

Peraturan Daerah Kabupaten Bogor Nomor 12 Tahun 2016 Tentang Pembentukan dan Susunan Perangkat Daerah.

EVALUASI DATA DEM UNTUK PEMETAAN DAERAH BAHAYA BANJIR DI KABUPATEN KARAWANG

Agung Syetiawan, Dadan Ramdani, Bambang Riadi

Badan Informasi Geospasial

Jl Raya Jakarta-Bogor Km 46 Cibinong, Indonesia

Email: agungsyetiawan@gmail.com

ABSTRAK

Pada umumnya banjir terjadi pada daerah yang memiliki bentuk lahan relief datar dan landai. Daerah rawan banjir diidentifikasi dari karakter wilayahnya berdasarkan bentuk lahan, seperti dataran aluvial, lembah aluvial, kelokan sungai, rawa-rawa dan daerah rendah atau cekungan merupakan daerah yang rentan terkena banjir. Data DEM digunakan untuk mengetahui karakteristik kondisi fisik daerah bersangkutan. Untuk itu pemanfaatan data Digital Elevation Model (DEM) yang teliti digunakan untuk memberikan gambaran bentuk lahan yang terbentuk. Data DEM yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data DEM dari satelit terraSAR-X dan DEM hasil ekstraksi dari pemotretan udara menggunakan kamera metrik. Tujuan penelitian adalah melakukan evaluasi penggunaan data DEM dari TerraSAR-X dan DEM hasil ekstraksi foto udara untuk menghasilkan deliniasi daerah bahaya banjir. Data DEM tersebut akan dibandingkan dengan hasil pengukuran tinggi menggunakan metode GNSS levelling. Metode GNSS *levelling* dilakukan untuk memperoleh informasi ketinggian dari pengamatan satelit GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Ketinggian selanjutnya dikonversi ke tinggi orthometrik menggunakan data undulasi Geoid global EGM 2008. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai hasil uji akurasi DEM TerraSAR-X memiliki tingkat ketelitian 7,716 m sementara akurasi DEM foto udara adalah 0,589 m. Berdasarkan hasil uji akurasi maka DEM TerraSAR-X bisa digunakan untuk membuat peta bahaya banjir pada skala 1:25.000 sementara DEM foto udara bisa digunakan untuk membuat peta bahaya banjir pada skala 1:5.000. Penggunaan DEM yang teliti akan meningkatkan ketelitian dari model banjir yang dihasilkan.

Kata Kunci: daerah bahaya banjir, DEM, GNSS levelling, tinggi orthometrik, undulasi

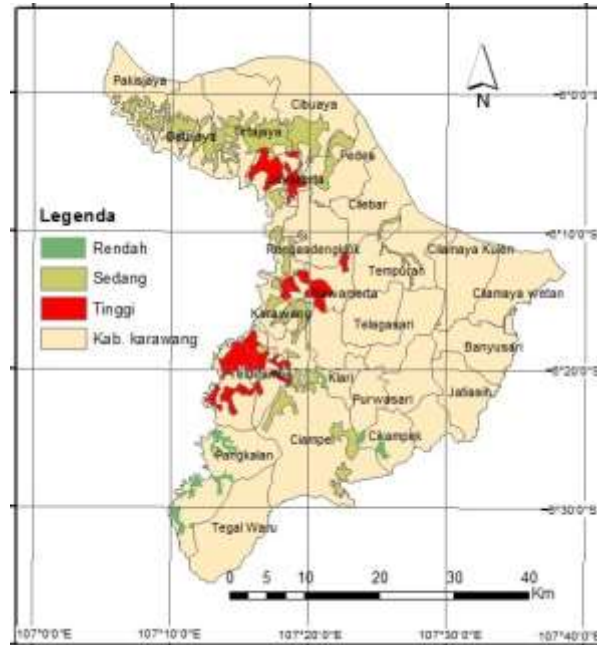
PENDAHULUAN

Banjir biasanya berlangsung pada daerah yang memiliki bentuk lahan relief datar dan landai. Bentuk lahan memiliki peranan penting sebagai wahana terjadinya proses air mengalir yang berasal dari proses hidrologi air. Wilayah bahaya banjir secara geomorfologi dicirikan dengan morfologi bentuk lahan yang cekung atau datar dan morfoaransemennya yang berasosiasi dengan sungai, dengan pola aliran *meander* dan atau bercabang-cabang (Pourali, Arrowsmith, Chrisman, Matkan, & Mitchell, 2016; Riadi & Suriadi, 2017). Bentuk lahan di daerah pesisir Kabupaten Karawang adalah dataran aluvial. Daerah dengan bentang alam dataran aluvial, lembah alluvial, tikungan sungai, dan rawa merupakan daerah dapat dikategorikan rentan terhadap banjir karena daerahnya rendah atau cekungan.

