

AKURASI METODE PENGUKURAN GPS RTK (*REAL TIME KINEMATIC*) UNTUK PEMETAAN MIKRO TOPOGRAFI DI AREAL PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

ACCURACY OF GPS RTK (*REAL TIME KINEMATIC*) MEASUREMENT METHOD FOR MICRO TOPOGRAPHIC MAPPING IN OIL PALM PLANTATION

Heri Santoso

Abstrak Peta topografi skala detil untuk mendukung penerapan teknik konservasi tanah dan air serta penanganan masalah drainase kebun kelapa sawit saat ini belum tersedia, sehingga menyebabkan hambatan dalam pengelolaan lahan sesuai dengan karakteristiknya. GPS RTK (*real time kinematic*) dengan akurasi sampai dalam satuan cm digunakan dalam kajian ini untuk menghasilkan peta topografi detil (mikrotopografi). Penelitian ini dilaksanakan di Kebun Rejosari PT Perkebunan Nusantara VII (Persero) Lampung pada blok 294 TT (tahun tanam) 2005 dengan kondisi umum areal yang mempunyai topografi datar s/d berombak dan jenis tanah mineral dengan luas sekitar 16 ha dan kerapataan pohon 137 per ha. Metode akuisisi data dengan metode grid 7,95 x 9,18 m dan menggunakan GPS RTK dan pengolahan data menggunakan metode interpolasi Kriging 5 tetangga. Titik acuan (*base station*) ditentukan dengan metode *static* dan dilakukan koreksi dengan metode PPP di website CSRS (*Canadian Spatial Reference System*). Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan 30% data terhadap hasil interpolasi yang menggunakan 70% data dan 100% data. Hasil penelitian menunjukkan akurasi peta yang setara dengan skala 1:4.000 untuk interpolasi Kriging dengan 70 % data dan setara dengan peta skala 1:2.000 jika

menggunakan interpolasi Kriging dengan 100 % data. Kondisi kanopi tanaman kelapa sawit yang sudah saling menutup menjadi salah satu faktor utama yang mempengaruhi akurasi data.

Kata kunci: GPS RTK, mikro topografi, pemetaan, kelapa sawit

Abstract Detailed topographic map scale has not yet available in common oil palm Plantation. The map is usually used for base map of soil and water conservation technique and water management to overcome drainage problems. Unavailability of large topographic map scale causes inhibition on land management according to its characteristics. GPS RTK with millimeter accuracy was used in this research for produced large topographic map scale (micro topographic). This research was conducted in Rejosari Estate of PT Perkebunan Nusantara VII (Persero) Lampung on blok 294 which was planted in 2005 with population of 137 palms/ha. The research area was a 16 ha of mineral soils area with plate to undulating topography. Data acquisition methods are grid system (7.95 X 9.18 m) with GPS RTK (*real time kinematic*) method and 5 neighborhood Kriging interpolation for data analysis. Base station was determined with static methods and calibrated with PPP method in CSRS (*Canadian Spatial Reference System*) website. 30 % of the total data used for accuracy test towards interpolation processed of 70 % data and 100 % data. The results are interpolation with 70 % data produced accuracy equivalent with map scale 1:4,000 and interpolation with 100% produced accuracy equivalent

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Heri Santoso (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigen Katamso No. 51 Medan, Indonesia
Email: hs_jmp@yahoo.com



with map scale 1:2,000. Oil palm canopy was considered as main factor which affect the accuracy of the topographic map.

Keywords : GPS RTK, micro topographic, mapping, oil palm

PENDAHULUAN

Pengelolaan perkebunan kelapa sawit seyogyanya didasarkan pada karakteristik lahannya untuk menghasilkan perkebunan kelapa sawit yang berproduktivitas tinggi dan lestari. Salah satu karakteristik lahan yang sangat penting adalah topografi lahan (Lakitan dan Gofar, 2013; Sevani, et al., 2009). Topografi lahan mempengaruhi karakteristik lahan yang lain seperti drainase, proses perkembangan tanah, dan besar kecilnya erosi tanah (Mulyanto dan Surono, 2009; Charman dan Gallacher, 2001). Marei et al. (2011) menggunakan data topografi untuk meningkatkan kualitas sistem drainase Danau El-Zayat. Pemanfaatan data topografi banyak digunakan untuk mendukung kegiatan konservasi tanah dan air (Tekwa and Belel, 2009; Sama-Lang, 2004).

Peran topografi dalam beberapa kajian sangat diperlukan sebagai salah satu data utama. Data topografi dapat diekstraksi dari data topografi analog (Sama-Lang, 2004) dan dari ekstraksi data penginderaan jauh seperti DEM SRTM 90 m untuk kajian banjir di DKI Jakarta (Prasasti et al., 2014). Selain data DEM SRTM terdapat Aster GDEM (AGDEM) yang dapat digunakan sebagai sumber ekstraksi peta topografi (Meyer, 2011). SRTM dan AGDEM mempunyai akurasi yang relatif sama yaitu $\pm 2,22$ m dan $\pm 7,95$ m pada areal rendah dan datar dan pada areal dengan relief yang bervariasi $\pm 24,64$ dan $\pm 22,89$ m (Zhao et al., 2011). Hasil yang hampir sama pada kajian akurasi penggunaan SRTM dan AGDEM dilakukan oleh Tighe and Chamberlain (2009) untuk SRTM 15,27 m² RMSE (*root mean square error*) dan AGDEM 18,52 m RMSE. Nokolakopoulos and Chrysoulakis (2006) menggunakan AGDEM untuk mengupdate peta topografi skala 1:50.000. Indonesia mempunyai Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) sebagai peta dasar kegiatan pemetaan di Indonesia dengan skala 1:25.000 di Pulau Jawa, Bali, NTB, NTT, dan

Maluku Tenggara, sedangkan selainnya mempunyai skala 1:50.000 (Ikawati dan Setiawati, 2009). Peta RBI tersebut mempunyai kontur dengan interval 12,5 meter untuk skala 1:25.000 dan 25 meter untuk skala 1:50.000, sehingga tidak sesuai untuk keperluan pekerjaan yang memerlukan data yang detil.

