

UJI AKURASI VERTIKAL DTM ALOS PALSAR TERHADAP PENGUKURAN KOMBINASI DGNSS-ALTIMETER

(VERTICAL ACCURACY TEST OF DTM ALOS PALSAR ON DGNSS- ALTIMETER COMBINATION MEASUREMENT)

Atriyon Julzarika*) dan Esthi Kurnia Dewi

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

*e-mail: verbhakov@yahoo.com

Diterima 7 November 2017; Direvisi 16 Mei 2018; Disetujui 16 Mei 2018

ABSTRACT

Height model is model include the information of height data and its coordinate in earth surface. Height model is one of the geological parameters that are useful for a variety of applications of survey and mapping. Height model in the form of Digital Surface Model, Digital Elevation Model, Digital Terrain Model, Digital Terrain Elevation Digital, Geoid, and others. Height model can be made with data, aerial photographs, satellite imagery, and Interferometry Synthetic Aperture Radar. This research aims to test the vertical accuracy of ALOS PALSAR against the combination measurement of Differential Global Navigation Satellite System-Altimeter. Digital Surface Model is made from images of ALOS PALSAR with interferometry Synthetic Aperture Radar methods. Digital Elevation Model retrieved after height error correction and terrain correction of Digital Surface Model. Digital Terrain Model obtained after the integration of river features and bathymetry in Digital Elevation Model ALOS PALSAR. Then do the vertical accuracy test of ALOS PALSAR against the combination measurement of Differential Global Navigation Satellite systems-Altimeter. Differential Global Navigation Satellite systems received the data from the GPS, Beidou, GLONASS, SBAS, MSAS, Gagan, and QZSS satellite and uses period of 14 days before the measurement with the time in measurement. During the measurement for processing the position data and height value. Differential Global Navigation Satellite systems was connected with server of internet provider. Region of vertical accuracy test is in Merauke regency in 2016. The tolerance standard of this vertical accuracy test refers to National Standard for Spatial Data Accuracy in 1.96σ (95%) tolerance. From the two vertical accuracy test, height difference test and tranverse profile test, Digital Terrain Model ALOS PALSAR have fulfilled tolerance in $4,996e-16$ (~0) and 80,791 cm so it can be used for various applications of survey and mapping for 1:10.000 scale.

Keywords: *Digital Terrain Model, ALOS PALSAR, Differential Global Navigation Satellite Systems-Altimeter, vertical accuracy*

ABSTRAK

Model tinggi adalah model yang meliputi informasi data tinggi dan koordinatnya di permukaan bumi. Model tinggi merupakan salah satu parameter geologi yang bermanfaat untuk berbagai aplikasi survei dan pemetaan. Model tinggi berupa model permukaan digital, model elevasi digital, model terrain digital, model terrain elevasi digital, Geoid, dan lain-lain. Model tinggi dapat dibuat dengan data lapangan, foto udara, interferometri radar sintetis, dan citra satelit. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan uji akurasi vertikal model terrain digital ALOS PALSAR terhadap pengukuran kombinasi diferensial sistem satelit navigasi global-Altimeter. Model permukaan digital dibuat dari citra ALOS PALSAR dengan metode interferometri radar sintetis. Model elevasi digital diperoleh setelah dilakukan koreksi kesalahan tinggi dan koreksi terrain model permukaan digital. Model terrain digital diperoleh setelah dilakukan integrasi fitur sungai dan batimetri terhadap model permukaan digital. Model terrain digital ALOS PALSAR dilakukan uji akurasi vertikal dengan pengukuran kombinasi diferensial sistem satelit navigasi global-Altimeter. Diferensial sistem satelit navigasi global menerima data dari satelit GPS, Glonass, Beidou, Gagan, MSAS, SBAS, dan QZSS dan menggunakan periode waktu 14 hari sebelum pengukuran dengan waktu saat pengukuran. Selama pengukuran, untuk mengolah data posisi dan ketinggian. Diferensial sistem satelit navigasi global dikoneksikan dengan server melalui jaringan internet selular. Lokasi uji akurasi vertikal dilakukan di Kabupaten Merauke pada tahun 2016. Standar toleransi uji akurasi vertikal ini mengacu kepada toleransi standar nasional untuk akurasi data spasial sebesar $1,96\sigma$ (95 %). Dari dua jenis uji akurasi vertikal, yakni uji beda tinggi dan uji profil melintang, model terrain digital ALOS PALSAR telah memenuhi toleransi sebesar $4,996e-16$ (~0) dan 80,791 cm sehinggadapat digunakan untuk berbagai aplikasi survei dan pemetaan skala 1:10.000.

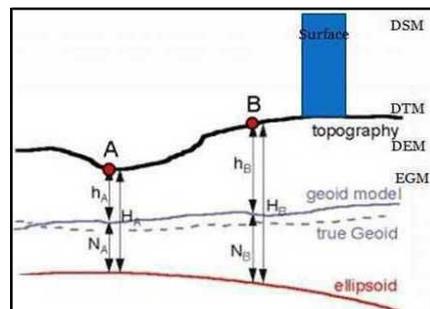
Kata kunci: Model terrain digital, ALOS PALSAR, diferensial sistem satelit navigasi global-Altimeter, akurasi vertikal.

1 PENDAHULUAN

Model tinggi terdiri dari dua informasi, yaitu data tinggi dan data posisi koordinat dari tinggi tersebut di permukaan bumi (Freedon et al., 2010). Penyimpanan data model tinggi menggunakan format Geotiff dengan tipe file *32 bit floating point samples* (ASPRS, 2014). Pada beberapa referensi, istilah model tinggi sering dikaitkan dengan beberapa istilah lainnya yaitu *Digital Surface Model* (DSM) (Li et al., 2005), *Digital Elevation Model* (DEM) (Petrie & Kennie, 1987), *Digital Terrain Model* (DTM) (Li et al., 2005), dan Geoid (Vanicek & Krakiwsky, 1986); (Heiskanen & Moritz, 1967), lihat Gambar 1-1. Model tinggi dapat dibuat dari data optik, radar, lidar, dan sonar (Julzarika, 2013).