Proses-proses geomorfologi yang telah dan sedang terjadi akan terlihat pada bentuk lahan yang terbentuk. Selain itu penggunaan lahan yang ada saat ini pada dasarnya merupakan cerminan dari interaksi antara manusia dengan lingkungan (Wiweka & Suwarsono, 2011). Data DEM digunakan untuk mengetahui karakteristik kondisi fisik daerah bersangkutan. Untuk itu pemanfaatan data Digital Elevation Model (DEM) yang teliti digunakan untuk memberikan gambaran bentuk lahan yang terbentuk. Dengan demikian, banjir yang terjadi pada suatu wilayah dapat dijelaskan dari sudut pandang geomorfologi dan penggunaan lahan. DEM dapat memberikan efisiensi dalam kegiatan identifikasi dan penggambaran daerah rawan banjir. Data DEM yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data DEM dari satelit terraSAR-X dan DEM hasil ekstraksi dari pemotretan udara menggunakan kamera metrik. Tujuan penelitian adalah melakukan evaluasi penggunaan data DEM dari TerraSAR-X dan DEM hasil ekstraksi foto udara untuk menghasilkan deliniasi



daerah bahaya banjir. Data DEM tersebut akan dibandingkan dengan hasil pengukuran tinggi menggunakan metode GNSS levelling.



Gambar 1. Peta bahaya banjir menggunakan data DEM TerraSAR-X (Riadi & Suriadi, 2017).

Vertikal datum di Indonesia direalisasikan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) dalam bentuk pilar Jaring Kontrol Vertikal (JKV). Akan tetapi, kondisi pilar JKV banyak yang sudah tidak dapat digunakan dikarenakan hilang ataupun rusak. Sekarang ini, penggunaan Global Navigation Satellite System (GNSS) sudah meluas tidak hanya untuk keperluan penentuan posisi horisontal saja. GNSS dapat menghasilkan nilai ketinggian yang cukup baik dengan meningkatnya ketelitian geoid yang tersedia. Teknik pengukuran tinggi ini dinamakan dengan nama GNSS *heighting* atau GNSS *levelling*. GNSS *heighting* bisa digunakan sebagai alternatif aplikasi penentuan tinggi secara praktis. Penentuan tinggi menggunakan metode GNSS ini diharapkan bisa menjadi alternatif lain metode pengukuran tinggi konvensional yang selama ini menggunakan sipat datar (*levelling*) dimana pengukuran sipat datar sangat bergantung pada ketersediaan infrastruktur jalan, membutuhkan waktu pekerjaan yang lama dan biaya pekerjaan yang relatif mahal (Lestariya & Ramdani, 2006).

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Foto udara yang digunakan merupakan foto udara skala besar yaitu skala 1:5.000. DEM dihasilkan dari proses stereoplotting foto udara (Arfaini & Handayani, 2016). Proses stereoplotting menghasilkan nilai ketinggian dengan resolusi 0,5 meter sehingga dapat memberikan informasi yang lebih detail mengenai relief permukaan bumi yang dipetakan. Kemudian data lain yang digunakan adalah data satelit TerraSAR-X dikarenakan ketersediaan data foto udara yang terbatas di daerah penelitian. Data DEM TerraSAR-X memiliki resolusi vertikal dan horizontal yang cukup, sehingga bisa menjadi alternatif dalam menghasilkan data DEM. Resolusi spasial yang cukup dari sensor TerraSAR-X memberikan akses ke heterogenitas permukaan pada skala yang lebih baik (Somantri, 2008). Lokasi penelitian berada di Kabupaten Karawang, Karawang dipilih karena memenuhi kriteria sebagai daerah rawan banjir, berada di wilayah pesisir dengan karakteristik lereng <2% dan memiliki curah hujan rata-rata ≥ 200 mm. Berdasarkan kriteria tersebut wilayah Karawang termasuk kelas bahaya banjir (SNI, 2015).