Merujuk pada penelitian Murtilaksono et al. (2007) bahwa untuk menerapkan teknik konservasi tanah dan air berupa teras gulud pada areal perkebunan kelapa sawit memerlukan data beda tinggi antar teras sebesar 80 cm, maka DEM SRTM dan AGDEM tidak dapat digunakan sebagai dasar penyusunan peta topografi untuk skala detil. Penggunaan *Global Positioning System Real Time Kinematic* (GPS RTK) merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk koleksi data dengan akurasi sentimeter (Feng and Wang, 2008). GPS RTK merupakan bagian dari tipe Differential GPS (DGPS) yang mempunyai prinsip data akuisisi lapangan dilakukan koreksi terhadap stasiun acuan (*reference*) atau jaringan. Pemanfaatan DGPS telah banyak dimanfaatkan untuk mengukur subsiden hasil erupsi gunung (Sturkell et al., 2009), monitoring pergeseran material (Bruckl et al., 2013), penghitungan cadangan mineral (Labant et al., 2013), dan untuk pembuatan peta topografi (Neale and Chapman, 2014; Kizil and Tisor, 2011; Schmidt et al., 2003). GPS RTK dengan tingkat akurasi tinggi (centimeter) digunakan dalam penelitian ini untuk menghasilkan peta topografi skala detil. Peta topografi detil di perkebunan kelapa sawit dapat dimanfaatkan untuk keperluan pendukung penerapan *precision agriculture practices*.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Kebun Rejosari PT Perkebunan Nusantara VII (Persero) Lampung pada blok 294 TT (tahun tanam) 2005 dengan kondisi umum areal yang mempunyai topografi datar sampai berombak dan jenis tanah mineral. Berdasarkan data Kebun Rejosari, blok 294 mempunyai luas sekitar 16 ha dengan kerapatan pohon 137 per ha.

Penelitian ini menggunakan GPS RTK EPOCH 35 dan dilaksanakan dalam beberapa tahap kegiatan. Tahap pertama, penentuan *base station* (titik acuan). Prinsip pengukuran GPS RTK adalah adanya sebuah

titik acuan yang sudah diketahui koordinatnya dan akan dijadikan sebagai titik koreksi terhadap titik-titik akuisisi dengan GPS lapangan (GPS *rover*) secara *real time* (Brilis, 2006). Di Kebun Rejosari belum terdapat titik acuan/referensi dari Bakosurtanal (Badan Informasi Geospasial) atau BPN, sehingga perlu pembuatan *base station* dengan pengukuran langsung menggunakan GPS. Metode pengukuran untuk *base station* ini dilakukan dengan metode *static* >2 jam (WSDNR, 2004; Donahue *et al.*, 2013).

Tahap kedua, koreksi titik acuan, data yang didapatkan dari pengukuran metode *static*, untuk mendapatkan titik acuan yang tepat maka dilakukan koreksi dengan metode PPP (*Precise Point Positioning*) (Satirapod and Kriengkraiwasin, 2006; Chen and Gao, 2005; Yuan *et al.*, 2009). Pada penelitian ini koreksi dilakukan secara *online* pada website CSRS (*Canadian Spatial Reference System*) (<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/>) (Suradi *et al.*, 2014; Nylen and White, 2007; Mireault *et al.*, 2008; Ebner and Featherstone, 2008). Tahap ketiga, akuisisi data lapangan. Setelah titik koordinat *base station* diketahui, akuisisi data lapangan dapat dilakukan dengan menggunakan sistem grid (US Geology Survey, 2012). Pada penelitian ini digunakan sistem grid yang berpatokan kepada jalur tanam (baris) dan titik tanam (setiap pohon) untuk menghasilkan peta topografi yang sangat detil (mikrotopografi). Jarak tanam yang digunakan adalah 9,18 m dan jarak antar baris tanaman sebesar 7,95 m, dengan demikian grid yang digunakan adalah (7,95 X 9,18 m).

Tahap keempat, pengolahan data. Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan berdasarkan US Geology (2012) yaitu setelah akuisisi data dilakukan, jumlah titik pengamatan dibagi dalam 2 kelompok acak. Kelompok data sebesar 70% dari total titik pengamatan secara acak sebagai data untuk proses

tes model dan kelompok data sebesar 30% dari total titik pengamatan secara acak digunakan untuk validasi. Pemilihan data 70% secara acak dan pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software ArcGIS. Metode Interpolasi Kriging digunakan untuk membuat model sehingga titik-titik pengukuran menjadi *Digital Elevation Model* (DEM) yang berformat *raster*. Interpolasi dilakukan dua kali yaitu menggunakan 70% data dan 100% data dengan melibatkan titik-titik pengamatan di sekitar (tetangga) dengan pertimbangan *root mean square error* (RMSE) yang terendah.