Masalah ketersediaan model tinggi yang siap pakai di Indonesia adalah belum tersedia model tinggi lokal dan regional yang lengkap dari peta topografi. Permasalahan lainnya adalah data

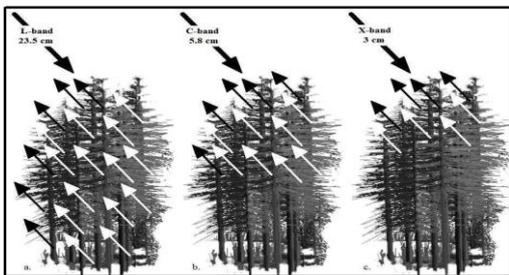
tersebut belum dilakukan koreksi undulasi geoid terhadap *Earth Gravitational Model* (EGM) 2008 dan koreksi kesalahan tinggi. Saat ini model tinggi yang siap pakai adalah SRTM C dengan bidang referensi EGM 1996 dan belum dikoreksi kesalahan tinggi (Sideris, 2008; Sefercik & Jacobsen, 2006; Mora et al., 2013a). Akibat masalah keterbatasan ini maka digunakan alternatif pembuatan DTM dengan integrasi berbagai data penginderaan jauh.



Gambar 1-1: Perbedaan DSM, DEM, DTM, EGM (Julzarika, 2009)

Data penginderaan jauh dapat digunakan untuk pembuatan model tinggi. Data tersebut berupa citra *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Citra SAR memiliki beberapa jenis band, yaitu band X, C, L, dan P yang memiliki perbedaan pendefinisian dalam bidang referensi tinggi permukaan (Mora et al., 2013a). SAR dari X Band hanya mampu memetakan pada permukaan obyek bangunan maupun tajuk (Vastaranta et al., 2014).

SAR dengan C Band memiliki penetrasi lebih tajam, demikian pula dengan SAR L Band. SAR P band bisa melakukan penetrasi sampai ke permukaan tanah (Mora et al., 2013b). Tinggi obyek dapat diketahui dari beda referensi tinggi antara X atau C band terhadap L atau P band (Crosetto et al., 2010; Julzarika, 2011a), lihat Gambar 1-2.



Gambar 1-2: Ilustrasi penetrasi band X, C, L, dan P data SAR (Crosetto et al., 2010)

Setiap DEM memiliki kelebihan dan kelemahan yang berbeda-beda terkait dengan kedetilan informasi, tingkat akurasi data, cakupan perekaman data, dan hal-hal lainnya, seperti kesalahan tinggi (*bull eye's*) atau hilangnya data karena tutupan awan (Julzarika & Susanto, 2009).

DEM berbasis *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (InSAR) sering memiliki kesalahan tinggi yang disebabkan oleh *layover*, *shadow* dan *atmospheric effect* (*temporal decorrelation*) (Mora et al., 2013b). Sedangkan pada DEM optik memiliki permasalahan cakupan sempit dan adanya kesalahan tinggi yang terjadi bila pada saat pembuatannya, distribusi dan jumlah titik kontrol tanah tidak mencukupi atau adanya tutupan awan (Trisakti et al., 2010).

Pembuatan DTM selama ini diperoleh dari fotogrammetri, LIDAR, dan InSAR (Vastaranta et al., 2012). Salah satu contoh pembuatan DSM dengan InSAR adalah ALOS PALSAR. Akurasi vertikal DSM ALOS PALSAR lebih tinggi dibandingkan DEM optik (Julzarika, 2015). Citra ALOS PALSAR menggunakan sensor PALSAR untuk perekamannya. PALSAR adalah instrument yang secara penuh polarimetrik, bekerja dengan salah satu dari mode, polarisasi tunggal (HH atau VV), polarisasi rangkap dua (HH+HV atau VV+VH) atau polarimetrik penuh (HH+HV+VH+VV) (JAXA, 2016). Sudut pandang adalah 34,2 derajat (JAXA, 2006a). Polarisasi diubah dalam setiap pulsa dari sinyal transmisi, dan sinyal polarisasi ganda diterima secara simultan. Operasi dibatasi dalam sudut datang yang lebih rendah untuk mencapai hasil guna yang lebih baik. Akurasi vertikal ALOS PALSAR adalah <2 m. (JAXA, 2006b).

DSM ALOS PALSAR dapat dibuat secara InSAR (Julzarika, 2009). InSAR sebaiknya menggunakan *baseline* <100 m. Akurasi vertikal DEM ALOS PALSAR ini dapat ditingkatkan dengan melakukan penggabungan data menggunakan metode *DEM integration* (Julzarika, 2015). DEM yang dihasilkan perlu dilakukan uji ketelitian yang meliputi akurasi dan presisi. Uji ketelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai akurasi vertikalnya.

Permasalahan selama ini terkait uji akurasi vertikal adalah uji dilakukan menggunakan hasil pengukuran *Differential Global Navigation Satellite System* (DGNS). Hal ini akan menyebabkan nilai akurasi vertikal menjadi rendah akibat titik tinggi yang digunakan dalam pengukuran DGNS adalah titik tinggi geodetik. Titik tinggi geodetik mengacu bidang referensi ellipsoid, bukan pada bidang referensi geoid. Untuk mengatasi masalah akurasi vertikal tersebut maka digunakan titik tinggi orthometris yang mengacu pada bidang referensi geoid. Salah satu cara pengukurannya adalah dengan menggunakan altimeter.

Permasalahan lain adalah selama ini yang dilakukan uji vertikal adalah DSM. Seharusnya yang dilakukan uji akurasi vertikal adalah DTM. Nilai akurasi vertikal DSM akan bernilai jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai akurasi DTM. Kondisi akurasi vertikal DSM dan DTM akan bernilai sama jika kondisi penutupan lahan berupa lahan terbuka atau bidang referensi ellipsoid dan geoid berimpit. (Julzarika, 2015)

Keterbaruan penelitian ini adalah pengujian nilai akurasi vertikal DTM ALOS PALSAR dilakukan dengan menggunakan data hasil pengukuran kombinasi DGNSS-Altimeter. Kegiatan ini memiliki tujuan untuk mengetahui nilai uji akurasi vertikal DTM ALOS PALSAR terhadap pengukuran kombinasi GNSS-Altimeter.