Pengukuran tinggi orthometrik dengan menggunakan metode GNSS pada dasarnya merupakan pengukuran tinggi dengan menggunakan teknologi satelit (Dennis & Featherstone, 2002; Jamil, 2011). Tinggi yang dihasilkan dari sebuah pengamatan satelit disebut sebagai tinggi normal atau tinggi geodetik, tinggi ini mengacu pada bidang ellipsoid. Untuk keperluan praktis, tinggi tersebut perlu dikonversi menjadi tinggi ortometrik dengan adanya undulasi geoid. Persamaan tinggi ortometrik, tinggi geodetik dan undulasi dapat dilihat pada persamaan 1 (Abidin et al., 2004).

$$H = h - N \dots\dots\dots (1)$$

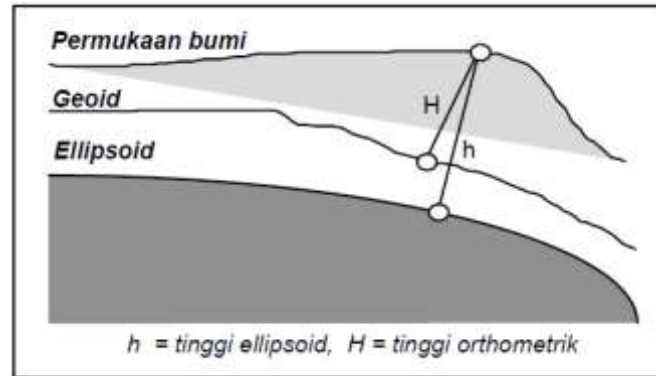
Keterangan:



H = Tinggi ortometrik

h = Tinggi normal/ tinggi geodetik

N = Undulasi geoid



Gambar 2. Tinggi ellipsoid dan tinggi orthometrik (Abidin et al., 2004).

Dalam pelaksanaannya, pengukuran tinggi orthometrik dengan menggunakan metode pengamatan satelit (GNSS *heighting*) bisa dilakukan melalui dua metode, yaitu: metode GNSS *heighting* absolut teliti dan metode GNSS *heighting* relatif. Untuk mencapai tingkat ketelitian yang optimal, kedua metode tersebut harus dilakukan dalam rentang pengamatan data satelit GNSS yang relatif lama (*long term observation*) dalam mode pengamatan statik dengan proses pengolahan data *post-processing*. Pengukuran GNSS dilakukan di beberapa tempat berdasarkan dengan sejarah kejadian banjir di Kabupaten Karawang.



Pengukuran GNSS di sekitar telukjambe timur

Pengukuran GNSS di sekitar Batujaya

Pengamatan satelit dilakukan menggunakan perangkat GNSS tipe geodetik dual frekuensi (L1 dan L2). Pengamatan satelit di lapangan menggunakan interval pengamatan data setiap 1 detik dengan *cut off angle* satelit sebesar 10° . Segment satelit yang digunakan adalah GPS dan GLONASS. Pengolahan data satelit menggunakan informasi orbit satelit teliti (*precise ephemeris*) yang dapat diunduh pada situs laman IGS. Pengolahan data satelit menggunakan perangkat lunak komersial. Skema pengolahan data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Pengukuran satelit dilakukan menggunakan skema titik bantu untuk memperpendek lama pengamatan (*short baseline*) di setiap titik-titik validasi. Titik bantu diikatkan terhadap stasiun CORS terdekat milik BIG yaitu stasiun CORS Cibitung (CBTU) yang berlokasi di telkom Cibitung.

Tabel 1. Parameter Pengolahan data

Parameter	Keterangan
Titik Ikat	Stasiun Tetap CORS Cibitung (CBTU)
<i>Frequency used</i>	Dual Frequency (L1, L2)
Ephemeris	Precise
Interval data	1 second
<i>Cut of angle</i>	10°
<i>Satellite Segment</i>	GPS dan GLONASS



Datum	WGS 1984
Zone	48 South
Geoid	EGM 2008 1'

Penentuan nilai undulasi pada datum WGS84 dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak EGM2008 Harmonic Synthesis Program (hsynth_WGS84.exe). Perhitungan titik undulasi geoid dilakukan menggunakan model global EGM2008. Pertama kali yang harus dilakukan adalah menyusun list koordinat titik yang akan ditentukan nilai undulasi geoidnya. List koordinat input disusun menggunakan koordinat lintang bujur pada datum WGS84. Langkah selanjutnya adalah menjalankan program *harmonic synthesis* dengan sebelumnya melengkapi data koefisien *spherical harmonic* dan koefisien koreksi (ketinggian anomali terhadap koefisien undulasi geoid). Koefisien *spherical harmonic* yang digunakan telah dikoreksi dengan pasut bumi (*Earth tide*). Konstanta WGS84 digunakan untuk mendefinisikan ellipsoid DAFTAR PUSTAKA dan bidang gravitasi normal, yang mana undulasi geoid dirujuk berdasarkan:

