

# Pembuatan Digital Terrain Model (DTM) dari Light Detection and Ranging (LiDAR) menggunakan Metode Morfologi Sederhana

Ayu Nur Safi'i, Prayudha Hartanto

Pusat Penelitian, Promosi dan Kerjasama, Badan Informasi Geospasial  
Jl. Raya Jakarta-Bogor KM.46, Cibinong, Bogor

## Abstrak

Pembuatan Peta RBI skala 1:5.000 membutuhkan waktu yang lama, khususnya untuk pembuatan layer kontur. Layer kontur bisa didapatkan dari data hasil ekstraksi foto udara dan data Light Detection and Ranging (LiDAR). Sekarang ini, teknologi LiDAR lebih diandalkan untuk membuat Data Surface Model (DSM). Dari DSM dilakukan proses ekstraksi data untuk mendapatkan data Digital Terrain Model (DTM) atau Digital Elevation Model (DEM) yang prosesnya lebih cepat dan membutuhkan biaya yang relatif rendah. Metode filtering yang digunakan adalah metode Simple Morphological Filtering (SMRF) dengan memasukkan nilai parameter cell size, slope, windows, elevation threshold dan scalling factor. Hasil Cohen's kappa rata-rata menunjukkan indikator DTM dalam kondisi baik, yang artinya dengan menggunakan metode SMRF, nilai kappa berada diantara 0,4-0,7. Smoothing filter dilakukan untuk menghilangkan sel kosong/ sel tanpa data. DTM yang dihasilkan dibandingkan dengan data validasi lapangan. Root Mean Square Error (RMSE) yang diperoleh berkisar antara 0,621-0,930 dan nilai Linear Error 90% (LE90) yang diperoleh berkisar antara 1,025-1,605. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai RMSE dan LE90 tersebut memenuhi ketelitian vertikal peta skala 1: 5.000 dan masuk dalam kelas 2 dan 3 sesuai Peraturan BIG No.6 Tahun 2018 mengenai perubahan atas Perka BIG No.15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

**Kata kunci:** LiDAR; DTM; morfologi sederhana

## Abstract

**[Title: Digital Terrain Model (DTM) Generation From Light Detection and Ranging (LiDAR) Data By Using Simple Morphological]** The production of Indonesian Topographic Map (RBI) in the scale of 1:5000 takes a long time, especially in the making of contour layer. Contour layer can be extracted from both Aerial Photogrammetry and LiDAR data. Nowadays, LiDAR technology is getting more reliable for DSM. From DSM can be extracted to get DTM/DEM. DTM/ DEM generation because of its shorter processing time and relatively low cost. The filtering method used in this research is Simple Morphological Filtering (SMRF) which input parameters are: cell size, slope, windows, elevation threshold and scaling factor. Average value of Cohen's kappa is in the range of 0.4-07 which means that the generated DTM is good. Because of the existence of null values in the generated DTM, the smoothing filters have been applied. The extracted DTM then be compared to in situ data. The RMSE ranged from 0,621 to 0,930 m and LE90 about 1,025-1,605. Those RMSE and LE90 values satisfied the vertical accuracy of the 1: 5000 topographic map and graded as the second and third class in accordance to BIG Regulation No.6 of 2018 as revision of Perka BIG No.15 of 2014 focusing on Technical guidelines for Basic Map Accuracy.

**Keywords:** LiDAR; DTM; SMRF

---

\*) Penulis Korespondensi.  
E-mail: ayunursafii.10@gmail.com

## 1. Pendahuluan

Airbone Laser Scanning atau LiDAR (*Light Detection and Ranging*) adalah teknologi pemetaan termutakhir yang memanfaatkan wahana udara seperti helikopter dan pesawat ringan. LiDAR menggunakan

pancaran sinar laser yang kemudian dipantulkan kembali oleh obyek di permukaan bumi. Teknologi LiDAR merupakan salah satu sistem *remote sensing* aktif yang sumber energinya berasal dari sensor yang terpasang pada wahana. LiDAR dianggap sebagai teknologi yang andal karena dengan menggunakan data LiDAR, dapat diperoleh *Digital Surface Model* (DSM) yang selanjutnya dapat diekstrak menjadi *Digital Terrain Model* (DTM). LiDAR masih dianggap sebagai metode yang tepat karena biaya yang relatif rendah dengan hasil yang akurat. Resolusi yang dihasilkan mampu menjangkau wilayah dengan ukuran 1 x 1 m dan bahkan mampu menjangkau < 1 m (Amin, 2015). Selain itu, LiDAR memiliki resolusi spasial sekitar 20-100 cm, pengukurannya mampu mencapai 40 km<sup>2</sup> dalam 24 jam dan mampu mencapai ketelitian horisontal 30 cm dan ketelitian vertikal sekitar 15 cm (Shamsi, 2005). DSM adalah model elevasi dari semua permukaan reflektif, seperti bangunan dan vegetasi (Maune, Huff, & Guenther, 2001). *Ground* hanya ditampilkan oleh DTM sedangkan DSM menampilkan bentuk permukaan apapun yang ada seperti ketinggian pohon, bangunan, sungai, dan semua benda yang ada di atas tanah. Data hasil DSM mencakup tanaman, jalan, bangunan dan kenampakan alam lainnya, sehingga dapat dibuat model tiga dimensi dari berbagai sudut pandang dengan menambahkan *land cover*nya (Sari, 2016). DSM juga merupakan suatu gambaran data digital dari model permukaan tanah yang mana data model tersebut bergantung pada referensi objek terhadap data pasut *Mean Sea Level* (MSL) yang didapatkan dalam kurun waktu 18,6 tahun (Sudarsono dkk., 2010).