2 METODOLOGI

Data yang digunakan pada kegiatan ini adalah ALOS PALSAR tahun 2009-2010 sebanyak 50 pasang citra dengan wilayah kajian Kabupaten Merauke, lihat Gambar 2-1. Pembuatan DSM dengan interferometri lebih diutamakan menggunakan data ALOS PALSAR level 1.0 dengan jarak waktu perekaman yang berdekatan

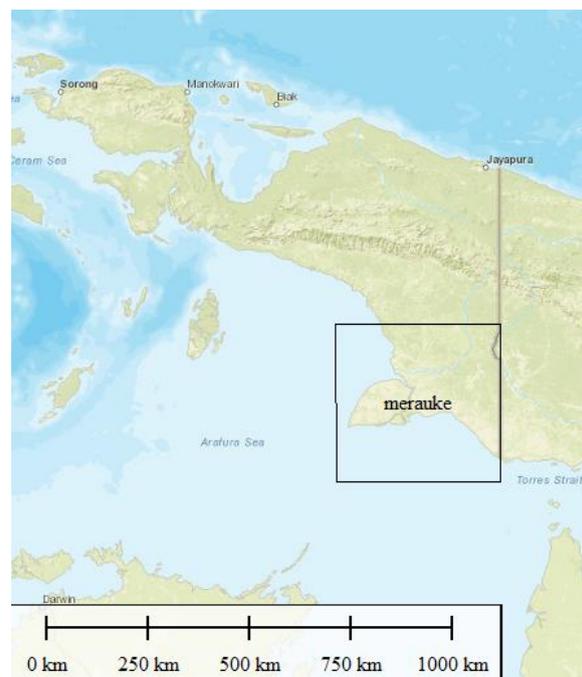
(kurang dari 6 bulan).

2.1 Lokasi

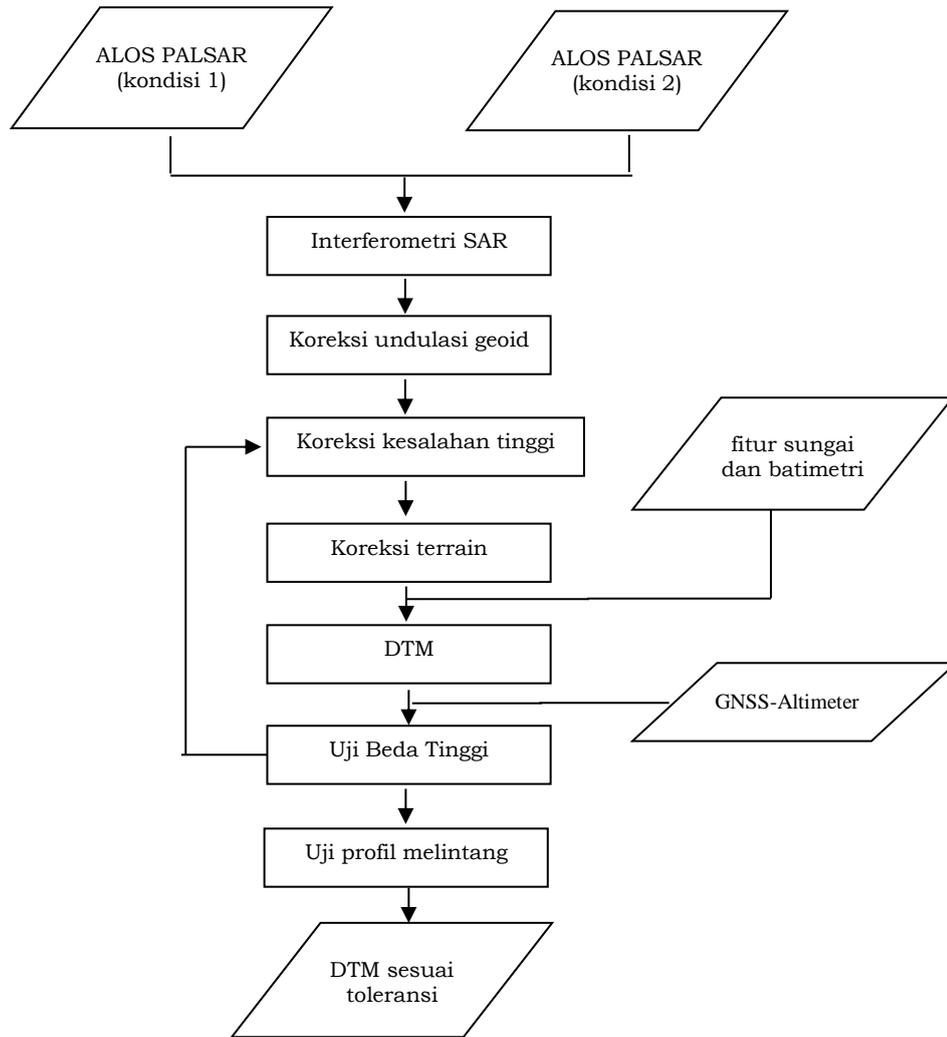
Kabupaten Merauke saat ini memiliki luas wilayah 46.791,63 Km² membawahi 20 Distrik, 8 Kelurahan dan 160 Kampung. Kabupaten Merauke merupakan salah satu dari 29 Kabupaten/Kota yang ada di Provinsi Papua. Secara geografis terletak pada 137^o-141^oBT dan 5^o- 9^oLS seperti yang terlihat pada Gambar 2-1.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Kegiatan ini mengikuti diagram alir penelitian pada Gambar 2-2. Citra ALOS PALSAR kondisi (1) atau waktu perekaman awal berfungsi sebagai *master*, sedangkan citra ALOS PALSAR kondisi (2) atau waktu perekaman paling lama 6 bulan setelahnya berfungsi sebagai *slave*. Kemudian kedua data tersebut dilakukan pembuatan DSM dengan metode InSAR. Setelah diperoleh DSM, maka dilakukan koreksi undulasi geoid dan koreksi kesalahan tinggi, dan selanjutnya dilakukan koreksi terrain. Fitur sungai dan objek alam selain sungai, diintegrasikan ke DEM sehingga berubah menjadi DTM.



Gambar 2-1: Lokasi Penelitian



Gambar 2-2: Diagram alir penelitian

Data yang digunakan dalam pembuatan DSM adalah ALOS PALSAR dengan tanggal perekaman yang berbeda, diusahakan dengan rentang waktu tiga bulan. Data yang digunakan pada kondisi level 1.0 dengan polarisasi tunggal Horizontal-Horizontal (HH). Resolusi spasial ALOS PALSAR ini adalah 6,25 m. Kedua data tersebut dilakukan *focusing* yaitu proses pengkaitan citra dengan metadatanya. *Focusing* bertujuan untuk melakukan sinkronisasi antara *raw data* dengan metadata sehingga memenuhi persyaratan dalam pengolahan InSAR. Hasil dari proses *focusing* adalah berupa data *Single Look Complex* (SLC) yang berisi nilai intensitas dan fase hasil perekaman.

