

ANALISIS AKURASI DTM HASIL EKSTRAKSI DATA PEMETAAN AIRBORNE LiDAR SKALA BESAR MENGGUNAKAN ALGORITMA CLOTH SIMULATION FILTERING, PARAMETER-FREE GROUND FILTERING DAN SIMPLE MORPHOLOGICAL FILTERING TERHADAP SLOPE BASED FILTERING

Franstein Kevin J.B.^{*)}, Yudo Prasetyo, Abdi Sukmono

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
 Email : fransteinkevin@gmail.com^{*)}

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang memiliki pertumbuhan penduduk yang tinggi dan pembangunan infrastruktur yang belum merata. Sehingga Indonesia harus melakukan percepatan dalam pembangunan infrastruktur agar kualitas hidup masyarakat semakin baik. Percepatan pembangunan infrastruktur membutuhkan penataan ruang yang baik agar ruang wilayah menjadi aman, nyaman dan produktif untuk ditempati. Penataan ruang yang baik didapatkan dari parameter waktu yang singkat dan hasil yang optimal dalam pembuatan rencana tata ruang kota yang dimana *Airborne LiDAR* menjadi jawabannya. Maka diperlukan *Digital Terrain Model (DTM)* yang didapatkan dari proses penapisan *Digital Surface Model (DSM)*. Teknik penapisan DSM menjadi DTM adalah *Cloth Simulation Filtering (CSF)*, *Parameter-Free Ground Filtering (Mongus)*, *Simple Morphological Filtering (SMRF)* dan *Slope Based Filtering (SBF)*. Untuk menguji keefektifan dari empat metode *filtering*, setiap metode diuji dalam enam bentuk topografi seperti daerah aliran sungai (DAS) melintang, DAS memanjang, lereng diatas 30 persen, lereng dibawah 30 persen, *terrain* datar pedesaan dan *terrain* datar perkotaan. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil bahwa DTM hasil pengolahan metode Mongus merupakan metode paling teliti setelah dibandingkan dengan ketiga metode lainnya serta rentang nilai RMSEz metode Mongus terhadap enam bentuk topografi adalah yang terendah sebesar 0,003 meter dan yang tertinggi sebesar 0,664 meter.

Kata Kunci : DSM, DTM, LiDAR

ABSTRACT

Indonesia is a country that has high population growth and uneven infrastructure development. So that Indonesia must accelerate infrastructure development so that the quality of life of the community is getting better. Acceleration of infrastructure development requires good spatial planning so that the area of space becomes safe, comfortable and productive to be occupied. Good spatial planning is obtained from short time parameters and optimal results in making city spatial plans where Airborne LiDAR is the answer. Then a Digital Terrain Model (DTM) is needed from the Digital Surface Model (DSM) screening process. DSM screening techniques to DTM are Cloth Simulation Filtering (CSF), Parameters-Free Ground Filtering (Mongus), Simple Morphological Filtering (SMRF) and Slope Based Filtering (SBF). To test the effectiveness of the four filtering methods, each method is tested in six topographic forms such as transverse watersheds, longitudinal watersheds, slopes above 30 percent, slopes below 30 percent, rural flat terrain and urban flat terrain. After testing, it was found that the DTM results from the Mongus method were the most accurate method after being compared with the other three methods and the RMSEz value range of the Mongus method for the six topographic forms was the lowest at 0,003 meters and the highest at 0,664 meters.

Keyword : DSM, DTM, LiDAR

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di Asia Tenggara yang memiliki tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi dan belum meratanya pembangunan infrastruktur. Tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi membuat Indonesia harus melakukan percepatan dalam pembangunan infrastruktur agar kualitas hidup masyarakat semakin baik. Percepatan pembangunan infrastruktur membutuhkan penataan ruang yang baik agar ruang wilayah menjadi aman, nyaman dan produktif untuk ditempati.

Berita yang diterbitkan oleh media digital Kompas yang berjudul “Tanpa Pembangunan Infrastruktur, Pertumbuhan Ekonomi RI Lebih Lambat dari Sekarang”, membuktikan bahwa pada empat tahun terakhir pembangunan infrastruktur semakin gencar dilakukan oleh pemerintah (Kompas, 2018). Akan tetapi pembangunan infrastruktur harus dioptimalkan agar dengan waktu yang singkat dapat menyelesaikan suatu pembangunan infrastruktur agar perekonomian Indonesia semakin meningkat. Oleh karena itu, untuk mempersingkat waktu dalam pembangunan infrastruktur dibutuhkan perencanaan tata wilayah kota yang baik.

Perencanaan tata wilayah kota yang baik didapatkan dari parameter waktu yang singkat dan hasil yang optimal dalam pembuatan rencana tata ruang kota. *Airborne* LiDAR efektif untuk mempercepat perencanaan tata wilayah kota karena metode *Airborne* LiDAR dikenal cepat dalam akuisisi dan teliti dalam akurasi sehingga menjadi solusi yang baik dalam perencanaan wilayah kota. Maka diperlukan *Digital Terrain Model* (DTM) yang didapatkan dari proses penapisan *Digital Surface Model* (DSM).