- $a=6378137.00$ m (semi-major axis dari ellipsoid WGS84)
- $f=1/298.257223563$ (penggepengan dari ellipsoid WGS 84)
- $GM=3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$ (Konstanta Gravitasi)
- $\omega=7292115 \times 10^{-11}$ radians/sec (kecepatan sudut Bumi)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan titik GNSS dapat dilihat pada tabel 2. Solusi ambiguitas fase pengolahan data GPS FIXED. Total titik pengamatan satelit yang digunakan berjumlah 71 titik. Hasil pengolahan titik GNSS mendapatkan hasil presisi horisontal berkisar pada 0,003-0,020 meter, sementara presisi vertikal berada pada rentang 0,008-0,034 meter. *Root mean square* (RMS) error hasil pengolahan titik GNSS bervariasi pada rentang 0,004 hingga 0,030 meter. Titikbtjy (batujaya) mendapatkan nilai float dengan nilai RMS error yaitu 0,148 meter dengan presisi horisontal 0,072 m dan presisi vertikal yaitu 0,120 meter. Nilai float di titik btjy dikarenakan kondisi pengukuran yang kurang ideal, banyak terdapat obstruksi sehingga satelit yang diterima sedikit. Dikarenakan nilai RMS titik btjy masih di bawah 1 meter, maka hasil float di titik btjy masih digunakan dalam analisis data.

Berdasarkan hasil pengolahan data undulasi geoid menggunakan perangkat lunak EGM 2008 Harmonic Synthesis Program didapatkan nilai undulasi di daerah Karawang berkisar pada rentang 18,890 sampai dengan 19,373. Nilai undulasi yang didapatkan berasal dari nilai undulasi global EGM 2008. Tabel 2 menunjukkan nilai undulasi di setiap titik yang dilakukan pengamatan GNSS. Setelah mendapatkan nilai undulasi, kemudian langkah selanjutnya adalah menghitung tinggi orthometrik per titik. Hasil perhitungan tinggi orthometrik dapat dilihat pada tabel 2. Ketelitian dari tinggi orthometrik yang diperoleh akan tergantung pada ketelitian dari tinggi GNSS serta undulasi geoid (Abidin et al., 2004). Kualitas geoid EGM 2008 di sekitar Asia berada pada level ~15cm (Gruber, 2009; Hirt, 2011).

Tabel 2. Hasil pengolahan data GNSS dan undulasi geoid

ID	Latitude (Global)	Longitude (Global)	Height (Global) (Meter)	Undulasi geoid	Tinggi Orthometrik
btjy	S6°06'00.90745"	E107°14'09.86487"	24.375	18.897	5.478
ckmp	S6°23'20.60328"	E107°25'54.46539"	49.272	19.367	29.905
GPS0001	S6°23'20.90902"	E107°25'57.61934"	47.754	19.368	28.386
GPS0003	S6°18'50.14303"	E107°15'31.35974"	30.814	18.906	11.908
GPS0004	S6°18'50.40788"	E107°15'31.07079"	30.078	18.906	11.172
GPS0005	S6°18'50.59638"	E107°15'32.23213"	29.929	18.907	11.022
GPS0006	S6°18'50.17919"	E107°15'33.45502"	29.851	18.907	10.944
GPS0007	S6°18'51.13287"	E107°15'34.53504"	29.753	18.908	10.845
GPS0008	S6°18'56.95662"	E107°15'33.18992"	29.786	18.910	10.876
GPS0009	S6°18'57.49535"	E107°15'32.07933"	29.803	18.909	10.894
GPS0010	S6°18'57.06347"	E107°15'29.07410"	30.158	18.907	11.251
GPS0011	S6°18'58.05894"	E107°15'29.24728"	29.731	18.908	10.823
GPS0012	S6°18'59.90360"	E107°15'28.95901"	29.700	18.909	10.791