Setelah *focusing*, perlu dilakukan pengukuran *baseline*. Jika

jarak *baseline* bertambah melebihi batas (*critical baseline*) maka tidak ada informasi fase yang diperoleh dan hilangnya koherensi, sehingga proses interferometri menjadi tidak mungkin dilakukan. Sensitivitas untuk mendeteksi variasi tinggi disetarakan dengan 2π *ambiguity height*. Semakin besar nilai *ambiguity height* maka akan semakin berkurang kemampuan untuk mendeteksi perubahan tinggi yang kecil (Julzarika, 2009)

Analisis *baseline* bertujuan untuk mengetahui kondisi *baseline* antara dua data. Jika memiliki nilai *ambiguity height* <100 m maka lebih baik digunakan untuk pembuatan DSM, jika memiliki nilai *ambiguity height* >100 m disarankan untuk pembuatan *Differential InSAR* (DinSAR).

Pembuatan DSM dilakukan dengan metode InSAR. Interferometri ini meliputi koregistrasi model tinggi, koreksi undulasi geoid, penentuan datum dan sistem proyeksi peta, pembuatan interferogram, pemilihan titik kontrol, *tie point*, *refinement* dan *reflattening*, dan Konversi Phase menjadi tinggi dengan format Geotiff tipe file *32 bit floating point samples* dan *Geocoding*.

Koregistrasi model tinggi bertujuan untuk melakukan koregistrasi antara dua citra SAR dengan model tinggi referensi (ESA, 2007). Koreksi undulasi geoid bertujuan untuk penentuan bidang geoid pada dua citra SAR (Ziebart et al., 2008). Pembuatan DSM di wilayah Indonesia disarankan menggunakan bidang geoid EGM 2008. Penentuan datum dan sistem proyeksi peta bertujuan untuk penentuan datum dan sistem proyeksi peta pada dua citra SAR yang digunakan untuk pembuatan DSM, digunakan datum WGS 1984 dengan sistem proyeksi Geodetik, filter adaptif dan koherensi, serta *phase unwrapping*.

Pembuatan interferogram berupa radiasi yang ditransmisikan dari radar menjalar ke permukaan bumi dan kemudian kembali ke radar akan membentuk citra SAR (*two way travel*). Permukaan bumi yang memiliki jarak dari sistem radar akan menyebabkan adanya *delay* antara *transmitter* dan *receiver*. Perubahan fase demikian sebanding dengan jarak perjalanan dua arah ($2R$) dari gelombang radar dibagi dengan panjang gelombang yang ditransmisikan (λ) (Adam et al., 2011).

Filter adaptif dan koherensi berupa pola perbedaan fase dari dua data SAR (*interferogram fringes*) masih belum jelas terlihat pada *flattened interferogram* karena banyaknya derau (*noise*). Oleh karena itu dilakukan proses *filter* pada *flattened interferogram*.

Nilai koherensi ditunjukkan oleh nilai skala keabuan dengan nilai antara 0 dan 1, dimana semakin cerah piksel maka semakin tinggi nilai koherensi pada pasangan data SAR.

Nilai koherensi rendah menunjukkan daerah yang berubah antara perekaman SAR waktu pertama dan perekaman SAR waktu kedua. Hal tersebut dapat terjadi karena koherensi pada InSAR sangat sensitif terhadap perubahan dalam skala mikroskopik. Perubahan ini dapat disebabkan oleh deformasi, perubahan penutup lahan, ataupun perubahan musim.

Penelitian ini menggunakan *Goldstein filter* yang bekerja secara adaptatif menapis *noise* dengan berdasarkan nilai koherensi, dimana *filter* ini bekerja lebih kuat pada daerah yang memiliki koherensi yang rendah (Notti et al., 2011).

Phase unwrapping berupa delta fase $\Delta\phi$ setelah koreksi dari *flat earth correction* membuat setiap piksel berhubungan langsung dengan tinggi objek. Namun, informasi yang diberikan oleh fase tidak mewakili secara langsung nilai pokok fase tetapi masih dalam interval $(0, 2\pi)$. Proses ini harus menemukan integer k yang harus ditambahkan untuk menemukan nilai sesungguhnya (*phase unwrapping*) (Riddick et al., 2003).

Pemilihan titik kontrol, *tie point*, *refinement* dan *reflattening* bertujuan untuk mengoreksi orbit satelit dan *phase offset* akibat ketidakakuratan orbit maka dilakukan proses *refinement* dan *reflattening* (Cignaet al., 2014). Pada proses ini digunakan *Ground Control Points* (GCPs) yang berfungsi sebagai titik acuan pada *slant range* (x dan y) sedangkan nilai h diperoleh dari DEM referensi. Dalam proses pembuatan *refinement* GCP, harus memenuhi syarat yaitu harus terletak di daerah yang stabil (tidak terletak pada daerah yang memiliki morfologi pegunungan atau perbukitan dan tidak terletak pada daerah yang berubah atau terdeformasi).

Hasil proses *refinement* dan *reflattening* pada *filtered interferogram* adalah *refinement interferogram*. Daerah yang memiliki koherensi yang tinggi terdapat di daerah dataran ataupun daerah perbukitan tanpa vegetasi, sedangkan untuk daerah berbukit secara umum memiliki

koherensi yang rendah (Berardino et al., 2002). Hasil proses *refinement* dan *reflattening* pada *unwrapped phase* adalah *refinement unwrapped phase*.

Konversi fase menjadi tinggi dengan format Geotiff tipe file 32 bit *floating point samples* dan Geocoding bertujuan mengkonversi *refinement unwrapped phase* ke dalam nilai tinggi sekaligus *geocoding* ke sistem koordinat dan proyeksi tertentu. Setelah proses interferometri selesai maka perlu dilakukan koreksi kesalahan tinggi. Kesalahan tinggi merupakan kesalahan anomali tinggi yang terjadi akibat adanya puncak (*spire*) dan lembah (*pit*) terhadap delapan piksel tetangga terdekatnya. Cara untuk meminimalkan kesalahan tinggi adalah dengan koreksi kesalahan tinggi dengan metode *fill sink*, *cut terrain*, dan *height error maps* (HEM). Kesalahan tinggi pada data SAR terjadi pada frekuensi rendah. Hasil yang diperoleh berupa DSM bebas kesalahan *blunder* dan kesalahan sistematik. Kemudian dilakukan koreksi terrain yang bertujuan untuk mengubah DSM menjadi DEM. DEM ini kemudian ditambah dengan fitur sungai dan batimetri serta fitur alam selain sungai sehingga diperoleh hasil berupa DTM.