DTM merupakan suatu bentuk digital dari permukaan tanah tidak termasuk benda lain yang berada di atasnya. DTM sangat diperlukan dalam simulasi banjir, pemantauan longsor, perancangan jalan, klasifikasi tutupan lahan dan pengelolaan hutan. Selama ini, pengklasifikasian data LiDAR masih terbatas pada kategori *ground* dan *non-ground*, padahal untuk kategori *non-ground* sendiri terdapat beberapa objek dengan fitur yang berbeda-beda (seperti vegetasi dan bangunan) (Kobler dkk., 2007). Untuk menghilangkan vegetasi dan bangunan (*non-ground*) yang ada di atas tanah tentu dibutuhkan metode ekstraksi DTM dari DSM, atau disebut sebagai metode *filtering*. Metode *filtering* LiDAR yang banyak digunakan antara lain *Elevation With Expanding Windows* (ETEW) *Filter* dkk., 2003), *Maximum Local Slope Filter* (Vosselman, 2000) dan *Progressive Morphological Filter* (Zhang dkk., 2003).

Beberapa penelitian menggunakan beberapa parameter untuk mengekstrak DTM dari DSM seperti metode berbasis kemiringan, metode berbasis morfologi dan metode berbasis permukaan. Algoritma penyiangan

berbasis kemiringan lereng dapat dikembangkan dengan membandingkan kemiringan lereng dengan kemiringan titik tetangganya (*neighbours*) (Vosselman, 2000).

Di Indonesia, (Julzarika & Sudarsono, 2009) melakukan penelitian untuk mengekstrak DEM dari data DSM menggunakan citra satelit Alos Palsar menggunakan metode DSM2DEM. Namun, dalam penelitian tersebut tidak disebutkan apakah teknik yang digunakan sudah memenuhi ketelitian vertikal sesuai Perka BIG No.15 Tahun 2014. (Duantari & Cahyono, 2017) melakukan penelitian mengenai pembuatan DTM dari data LiDAR dan data foto udara, di mana hasil pengolahan data LiDAR yang menggunakan metode TIN memiliki tingkat ketelitian vertikal yang masuk ke dalam kelas 1 sesuai Perka BIG No.15 Tahun 2014.

Salah satu metode *filtering* LiDAR yang menghasilkan DTM terbaik secara efisien adalah metode *Simple Morphological Filter* (SMRF) (Pingel *et al.*, 2013). Metode ini digunakan dengan menentukan nilai dari lima parameter utama, yaitu *cell size*, *slope*, *windows*, *elevation threshold* dan *scaling factor*. Penentuan nilai kelima parameter tersebut dilakukan dengan cara *trial and error*. Untuk menentukan nilai-nilai parameter terbaik, perlu dilakukan uji Kohensi Kappa. Dalam penelitian ini, uji Kohensi Kappa adalah metode analisis numerik untuk melihat rasio kesalahan penentuan *ground* sebagai *non ground* maupun sebaliknya *non ground* sebagai *ground* terhadap total kesalahan penentuan klasifikasi. Setelah memperoleh parameter input yang optimal, DTM yang dihasilkan kemudian diuji kualitasnya dengan menghitung nilai ketelitian vertikalnya untuk kemudian diklasifikasikan ke dalam kelas-kelas ketelitian Peta RBI sesuai dengan peraturan terbaru di Badan Informasi Geospasial (BIG) yaitu Peraturan BIG No.6 Tahun 2018 mengenai perubahan atas Perka BIG No.15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

Penelitian ini ingin mengetahui apakah teknik SMRF telah cukup akurat untuk digunakan di daerah urban dan hutan, atau harus diterapkan teknik *filtering* yang berbeda bergantung pada tutupan lahan di suatu daerah tersebut.

