

EVALUASI HASIL INTEGRASI BERBAGAI KETELITIAN DATA MODEL ELEVASI DIGITAL

Studi Kasus NLP 1316-61 dan 1316-63

(*Evaluation of Integration Results of Various Digital Elevation Model Accuracies
Case Study: NLP 1316-61 and 1316-63*)

Fanny Zafira Mukti, Harintaka, dan Djurdjani

Teknik Geomatika Fakultas Teknik UGM

Jl. Grafika No 2, Kampus UGM Yogyakarta, 55281 Indonesia

E-mail: fannyzafiramukti@gmail.com

Diterima (received): 21 Maret 2018; Direvisi (revised): 16 Mei 2018 ; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 30 Mei 2018

ABSTRAK

Data DEM yang dapat diakses dan digunakan dengan gratis antara lain adalah *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* Global DEM (ASTER GDEM). Kedua data tersebut mencakup seluruh wilayah di Indonesia, namun ketelitian dan resolusinya rendah, serta masih mengandung kesalahan tinggi. Selain data DEM global, data DEM dapat diperoleh dari hasil perekaman sensor *Radio Detection and Ranging* (RADAR), *Light Detection and Ranging* (LIDAR), maupun hasil *stereoplotting* foto udara dan citra satelit. Masing-masing data tersebut memiliki karakteristik seperti terdapatnya *pit* dan *spire*, diskontinuitas pada daerah sambungan dan ketelitian data yang bervariasi. Keberagaman karakteristik pada masing-masing sumber data tersebut dapat menyebabkan inkonsistensi nilai ketinggian antar sumber data. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan DEM dengan data DTM Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:50.000 dan data DTM *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (IFSAR) di Pulau Kalimantan yang dapat mengatasi inkonsistensi ketinggian tersebut. Metode yang digunakan adalah integrasi dan fusi DEM pada mozaik data-data ketinggian. Pada daerah yang bertampalan, dilakukan dua skenario mozaik yaitu mozaik tanpa bobot dan mozaik berbobot. Uji akurasi vertikal dilakukan dengan menggunakan standar Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Penelitian ini menghasilkan mozaik data DTM yang *seamless* dan *smooth* menggunakan metode mozaik berbobot dengan akurasi vertikal sebesar 2,065 meter. Hasil mozaik tanpa bobot masih memiliki beberapa daerah yang tidak *seamless* dan *smooth* dengan akurasi vertikal sebesar 2,257 meter. Berdasarkan Tabel Ketelitian Geometri Peta RBI dalam PerKa BIG Nomer 15 Tahun 2014, kedua hasil mozaik tersebut masuk dalam skala 1:10.000.

Kata kunci: *model elevasi digital, mozaik, integrasi, fusi DEM*

ABSTRACT

DEM data which can be accessed and used for free are SRTM and ASTER GDEM. Both data covers the whole Indonesian area, but the accuracy and resolution of both data are low, and also contains height errors. Besides acquire from global DEM data, DEM data can be obtained also from RADAR, LIDAR, and stereoplotting images of aerial photography and satellite imagery. Each of these data has characteristics such as existence of pit and spire, discontinuity in the transition area, and the various accuracies of data. The diversity of characteristics in each data sources can lead inconsistencies between the data source values. On this research, DEM building is conducted using DTM RBI scale 1: 50,000 and DTM IFSAR on Kalimantan Island to overcome the height inconsistency. The method which used is integration and fusion DEM on its height data mosaic. In the overlapping areas, two mosaic scenarios are implemented, namely non-weighted and weighted mosaic. Vertical accuracy test is performed using standard stated in the Regulation of the Geospatial Information Agency Number 15 Year 2014 about Technical Guidelines for Accuracy of Basic Map. This research produces seamless and smooth mosaic DTM data using weighted mosaic method, with accuracy of 2.065 meters. Result of non-weighted mosaic have a vertical accuracy of 2.257 meters, and there are some areas that are not seamless and smooth. Based on the RBI Map Geometry Accuracy Table in Regulation of the Geospatial Information Agency Number 15 Year 2014, the two mosaic results according to scale of 1: 10,000.

Keywords: *digital elevation model, mosaic, integration, DEM fusion*

PENDAHULUAN

Model Elevasi Digital (DEM) memegang peranan penting dalam perencanaan pembangunan di Indonesia seperti pada kegiatan perencanaan penataan ruang, kebencanaan, geologi, dan kegiatan pemetaan lainnya. DEM merupakan model permukaan digital yang mempunyai referensi terhadap ellipsoid (Li, Zhu, & Gold, 2005). Data DEM yang tersedia gratis dan dapat diakses oleh publik antara lain data ketinggian global yaitu data SRTM resolusi 90 m (3 *arc second*), SRTM resolusi 30 m (1 *arc second*), dan data ASTER GDEM resolusi 30 m (Nikolakopoulos, Tsombos, & Zervakou, 2007). Kelebihan data tersebut adalah wilayah cakupannya yang meliputi seluruh wilayah Indonesia (data model tinggi global). Kekurangannya adalah resolusi spasial yang besar yakni 90 dan 30 meter (tingkat kedetilan DEM rendah) dan masih memiliki kesalahan tinggi, sehingga belum dapat digunakan secara maksimal untuk keperluan pemetaan (Robinson, Regetz, & Guralnick, 2014; Yue et al., 2017).

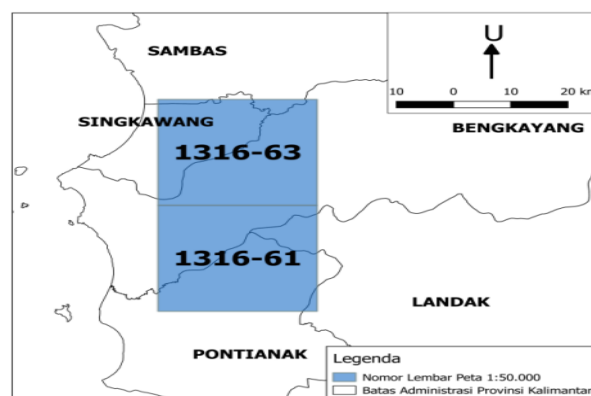
Tidak dapat dipungkiri lagi, bahwa kebutuhan data DEM dengan resolusi dan akurasi yang lebih baik dibandingkan data DEM global tersebut semakin tinggi. Sumber data DEM yang mencakup wilayah Indonesia beragam, seperti data DEM hasil perekaman sensor RADAR, LIDAR, maupun hasil *stereoplotting* foto udara dan citra satelit (Bhardwaj, Subhra Chatterjee, & Jain, 2013; Forkuor, Conrad, Thiel, Ullmann, & Zoungana, 2014; Saldaña, Aguilar, Aguilar, & Fernández, 2012). Masing-masing dari data tersebut memiliki karakteristik seperti terdapatnya *pit* dan *spire*, diskontinuitas pada daerah sambungan dan ketelitian data yang bervariasi. Keberagaman data tersebut menyebabkan daerah sambungan antar data tidak *smooth* dan *seamless* (terdapat perbedaan ketinggian antara 2 buah data dengan sumber data yang berbeda pada daerah sambungan). Inkonsistensi ketinggian antara NLP satu dan lainnya tersebut mengakibatkan kerancuan dalam penggunaan informasi ketinggian dari data.