DTM yang dihasilkan perlu dilakukan uji akurasi vertikal dengan cara membandingkan nilai tinggi pada DTM dengan nilai pengukuran di lapangan. Pengukuran di lapangan menggunakan DGNS-Altimeter. Uji ketelitian mencakup uji beda tinggi dan uji profil melintang. Ketelitian mencakup akurasi dan presisi. Akurasi terdiri atas akurasi horizontal, akurasi vertikal, dan akurasi total. Pada tulisan ini yang dibahas adalah akurasi vertikal dengan menggunakan standar akurasi vertikal dan presisi yang mengacu pada ASPRS *Accuracy Data for Digital Geospatial Data 2014*, yang ditetapkan oleh *National Standard for Spatial Data Accuracy* (NSSDA). Cara pengecekan tes akurasi vertikal dengan dua langkah yaitu (ASPRS, 2014):

a. *Root Mean Square Error vertical* (RMSE(z))

RMSE(z) adalah kesalahan beda tinggi yang terjadi pada keseluruhan titik

ukur.

$$RMSE(Z) = \sqrt{\left(\frac{\sum(Z_{Data(i)} - Z_{Data(i)})^2}{n}\right)} \quad (2-1)$$

dimana:

Z : nilai tinggi

n : jumlah titik pengukuran

Zdata : tinggi orthometris pada DTM

Zcheck : tinggi orthometris yang diukur dilapangan

b. Perhitungan akurasi vertikal pada tingkat kepercayaan 95% (1,96 σ)

Accuracy(z) merupakan nilai akurasi vertikal.

$$Accuracy(z) = 1,9600 * RMSE(z) \quad (2-2)$$

Nilai 1,96 sama dengan tingkat kepercayaan 95 %

Setelah diperoleh nilai akurasi vertikal selanjutnya dilakukan penyesuaian terhadap standar telah ditetapkan oleh NSSDA yang memperhitungkan RMSEz di terrain tanpa vegetasi dan terrain bervegetasi. Tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95% atau 1,96 σ .

Akurasi vertikal ini harus memenuhi kriteria yang telah ditetapkan pada uji statistik secara hitung perataan. Uji statistik yang dilakukan meliputi (Gillani & Wolf, 2006):

a Uji global

Uji global digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya kesalahan tak acak yang terjadi pada pengukuran proses perubahan format tampilan peta. Uji global dilakukan dengan melihat nilai aposteriori varian dan apriori varian. Uji global pada bagian ini digunakan untuk mengecek pengukuran pada perubahan kondisi (1) terhadap kondisi (2) mengalami *blunder* atau tidak. Uji global yang dilakukan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$) dan dengan derajat kebebasan 14. Pada tabel *Fischer* diketahui nilai statistik $F_{1-0,05, 14, \infty}$ sebesar 1,697 dan diperoleh perbandingan aposteriori dengan apriori varian sebesar 0,151244919 sehingga proses perubahan kondisi (1) terhadap kondisi (2) tidak mengalami kesalahan tak acak atau tidak mengalami *blunder*.

b Data snooping

Data snooping digunakan jika uji global ditolak. Pada penelitian ini, *data snooping* bertujuan untuk melihat kesalahan pada masing-masing pengukuran. *Data snooping* dilakukan jika uji global ditolak. Untuk lebih meyakinkan tidak ada kesalahan pada masing-masing data maka dilakukan *data snooping*. *Data snooping* dilakukan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha=0,05$) dan dengan derajat kebebasan 14. Pada tabel *Fischer* diketahui nilai statistik $F^{1/2}_{1-0,05, 14, \infty}$ sebesar 1,303.

c Uji signifikan parameter

Uji signifikan parameter digunakan pada pengecekan signifikan parameter, apakah parameter tersebut eksis atau tidak pada perubahan kondisi (1) terhadap kondisi (2).

d Uji beda tinggi dan uji profil melintang

Selain dilakukan uji ketelitian (RMSE(z) dan akurasi vertikal) juga diperlukan uji beda tinggi. Uji beda tinggi bertujuan untuk mengetahui nilai akurasi vertikal pada toleransi tertentu sehingga dapat digunakan untuk menghilangkan kesalahan sistematik yang masih ada pada model tinggi (Julzarika, 2015). Uji beda tinggi dapat berguna dalam penentuan beda tinggi antar dua atau lebih titik.

Profil merupakan kenampakan objek baik secara topografi maupun non topografi. Profil terbagi atas dua macam, yaitu profil memanjang dan profil melintang. Profil melintang merupakan kenampakan objek secara melintang secara tegak lurus terhadap sumbu objek tersebut. Contoh profil melintang adalah kenampakan melintang dari jalan, profil melintang sungai, landas benua, pegunungan, perbukitan, dan lain-lain. Profil memanjang adalah kenampakan memanjang mengikuti sumbu objek tersebut, misal profil as jalan, *breakline*, garis antar *thalweg* sungai. Profil melintang yang dibuat meliputi area utara ke selatan. Profil tersebut meliputi kenampakan hutan, sungai, dan aliran hidrologi yang lainnya. Profil melintang mencerminkan kenampakan DEM

wilayah tersebut.

2.3 Pengukuran kombinasi DGNSS- Altimeter

DTM ALOS PALSAR dilakukan uji akurasi vertikal dengan pengukuran kombinasi DGNSS- Altimeter, lihat Gambar 2-3. Pengujian ini menggunakan kombinasi satelit GPS, Glonass, Beidou, Gagan, MSAS, SBAS, dan QZSS. DGNSS ini menggunakan periode waktu 14 hari sebelum pengukuran dengan waktu saat pengukuran.

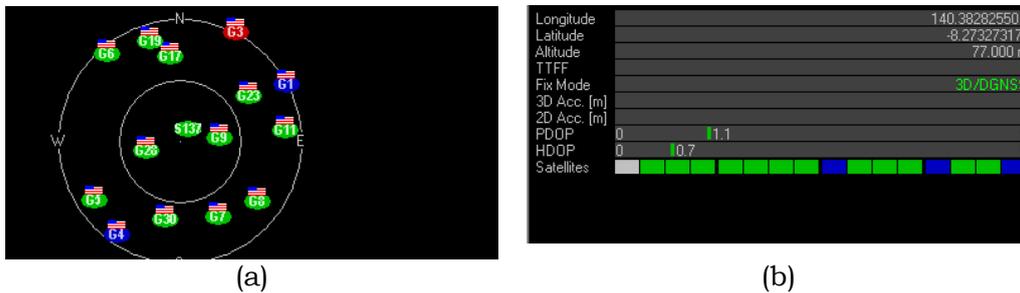
Selama pengukuran DGNSS harus terkoneksi dengan internet selular berupa GSM, CDMA, dan/atau wifi. Pada kegiatan ini koneksi menggunakan internet selular GSM 3G dan GSM 2G. Nilai tinggi orthometris diperoleh dengan pengukuran Altimeter. Altimeter yang digunakan memiliki akurasi vertikal <1m.