Tahap kelima, pengujian data, pengujian hasil interpolasi Kriging terhadap 70% titik pengamatan dalam bentuk *raster* dan kemudian diekstrak kembali menjadi point dilakukan dengan menggunakan 30% titik pengamatan. Nilai absolut terhadap perbedaan ketinggian proyeksi (hasil interpolasi) dengan ketinggian pengukuran (dalam meter) merupakan nilai tingkat akurasi model. Pengujian selanjutnya dilakukan terhadap hasil interpolasi Kriging 100% data pengamatan dengan membandingkan titik ketinggian 30% titik pengamatan (US Geology, 2012). Parameter uji data berupa nilai RMSE, semakin kecil RMSE semakin akurat hasil interpolasi (Yuan *et al.*, 2009; Hodgson and Bresnahan, 2004). Akurasi dihitung dengan menggunakan formula: RMSE*1,9600 (ASPRS, 2013; ASPRS, 2004).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data untuk *base station* dengan metode *static* selama 2 jam 11 menit dan 51 detik setelah dilakukan koreksi dengan metode PPP secara online di <http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod> didapatkan koordinat *reference* seperti pada Tabel 1. Titik *reference* tersebut mempunyai simpangan untuk posisi lintang sebesar 0,010 m, posisi bujur 0,033 m

Tabel 1. Koordinat *reference* dari proses koreksi metode PPP.

Table 1. Reference coordinate from PPP method correction.

	Latitude (LS)	Longitude (BT)	Elevasi (m)
ITRF08 (datum)	5°17'01,9772"	105°08'08,8141"	96,767
Sigmas (95%) (m)	0,010	0,033	0,105
UTM (48S)	9415953,978	515045,340	96,767



dan tinggi sebesar 0,105 m. Ketelitian akuisisi data lapangan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti jumlah satelit yang tertangkap dan naungan berupa pohon (Morales and Tsubouchi, 2007). Pengalaman di lapangan menunjukkan pada areal yang relatif terlindungi diperlukan waktu akuisisi data yang lebih lama (> 5 menit) untuk mendapat posisi yang fix dibandingkan pada areal yang relatif terang.

Interpolasi

Data yang dikoleksi sebanyak 2.227 titik dan untuk keperluan interpolasi (70% data) digunakan sebanyak 1.559 titik dan untuk validasi sebanyak 668 titik. Hasil interpolasi Kriging menggunakan 70% data dan seluruh data ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam melakukan interpolasi Kriging untuk mendapatkan hasil dengan RMSE terkecil dilakukan beberapa kali percobaan interpolasi dengan mengatur beberapa titik tetangga (*neighborhood*) maksimal yang dilibatkan dalam proses pemodelan yaitu 5, 10, 15, 20, dan 25 dengan 2 titik minimal yang terlibat. Hasil analisis menunjukkan bahwa pelibatan maksimal 5 titik tetangga memberikan nilai RMSE yang terkecil walaupun perbedaan nilai RMSE antar titik maksimal tetangga yang digunakan sangat kecil (Tabel 2). Hal ini sesuai dengan yang disampaikan US Geology (2012) bahwa untuk areal yang kecil (detil) menggunakan maksimal 5 titik tetangga dalam proses, maksimal 10 titik tetangga untuk areal yang sedang, dan penggunaan maksimal 25 titik tetangga untuk areal yang luas. Penggunaan maksimal 5 titik tetangga pada analisis Kriging juga dilakukan untuk 100% data.

Secara visual, hasil interpretasi Kriging dengan 100% data menunjukkan hasil yang lebih halus dibandingkan dengan menggunakan 70% data. Hal ini disebabkan dengan menggunakan 100% data dalam proses Interpolasi Kriging yang memanfaatkan 5 titik tetangga berada dekat dengan titik yang digunakan analisis, sedangkan pada data 70% terdapat titik-titik yang hilang dan berada agak jauh dari titik analisis sehingga akan menghasilkan nilai interpolasi yang berbeda. Gambar 2 menunjukkan distribusi titik-titik dengan jumlah data 70% dan 100%. Gambar tersebut menunjukkan perbedaan relief atau bentuk permukaan tanah antara interpolasi yang menggunakan 70% dan 100% data terutama pada areal yang titik-titik pengamatan tidak rapat. Hal tersebut sesuai dengan prinsip interpolasi yang menghasilkan nilai berdasarkan nilai-nilai acuan/referensi yang digunakan (titik-titik tetangga yang digunakan dalam interpolasi) (Ly et al., 2011).

