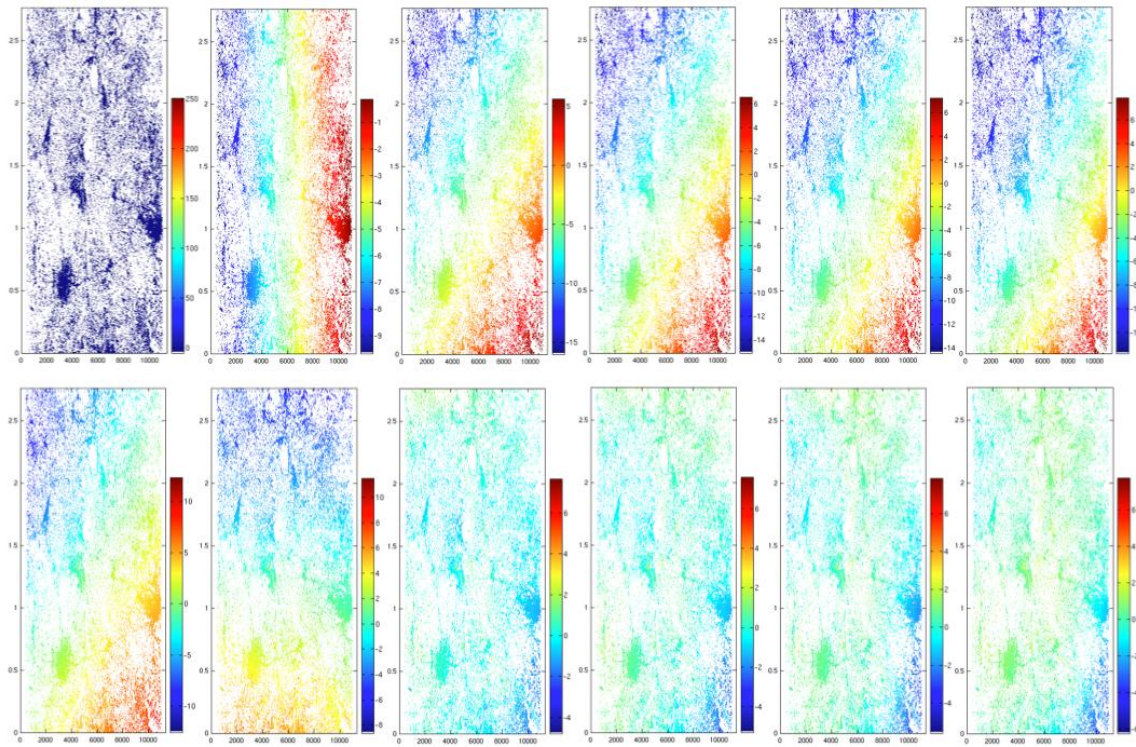


Gambar 4. Interferogram Hasil Pengolahan Data ALOS-PALSAR Menggunakan GMTSAR. Gambar sebelah kiri adalah interferogram dengan fase kelipatan 2π (wrapped phase), dan gambar sebelah kanan adalah hasil *phase unwrapping* menggunakan algoritma SNAPHU (Chen and Zebker, 2001)

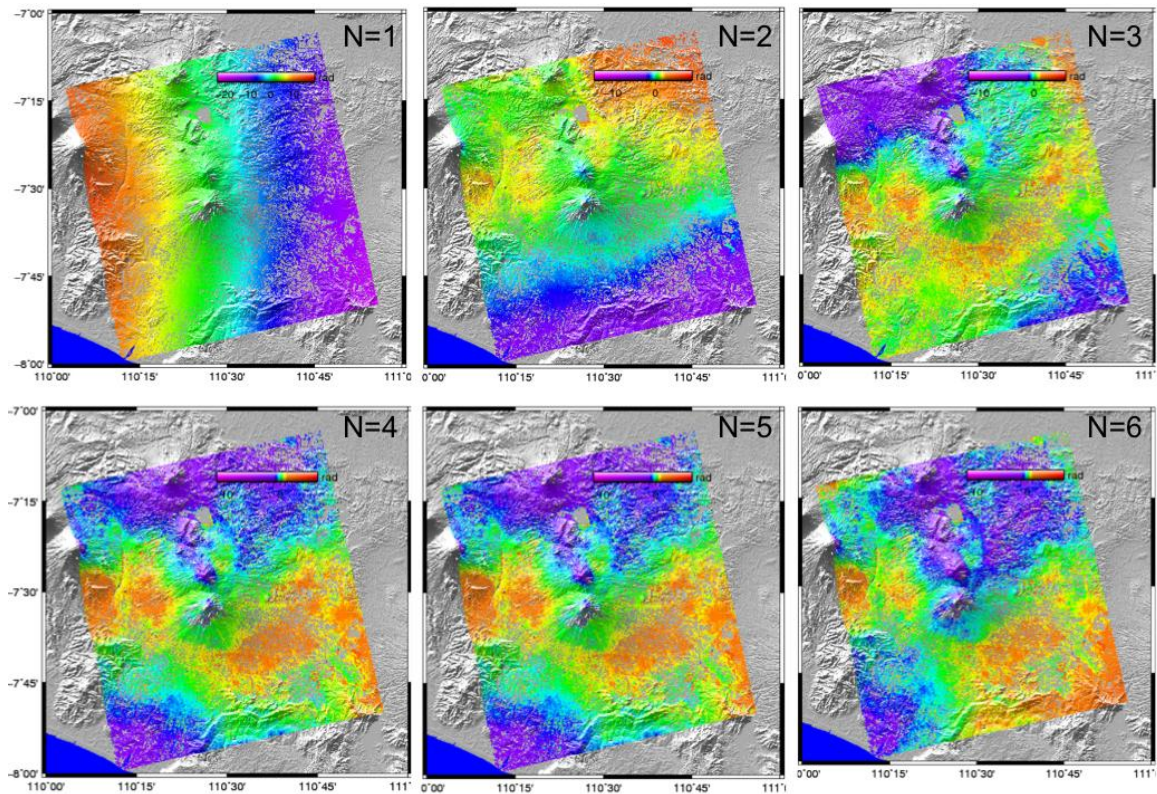
Gambar 4 di atas memperlihatkan interferogram dengan pengulangan warna (*fringes*) yang sistematis akibat pengaruh dari kesalahan estimasi komponen paralel orbit. Untuk itu dilakukan analisis orde polinom untuk memodelkan kesalahan sistematis tersebut, dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 5.