## 2. Bahan dan Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode SMRF (*Simple Morphological Filter*). Data yang digunakan adalah data *point cloud* LiDAR yang berlokasi di Lombok Utara (8,389° – 8,385° LS dan 116,190° – 116,194° BT). Berdasarkan spesifikasi teknis, ketelitian sensor LiDAR yang digunakan adalah 4 ppm dengan tingkat kerapatan 10 data per m<sup>2</sup>. Diagram alir kegiatan penelitian

tercantum dalam Gambar 1. Pemrosesan *filtering* SMRF dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

a) Filter SMRF

Metode *filtering* SMRF menggunakan *window* yang berubah ukuran secara *linear* dan diterapkan ambang *slope* sederhana disertai aplikasi teknik *inpainting* (teknik *image processing*). Metode ini dikembangkan oleh Pingel dkk pada tahun 2013. Penjelasan lengkap mengenai metode *filtering* SMRF terdapat dalam (Pingel dkk., 2013). Secara sederhana, tahapan *filtering* SMRF adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan tinggi permukaan minimum (Z<sub>imin</sub>) dengan cara menentukan tinggi permukaan terendah di setiap *cell*, untuk *cell* kosong, nilai tersebut diinterpolasi dari nilai *cell* di sekelilingnya.
- b. Mengidentifikasi nilai Z<sub>imin</sub> sebagai *bare-earth*.
- c. *Cell* dimana nilai Z<sub>imin</sub> berada ditentukan kemudian *cell* kosong diinterpolasi.
- d. Penentuan titik-titik *ground*

Dalam proses *filtering* menggunakan metode SMRF, perlu ditentukan nilai-nilai parameter input. Terdapat lima parameter input utama yang harus ditentukan nilainya untuk menghasilkan output DTM yang optimal. Kelima parameter tersebut adalah ukuran *cell*, toleransi kemiringan, ukuran *window*, toleransi selisih elevasi, dan faktor skala. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam penentuan nilai-nilai parameter tersebut antara lain tutupan lahan (vegetasi, non-vegetasi, atau campuran), ukuran umum bangunan di lokasi tersebut, dan tingkat kerapatan data LiDAR yang akan diolah.

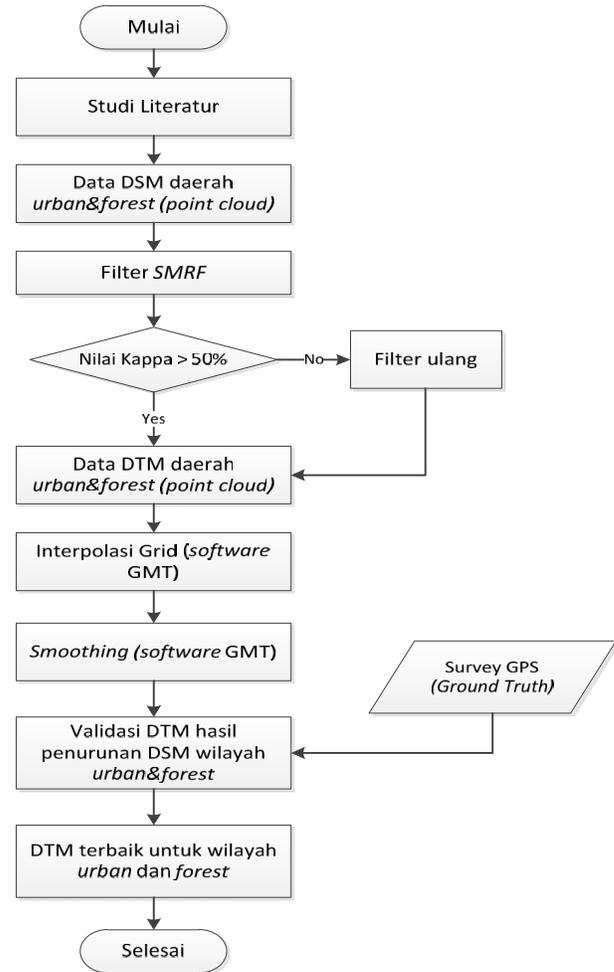
b) Interpolasi dan *Smoothing* Grid

Interpolasi grid dilakukan untuk mengubah data hasil *filtering* yang masih berupa *point cloud* (vektor) menjadi data raster (grid) dengan ukuran *cell* 1 x 1 meter. Interpolasi grid dilakukan menggunakan perangkat lunak *Generic Mapping Tools* (GMT) dengan perintah *xyz2grd*. Perintah tersebut akan menghitung nilai di sebuah *cell* dengan cara merata-ratakan nilai-nilai sampel yang berada dalam lingkup *cell* tersebut. Namun dalam pelaksanaannya, terkadang terdapat *cell* kosong tanpa nilai elevasi akibat tidak adanya sampel di lingkup *cell* tersebut. Untuk mengatasinya, dilakukan *smoothing* menggunakan perintah *grdfilter* dalam *software* GMT. Metode *smoothing* yang dipilih adalah *median*, *Gaussian* dan *maximum likelihood*.