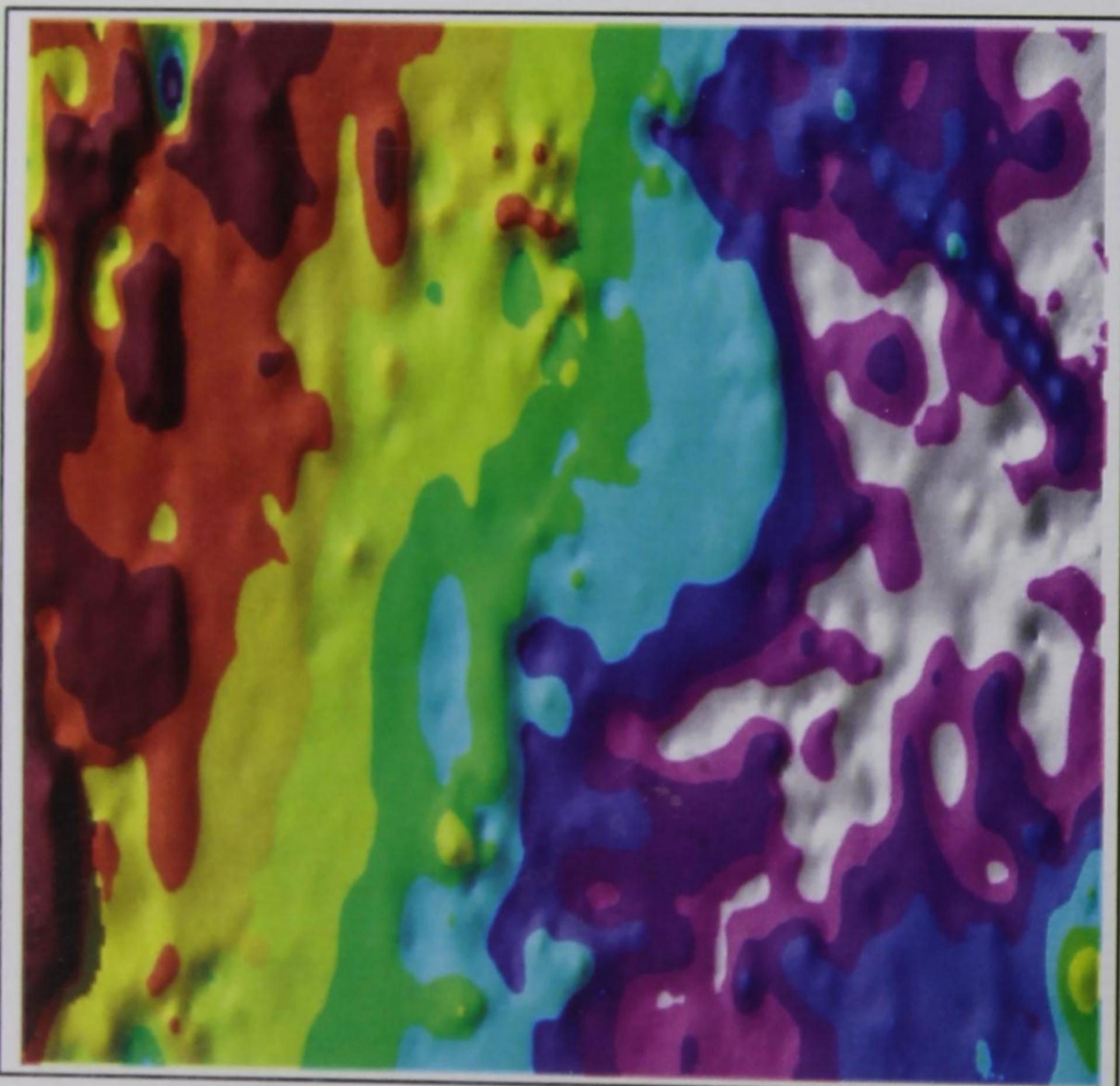
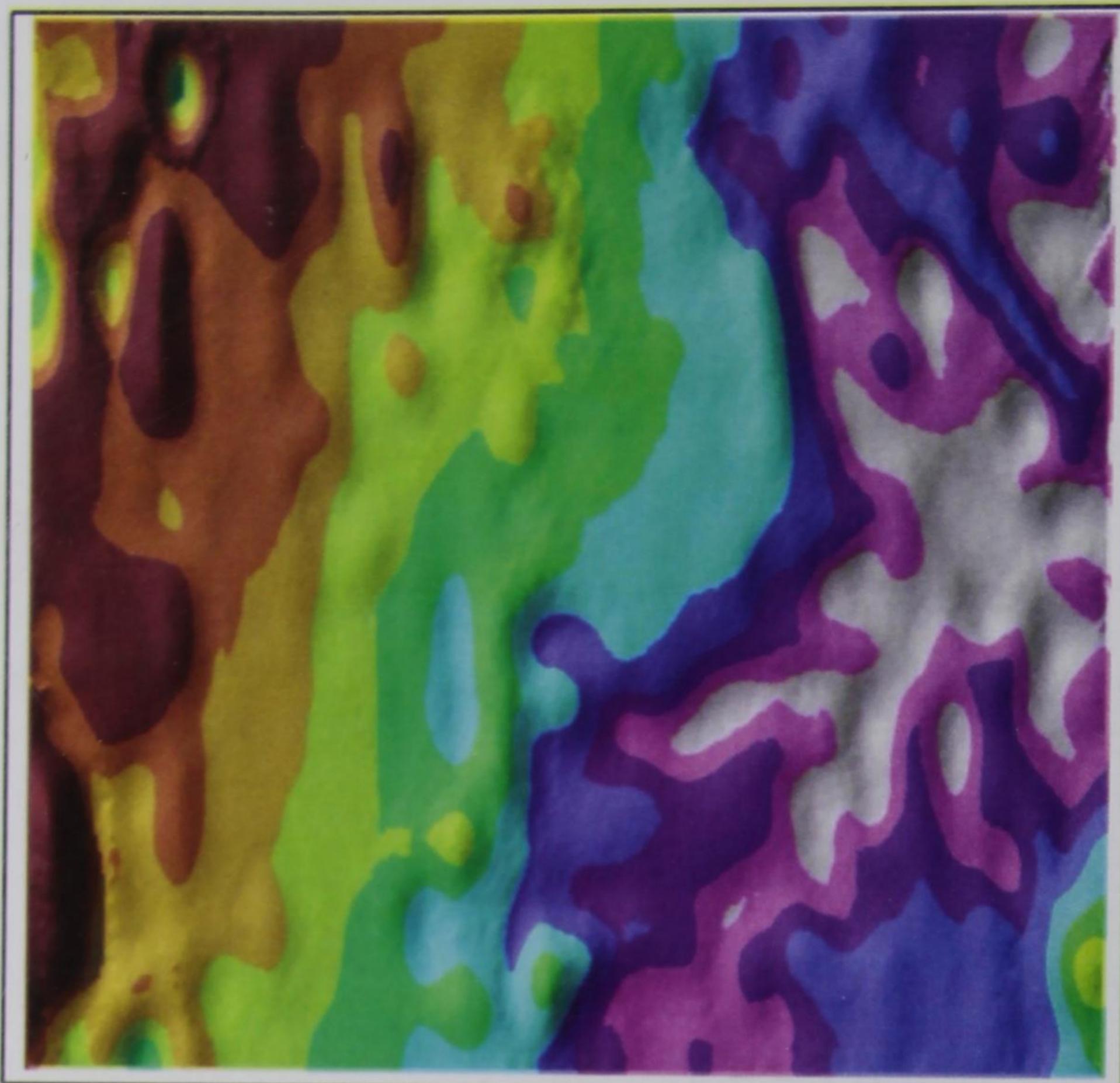
Akurasi data