Evaluasi integrasi berbagai ketelitian data DEM dilakukan untuk mengatasi inkonsistensi data DEM pada daerah-daerah sambungan antar 2 data yang berbeda sumber. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh model integrasi DEM yang *seamless* dan *smooth* pada daerah sambungan, sehingga dapat memenuhi kelengkapan data dan kebutuhan pemetaan dasar skala besar. Dalam hal ini yang dimaksud dengan *smooth* adalah data yang bebas *noise* atau penyimpangan, sedangkan *seamless* adalah data yang mulus tanpa celah/gap (Robinson, Regetz, & Guralnick, 2014) terutama pada daerah sambungan data.

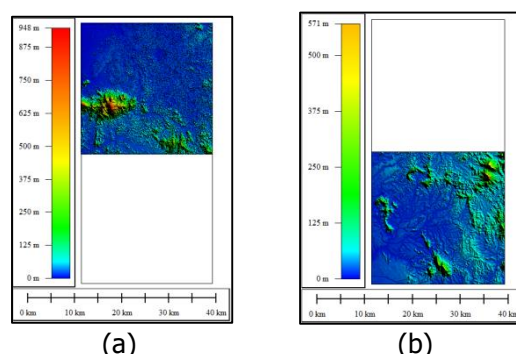
METODE

Lokasi penelitian mencakup 2 wilayah Nomor Lembar Peta (NLP) 1:50.000 yaitu NLP 1316-61 dan 1316-63. Lokasi penelitian tersebut dijelaskan dalam **Gambar 1**. Area penelitian digambarkan dengan warna biru yang berada di Provinsi Kalimantan Barat (mencakup Kabupaten Bengkayang, Kota Singkawang dan Pontianak). Masing-masing NLP menggambarkan data DTM dengan sumber dan resolusi spasial yang berbeda.

Gambar 2 menjelaskan data DTM pada masing-masing NLP sekaligus merupakan data yang digunakan dalam penelitian ini. **Gambar 2** (a) merupakan DTM IFSAR tahun 2011 dengan nilai ketinggian berkisar 0 sampai dengan 948,453 meter; dan (b) merupakan DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 dengan nilai ketinggian berkisar antara 0,277 sampai dengan 571,626 meter. Data DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 pada NLP 1316-61 bersumber dari data TerraSAR-X tahun 2011, dan SPOT 5 tahun 2012-2013. TerraSAR-X merupakan teknologi RADAR terbaru untuk pemetaan dengan panjang gelombang aktif X-band (panjang gelombang 31 mm, frekuensi 9,6 GHz) yang mampu mengatasi tutupan awan (LAPAN, 2010), sedangkan satelit SPOT-5 memiliki fitur/kemampuan akuisisi dengan instrumen HRS stereo yang dapat mencakup area yang luas dalam sekali perekaman (LAPAN, 2002). Keterangan mengenai resolusi spasial dan datum vertikal pada masing-masing data terdapat pada **Tabel 1**.



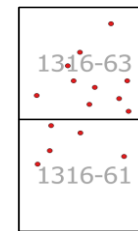
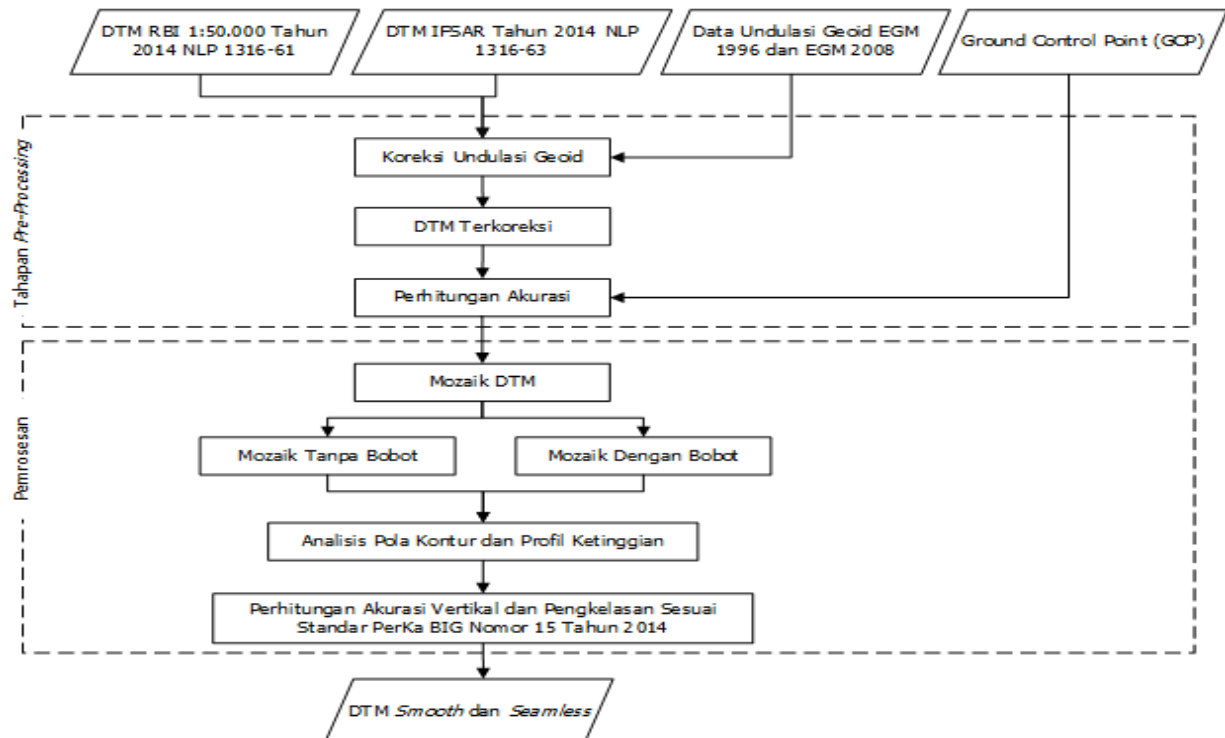
sumber data: Badan Informasi Geospasial
Gambar 1. Lokasi penelitian.



Gambar 2. (a) DTM IFSAR tahun 2011, (b) DTM RBI 1:50.000 tahun 2014.

Tabel 1. Resolusi spasial dan datum vertikal masing-masing data.