c) Validasi (*Ground Truth*)

DTM hasil *filtering* yang sudah diperoleh dilakukan pengolahan lanjutan yaitu proses validasi, untuk menentukan model DTM dengan ketelitian terbaik. Sebanyak 15 titik sampel diukur dengan pengamatan geodetik dengan metode statik maupun

RTK. Hasil pengukuran geodetik diolah menggunakan *software* Waypoint Gravnet. Hasil elevasi yang diperoleh merupakan tinggi ellipsoid, dan kemudian dikoreksi menggunakan nilai undulasi geoid SRGI 2013 untuk memperoleh tinggi orthometrik. Secara garis besar alur berpikir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

*Software* MATLAB digunakan untuk mengolah data LiDAR. *Software* Matlab memiliki keterbatasan pada kapasitas data yang digunakan sehingga pada penelitian ini dilakukan pemotongan data menjadi 10 bagian dengan ukuran sekitar 800x600 m<sup>2</sup>. Selain aspek tersebut, nilai parameter yang dimasukkan tidak bisa maksimal digunakan, karena mempengaruhi hasil numerik dari DSM maupun DTM yang terbentuk. Hasilnya untuk fitur-fitur yang seharusnya

dipertahankan atau dihilangkan tidak sesuai dengan semestinya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Input Parameter SMRF

Part	C	S	W	ET	ES	T1	T2	Te	Ka	Ka (%)	Keterangan
1	1	0,010	4	0,200	0,000	0,308	0,020	0,047	0,624	62,38	Forest
2	1	0,025	4	0,100	0,100	0,321	0,024	0,048	0,567	56,67	Forest
3	1	0,005	4	0,010	0,400	0,283	0,029	0,072	0,645	64,45	Forest
4	1	0,005	4	0,650	0,300	0,320	0,025	0,047	0,548	54,84	Forest
5	1	0,075	8	0,070	0,000	0,402	0,020	0,037	0,565	56,52	Mixed
6	1	0,080	8	0,070	0,000	0,273	0,026	0,037	0,611	61,10	Mixed
7	1	0,010	4	0,010	0,400	0,349	0,024	0,054	0,590	58,97	Mixed
8	1	0,100	4	0,060	0,200	0,349	0,024	0,054	0,590	58,97	Forest
9	1	0,090	5	0,080	0,000	0,418	0,033	0,055	0,524	52,43	Mixed
10	1	0,080	4	0,065	0,000	0,419	0,025	0,042	0,521	52,12	Mixed

**Keterangan :**

- C = Cell cize
- S = Slope
- W = Windows
- ET = Threshold

ES = Scalling Factor

T1 = Total non-ground yang dinyatakan sebagai ground

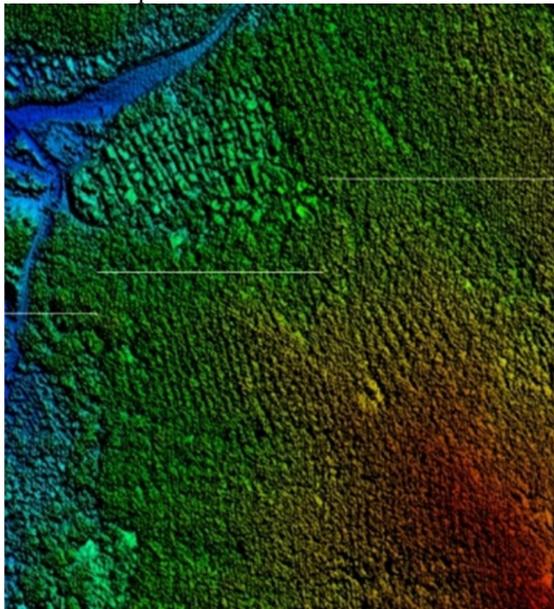
T2 = Total ground yang dinyatakan sebagai non-ground

Te = Total keseluruhan yang salah masuk kelas.