Pengukuran tersebut menampilkan jumlah dan kekuatan sinyal satelit navigasi, kompas, pengukuran koordinat 2D, pengukuran koordinat tinggi, waktu pengukuran, penghitungan nilai deformasi dan koordinat 3D, serta parameter lainnya. Gambar 2-4 merupakan salah satu contoh pengukuran DGNSS- Altimeter. Gambar 2-4 (a) menjelaskan posisi satelit GNSS dan kekuatan sinyalnya. Gambar 2-4 (b) menjelaskan tentang informasi pengukuran DGNSS- Altimeter. Informasi tersebut mencakup nilai lintang, bujur, tinggi geodetik, tinggi orthometrik, akurasi vertikal, akurasi horizontal, PDOP, HDOP, dan kuat sinyal satelit yang diproses dalam pengukuran. Nilai pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai pengukuran relatif (tinggi orthometrik) di satu titik selama 10 menit pada *fix mode* sudah dalam bentuk 3D/DGNSS.

Proses penghitungan dilakukan secara hitung perataan kuadrat terkecil karena jumlah pengukuran melebihi jumlah parameter



Gambar 2-3: Pengukuran DGNS (GPS, Glonass, Beidou, Gagan, MSAS, SBAS, dan QZSS) dengan koneksi GSM dalam periode 14 hari) dan Altimeter



Gambar 2-4: Contoh pengukuran DGNS-Altimeter dengan histogram pengukuran titik uji DTM dengan DGNS-Altimeter

3 HASIL PEMBAHASAN

Hasil model tinggi meliputi wilayah Kabupaten Merauke. Proses pembuatan DTM meliputi interferometri untuk menghasilkan DSM dan DEM. Selain itu juga diperlukan koreksi undulasi geoid, koreksi kesalahan tinggi, dan koreksi terrain. Geoid yang digunakan untuk koreksi undulasi geoid adalah EGM 2008. DSM masih belum dilakukan koreksi kesalahan tinggi sehingga perlu dilakukan koreksi kesalahan tinggi. Toleransi yang digunakan pada koreksi kesalahan tinggi ini adalah $1,96\sigma$.

Setelah dilakukan koreksi kesalahan tinggi kemudian dilakukan koreksi terrain. Koreksi ini menggunakan parameter sudut permukaan-elevasi 60 derajat dan radius 10. Sudut permukaan - elevasi 60 derajat maksudnya adalah multipath antara pohon satu dengan pohon lain adalah sebesar 60 derajat. Hal ini disebabkan karena tinggi

pohon dan vegetasi lainnya sangat tinggi. Nilai ini diperoleh dari hasil pengukuran lapangan. Radius 10 maksudnya nilai koreksi terrain untuk radius sebesar 10 m karena kondisi vegetasi sangat rapat. Nilai radius 10 m juga diperoleh dari hasil pengukuran lapangan. Hasil koreksi terrain ini adalah DEM.

DTM ini diperoleh dengan menambahkan fitur sungai. Fitur sungai ini meliputi profil melintang sungai. Profil melintang ini berisi informasi *thalweg* dan batimetri sungai. *Thalweg* adalah dasar sungai atau wilayah terdalam dari sungai yang diketahui dari profil melintang.

DTM wilayah Kabupaten Merauke pada kegiatan ini menggunakan 1479 titik uji di lapangan. Sedangkan Tabel 3-1 merupakan contoh hasil pengukuran pada salah satu titik uji DTM dengan DGNS-Altimeter.

Tabel 3-1: CONTOH HASIL PENGUKURAN SALAH SATU TITIK UJI DTM DENGAN DGNS-ALTIMETER

Parameter	Hasil pengukuran
Lintang	-8,27327317
Bujur	140,38282550
Tinggi (HAE)	77,000
Tinggi (MSL)	7,300
X	-4862484,055
Y	4025052,301
Z	-911709,776

DTM ini menghasilkan skala 1:10.000, sehingga interval kontur yang dapat dihasilkan adalah 5 m. Jika kondisi wilayah datar, maka jarak antar garis kontur adalah relatif jarang sehingga memerlukan titik tinggi dengan jumlah dan jarak yang disesuaikan dengan kondisi wilayah serta estetika kartografi. Gambar 3-1 menyajikan DTM ALOS PALSAR dengan resolusi spasial 5 m pada skala 1:10.000, interval kontur 5 m dan sebaran titik tinggi.

3.1 Uji beda tinggi

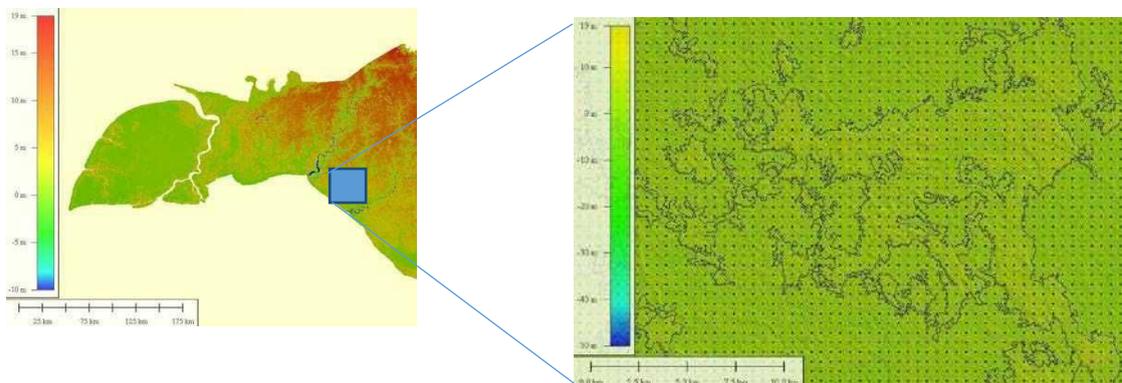
Selain dilakukan uji ketelitian (RMSE(z) dan nilai akurasi vertikal) juga diperlukan uji beda tinggi. Uji beda tinggi dapat berguna dalam penentuan beda tinggi antar dua atau lebih titik.

Beda tinggi antar penentuan titik tersebut mengacu pada muka air laut rata-rata, tinggi lokal, maupun ellipsoid, sedangkan keseluruhan titik pada model tinggi mengacu pada

bidang referensi atau datum tertentu. Jika keseluruhan titik yang diuji dalam bentuk poligon tertutup memiliki nilai beda tinggi minimum (mendekati nol) maka model tinggi tersebut memiliki tinggi titik relatif terhadap datum.