Uji akurasi data interpolasi dengan menggunakan 30% data pengamatan (668 titik) terhadap hasil interpolasi Kriging dengan 70% dan 100% data ditunjukkan pada Tabel 3. Terdapat perbedaan *range* beda tinggi yang cukup lebar antara interpolasi Kriging dengan 70% data (-6.23468 s/d 2.062052) dan 100% data (-2.25079 s/d 1.346797) berdasarkan nilai maksimum dan minimum. Nilai RMS pada interpolasi Kriging dengan 100% lebih kecil dibandingkan interpolasi Kriging dengan 70%. Begitu juga dengan nilai akurasinya, dimana untuk interpolasi Kriging dengan 70% mempunyai akurasi 1,065 meter, sedangkan untuk interpolasi Kriging dengan 100% mempunyai akurasi 0,657 meter.

Tabel 2. Hasil interpolasi Kriging menggunakan beberapa titik tetangga.

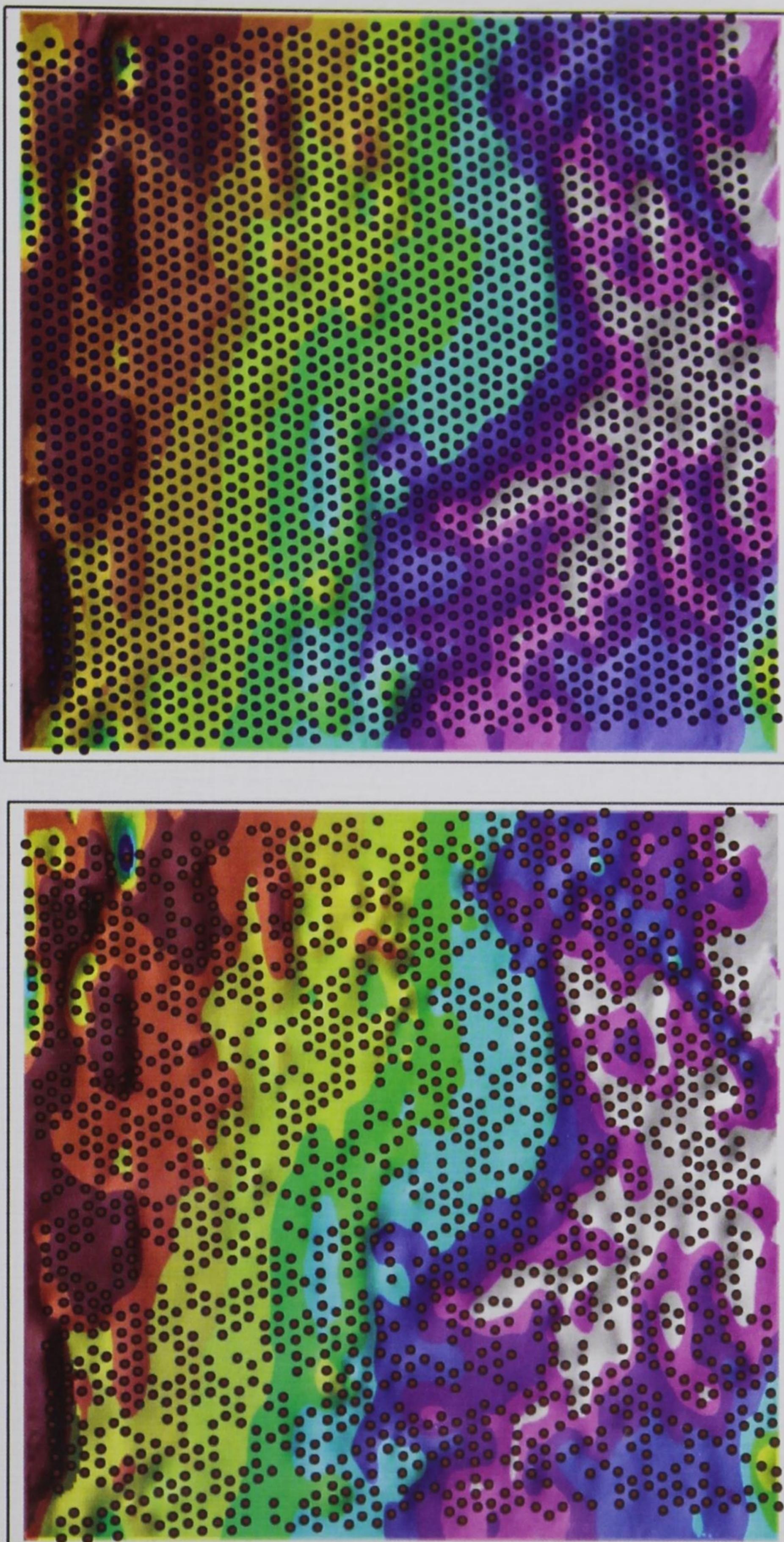
Table 2. Kriging interpolation results using several neighborhood points.