ID	Latitude (Global)	Longitude (Global)	Height (Global) (Meter)	Undulasi geoid	Tinggi Orthometrik
GPS0013	S6°18'59.73533"	E107°15'28.04685"	30.026	18.908	11.118
GPS0014	S6°19'01.00979"	E107°15'27.85858"	29.739	18.908	10.831
GPS0015	S6°19'05.53101"	E107°15'31.80839"	29.918	18.913	11.005
GPS0017	S6°19'04.01109"	E107°15'40.80505"	29.829	18.918	10.911
GPS0018	S6°19'03.52664"	E107°15'41.88256"	29.801	18.918	10.883
GPS0019	S6°19'00.00060"	E107°15'45.10146"	29.797	18.919	10.878
GPS0021	S6°18'46.99684"	E107°15'48.79904"	29.693	18.916	10.777
GPS0022	S6°18'41.35921"	E107°15'49.31542"	29.791	18.914	10.877
GPS0023	S6°18'40.09542"	E107°15'49.59040"	29.901	18.913	10.988
GPS0024	S6°18'35.82025"	E107°15'49.99443"	29.755	18.912	10.843
GPS0025	S6°18'34.46104"	E107°15'49.68905"	29.799	18.911	10.888
GPS0026	S6°18'33.37961"	E107°15'49.69781"	30.088	18.910	11.178
GPS0027	S6°18'32.98464"	E107°15'49.30140"	30.190	18.910	11.280
GPS0028	S6°18'33.36708"	E107°15'46.86083"	29.799	18.909	10.890
GPS0029	S6°18'31.77425"	E107°15'46.71539"	29.799	18.908	10.891
GPS0030	S6°18'31.86150"	E107°15'45.60682"	29.788	18.907	10.881
GPS0031	S6°18'30.25026"	E107°15'45.35263"	29.775	18.906	10.869
GPS0032	S6°18'29.48513"	E107°15'45.29001"	29.784	18.906	10.878
GPS0033	S6°18'28.61249"	E107°15'44.01869"	29.983	18.905	11.078
GPS0034	S6°18'31.18600"	E107°15'41.16573"	29.751	18.904	10.847
GPS0035	S6°18'33.86839"	E107°15'41.73322"	29.969	18.906	11.063
GPS0037	S6°18'39.76874"	E107°15'41.97380"	29.942	18.908	11.034
GPS0038	S6°18'41.23876"	E107°15'41.57902"	29.790	18.909	10.881
GPS0039	S6°18'41.17256"	E107°15'40.88273"	29.911	18.908	11.003
GPS0040	S6°18'42.26281"	E107°15'40.62442"	29.751	18.908	10.843
GPS0041	S6°18'42.08391"	E107°15'39.73165"	29.905	18.908	10.997
GPS0042	S6°18'42.41811"	E107°15'39.63186"	29.828	18.908	10.92
GPS0043	S6°18'43.55671"	E107°15'38.33618"	29.807	18.907	10.900
GPS0044	S6°18'43.60870"	E107°15'37.70348"	29.734	18.907	10.827
GPS0045	S6°18'44.16536"	E107°15'37.66789"	29.709	18.907	10.802
GPS0046	S6°18'50.16784"	E107°15'31.32149"	30.772	18.906	11.866
GPS1002	S6°16'53.54550"	E107°16'07.67247"	31.534	18.890	12.644
GPS1003	S6°16'55.83658"	E107°16'07.54681"	31.543	18.890	12.653
GPS1004	S6°16'58.79635"	E107°16'06.86864"	31.828	18.890	12.938
GPS1005	S6°17'00.35882"	E107°16'10.04310"	31.746	18.893	12.853
GPS1006	S6°17'01.32231"	E107°16'12.37345"	31.705	18.895	12.810
GPS1007	S6°16'59.77039"	E107°16'13.10603"	31.727	18.895	12.832
GPS1008	S6°16'58.73677"	E107°16'13.51016"	31.628	18.895	12.733
GPS1011	S6°16'57.20921"	E107°16'12.61128"	31.955	18.894	13.061
GPS1012	S6°16'56.19153"	E107°16'12.93193"	31.948	18.894	13.054
GPS1013	S6°16'55.02476"	E107°16'13.35650"	32.354	18.894	13.460
GPS1014	S6°16'54.66796"	E107°16'12.44460"	32.264	18.893	13.371



ID	Latitude (Global)	Longitude (Global)	Height (Global) (Meter)	Undulasi geoid	Tinggi Orthometrik
GPS1015	S6°16'56.00252"	E107°16'13.84715"	31.733	18.894	12.839
GPS1016	S6°16'56.32447"	E107°16'15.06712"	31.668	18.895	12.773
GPS1017	S6°16'58.08470"	E107°16'15.46650"	31.579	18.896	12.683
GPS1020	S6°16'59.15130"	E107°16'18.61511"	31.640	18.898	12.742
GPS1021	S6°16'58.17793"	E107°16'20.60566"	31.679	18.899	12.780
GPS1022	S6°16'56.73833"	E107°16'20.57052"	31.880	18.899	12.981
GPS1024	S6°06'06.65495"	E107°14'14.06911"	24.169	18.898	5.271
GPS1025	S6°06'05.10715"	E107°14'13.73935"	24.342	18.899	5.443
GPS1026	S6°06'04.77712"	E107°14'12.62636"	24.251	18.898	5.353
GPS2002	S6°23'20.38112"	E107°25'57.59800"	49.797	19.368	30.429
GPS2003	S6°23'25.03659"	E107°25'50.70309"	48.502	19.367	29.135
GPS2004	S6°23'27.05086"	E107°25'46.13536"	48.680	19.366	29.314
GPS2005	S6°23'24.05170"	E107°25'55.59571"	48.293	19.369	28.924
GPS2006	S6°23'23.31762"	E107°26'04.64114"	48.480	19.373	29.107
karangligar	S6°18'50.11653"	E107°15'31.42980"	30.941	18.906	12.035
skdn	S6°16'53.55471"	E107°16'09.88925"	31.910	18.891	13.019

Evaluasi geometrik DEM dan GNSS Levelling

Evaluasi data inputan DEM yang digunakan dalam analisis perlu dilakukan untuk melihat kemampuan data bisa dimanfaatkan pada rentang skala tertentu. Persamaan 1 merupakan persamaan untuk menghitung ketelitian peta (Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 15, 2014). Ketentuan ketelitian geometri peta berdasarkan kelas yang sudah ada di BIG, bisa dilihat pada tabel 3.