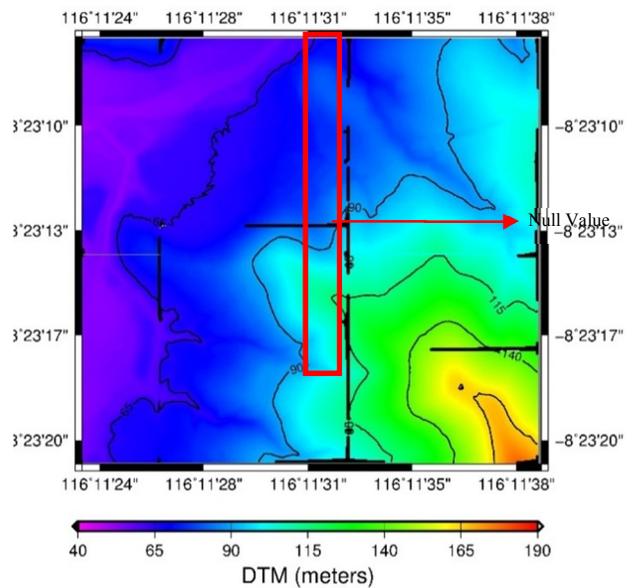
Ka = Koefisien Kappa

Kategori nilai Kappa dibagi menjadi tiga seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 (Fleiss, 1975). Hasil kappa yang didapatkan dengan metode SMRF filtering termasuk dalam kondisi yang baik, yang artinya DTM yang dihasilkan mendekati hasil yang sebenarnya yang berada di lapangan.

Pengolahan dilanjutkan dengan memasukkan nilai parameter-parameter yang dibutuhkan saat melakukan SMRF filtering yang didapatkan hasil DSM dan DTM seperti Gambar 2 dan Gambar 3..



Gambar 2. DSM hasil filtering SMRF.



Gambar 3. Hasil plot DTM sampel menggunakan Software GMT.

Tabel 2. Kategori Kohensi Kappa

Nilai Kappa	Kondisi DTM
$K < 0,40$	Kondisi buruk
$0,40 < k < 0,75$	Kondisi baik
$K > 0,75$	Kondisi sangat baik

Sumber : (Fleiss, 1975)

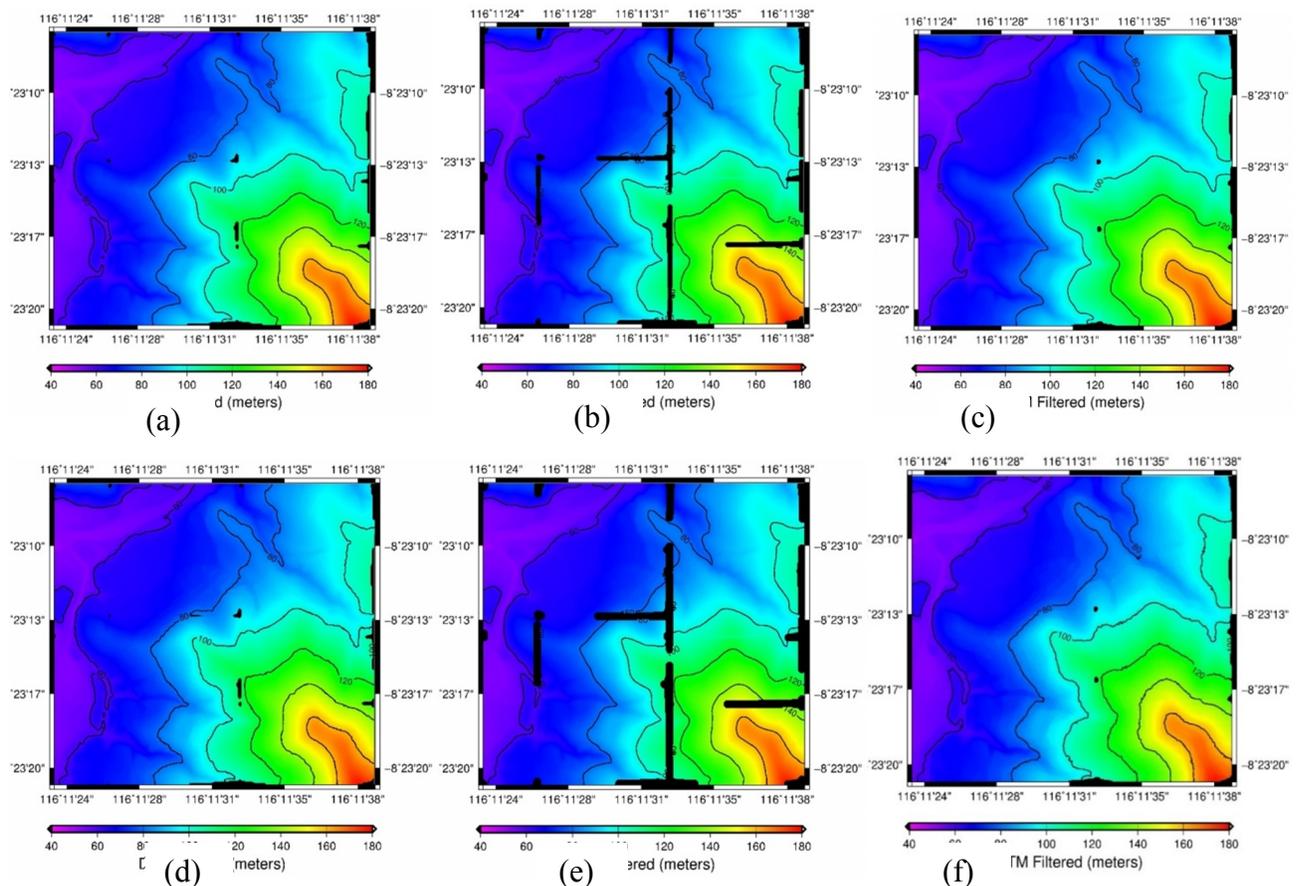
Berdasarkan Gambar 3, terdapat beberapa garis hitam yang merupakan null values sebagai akibat pemotongan data LiDAR menjadi beberapa bagian pada saat melakukan filtering SMRF. Untuk menghilangkan