No.	Titik tetangga	Mean	RMS	Mean Standard	Rerata standar error
1	5	0,001164924	0,5582928	0,001247872	0,4962193
2	10	0,001612079	0,5582999	0,002110906	0,4960034
3	15	0,001465002	0,5583586	0,001784413	0,4959647
4	20	0,001317579	0,5585338	0,001503615	0,4959534
5	25	0,001323963	0,5585104	0,001517761	0,4959525



Gambar 1. Hasil interpolasi Kriging dengan melibatkan 5 titik tetangga dan menggunakan 100% data (atas) dan menggunakan data 70 % (bawah).

Figure 1. Kriging interpolation results with 5 neighborhood and using all data (above) and using 70 % data (beneath).



Gambar 2. Sebaran titik pengamatan 100% data (atas) dan 70% data (bawah).
Figure 2. Distribution of observation point with 100 % data (above) and 70 % data (beneath).

Tabel 3. Uji akurasi interpolasi Kriging menggunakan titik 5 tetangga.

Table 3. Kriging interpolation accuracy test using 5 neighborhood.

	Min	Max	Mean	Average	S. Dev	RMS	Akurasi
70 % data	-6.23468	2.062052	-0.00276	-0.05523	0.540688	0.543502	1.065263
100 % data	-2.25079	1.346797	-0.00222	-0.0185	0.334775	0.335286	0.65716

Pembahasan

Berdasarkan American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) (2013), interpolasi Kriging dengan 70% dengan akurasi 1,065 meter (RMS 0,5435) setara dengan interval kontur $1,78 \approx 2$ meter (skala peta 1:4.000) dan untuk interpolasi Kriging dengan 100% dengan akurasi 0,657 meter (RMS 0,3353) setara dengan interval kontur $1,1 \approx 1$ meter (1:2.000).

Pengukuran titik acuan (*base station*) secara statis sekitar 2 jam 11 menit dan 51 detik dan setelah dilakukan koreksi secara online dengan metode PPP didapatkan akurasi vertical dengan RMSE sebesar 0,105 meter. Nilai RMSE tersebut setara dengan interval kontur 30 cm atau peta dengan skala 1:600 (ASPRS, 2013). Setelah dilakukan akuisisi data dengan metode RTK (*real time kinematic*) dan pengolahan data menggunakan metode interpolasi Kriging 5 tetangga didapatkan akurasi yang setara dengan skala peta 1:4.000 untuk interpolasi Kriging dengan 70 % data dan setara dengan peta skala 1:2.000 jika menggunakan interpolasi Kriging dengan 100 % data.

Hal yang menyebabkan penurunan akurasi antara lain adalah: (1) Kondisi troposfer yang menyebabkan terganggunya atau keterlambatan signal satellite (Bock *et al.*, 2002); (2) Kondisi ionosfer yang akan mempengaruhi dalam proses *post processing* (koreksi titik akuisisi terhadap titik acuan), gangguan ionosfer (*ionospheric delay*) akan menyebabkan gangguan dalam mendapat akurasi posisi dalam satuan milimeter dan dapat mencapai ± 15 m dari posisi aktual (Raghunath *et al.*, 2011; Trimble, 2014); (3) Error yang terjadi pada sistem GPS antara lain jalur orbit satellite GPS, gangguan pada receiver, koreksi relativistic, dan peguraian posisi yang precisi (*dilution of precision*) (Raghunath *et al.*, 2011); (4) Kondisi naungan berupa

kanopi tanaman kelapa sawit akan menyebabkan menurunnya presisi pengukuran (Morales and Tsubouchi, 2007); (5) Ada kemungkinan kesalahan dalam operasional alat saat akuisisi titik, *rover GPS* yang digunakan dalam akuisisi data masih menunjukkan status RTK *float*. Hal ini umum dijumpai pada kondisi GPS terkendala dalam proses presisi data karena naungan kanopi. Posisi akuisisi data dalam status RTK *float* akan menghasilkan akurasi 0,2 – 1 meter, sedangkan pada status RTK *fixed* akan menghasilkan akurasi 0,03 meter (Microsurvey, 2014).

Hasil pengukuran topografi dengan sistem grid 7,95 X 9,18 m dan semua data digunakan untuk interpolasi mampu menghasilkan akurasi peta dengan interval kontur 1 meter. Dengan adanya peta interval kontur 1 meter, masih memungkinkan untuk membuat kontur dengan interval 80 cm atau lebih kecil lagi (Sharma *et al.*, 2009), dengan demikian akan membantu dalam pekerjaan infrastruktur jalan kebun, desain dan pelaksanaan pembangunan sistem drainase kebun, dan penerapan teknik konservasi tanah dan air skala blok dapat dilakukan. Terdapat potensi peningkatan akurasi pengukuran jika akuisisi data dilakukan pada saat kanopi tanaman kelapa sawit belum saling menutup atau saat TBM atau saat setelah pelaksanaan *land clearing*.