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum(Z_{imagei} - Z_{lapangan})^2}{n}} \dots\dots\dots (2)$$

Standar pengukuran akurasi menurut NMAS (*National Map Accuracy Standar*) adalah sebagai berikut:

Akurasi Vertikal NMAS = 1,6499 * RMSEz

Dalam hal ini nilai Z lapangan diperoleh menggunakan hasil pengamatan GNSS *levelling*. Perhitungan kelas ketelitian DEM yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kelas ketelitian pembuatan peta dasar

No	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI (m)					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)	Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)	Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)
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

Perhitungan ketelitian DEM TerraSAR-X dapat dilihat pada tabel 4. Titik uji yang digunakan berjumlah 71 titik pengamatan GNSS Levelling yang sudah memenuhi kriteria ketelitian pengukuran satelit. Selisih tertinggi nilai DEM TerraSAR-X dan tinggi hasil GNSS Levelling adalah 10,255 meter, nilai ini mendekati dengan resolusi data TerraSAR-X yaitu berkisar pada rentang 7-9 meter. Setelah nilai RMSE



diperoleh, maka dapat ditentukan nilai Linier Error 90% (LE90). Secara definisi, dalam Perka disebutkan bahwa LE90 adalah ukuran ketelitian geometrik vertikal yaitu nilai jarak yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek di peta dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak lebih besar daripada nilai jarak tersebut. Dari hasil evaluasi geometrik nilai ketinggian (vertikal) diperoleh akurasi sebesar 7,716 meter, nilai tersebut lebih kecil dari nilai ambang batas terendah yakni 12,5 meter (lihat tabel 3) sehingga mengacu pada Perka BIG No. 15 Tahun 2014 nilai tersebut telah memenuhi nilai ketelitian geometri pada skala 1: 25.000 kelas 3. Tabel 4 menyajikan contoh perhitungan ketelitian vertikal DEM TerraSAR-X sesuai dengan Perka Ketelitian BIG.

Tabel 4. Uji akurasi DEM TerraSAR-X.

Nama titik	GNSS levelling	DEM dari terraSAR-X	(D Z)	(D Z) ²
btjy	5,478	10,32680000000	-4,84880000000	23,51086144
ckmp	29,905	24,54280000000	5,36220000000	28,75318884
GPS0001	28,385	30,63670000000	-2,25170000000	5,07015289
GPS0003	11,908	10,13730000000	1,77070000000	3,13537849
GPS0004	11,172	10,23580000000	0,93620000000	0,87647044
GPS0005	11,023	10,89670000000	0,12630000000	0,01595169
GPS0006	10,944	10,44120000000	0,50280000000	0,25280784
GPS0007	10,844	10,91140000000	-0,06740000000	0,00454276
GPS0008	10,877	10,62760000000	0,24940000000	0,06220036
GPS0009	10,894	9,27801000000	1,61599000000	2,61142368
GPS1013	13,460	12,23760000000	1,22240000000	1,49426176
GPS1014	13,371	15,32090000000	-1,94990000000	3,80211001
GPS1015	12,838	4,63452000000	8,20348000000	67,29708411
GPS1016	12,773	2,51772000000	10,25528000000	105,17076788
.
GPS1024	5,270	7,27056000000	-2,00056000000	4,00224031
GPS1025	5,443	9,93256000000	-4,48956000000	20,15614899
GPS1026	5,352	8,00000000000	-2,64800000000	7,01190400
GPS2002	30,428	26,02910000000	4,39890000000	19,35032121
GPS2003	29,134	29,77140000000	-0,63740000000	0,40627876
GPS2004	29,313	28,45770000000	0,85530000000	0,73153809
GPS2005	28,923	30,56910000000	-1,64610000000	2,70964521
GPS2006	29,107	31,94400000000	-2,83700000000	8,04856900
karangligar	12,035	10,00000000000	2,03500000000	4,14122500
skdn	13,019	21,79670000000	-8,77770000000	77,04801729
			Jumlah	1552,703
			Rata-Rata	21,869
			RMSE	4,676
			Akurasi	7,716 m