NLP	Data	Resolusi Spasial	Datum Vertikal
1316-61	DTM IFSAR tahun 2011	5 meter	EGM 1996
1316-63	DTM RBI 1:50.000 tahun 2014	10 meter	EGM 2008

**Gambar 3.** Sebaran titik *Ground Control Point* (GCP).**Gambar 4.** Diagram alir penelitian.

Kedua data digunakan dalam penelitian ini karena memiliki resolusi spasial dan didefinisikan dalam datum vertikal yang berbeda. Resolusi spasial dapat diartikan juga kerapatan titik ketinggian pada data. DTM IFSAR tahun 2011 memiliki resolusi spasial sebesar 5 meter dan didefinisikan dalam datum vertikal EGM 1996, sedangkan DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 memiliki resolusi spasial sebesar 10 meter dan didefinisikan dalam datum vertikal *Earth Gravitational Model* (EGM) 2008. Pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi 2 tahapan, yaitu tahap *pre-processing* dan pemrosesan. Tahapan penelitian selengkapnya digambarkan pada **Gambar 3**. Tahapan *pre-processing* meliputi koreksi undulasi geoid, dan perhitungan akurasi vertikal dari masing-masing data. Koreksi undulasi geoid dilakukan untuk menyamakan sistem referensi vertikal pada setiap data DTM yaitu pada penelitian ini menggunakan sistem referensi vertikal EGM 2008. Perhitungan akurasi vertikal dilakukan dengan menggunakan data GCP sebagai acuan nilai tinggi di lapangan. **Gambar 4** menunjukkan persebaran data GCP pada wilayah penelitian.

Keseluruhan titik GCP pada wilayah penelitian berjumlah 15 titik dengan 10 titik berada pada NLP 1316-63 dan 5 titik berada pada NLP 1316-61. Perhitungan akurasi vertikal dari masing-masing data dilakukan dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) sesuai PerKa BIG Nomor 15 Tahun 2014. Persamaan RMSE menurut Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014 dituliskan dalam **Persamaan 1**. Hasil dari perhitungan akurasi akan digunakan untuk fusi DEM menggunakan **Persamaan 2** dan **Persamaan 3**.

$$RMSE_{(z)} = \sqrt{\frac{\sum (Z_{data(i)} - Z_{check(i)})^2}{n}} \dots \dots \dots (1)$$

keterangan:

$Z_{data(i)}$ = koordinat Z dari data ke i
 $Z_{check(i)}$ = koordinat Z titik sebenarnya ke i
 n = jumlah titik

Data DTM yang sudah memiliki sistem referensi vertikal yang sama, kemudian dilanjutkan ke tahap pemrosesan. Tahap pemrosesan diawali dengan melakukan mozaik data DTM. Skenario mozaik tersebut mempertimbangkan tampalan data pada daerah sambungan. Apabila dalam satu daerah yang sama terdapat 2 atau lebih data yang

Tabel 2. Ketelitian geometri peta RBI.

No.	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300,00	500	500,00
2.	1:500.000	200	100	100	150	150,00	250	250,00
3.	1:250.000	100	50	50	75	75,00	125	125,00
4.	1:100.000	40	20	20	30	30,00	50	50,00
5.	1:50.000	20	10	10	15	15,00	25	25,00
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7,50	12,5	12,50
7.	1:10.000	4	2	2	3	3,00	5	5,00
8.	1:5.000	2	1	1	1,5	1,50	2,5	2,50
9.	1:2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,30	0,5	0,50

Sumber: Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014

berbeda, fusi DEM dapat diterapkan untuk mengkombinasikan kedua data tersebut (Hoja & D'Angelo, 2009). Mozaik data dilakukan dengan 2 skenario yaitu mozaik tanpa bobot, dan mozaik dengan bobot. Fusi DEM diterapkan pada skenario mozaik dengan bobot. Pembobotan dilakukan dengan Persamaan *weighted mean height* (Hoja, Reinartz, & Schroeder, 2006):

$$h_{out} = \frac{\sum h_i \cdot p_i}{\sum p_i} \dots\dots\dots(2)$$

keterangan:

h_{out} = ketinggian hasil

h_i = tinggi permukaan pada DEM

p_i = nilai bobot ($\frac{1}{a_i a_i}$), a_i (akurasi) > 0)

a_i = tingkat akurasi DEM

Metode pembobotan tersebut dipilih dikarenakan dapat meningkatkan kepadatan informasi (detil) DEM pada hasil gabungan DEM (dibandingkan dengan DEM individu) (Hoja, Reinartz, & Schroeder, 2006). Detil dari kedua data diperhitungkan dalam metode pembobotan tersebut. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi pada nilai bobot **Persamaan 2** dengan menambahkan jumlah titik tinggi pada daerah tampalan dari masing-masing data. Penambahan jumlah titik tinggi tersebut dilakukan untuk memperhitungkan resolusi spasial dari data. Modifikasi nilai bobot tersebut dituliskan dalam **Persamaan 3**.

$$p_i = n_i \times \frac{1}{a_i} \dots\dots\dots(3)$$

keterangan :

p_i = nilai bobot ($\frac{1}{a_i a_i}$), a_i (akurasi) > 0)

a_i = tingkat akurasi DEM

n_i = jumlah titik pada daerah tampalan

Analisis pola kontur dan profil ketinggian dilakukan untuk kontrol kualitas hasil mozaik (*seamless* dan *smooth*). Data hasil mozaik

kemudian dilakukan perhitungan akurasi vertikal kembali menggunakan **Persamaan 1**. Pengkelasan sesuai standar BIG Nomor 15 Tahun 2014 juga dilakukan untuk mengecek perubahan yang terjadi setelah dilakukan mozaik. Penentuan kelas dihitung menggunakan Persamaan *Linear Error* (LE) menurut Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014 yang dituliskan dalam **Persamaan 4**.

$$LE90 = 1,6499 \times RMSE_{(Z)} \dots\dots\dots(4)$$

keterangan :

$RMSE_{(Z)}$ = *Root Mean Square Error* pada posisi Z (vertikal)

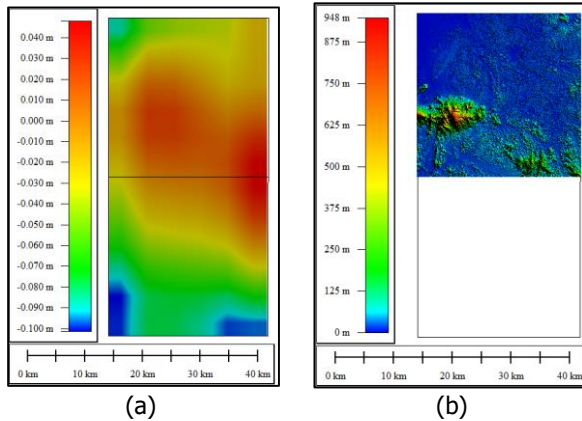
Nilai $RMSE_{(Z)}$ dihitung menggunakan **Persamaan 1**. Hasil dari Linear Error (LE) selanjutnya dikelaskan sesuai dengan ketelitian geometri peta RBI dalam PerKa BIG Nomor 15 Tahun 2014. Tabel 2. menjelaskan mengenai ketelitian geometri peta RBI menurut PerKa Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koreksi Undulasi Geoid