KESIMPULAN

Penggunaan GPS RTK untuk pemetaan topografi areal perkebunan pada kondisi tanaman berumur 8-9 tahun dengan metode grid 7,95 X 9,18 m dan pengolahan data menggunakan metode interpolasi Kriging 5 tetangga didapatkan akurasi yang setara dengan skala peta 1:4.000 untuk interpolasi interpolasi Kriging dengan 70 % data dan setara dengan peta skala 1:2.000 jika menggunakan interpolasi Kriging



dengan 100 % data. Kondisi kanopi tanaman kelapa sawit yang sudah saling menutup menjadi salah satu faktor utama yang mempengaruhi akurasi data. Terdapat potensi peningkatan akurasi pengukuran jika akuisisi data dilakukan pada saat kanopi tanaman kelapa sawit belum saling menutup, saat TBM, atau setelah pelaksanaan *land clearing*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Direksi PT Perkebunan Nusantara VII (Persero) atas ijin yang diberikan untuk melakukan kajian ini dan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASPRS, 2004. ASPRS Guidelines Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data. 20p. www.asprs.org
- ASPRS, 2013. ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Desember 2013. pp.:1073-1085.
- Bock, O, J. Tarniewicz, Ch. Thom, and J. Pelon, 2002. The Effect of Inhomogeneities in The Lower Atmosphere on Coordinates Determined from GPS Measurements. Physics and Chemistry of the Earth. 27 (2002) 323-328. www.elsevier.com/locate/pce.
- Bruckl, E., F. K. brunner, E. Lang, S. Merti, M. Muller, and U. Stary, 2013. The Gradenbach Observatory-Monitoring Deep-Seated Gravitational Slope Deformation by Geodetic, Hydrological, and Seismological Methods. Landslides (2013) 10:815-829. DOI 10.1007/s10346-013-0417-1
- Brilis, G.M., 2006. Global Positioning Systems-Technical Implementation Guidance. Revision 2.0. U.S. EPA Geospatial Quality Council. U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Science Division. 60pp
- Charman, J. and R. Gallacher, 2001. Methods and Materials in Soil Conservation: a Manual. FAO. [ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/mmsoilc.pdf](http://ftp.fao.org/agl/agll/docs/mmsoilc.pdf)
- Chen, K. and Y. Gao, 2005. Real-Time Precise Point Positioning Using Single Frequency Data. <http://www.gdgps.net/system-desc/papers/ChenGaoSingleFreq.IONGNSS05.pdf>
- Donahue, B, J. Wentzel, and R. Berg, 2013. Guidelines for RTK/RTN GNSS Surveying in Canada. General Information Product 100E. Surveyor General Branch. Earth Sciences Sector. Natural Resources Canada. ftp://ftp.nrcan.gc.ca/ess/sgb_pub/CS/Canada%20RTK_UserGuide_v1%201_EN.pdf
- Ebner, R. and W. E. Featherstone, 2008. How well Can Online GPS PPP post- Post-Prprocessing Service be Used to Establish Geodetic Survey Control Networks?. Journal of Applied Geodesy 2 (2008), 149-157. de Gruyter 2008. DOI 10.1515/JAG.2008.017
- Feng, Y. and J. Wang, 2008. GPS RTK Performance Characteristics and Analysis. Journal of Global Positioning Systems. Vol. 7, No. 1: 1-8.
- Hodgson, M.E. and P. Bresnahan, 2004. Accuracy of Airborne Lidar-Derived Elevation: Empirical Assessment and Error Budget. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol 70, No. 3:331-339.
- Ikawati, Y. dan D. R Setiawati, 2009. Survei dan Pemetaan Nusantara. Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional dan Masyarakat Penulis Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. 220pp.
- Kizil, U. and L. Tisor, 2011. Evaluation of RTK-GPS and Total Station for Application in Land Surveying. J. Earth Syst. Sci. Vol. 120, No. 2: 215-221. Indian Academy of Sciences
- Lakitan B. dan N. Gofar, 2013. Kebijakan Inovasi Teknologi untuk Pengelolaan Lahan Suboptimal Berkelanjutan. Seminar Nasional Lahan Suboptimal, Palembang, 20-21 September 2013
- Labant, S., H. Stankova, and R. Weiss, 2013. Geodetic Determining of Stockpile Volume of Mineral Excavated in Open Pit Mine. GeoScience Engineering. Volume LIX, No. 1: 30-40. <http://gse.vsb.cz>