Gambar 5 memperlihatkan hasil pengurangan interferogram dengan simulasi trend akibat pengaruh kesalahan orbit berdasarkan fungsi *grdtrend* dari perangkat lunak GMT. Gambar

bagian atas adalah percobaan dari orde 1 sampai orde 6. Terlihat bahwa trend dengan polinom orde 4 dan 5 sudah menunjukkan hasil yang konvergen, sehingga percobaan dibatasi sampai polinom orde 6. Selisih antara interferogram hasil pengolahan InSAR dengan interferogram hasil simulasi pengaruh orbit diperlihatkan pada nilai residu. Terlihat bahwa residu mulai konvergen pada polinom orde 3, 4 dan 5.



Gambar 5. Hasil Simulasi Trend Pengaruh Orbit dan Residual. Gambar bagian atas adalah model trend pengaruh orbit berdasarkan urutan orde polinom, mulai dari orde 1 (paling kiri) sampai orde 6 (paling kanan). Gambar bagian bawah memperlihatkan residual berdasarkan urutan orde polinom



Gambar 6. Interferogram Hasil Reduksi Pengaruh Topografi dan Orbit

Gambar 6 memperlihatkan hasil akhir dari model reduksi pengaruh orbit dari interferogram. Terlihat bahwa reduksi pengaruh orbit dengan polinom orde 4 dan 5 memberikan hasil yang relatif sama.

PENUTUP

Dari hasil pengolahan data ALOS-PALSAR daerah Merapi bulan September dan November 2012 menggunakan perangkat lunak bebas terbuka GMTSAR terlihat bahwa pengaruh orbit dominan pada interferogram. Untuk itu diperlukan upaya untuk mereduksi komponen fase tersebut untuk mengkaji perubahan permukaan yang terjadi akibat letusan gunungapi yang dimulai pada akhir Oktober 2012. Dari hasil analisis data, dapat disimpulkan bahwa pengaruh orbit tersebut dapat direduksi dengan menggunakan persamaan polinom orde 4 dari fungsi *grdtrend* dari perangkat lunak *Generic Mapping Tools*.

UCAPAN TERIMAKASIH

The Remote Sensing Technology Center of Japan, RESTEC yang telah menyediakan data PALSAR data, David Sandwell, Rob Mellors, Xiaopeng Tong, Matt Wei, dan Paul Wessel yang telah membangun GMTSAR.

DAFTAR PUSTAKA

Capcova, I. (2005) Satellite Orbit Errors and Their Influence on Interferograms, *Diploma Thesis*, Department of Mapping and Cartography Faculty of Civil Engineering Czech Technical University, Prague, 84p.

Chen, C.W. and Zebker, H.A. (2001) Two-dimensional phase unwrapping with use of statistical models for cost functions in nonlinear optimization, *Journal of the Optical Society of America A*, 18, pp. 338-351.

Gabriel, A. K., Goldstein, R.M. and Zebker, H.A. (1989) Mapping Small Elevation Changes Over Large Areas: Differential Radar Interferometry, *Journal*

of Geophysical Research, 94(B7), pp. 9183-9191.

Graham, L. C. (1974) Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping, *Proceeding of the IEEE*, 62(2), pp. 763-768.

Goldstein, R. M., Zebker, H.A. and Werner, C. L. (1988) Satellite Radar Interferometry: Two-Dimensional Phase Unwrapping, *Radio Science*, 23(4), pp. 713-720.

Hanssen, R.F. (2001) *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 328 pp.

Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K. and Rabaute, T. (1993) The Displacement Field of the Landers Earthquake Mapped by Radar Interferometry, *Nature*, 364(6433), pp. 138-142.

Massonnet, D., Feigl, K., Rossi, M. and Adragna, F. (1994) Radar Interferometric Mapping of Deformation in the Year After the Landers Earthquake, *Nature*, 369(6477), pp. 227-230.

Raucoules, D., Colesanti, C. and Carnec, C. (2007) Use of SAR Interferometry for Detecting and Assessing Ground Subsidence. *Comptes Rendus Geosciences*, 339(5): 289-302.

Sandwell, D., R. Mellors, X. Tong, M. Wei, and P. Wessel (2011), Open radar interferometry software for mapping surface deformation, *Eos Trans. AGU*, 92(28), doi:10.1029/2011EO280002.

Tobita, M., Fujiwara, S., Ozawa, S., Rosen, P.A., Fielding, E.J., Werner, C.L., Murakami, M., Nakagawa, H., Nitta, K., Murakami, M. (1998) Deformation of the 1995 North Sakalin Earthquake Detected by JERS-1/SAR Interferometry. *Earth Planet Space*, 50, pp. 313-325.

Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1991) Free Software Helps Map and Display Data, *EOS Trans, AGU*, 72, pp.

LAMPIRAN

$$trend = m_1 + m_2x + m_3y + m_4xy + m_5x^2 + m_6y^2 + m_7x^3 + m_8x^2y + m_9xy^2 + m_{10}y^3 \dots\dots\dots (8)$$