*null values* tersebut, perlu dilakukan proses *smoothing*. *Smoothing* dilakukan dengan menggunakan *tools* *grdfilter* dalam *software* GMT. Proses *smoothing* yang dilakukan adalah dengan menerapkan filter *median*, *Gaussian* dan *maximum likelihood* pada data DTM yang sudah terbentuk. Dari ketiga jenis filter yang diterapkan, dilakukan uji coba menggunakan dua ukuran *windows* yang berbeda yakni 5 dan 10 meter.

Metode *smoothing* yang memberikan nilai RMSE elevasi DTM paling baik adalah *maximum likelihood*

dengan ukuran *windows* 10 meter. Nilai-nilai RMSE selengkapnya untuk masing-masing metode *smoothing* ditampilkan dalam Tabel 3.

Selanjutnya dalam Gambar 4 dapat dilihat visualisasi hasil-hasil *smoothing* DTM. Secara visual, *smoothing* menggunakan metode *maximum likelihood* mampu menghilangkan hampir seluruh *null values* jika dibandingkan dengan metode *gaussian* dan *median*.



**Gambar 4.** DTM hasil *Smoothing* (a) *median* 5 m, (b) *Gaussian* 5 m, (c) *maximum likelihood* 5 m, (d) *median* 10 m, (e) *Gaussian* 10 m, (f) *maximum likelihood* 10 m.

Tahapan kegiatan selanjutnya adalah melakukan validasi atau uji akurasi terhadap DTM hasil *filtering* dan *smoothing*. Kegiatan uji akurasi DTM dilakukan melalui survei lapangan untuk mengukur nilai-nilai elevasi di beberapa titik sampel dengan pengamatan geodetik. Metode pengamatan geodetik yang dilakukan adalah metode statik dan kinematik (RTK). Sebaran

sampel dapat dilihat dalam Gambar 5, sedangkan hasil olah data dari filter SMRF yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.

Menurut Susetyo dkk, dalam melakukan uji akurasi data DTM yang dihasilkan oleh data LiDAR menggunakan nilai nilai *Root Mean Square Error*

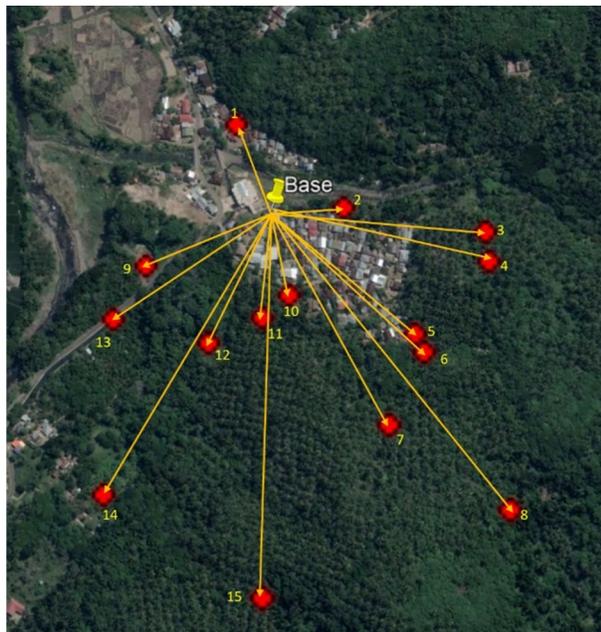
(RMSE). Persamaan untuk menghitung RMSE adalah (Susetyo & Perdana, 2015):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(\Delta h)^2}{n}} \quad (1)$$

$\Delta h$  = Selisih ketinggian pada DTM dengan tinggi validasi sampel  
 $n$  = jumlah titik sampel

**Tabel 3.** Nilai RMSE dan LE90 masing-masing *tools*

No	Metode	Windows (m)	RMSE (m)	LE90 (m)
1	Median	5	0.4312	0.7114
2	Gaussian	5	0.4308	0.7114
3	Maximum Likelihood	5	0.6383	1.0532
4	Median	10	0.6600	1.0441
5	Gaussian	10	0.6592	1.0877
6	Maximum Likelihood	10	0.6328	1.0441