- Ly, S., C. Charles, and A. Degre, 2011. Geostatistical Interpolation of Daily Rainfall at Catchment Scale: The Use of Several Variogram Models in The Oute and Ambleve Catchments, Belgium. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* Vol. 15: 2259-2274. www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/2259/2011/. doi:10.5194/hess-15-2259-2011
- Marei, N.E., Hala M. Ebaid, and Magdy M. Hosny, 2011. Geodesy and Geotechnical Assessments for Improving El-Zayat Drainage Lake. Fifteenth International Water Technology Conference, IWTC-1 2011, Alexandria, Egypt
- Murtilaksono, K., H. H. Siregar, dan W. Darmosarkoro, 2007. Model Neraca Air di Perkebunan Kelapa Sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*. Vol. 15 (1): 21-35
- Microsurvey, 2014. FieldGenius Technical Notes GPS-Position Accuracy. <http://www.microsurvey.com/support/fieldgenius/documentation/PositionAccuracy.pdf>. Diakses pada 8 Oktober 2014.
- Mireault Y., P. Tetreaults, F. Lahaye, P. Heroux, and J. Kouba, 2008. Online Precise Point Positioning. A New, Timely Service From Natural Resources Canada. *Algorithms & Methods-Innovation. GPS World*. 59-64 p. www.gpsworld.com
- Meyer, D, 2011. ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 – Summary of Validation Results. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center and the Joint Japan-US ASTER Science Team. p127
- Morales, Y. and T. Tsubouchi, 2007. GPS Moving Performance on Open Sky and Forested Paths. Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. San Diego, CA, USA, Oct 29-Nov 2, 2007. p3180-3185
- Mulyanto, D. dan Surono, 2009. Pengaruh Topografi dan Kesarangan Batuan Karbonat Terhadap Warna Tanah Pada Jalur Baron-Wonosari Kabupaten Gunungkidul, DIY. *Forum Geografi*, Vol. 23, No. 2: 181-195.
- Nylen T. and S. White, 2007. Online Precise Point Positioning Using the Natural Resources Canada-Canada Spatial Reference System (CSRS-PPP). UNAVCO. <https://www.unavco.org/projects/project-support/polar/support/PPP.pdf>.
- Nikolopoulos K.G and N. Chrysoulakis, 2006. Updating the 1:50.000 Topographic Maps Using ASTER and SRTM DEM. The Case of Athens, Greece. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Application and Geology VI. Proc. Of SPIE Vol. 6366, 636606-1 (2006)-0277-786x/06/\$15*. Doi: 10.1117/12.689016
- Neale, T. and W. Chapman, 2014. Precision Agriculture for CTF Farms. *Controlled Traffic and Precision Agriculture Conference*. p 156-160. <http://actfa.net/wp-content/uploads/2014/02/Precision-Agriculture-for-CTF-farms.pdf>.
- Prasasti I., P. Sofan, N. Febrianti, dan T. Suprapto, 2014. Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Analisis Pengaruh Perubahan Lahan terhadap Distibusi Spasial Daerah Bahaya Banjir di DKI Jakarta dan Koefisien Aliran Permukaan. Prosiding Seminar Nasional Peninderaan Jauh 2014: 577-587. http://sinasinderaja.lapan.go.id/wp-content/uploads/2014/06/bukuprosiding_577-587.pdf
- Raghunath S., B.L. Malleswari, and K. Sridhar, 2011. Analysis of GPS Errors during Different Times in a Day. *International Journal of Research in Computer Science*. eISSN 2249-8265 Volume 2 (1): 45-48. www.ijorcs.org
- Sama-Lang, P., 2004. Soil and Water Conservation in Banana Production Between Mount Cameroon and Bambutur Maountain. ISCO 2004-13th International Soil Conservation Organisation Conference-Brisbane, July 2004. *Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions*.
- Satirapod, C. and S. Kriengkraiwasin. 2006. Performance of Single-Frequency GPS Precise Point Positioning. http://www.gisdevelopment.net/technology/gps/ma06_19.htm.

- Schmidt, J.P., R.K. Taylor, and R.J. Gehl. 2003. Developing Topographic Maps Using Sub-meter Accuracy Global Positioning Receiver. *Applied Engineering in Agriculture* Vol. 19(3) : 291-300. 2003 American Society of Agricultural Engineers.
- Sevani, N., Marimin, dan H. Sukoco. 2009. Sistem Pakar Penentuan Kesesuaian Lahan Berdasarkan Faktor Penghambat Terbesar (*Maximum Limitation Factor*) untuk Tanaman Pangan. *Jurnal Informatika* Vol. 10, No. 1: 23-31.
- Sharma, A., K.N. Tiwari, and P.B.S. Bhadaria. 2009. Measuring the Accuracy of Contour Interpolated Digital Elevation Models. *J. Indian Soc. Remote Sens.* Vol. 37:139-146
- Sturkell, E., P. Einarsson, H. Geirsson, E. Tryggvason, J. G. Moore, and R. Olafsdottir, 2009. Precision Levelling and Geodetic GPS Observations Performed on Surtsey Between 1967 and 2002. *Surtsey Research* Vol. 12: 39-47. www.surtsey.is
- Suradji, A., GH. Anto, G. Jaya, E. Latersia, dan Wulansih. 2014. Pengukuran Ground Control Point Untuk Citra Satelit Resolusi Tinggi dengan Metode PPP. http://lib.ugm.ac.id/digitasi/upload/928_D10.pdf. Diakses pada 22 September 2014
- Tighe, M.L. and D. Chamberlain. 2009. Accuracy Comparison of The SRTM, ASTER, NED, Nextmap USA Digital Terrain Model over Several USA Study Sites. *ASPRS/MAPPS 2009 Fall Conference November 16-19, 2009. San Antonio, Texas*
- Tekwa, I.J. and M.D. Belel. 2009. Impacts of Traditional Soil Conservation Practices in Sustainable Food Production. *Journal of Agricultural and Social Sciences. I. Agric. Soc. Sci.*, 5:128-130. <http://fspublishers.org>
- Trimble. 2014. RTX Positioning: The Next Generation of cm accurate Real Time GNSS Positioning. http://www.trimble.com/positioning-services/pdf/whitepaper_rtx.pdf. Diakses pada 8 Oktober 2014.
- US Geological Survey. 2012. Topographic mapping RTK GPS standard operating procedures. Unpublished protocols. USGS, Western Ecological Research Center, San Francisco Bay Estuary Field Station, Vallejo, CA.
- WSDNR. 2004. Standards and Guidelines for Land Surveying Using Global Positioning System Methods. Washington State Department of Natural Resources. 61pp. <http://www.ogug.net/PDF%20files/Standards%20and%20Guidelines%20for%20Land%20Surveying%20using%20GPS%20ver%202.1.3.pdf>.
- Yuan, X., J. Fu, H. Sun, and C. Toth. 2009. The Application of GPS Precise Point Positioning Technology in Aerial Triangulation. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Inc. (ISPRS) Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 64 : 541-550. www.elsevier.com/locate/isprsjprs
- Zhao, S., W. Cheng, C. Zhou, X. Chen, S. Zhang, Z. Zhou, H. Liu, and H. Chai, 2011. Accuracy Assessment of the ASTER GDEM and SRTM3 DEM: an example in the Loess Plateau and North China Plain of China. *Internasional Journal of Remote Sensing. iFirst*, 2011: 1-13. <http://www.tandf.co.uk/journals>. DOI: 10.1080/01431161.2010.532176