Data DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 sudah didefinisikan kedalam sistem referensi vertikal EGM 2008, sehingga koreksi undulasi geoid hanya dilakukan pada data DTM IFSAR tahun 2011. Data DTM IFSAR tahun 2011 masih menggunakan sistem referensi vertikal EGM 1996, sehingga perlu dilakukan koreksi undulasi geoid kedalam sistem referensi EGM 2008. **Gambar 5** menggambarkan hasil beda tinggi undulasi geoid antara EGM 1996 dan EGM 2008, serta hasil koreksi undulasi geoid dari masing-masing data DTM. Nilai beda tinggi undulasi geoid pada daerah kajian berkisar antara -1,101 meter sampai dengan 0,048 meter. Setelah dilakukan koreksi undulasi geoid, nilai ketinggian data DTM IFSAR tahun 2011 berkisar antara 0 sampai dengan 948,375 meter. Perbedaan ketinggian undulasi geoid antara EGM 1996 dengan

EGM 2008 pada daerah kajian tersebut tidak terlalu signifikan, sehingga hasil nilai ketinggian data DTM yang sudah terkoreksi undulasi memiliki perbedaan yang sangat kecil yakni tidak sampai 1 meter dari data awal. Penyamaan sistem referensi vertikal ini dilakukan agar data yang akan dimozaiak berada pada satu sistem referensi yang sama.



Gambar 5. (a) Beda tinggi undulasi geoid antara EGM 1996 dan EGM 2008; (b) Hasil koreksi undulasi geoid DTM IFSAR 2011.

Tabel 3. Hasil uji akurasi vertikal data awal.

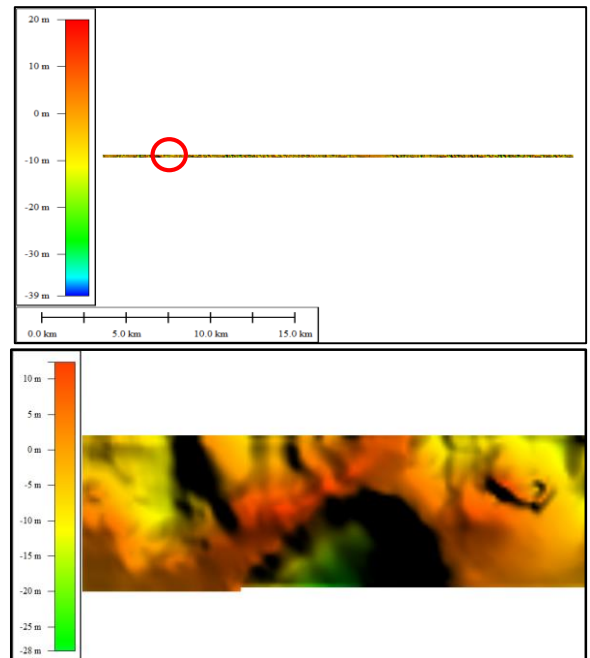
No.	NLP	Data	Akurasi Vertikal (m)
1.	1316-63	DTM IFSAR tahun 2011	2,050
2.	1316-61	DTM RBI 1:50.000 tahun 2014	3,284

Perhitungan Akurasi

Perhitungan akurasi menggunakan titik GCP digunakan sebagai data acuan nilai ketinggian sebenarnya di lapangan. Hasil perhitungan akurasi dari masing-masing data GCP dituliskan dalam **Tabel 3**. Nilai akurasi vertikal DTM IFSAR tahun 2011 lebih baik dibandingkan dengan akurasi dari data DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 yaitu sebesar 2,050 meter. DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 memiliki akurasi vertikal sebesar 3,284 meter. Akurasi dari masing-masing data dipergunakan dalam perhitungan bobot

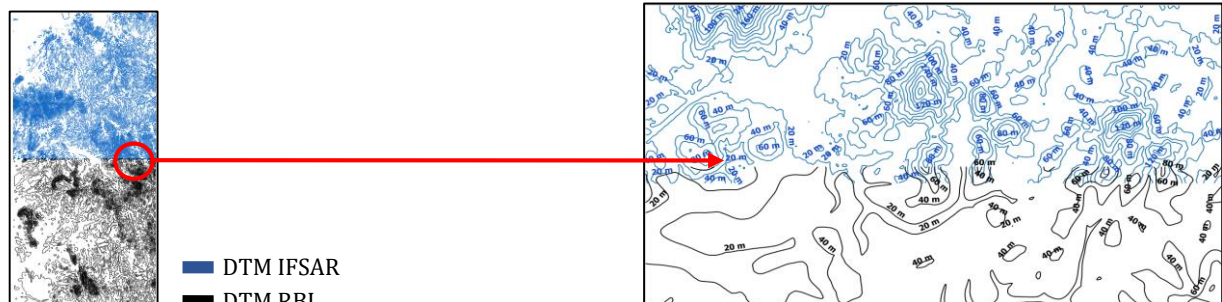
Mozaiak DTM

Data DTM IFSAR tahun 2011 dan DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 memiliki daerah tampalan pada sambungan antar NLP. Luas dari daerah tampalan antara kedua data tersebut adalah 5,873 km². Perbedaan ketinggian pada daerah tampalan tersebut disajikan pada **Gambar 6**.