Hal ini akan menghilangkan kesalahan sistematik yang masih ada pada model tinggi tersebut. Hasil uji beda tinggi terhadap DTM sebesar $4,996 \times 10^{-16}$ (~0). Hal ini mengindikasikan bahwa DTM integrasi bebas blunder, kesalahan sistematik, dan minimal kesalahan acak. Tabel 3-2 merupakan hasil uji beda tinggi DTM.

Hasil RMSE (z) yang diperoleh adalah ~41,22 cm (menggunakan rumus 1), sehingga hasil akurasi vertikal yang diperoleh sebesar 80,791 cm (menggunakan rumus 2). Hasil ini telah memenuhi toleransi NSSDA sebesar 90,8 cm pada interval kontur 5 m atau pada skala 1:10.000 (NSSDA, 2014).



Gambar 3-1: DTM ALOS PALSAR dengan resolusi spasial 5 m, skala 1:10.000, interval kontur 5 m, dan titik tinggi

Tabel 3-2: UJI BEDA TINGGI DTM

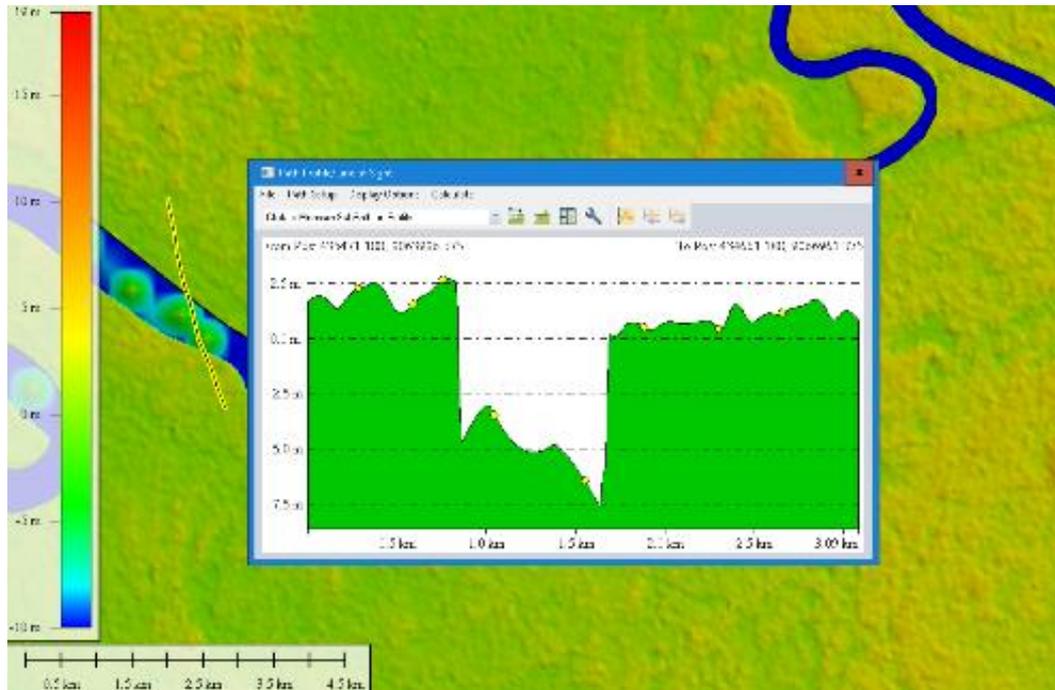
No	X (m)	Y (m)	Hdtm (m)	Δ Hdtm (m)
1	433626	9060323	1,086	
2	433466	9060614	1,201	0,115
3	433435	9060662	1,378	0,177
4	433406	9060705	1,519	0,142
5	433362	9060769	1,470	-0,049
...
1479	448005	9078587	0,652	0,435
Hasil uji beda tinggi				5E-16

3.2 Uji profil melintang

Profil pada penelitian ini merupakan kenampakan objek baik secara topografi maupun non topografi yang dibuat meliputi dari area utara menuju ke selatan. Profil melintang tersebut mencerminkan kenampakan DTM wilayah tersebut. Profil melintang ini meliputi profil sungai-jalan. Contoh profil sungai dapat dilihat dalam Gambar 3-2.

Secara kuantitatif dapat

digambarkan perbedaan tinggi antara dataran di sekitar sungai dengan *thalweg* sungainya. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3-3. Pada Tabel 3-3 dapat dilihat bahwa beda tinggi di dataran pinggiran sungai tidak ekstrim dan kondisi topografi datar. Hal ini menggambarkan kondisi DTM sudah mendekati kondisi di lapangan. Pada wilayah sungai beda tinggi sangat besar sehingga hal ini mengindikasikan kedalaman sungai.



Gambar 3-2: Profil melintang sungai-jalan di sekitar Sungai Maro

Tabel 3-3: UJI PROFIL MELINTANG

No	X (m)	Y (m)	Tinggi (m)	Beda Tinggi (m)	Keterangan
1.	435431	9064157	1,20	-	Daratan
2.	435362	9064157	1,46	0,26	pinggir sungai
3.	435276	9064571	1,76	0,30	Daratan
4.	435197	9064879	-1,67	3,43	pinggir sungai
5.	435012	9065449	-6,57	4,90	Sungai
6.	434941	9065782	0,52	7,09	Sungai
7.	434842	9066104	0,71	0,19	Daratan
8.	434781	9066491	1,12	0,42	pinggir sungai
Start Position: 435471,188, 9063996,375 Start Height: 1,667 m End Position: 434661,188, 9066961,375 End Height: 0,824 m Path Length: 3,086 km Straight-Line Distance: 3,075 km 3D Distance on Surface: 3,088 km Vertical Difference (Start to Finish): - 0,8 m			Total Climbing: 16,5 m over 1,651 km on surface Total Descending: 17,3 m over 1,437 km on surface Minimum Elevation on Path: - 7,599 m Maximum Elevation on Path: 2,703 m Azimuth: 344° 48' 23,6" Slope/Tilt: -0,02° Max Path Slope: 26,17° [841,74 m along path]		

4 KESIMPULAN

Uji akurasi vertikal DTM ALOS PALSAR dilakukan terhadap pengukuran kombinasi DGNSS-Altimeter. Uji akurasi vertikal ini berupa uji beda tinggi dan RMSE (z). Hasil uji beda tinggi terhadap DTM sebesar $4,996 \times 10^{-16}$ (~0). Hal ini mengindikasikan bahwa DTM integrasi bebas blunder, kesalahan sistematis, dan minimal kesalahan acak. Hasil RMSE (z) yang diperoleh adalah ~41,22 cm, sehingga hasil akurasi vertikal yang diperoleh sebesar 80,791 cm. Hasil ini telah memenuhi toleransi NSSDA sebesar 90,8 cm pada interval kontur 5 m atau pada skala 1:10.000).