**Gambar 5.** Persebaran titik sampel.

Selain RMSE, juga dilakukan penghitungan nilai Linear Error 90% (LE90) untuk menentukan kualitas

peta yang dihasilkan. Menurut Perka BIG No.15 Tahun 2014 yang kini disempurnakan oleh Peraturan BIG No.6 Tahun 2018 mengenai Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar, LE90 adalah ukuran nilai dari ketelitian geometrik vertikal. Nilai ketelitian geometrik vertikal adalah suatu nilai jarak yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek di peta dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak lebih daripada nilai jarak tersebut, Nilai LE90 biasanya dijadikan sebagai tinjauan saat menentukan skala yang dapat dipenuhi untuk penggunaan penentu ketelitian vertikal. Nilai LE90 terbagi menjadi tiga kelas, yaitu :

- Kelas 1 = 0,5 x interval kontur
- Kelas 2 = 1,5 x interval kontur
- Kelas 3 = 2,5 x interval kontur

Persamaan untuk menentukan LE90 adalah sebagai berikut:

$$LE90 = 1,6499 \times RMSE \quad (2)$$

$$LE90 = 1,6499 \times 0,621$$

$$LE90 = 1,025331$$

**Tabel 4.** Ketelitian vertikal Peta RBI

No	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI		
			LE90 kelas 1(m)	LE90 kelas 2(m)	LE90 kelas 3(m)
1	1: 1,000	0,4	0,2	0,30	0,40
2	1: 2,500	1	0,5	0,75	1,00
3	1: 5,000	2	1,00	1,50	2,00
4	1: 10,000	4	2,00	3,00	4,00

Sumber : (Geospasial, 2018)

Sesuai Peraturan BIG No.6 Tahun 2018, nilai LE90 dapat ditampilkan pada Tabel 5 seperti di atas. Dalam mendapatkan nilai LE90, maka data LiDAR hasil *filtering* menggunakan metode SMRF sudah memenuhi ketelitian kelas 2, untuk peta skala 1:5,000, yaitu 1,025331. Selain itu setelah dilakukan proses *smoothing*, ternyata nilai RMSE dan LE90 tidak mengalami perbedaan yang signifikan yang dapat dilihat pada Tabel 6, sehingga metode SMRF dapat direkomendasikan untuk *filtering* data LiDAR untuk mendapatkan data DTM dari data DSM.

Tabel 5. Hasil validasi DTM sebelum dilakukan proses *smoothing*

No	Lon	Lat	Ellipsoid Height (m)	Undulasi dari SRGI (m)	Geoid Height(m)	DTM Height (m)	Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)	Difference kuadrat (m <sup>2</sup> )
1	116,192	-8,385	109,873	37,617	72,256	71,914	-0,342	0,117
2	116,193	-8,386	112,049	37,623	74,426	73,916	-0,51	0,26
3	116,193	-8,386	122,162	37,638	84,525	84,047	-0,477	0,228
4	116,194	-8,387	137,583	37,658	99,925	99,229	-0,696	0,484
5	116,193	-8,387	138,548	37,643	100,906	100,576	-0,33	0,109
6	116,193	-8,389	152,385	37,666	114,719	114,844	0,125	0,016
7	116,193	-8,388	161,163	37,654	123,509	123,357	-0,152	0,023
8	116,191	-8,386	97,364	37,606	59,758	58,588	-1,17	1,369
9	116,191	-8,386	95,173	37,606	57,567	57,22	-0,347	0,12
10	116,191	-8,387	105,084	37,621	67,463	66,957	-0,506	0,256
11	116,191	-8,388	111,186	37,625	73,561	73,721	0,16	0,026
12	116,191	-8,387	102,684	37,615	65,069	64,723	-0,346	0,12
13	116,191	-8,389	108,445	37,642	70,803	71,327	0,524	0,275
14	116,191	-8,388	102,18	37,626	64,554	63,136	-1,418	2,011
15	116,190	-8,386	94,455	37,603	56,852	56,236	-0,616	0,38
Mean Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)							-0,407	0,386
Max Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)							0,524	
Min Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)							-1,418	
RMSE Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)							0,621	
STD Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)							0,486	