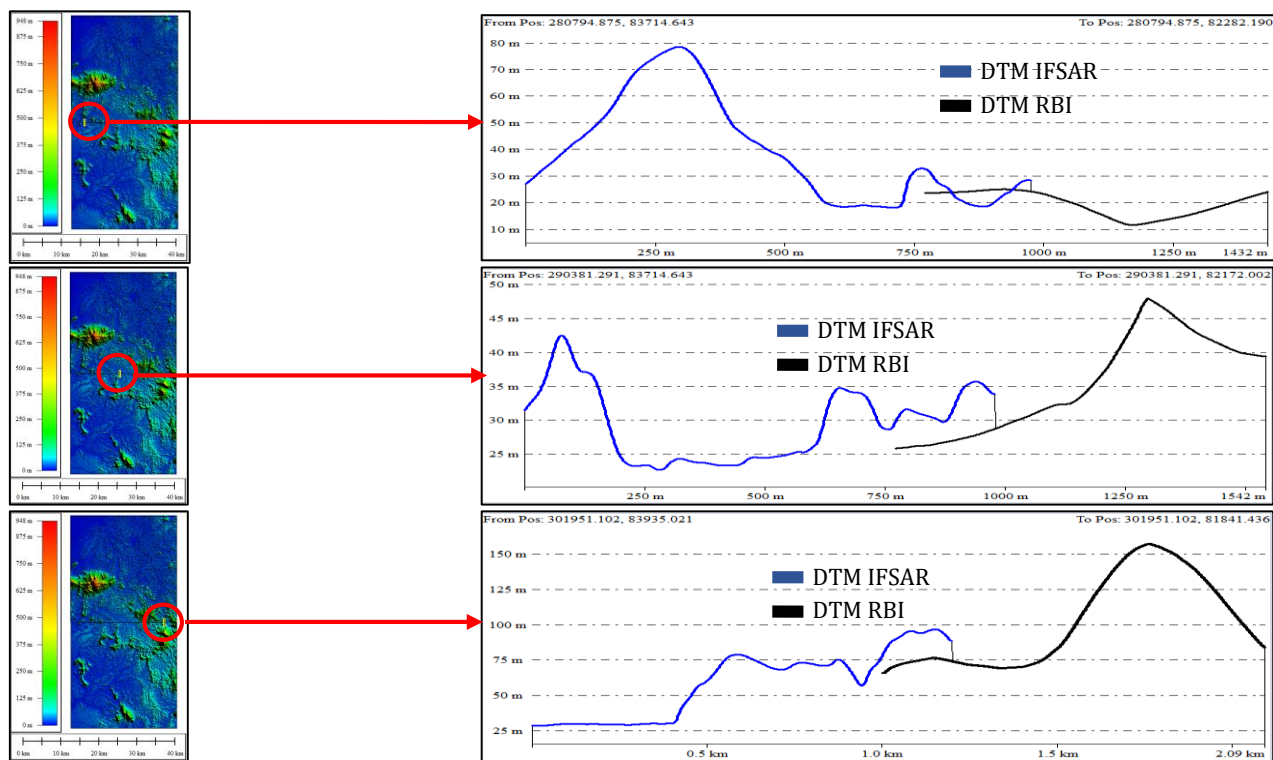


Gambar 6. Beda ketinggian antara DTM IFSAR tahun 2011 dengan DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 pada daerah tampalan.

Perbedaan ketinggian tersebut mengindikasikan adanya inkonsistensi data ketinggian dari kedua data. Inkonsistensi nilai ketinggian tersebut dapat dikarenakan perbedaan sumber data dan resolusi spasial dari kedua data. Nilai beda ketinggian dari data DTM IFSAR tahun 2011 dengan DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 pada daerah tampalan berkisar antara -38,883 sampai 20,03 meter. Analisis pola kontur juga dilakukan untuk mengetahui pola dari perbedaan ketinggian pada daerah tampalan tersebut. **Gambar 7** menunjukkan hasil pembuatan kontur pada kedua data dengan interval kontur 20 meter (sesuai dengan skala 1:50.000 menurut PerKa BIG Nomor 15 Tahun 2014).



Gambar 7. Pola kontur pada data DTM IFSAR tahun 2011 dan data DTM RBI 1:50.000 tahun 2014.



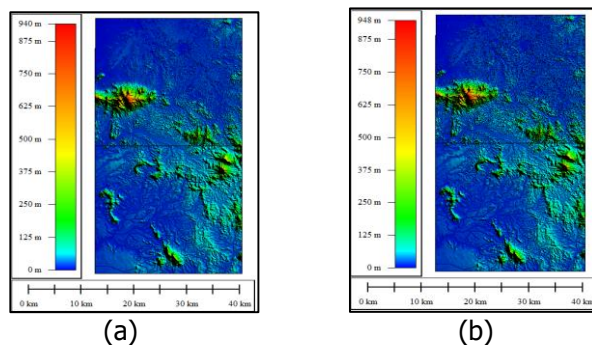
Gambar 8. Profil ketinggian dari data DTM IFSAR tahun 2011 dan data DTM RBI 1:50.000 tahun 2014.

Kontur dari kedua data menunjukkan adanya diskontinuitas daerah sambungan pada beberapa daerah, seperti yang digambarkan pada **Gambar 7**. Garis berwarna biru merupakan garis kontur data DTM IFSAR tahun 2011, sedangkan garis berwarna hitam merupakan garis kontur DTM RBI 1:50.000 tahun 2014. Analisis profil ketinggian dari kedua data juga dilakukan sebagai langkah ketiga untuk mengetahui adanya diskontinuitas data pada daerah sambungan dan tampalan. Hasil dari pengecekan profil ketinggian tersebut digambarkan pada **Gambar 8**.

Pengecekan profil ketinggian dilakukan pada 3 daerah sampel. Daerah sampel diambil dari daerah sambungan antar NLP. Keseluruhan sampel memperlihatkan adanya perbedaan ketinggian, dan inkonsistensi data ketinggian, seperti yang digambarkan pada **Gambar 8**. Melalui 3 metode pengecekan ketinggian (perhitungan beda ketinggian, analisis pola kontur, dan pengecekan profil ketinggian) pada daerah tampalan, dapat disimpulkan bahwa kedua data memiliki inkonsistensi nilai ketinggian pada daerah tampalan yang menyebabkan daerah sambungan menjadi tidak *smooth* dan *seamless*. Metode mozaik dengan bobot dan tanpa bobot diterapkan untuk memperbaiki inkonsistensi data tersebut. Hasil yang diharapkan dari penerapan metode tersebut adalah daerah sambungan antar data menjadi *smooth* dan *seamless* (**Gambar 9**).

Hasil mozaik tanpa bobot memiliki ketinggian minimum 0 meter dan ketinggian maksimum 940,421 meter. Mozaik dengan bobot dilakukan dengan menghitung nilai h_{out} dengan **Persamaan 2** dan pembobotan dihitung

menggunakan **Persamaan 3** pada daerah tampalan. Hasil mozaik dengan bobot memiliki ketinggian 0 meter sampai 948,044 meter. Resolusi dari masing-masing data dipertahankan sesuai dengan resolusi data awal yaitu 5 meter untuk data DTM IFSAR tahun 2011 dan 10 meter untuk data DTM RBI 1:50.000 tahun 2014.



Gambar 9. (a) hasil mozaik tanpa bobot; (b) hasil mozaik dengan bobot.

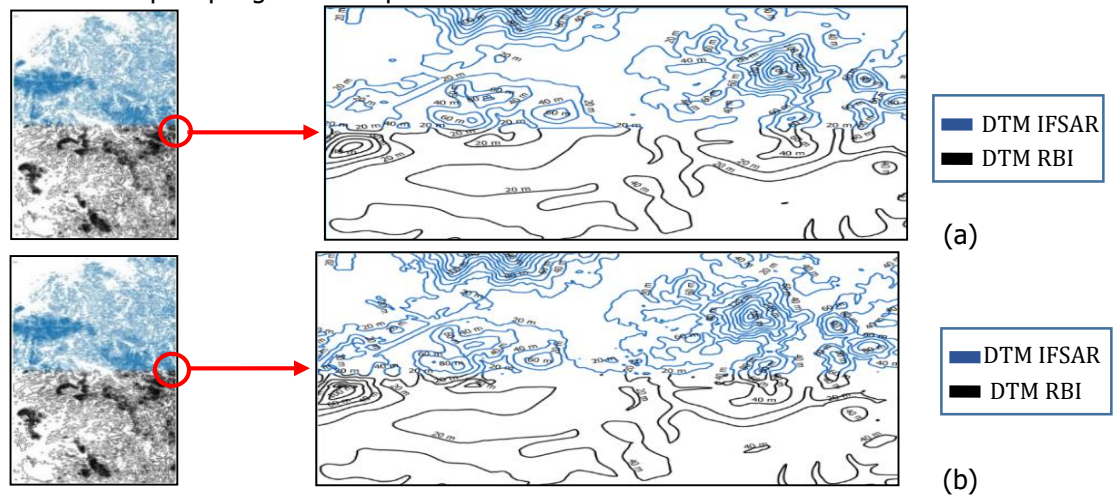
Analisis Pola Kontur dan Profil Ketinggian