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih banyak kepada pihak Balai Rawa, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan

Rakyat dan Pusfatja LAPAN serta BLU LAPAN yang telah mendukung kegiatan ini. Selain itu juga disampaikan terima kasih kepada Alaska University atas data ALOS PALSAR.

DAFTAR RUJUKAN

Cigna, F, Bateson, L. B., Jordan, J., & Dashwood, C., (2014). *Simulating SAR Geometric Distortions and Predicting Persistent Scatterer Densities for ERS-1/2 and ENVISAT C-band SAR and InSAR Applications: Nationwide Feasibility Assessment to Monitor the*

Adam, N., Rodriguez Gonzalez, F., Parizzi, A., & Liebhart, W., (2011). *Wide Area Persistent Scatterer Interferometry*. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2011) (pp. 1481–1484) (Vancouver, BC).

Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E., (2002). *A New Algorithm For Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40, 2375–2383.

Landmass of Great Britain with SAR Imagery. Remote Sensing of Environment Volume 152. Elsevier.441-466.

Crosetto, M., Monserrat, O., Iglesias, R., & Crippa, B., (2010). *Persistent Scatterer Interferometry: Potential,*

- Limits and Initial C- and X-Band Comparison.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 76, 1061–1069.
- ESA, (2007). *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation.* ESA. Belanda.
- Freeden, W., Nashed, M.Z., & Sonar, T., (2010). *Handbook of Geomathematics.* Springer. ISBN: 9783642015465
- Gillani, C., & Wolf, (2006). *Adjustment Computation: Spatial Data Analysis.* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Amerika Serikat.
- Heiskanen, W. A., & Moritz, H., (1967). *Physical Geodesy.* W. H. Freeman and Company. San Fransisco and London.
- JAXA, (2006a). *Annual Report 2005,* EORC Bulletin, No. 9, March 2006. Tokyo. Jepang.
- JAXA, (2006b). *The 2nd ALOS Research Announcement: Calibration and Validation, Utilization Research, and Scientific Research,* Earth Observation Research Center Japan Aerospace Exploration Agency. Jepang.
- JAXA, (2016). *PALSAR Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar,* URL: www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm. diakses 23 Oktober 2016.
- Julzarika, A., & Susanto, (2009). *Pemanfaatan Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) untuk Pemodelan 3D (DSM, DEM, dan DTM).* Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, 4, 154-159.
- Julzarika, A., (2009). *Differential of Digital Surface Model (DSM) into Digital Elevation Model (DEM) of the ALOS PALSAR.* Journal of Teknik University of Diponegoro volume 30 nomor 1. Semarang. Indonesia.
- Julzarika, A., (2011a). *Teknik Koreksi Bull Eye's.* GeoSARNas. Bogor.
- Julzarika, A., (2011b). *Kajian Penghitungan Volume Hutan Menggunakan Model 3D dari Data Radar Berbeda Band dan Koreksi Terrain Model 3D dari Data Radar Satu Band.* Seminar GeoSARNas 2011. Bogor.
- Julzarika, A., (2013). *Geological Structure Detection Digitally Using Synthetic Aperture Radar (SAR) Data.* Asia Conference of Remote Sensing. Bali. Indonesia.
- Julzarika, A., (2015). *Integrasi Model Tinggi ALOS PALSAR, X SAR, SRTM, dan ASTER GDEM.* Teknik Geodesi Geomatika. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C., (2005). *Digital Terrain Modeling Principles and Methodology.* CRC Press. Florida. USA.
- Mora, B., Wulder, M.A., Hobart, G.W., White, J.C., Bater, C.W., Gougeon, F.A., Varhola, A., & Coops, N.C., (2013a). *Forest Inventory Stand Height Estimates from Very High Spatial Resolution Satellite Imagery Calibrated with Lidar Plots.* Int. J. Remote Sens. 2013, 34, 4406–4424.
- Mora, B., Wulder, M.A., White, J.C., & Hobart, G., (2013b). *Modeling Stand Height, Volume, and Biomass from Very High Spatial Resolution Satellite Imagery and Samples of Airborne LiDAR.* Remote Sens. 2013, 5, 2308–2326.
- Notti, D., Meisina, C., Zucca, F., & Colombo, A., (2011). *Models to Predict Persistent Scatterers Data Distribution and their Capacity to Register Movement Along the Slope.* Fringe 2011 Workshop, 19–23 September 2011. Frascati, Italy:ESA/ESRIN.
- NSSDA, 2014. *Accuracy Standard for Digital Geospatial Data.* ASPRS. Amerika Serikat.
- Petrie, G., & Kennie T., 1987. *An Introduction to Terrain Modeling: Applications and Terminology.* Universitas Glasgow, Skotlandia.
- Riddick, S. N., Schmidt, D. A., & Deligne, N. I., (2012). *An Analysis of Terrain Properties and the Location of Surface Scatterers from Persistent Scatterer Interferometry.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 73, 50–57.
- Sefercik, U., & Jacobsen, K., (2006). *Analysis of SRTM Height Models.* Workshop SRTM Berlin. Jerman.
- Sideris, (2008). *Geoid Determination by FFT Techniques.* Como.
- Vanicek, P., & Krakiwsky, E., (1986). *Geodesy, the Concepts.* North-

- Holland, Amsterdam, NY, Oxford, Tokyo.
- Vastaranta, M., Holopainen, M., Karjalainen, M., Kankare, V., Hyypä, J., Kaasalainen, S., & Hyypä, H., (2012). *SAR Radargrammetry and Scanning LiDAR in Predicting Forest Canopy Height*. In Proceedings of the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Munich, Germany, 22–27 July 2012; pp.6515–6518.
- Vastaranta, M., Holopainen, M., Karjalainen, M., Kankare, V., Hyypä, J., & Kaasalainen, S., (2014). *TerraSAR-X Stereo Radargrammetry and Airborne Scanning LiDAR Height Metrics in Imputation of Forest Above Ground Biomass and Stem Volume*. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2014, 52, 1197– 1204.
- Ziebart, M.K., Iliffe, J.C., Forsberg, R., & Strykowski, G., (2008). *Convergence of the UK OSGM05 GRACE-Based Geoid and the UK Fundamental Benchmark Network*. *J. Geophys. Res.*, 113, B12401, doi:10.1029/2007JB00495