Tabel 6. Hasil validasi DTM setelah dilakukan proses *smoothing*

No	Lon	Lat	Ellipsoid Height (m)	Undulasi dari SRGI (m)	Geoid Height(m)	DTM Height (m)	Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)	Difference kuadrat (m <sup>2</sup> )
1	116,192	-8,385	109,873	37,617	72,256	71,934	-0,322	0,104
2	116,193	-8,386	112,049	37,623	74,426	74,389	-0,037	0,001
3	116,193	-8,386	122,162	37,638	84,525	83,439	-1,086	1,179
4	116,194	-8,387	137,583	37,658	99,925	99,477	-0,449	0,202
5	116,193	-8,387	138,548	37,643	100,906	100,828	-0,078	0,006
6	116,193	-8,389	152,385	37,666	114,719	114,857	0,137	0,019
7	116,193	-8,388	161,163	37,654	123,509	124,142	0,633	0,401
8	116,191	-8,386	97,364	37,606	59,758	58,979	-0,779	0,607
9	116,191	-8,386	95,173	37,606	57,567	57,146	-0,421	0,177
10	116,191	-8,387	105,084	37,621	67,463	66,925	-0,538	0,290
11	116,191	-8,388	111,186	37,625	73,561	73,467	-0,095	0,009
12	116,191	-8,387	102,684	37,615	65,069	64,710	-0,360	0,129
13	116,191	-8,389	108,445	37,642	70,803	71,307	0,504	0,254
14	116,191	-8,388	102,18	37,626	64,554	63,071	-1,483	2,200
15	116,190	-8,386	94,455	37,603	56,852	56,196	-0,656	0,431
Mean Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)							-0,335	
Max Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)							0,633	
Min Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)							-1,483	
RMSE Difference $H_{geo}-H_{ell}$ (m)							0,633	
LE90							1,044	

#### 4. Kesimpulan

Metode SMRF dapat digunakan untuk *filtering* data LiDAR untuk mendapatkan data DTM dari data LiDAR. Statistik membuktikan, nilai RMSE sebesar 0,621 dan nilai LE90 sebesar 1,025331 menunjukkan bahwa DTM yang dihasilkan memenuhi ketelitian vertikal peta skala 1: 5.000 dan masuk dalam kelas 2.

#### 5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponim untuk pemberian data LiDAR yang sudah diberikan dan koordinasi pengolahan data serta *sharing knowledge* kepada Bidang Penelitian, Pusat Penelitian, Promosi dan Kerjasama, Badan Informasi Geospasial.

#### Daftar Pustaka

- Amin, M. B. Al. (2015). Pemanfaatan Teknologi LiDAR Dalam Analisis Genangan Banjir Akibat Luapan Sungai Berdasarkan Simulasi Model Hidrodinamik. *Info Teknik*, 16(1), 21–32.
- Duantari, N., & Cahyono, A. B. (2017). Analisis Perbandingan DTM ( Digital Terrain Ranging ) dan Foto Udara dalam Pembuatan Kontur Peta Rupa Bumi Indonesia. *Teknik ITS*, 6(2), 793–797.
- Fleiss, J. L. (1975). Measuring Agreement between Two Judges on the Presence or Absence of a Trait. *Biometrics*, 31(3), 651–659.
- Geospasial, I. *Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. , (2018).
- Julzarika, A., & Sudarsono, B. (2009). Penurunan Model Permukaan Dijital (DSM) Menjadi Model Elevasi Dijital (DEM) Dari Citra Satelit Alos Palsar (Studi kasus: NAD Bagian Tenggara, Indonesia). *Teknik*, 30(1), 57–63.
- Kobler, A., Pfeifer, N., Ogrinc, P., Todorovski, L., Oštir, K., & Džeroski, S. (2007). Repetitive interpolation: A robust algorithm for DTM generation from Aerial Laser Scanner Data in forested terrain. *Remote Sens. Environ*, 108, 9–23.
- Maune, D. F., Huff, L. C., & Guenther, G. C. (2001). DEM user applications. *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual*, 391–423.
- Pingel, T. J., Clarke, K., & McBride, W. A. (2013). An Improved Simple Morphological Filter for the Terrain Classification of Airborne LIDAR Data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 77(April 2017), 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.12.002>
- Sari, D. R. (2016). *Analisa Geometrik True Orthophoto Data LIDAR*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Shamsi, U. M. (2005). *GIS Applications for water, wastewater, and Stormwater Systems*. United States of America.
- Sudarsono, B., & Julzarika, A. (2010). Uji Ketelitian Hasil Koreksi Geometrik Citra Satelit Alos Prism Dengan Hitung Perataan Kuadrat Terkecil Metode Parameter. *Teknik*, 31(1), 8521697.
- Susetyo, D. B., & Perdana, P. (2015). Uji Ketelitian Digital Surface Model ( DSM ) sebagai Data Dasar dalam Pembentukan Kontur Peta Rupabumi Indonesia ( RBI ). *Sinas Inderaja*, 1.
- Vosselman, G. (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens*, 33, 935–942.
- Whitman, D., Zhang, K., Leatherman, S., & Robertson, W. (2003). *Airborne laser topographic mapping: Applications to hurricane storm surge hazards*. <https://doi.org/10.1029/SP056p0363>
- Zhang, K., Chen, S.-C., Whitman, D., Shyu, M.-L., Yan, J., & Zhang, C. (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4), 872–882. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.810682>