Pengecekan pola kontur dan profil ketinggian dilakukan untuk melihat apakah hasil mozaik sudah *smooth* dan *seamless*. Pengecekan pola kontur dan profil ketinggian dilakukan pada masing-masing hasil mozaik, baik mozaik tanpa bobot maupun mozaik dengan bobot. Interval kontur yang digunakan untuk pengecekan pola kontur mengacu pada PerKa BIG nomor 15 tahun 2014 yaitu sebesar 20 meter. **Gambar 10** (a) merupakan hasil pengecekan pola kontur pada mozaik tanpa bobot dan **Gambar 10** (b) merupakan hasil pengecekan pola kontur pada

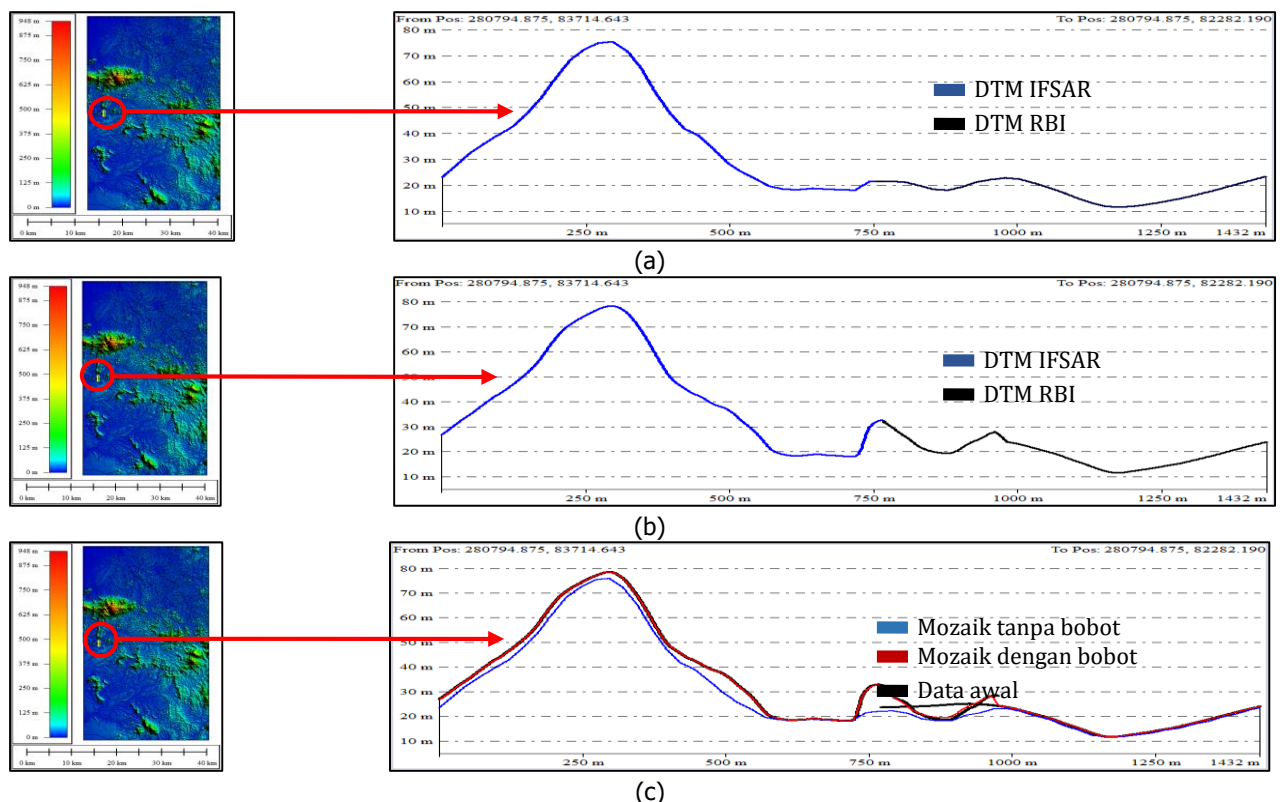
mozaik dengan bobot. Garis kontur data DTM IFSAR tahun 2011 digambarkan dengan warna biru, sedangkan garis kontur data DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 digambarkan dengan warna hitam. Hasil pengecekan pola kontur pada kedua skenario mozaik menghasilkan pola yang konsisten (sambung) antara kontur data DTM IFSAR tahun 2011 dengan kontur data DTM RBI 1:50.000 tahun 2014.

Pengecekan profil ketinggian juga dilakukan pada tiga daerah sampel pengecekan profil

ketinggian pada data awal. Tahapan pengecekan profil ketinggian dilakukan antara data DTM IFSAR tahun 2011 dan DTM RBI 1:50.000 tahun 2014 pada daerah sambungan dari hasil mozaik tanpa bobot dan tanpa bobot, serta profil ketinggian antara hasil mozaik dengan data awal juga dibandingkan. **Gambar 11** merupakan pengecekan profil ketinggian pada daerah sampel 1, **Gambar 12** pada daerah sampel 2 dan **Gambar 13** pada daerah sampel 3.



Gambar 10. (a) hasil pengecekan pola kontur pada mozaik tanpa bobot; (b) hasil pengecekan pola kontur pada mozaik dengan bobot.