Proses perhitungan ketelitian untuk data DEM dari foto udara dilakukan sama dengan perhitungan DEM terraSAR-X. Titik uji yang digunakan berjumlah 51 titik dikarenakan cakupan foto udara yang tersedia tidak bisa meliputi seluruh titik pengamatan GNSS. Selisih tertinggi nilai DEM foto udara dengan tinggi hasil GNSS Levelling adalah -1,643 meter di titik GPS0025. Dari hasil evaluasi geometrik nilai ketinggian (vertikal) diperoleh akurasi sebesar 0,589 meter, nilai tersebut lebih kecil dari nilai ambang batas terendah yakni 1 meter (lihat tabel 3) sehingga mengacu pada Perka BIG No. 15 Tahun 2014 nilai tersebut telah



memenuhi nilai ketelitian geometri pada skala 1: 5.000 **kelas 1**. Tabel 5 menyajikan contoh perhitungan ketelitian vertikal sesuai dengan Perka Ketelitian BIG. Secara ketelitian horizontal, foto udara juga memberikan ketelitian horizontal di bawah 1 meter (Susetyo, Syetiawan, & Octariady, 2017).

Tabel 5. Uji akurasi DEM Foto Udara.

Nama titik	DEM dari foto udara	GNSS	(D Z)	(D Z) ²
GPS0016	11,10438002400	11,030	0,07438002400	0,00553239
GPS0017	11,13340707960	10,911	0,22240707960	0,04946491
GPS0018	10,97458090280	10,882	0,09258090280	0,00857122
GPS0019	10,83282512350	10,878	-0,04517487650	0,00204077
GPS0020	11,14283797000	11,225	-0,08216203000	0,00675060
GPS0021	11,11822315140	10,777	0,34122315140	0,11643324
GPS0022	11,22794448270	10,877	0,35094448270	0,12316203
GPS0023	11,12119320770	10,987	0,13419320770	0,01800782
GPS0024	11,05964018190	10,843	0,21664018190	0,04693297
GPS0025	9,24421739258	10,888	-1,64378260742	2,70202126
GPS0026	11,24652313750	11,177	0,06952313750	0,00483347
GPS0027	11,25978699420	11,279	-0,01921300580	0,00036914
GPS0028	11,24601568890	10,889	0,35701568890	0,12746020
GPS0029	11,57169454060	10,891	0,68069454060	0,46334506
GPS0030	11,28490778010	10,880	0,40490778010	0,16395031
GPS0031	11,34000076660	10,868	0,47200076660	0,22278472
GPS0032	11,46199707900	10,877	0,58499707900	0,34222158
GPS0033	11,69938172920	11,077	0,62238172920	0,38735902
GPS0034	11,00369588830	10,846	0,15769588830	0,02486799
GPS0035	11,05789387490	11,063	-0,00510612510	0,00002607
GPS0036	11,23682051340	10,873	0,36382051340	0,13236537
GPS0037	10,84755669370	11,033	-0,18544330630	0,03438922
GPS0038	11,05048324810	10,881	0,16948324810	0,02872457
GPS0039	11,28036807390	11,002	0,27836807390	0,07748878
GPS0040	11,16993313520	10,842	0,32793313520	0,10754014
GPS0041	11,16025901760	10,997	0,16325901760	0,02665351
GPS0042	11,18184676190	10,920	0,26184676190	0,06856373
GPS0043	10,62555708980	10,899	-0,27344291020	0,07477103
GPS0044	11,00040698760	10,827	0,17340698760	0,03006998
GPS1002	12,62334590900	12,644	-0,02065409100	0,00042659
GPS1003	12,69461149270	12,653	0,04161149270	0,00173152
GPS1004	13,02650412200	12,938	0,08850412200	0,00783298
GPS1005	12,86179026960	12,853	0,00879026960	0,00007727
GPS1006	12,40694716340	12,810	-0,40305283660	0,16245159
GPS1007	12,58128129230	12,832	-0,25071870770	0,06285987
GPS1008	12,46907584060	12,733	-0,26392415940	0,06965596
GPS1009	12,70875249870	12,773	-0,06424750130	0,00412774
GPS1010	12,63732216160	12,799	-0,16167783840	0,02613972
GPS1011	12,58457596640	13,061	-0,47642403360	0,22697986
GPS1012	12,77937442720	13,054	-0,27462557280	0,07541921