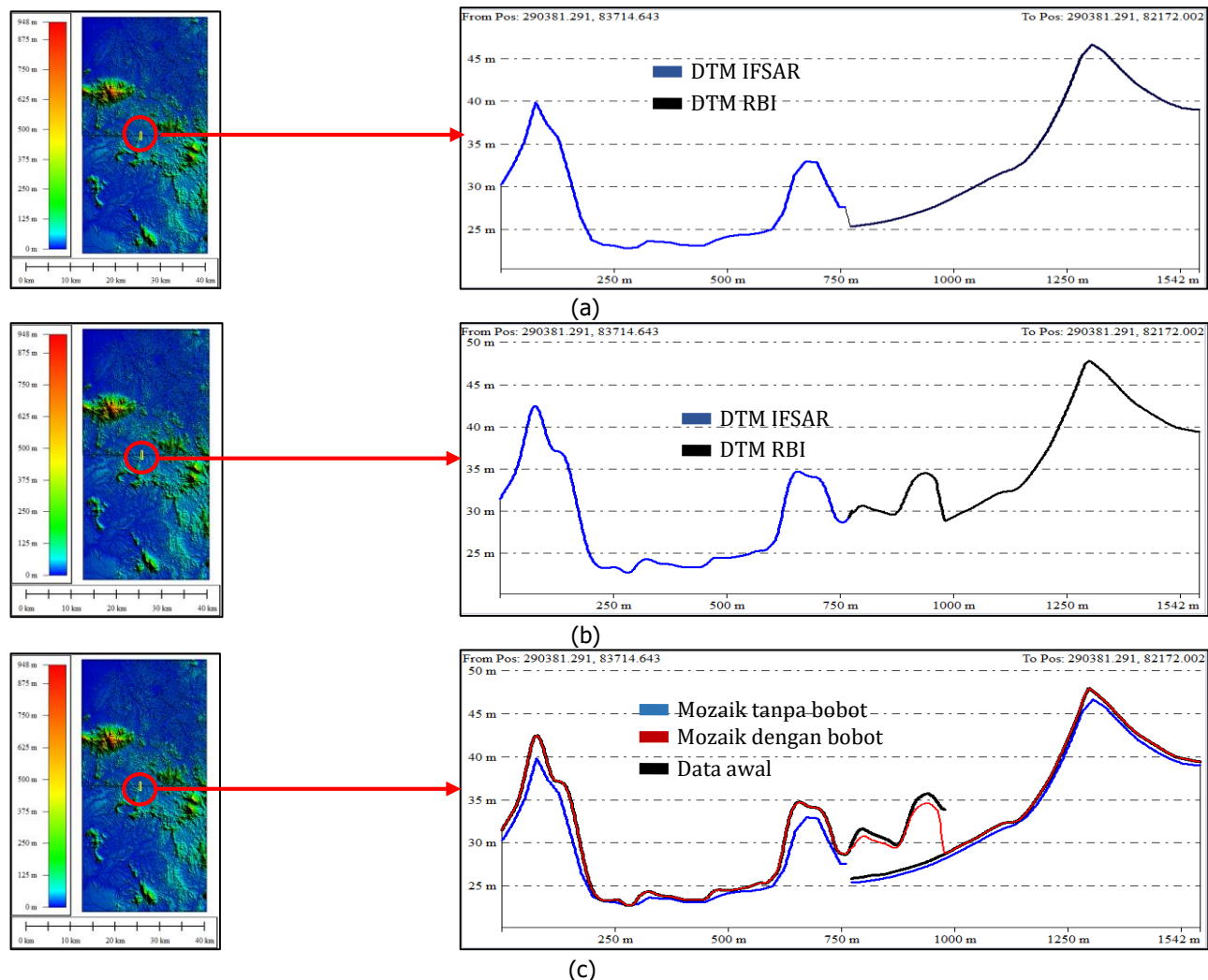
Gambar 11. Profil ketinggian daerah sampel 1 (a) mozaik tanpa bobot; (b) mozaik dengan bobot; (c) Perbandingan antara mozaik tanpa bobot, mozaik dengan bobot, dan data awal.

Pengecekan profil ketinggian pada daerah sampel 1 menggambarkan hasil yang *smooth* dan *seamless* pada daerah sambungan dari hasil mozaik tanpa bobot, dan dengan bobot. Pada daerah sampel 2 (**Gambar 12**), hasil mozaik tanpa bobot tidak *smooth* dan *seamless* pada daerah sambungan, sedangkan hasil mozaik dengan bobot menunjukkan hasil yang baik.

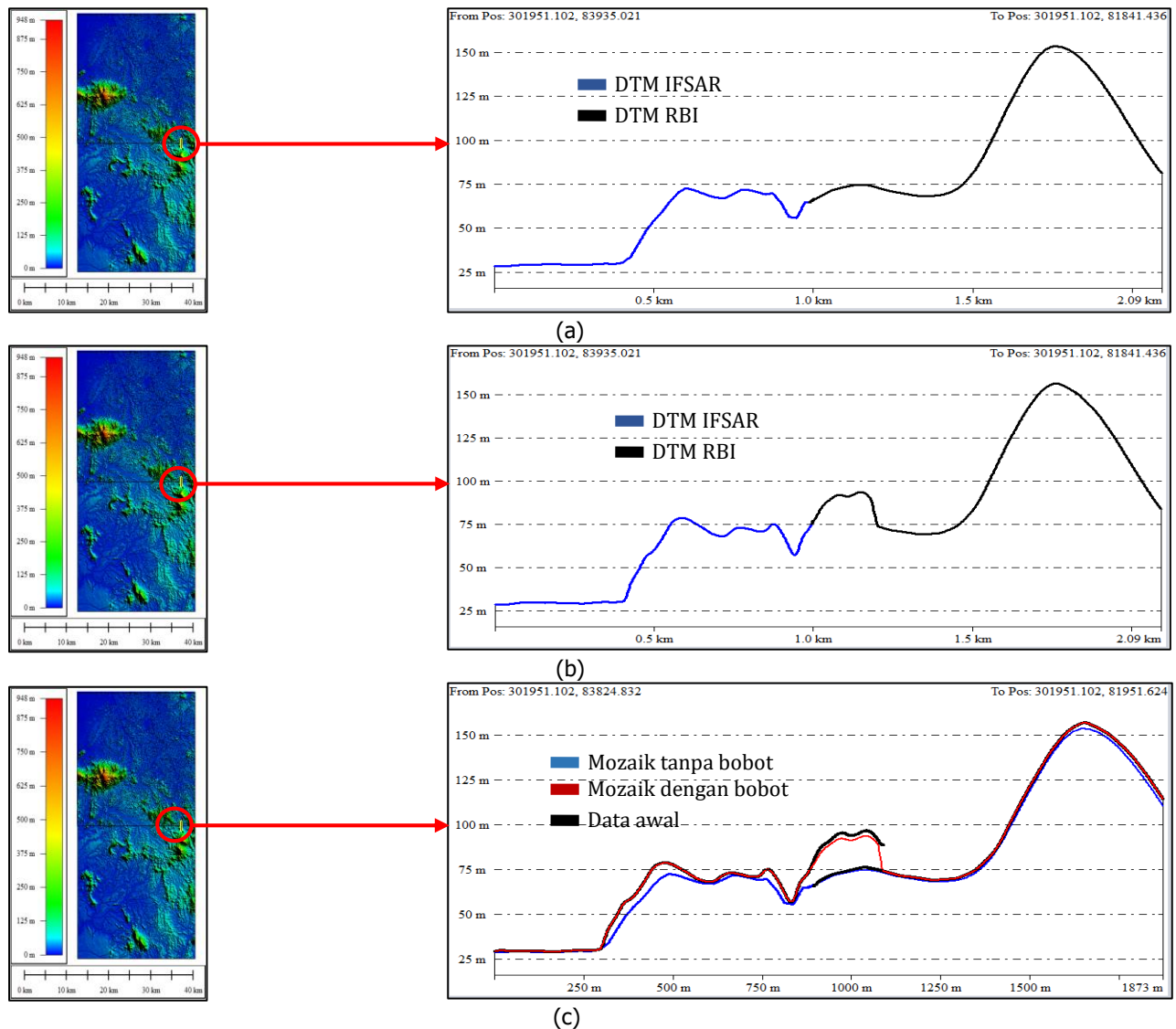
Hasil pengecekan profil ketinggian daerah sampel 3 yang digambarkan pada **Gambar 13** menunjukkan profil yang *smooth* dan *seamless* pada kedua hasil mozaik. Hasil pengecekan profil ketinggian pada seluruh sampel menunjukkan mozaik dengan bobot cenderung mengikuti pola ketinggian data DTM IFSAR tahun 2011. Mozaik dengan bobot dapat menghasilkan data yang *smooth* dan *seamless* pada daerah sambungan kedua data. Pada hasil mozaik tanpa bobot masih terdapat beberapa daerah yang tidak *seamless* dan

smooth di daerah sambungan antar kedua data yang digunakan dalam penelitian ini dibuktikan pada **Gambar 12 (a)**.

Hasil pengecekan pola kontur dan profil ketinggian pada penelitian ini menunjukkan bahwa hasil mozaik dengan bobot mampu mempertahankan detail ketinggian dari kedua data, sedangkan mozaik tanpa bobot menghilangkan beberapa detail ketinggian pada data (hasil mozaik menjadi lebih halus) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11 (a)**. Pengecekan profil ketinggian pada mozaik tanpa bobot juga di daerah sampel 2 dan 3 menunjukkan bahwa hasil mozaik dengan metode ini tidak memperhitungkan daerah tampalan, hanya mengikuti nilai ketinggian pada data DTM IFSAR dan langsung disambung dengan nilai ketinggian pada data DTM RBI 1:50.000 tahun 2014.



Gambar 12. Profil ketinggian daerah sampel 2 (a) mozaik tanpa bobot; (b) mozaik dengan bobot; (c) Perbandingan antara mozaik tanpa bobot, mozaik dengan bobot, dan data awal.



Gambar 13. Profil ketinggian daerah sampel 3 (a) mozaik tanpa bobot; (b) mozaik dengan bobot; (c) Perbandingan antara mozaik tanpa bobot, mozaik dengan bobot, dan data awal.

Uji Akurasi Vertikal dan Pengkelasan Hasil Mozaik

Uji akurasi vertikal dan pengkelasan dilakukan menggunakan standar PerKa BIG Nomor 15 Tahun 2014. Akurasi vertikal dihitung menggunakan **Persamaan 1**. Pengkelasan hasil mozaik mengacu pada **Tabel 2**. Sebaran GCP yang digunakan dalam perhitungan uji akurasi hasil mozaik digambarkan dalam **Gambar 4**. Hasil pengujian akurasi vertikal dari hasil mozaik dituliskan dalam **Tabel 4**.

Mozaik DTM tanpa pembobotan menghasilkan akurasi vertikal sebesar 2,257 meter, sedangkan mozaik DTM dengan pembobotan menghasilkan akurasi vertikal sebesar 2,065 meter. Akurasi dari hasil mozaik tanpa bobot maupun mozaik dengan bobot hanya berbeda 0,192 meter dengan hasil mozaik berbobot memiliki akurasi yang lebih baik. Berdasarkan Tabel Ketelitian Geometri Peta RBI dalam PerKa BIG Nomer 15 Tahun 2014, kedua hasil mozaik tersebut masuk kedalam skala 1:10.000.

Tabel 4. Uji akurasi vertikal hasil mozaik.

No.	Mozaik	Akurasi Vertikal (m)
1.	Tanpa Bobot	2,257
2.	Dengan bobot	2,065

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan data mozaik DTM dengan 2 skenario, yaitu tanpa pembobotan dan dengan pembobotan. Pada hasil mozaik tanpa bobot masih terdapat beberapa daerah yang tidak *seamless* dan *smooth* di daerah sambungan antar kedua data yang digunakan dalam penelitian ini. Mozaik tanpa bobot menghasilkan profil ketinggian yang lebih halus (*smooth*) hal ini dikarenakan adanya beberapa detail ketinggian dari data awal yang hilang. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menerapkan skenario mozaik dengan bobot (menghasilkan *smooth* dan *seamless* pada daerah sambungan). Fusi DEM yang diterapkan pada mozaik dengan bobot dipengaruhi oleh nilai

pembobotan, sehingga hasil metode ini bergantung pada nilai akurasi vertikal dari masing-masing data masukan. Pada penelitian ini, mozaik dengan bobot mampu mempertahankan detail ketinggian dari kedua data awal yang digunakan. Hasil uji akurasi menunjukkan mozaik DTM dengan bobot memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan mozaik DTM tanpa bobot yaitu sebesar 2,065 meter. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk mengatasi inkonsistensi nilai ketinggian dari dua data atau lebih pada daerah tampalan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Badan Informasi Geospasial yang telah menyediakan data DTM dan GCP untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhardwaj, A., Subhra Chatterjee, R., & Jain, K. (2013). Assimilation of DEMs generated from optical stereo and InSAR pair through data fusion. *Science Research*, 1(3), 39–44. <https://doi.org/10.11648/j.sr.20130103.12>
- BIG, (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014: Pedoman teknis ketelitian peta dasar.
- Forkuor, G., Conrad, C., Thiel, M., Ullmann, T., & Zoungana, E. (2014). Integration of optical and synthetic aperture radar imagery for improving crop mapping in northwestern Benin, West Africa. *Remote Sensing*, 6(7), 6472–6499. <https://doi.org/10.3390/rs6076472>
- Hoja, D., Reinartz, P., & Schroeder, M. (2006). Comparison of DEM generation and combination methods using high resolution optical stereo imagery and interferometric sar data. *Revue Francaise de Photogrammetrie et de Teledetection*, (184), 89–94.
- Hoja, D., & D'Angelo, P. (2009). analysis of DEM combination methods using high resolution optical stereo imagery and interferometric SAR data. *ISPRS HighResolution Earth Imaging for Geospatial Information Hannover*, 02–05. Retrieved from <http://elib.dlr.de/60015/>
- LAPAN, 2002. Spesifikasi Citra Satelit SPOT 5.
- LAPAN, 2010. Spesifikasi Citra Satelit TerraSAR-X.
- Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. (2005). *Digital Terrain Modelling: Principles and Methodology. Data Management*. Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203357132>
- Nikolakopoulos, K. G., Tsombos, P. I., & Zervakou, A. (2007). <title>Evaluating SRTM and ASTER DEM accuracy for the broader area of Sparte, Greece</title>, 6746, 67460F–67460F–12. <https://doi.org/10.1117/12.737501>
- Robinson, N., Regetz, J., & Guralnick, R. P. (2014). EarthEnv-DEM90: A nearly-global, void-free, multi-scale smoothed, 90m digital elevation model from fused ASTER and SRTM data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.11.002>
- Saldaña, M. M., Aguilar, M. A., Aguilar, F. J., & Fernández, I. (2012). DSM extraction and evaluation from Geoeye-1 stereo imagery. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1-4(September), 113–118. <https://doi.org/10.5194/isprannals-I-4-113-2012>
- Yue, L., Shen, H., Zhang, L., Zheng, X., Zhang, F., & Yuan, Q. (2017). High-quality seamless DEM generation blending SRTM-1, ASTER GDEM v2 and ICESat/GLAS observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 123, 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.11.002>