Nama titik	DEM dari foto udara	GNSS	(D Z)	(D Z) ²
GPS1013	13,35374925990	13,460	-0,10625074010	0,01128922
GPS1014	13,40926159130	13,371	0,03826159130	0,00146395
GPS1015	12,59038137780	12,838	-0,24761862220	0,06131498
GPS1016	12,53512659610	12,773	-0,23787340390	0,05658376
GPS1017	12,41924600870	12,683	-0,26375399130	0,06956617
GPS1018	12,44348672250	12,891	-0,44751327750	0,20026813
GPS1019	12,64743120430	12,795	-0,14756879570	0,02177655
GPS1020	12,60293712140	12,742	-0,13906287860	0,01933848
GPS1021	12,62842472970	12,779	-0,15057527030	0,02267291
GPS1022	12,93633786720	12,981	-0,04466213280	0,00199471
skdn	13,07308730230	13,019	0,05408730230	0,00292544
			Jumlah	6,504
			Rata-Rata	0,128
			RMSE	0,357
			Akurasi	0,589 m

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji akurasi ketelitian peta maka data DEM yang dihasilkan dari data TerraSAR-X bisa digunakan untuk pembuatan peta bahaya banjir pada skala 1:25.000 kelas 3. Hasil Uji akurasi menunjukkan untuk skala lebih detil, foto udara bisa digunakan untuk pembuatan peta bahaya banjir pada skala 1:5.000 kelas 1. Penggunaan DEM yang teliti akan meningkatkan ketelitian dari model banjir yang dihasilkan. Kebutuhan pembuatan peta bahaya banjir harus disesuaikan dengan ketersediaan data. Ketersediaan data foto udara sangat terbatas dikarenakan proses akuisisi data menggunakan wahana pesawat dan kamera metrik (*aerial photogrammetry*), dimana proses akuisisi data sangat membutuhkan biaya besar. DEM hasil TerraSAR-X meskipun memiliki ketelitian yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan foto udara, akan tetapi data sudah tersedia mencakup seluruh wilayah Indonesia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial terutama kepada Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika yang sudah berkenan memberikan data pengamatan GPS kontinyu stasiun Cibitung (CORS CBTU). Penulis juga ucapkan terima kasih kepada bidang penelitian untuk dana yang diberikan, sehingga kegiatan survey lapangan pengumpulan data GNSS bisa berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Maulana, D., Hendrasto, M., Gamal, M., & Suganda, O. K. (2004). Penentuan Tinggi Orthometrik Gunung Semeru Berdasarkan Data Survei GPS dan Model Geoid EGM 1996. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 36(2).
- Arfaini, J., & Handayani, H. H. (2016). Analisis Data Foto Udara untuk DEM dengan Metode TIN, IDW dan Krigging. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- Dennis, M. L., & Featherstone, W. E. (2002). Evaluation of orthometric and related height systems using a simulated mountain gravity field. *Gravity and Geoid*, 389–394.
- Gruber, T. (2009). Evaluation of the EGM2008 gravity field by means of GPS-levelling and sea surface topography solutions. *Newton's Bulletin*, 4.
- Hirt, C. (2011). Assessment of EGM2008 over Germany using accurate quasigeoid heights from vertical deflections, GCG05 and GPS/levelling. *Zeitschrift Für Geodaesie, Geoinformation Und Landmanagement*, 136(3).
- Jamil, H. (2011). GNSS Heighting and Its Potential Use in Malaysia. In *FIG Working GNSS Processing and Analysis*.
- Lestariya, A. W., & Ramdani, D. (2006). Analisis Komparatif Penentuan Tinggi dengan GPS dan Sipat Datar. *Geomatika*, 12(1), 1–10.
- Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 15 (2014). Indonesia.
- Pourali, S. H., Arrowsmith, C., Chrisman, N., Matkan, A. A., & Mitchell, D. (2016). Topography Wetness



- Index Application in Flood-Risk-Based Land Use Planning. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 9(1), 39–54.
- Riadi, B., & Suriadi, A. B. (2017). Identification of paddy field using Landsat image in Karawang Regency, West Java. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- SNI 8197 Metode pemetaan rawan banjir skala 1:50.000 dan 1:25.000 (2015). Badan Standardisasi Nasional.
- Somantri, L. (2008). Pemanfaatan Teknik Penginderaan Jauh Untuk Mengidentifikasi Kerentanan dan Risiko Banjir. *Jurnal Geografi GEA*, 8(2).
- Susetyo, D. B., Syetiawan, A., & Octariady, J. (2017). Perbandingan Ketelitian Geometrik Citra Satelit Resolusi Tinggi dan Foto Udara untuk Keperluan Pemetaan Rupabumi Skala Besar. In *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4*.
- Wiweka, & Suwarsono. (2011). Pengkajian relasional risiko banjir dengan bentuk lahan berdasarkan citra satelit penginderaan jauh di daerah aliran sungai bengawan solo bagian hilir. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 2(2), 97–192.