Martiana, dkk., (2016) melakukan penelitian dengan membandingkan akurasi penapisan DSM ke DTM menggunakan metode *Slope Based Filtering* (SBF) dan algoritma *Macro* Terrasolid. Penelitian menggunakan foto udara dan data LiDAR untuk menghasilkan DSM dan dilakukan penapisan terhadap data DSM tersebut menggunakan *software* SAGA GIS dan Terrasolid Microstation. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa penapisan terhadap pengolahan data LiDAR menggunakan algoritma *macro* terrasolid menghasilkan DTM dengan nilai RMS 0,689 meter dan menggunakan metode SBF menghasilkan DTM dengan nilai RMS 0,983 meter. Sedangkan penapisan terhadap data foto udara menggunakan algoritma *macro* terrasolid menghasilkan DTM dengan nilai RMS 2,062 meter dan menggunakan metode SBF menghasilkan DTM dengan nilai RMS 1,466 meter.

Pambudi, dkk., (2015) melakukan penelitian dengan membandingkan akurasi penapisan DSM ke DTM menggunakan metode SMRF dan SBF.

Penelitian menggunakan foto udara untuk menghasilkan DSM dan dilakukan penapisan terhadap data DSM tersebut menggunakan *software* SAGA GIS. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh hasil penapisan SBF lebih akurat dibanding dengan SMRF yang dimana nilai RMSEz data DTM hasil penapisan SBF sebesar 1,601 m sedangkan data DSM hasil penapisan SMRF sebesar 2,205 m terhadap DTM manual *stereoplotting*.

Hasil dari penelitian ini berupa data DTM yang didapatkan dari ekstraksi data DSM menggunakan metode *Cloth Simulation Filtering* (CSF), *Parameter-Free Ground Filtering* (Mongus), *Slope Based Filtering* (SBF) dan *Simple Morphological Filtering* (SMRF). Selain itu penelitian ini juga mengkaji pola dan tingkat akurasi hasil ekstraksi DTM LiDAR terhadap aspek topografi serta validasi dengan DTM hasil olahan PT. Asi Pudjiastuti Geosurvey dan Badan Informasi Geospasial.

I.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana analisis pola dan tingkat akurasi hasil ekstraksi DTM menggunakan metode penapisan *Cloth Simulation Filtering*, *Parameter-free Ground Filtering*, *Slope Based Filtering* serta *Simple Morphological Filter* terhadap enam aspek topografi seperti daerah aliran sungai melintang, daerah aliran sungai memanjang, kelereng di atas 30%, kelereng di bawah 30%, daerah datar pedesaan dan daerah datar perkotaan?
2. Bagaimana analisis validasi hasil poin nomor 1 terhadap DTM hasil olahan PT. ASI Pudjiastuti Geosurvey dan Badan Informasi Geospasial?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah

- a. Mengetahui pola dan tingkat akurasi ekstraksi DTM menggunakan metode penapisan *Cloth Simulation Filtering*, *Parameter-Free Ground Filtering*, *Slope Based Filtering* serta *Simple Morphological Filter* terhadap enam aspek topografi seperti daerah aliran sungai melintang, daerah aliran sungai memanjang, kelereng di atas 30%, kelereng di bawah 30%, daerah datar pedesaan dan daerah datar perkotaan.
- b. Membandingkan akurasi DTM hasil pengolahan metode penapisan yang terbaik pada rumusan masalah pertama dengan DTM hasil pengolahan PT. ASI Pudjiastuti Geosurvey.

2. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah

- a. Aspek Keilmuan

Dilihat dari aspek keilmuan, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi atau masukan pengetahuan mengenai perkembangan metode ekstraksi DTM LiDAR.

- b. Aspek Kerekayasaan
Dilihat dari aspek kerekayasaan, penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan serta pertimbangan metode penapisan yang terbaik untuk mengekstraksi DTM LiDAR sesuai dengan karakter topografi yang disajikan dalam penelitian ini.

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Terbatasnya data GCP dan ICP.
2. Validasi menggunakan data sekunder yang didapatkan dari instansi.
3. Komputer dan laptop kurang memadai.
4. Hanya menggunakan satu set parameter dalam memproses DSM tiap NLP

I.5 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut :

I.5.1 Wilayah Penelitian

Area penelitian berada pada Kecamatan Kota Agung, Kabupaten Tanggamus, Lampung.

I.5.2 Peralatan dan Data Penelitian

1. Peralatan :
 - A. Perangkat Keras
 - a. *Laptop Core i7*, RAM 8 GB, Nvidia GTX 1050Ti
 - b. *Workstation*
 - c. *Printer* kertas
 - B. Perangkat Lunak
 - a. Sistem Operasi Windows 10
 - b. Microsoft Office 2016
 - c. CloudCompare
 - d. Anaconda PDAL
 - e. SAGA GIS
 - f. Terrasolid Microstation
 - g. Global Mapper
2. Data penelitian :
Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Penelitian

No	Data	Keterangan
1	Point Cloud DSM LiDAR	Data didapatkan dengan mengambil data LiDAR ke PT. Asi Pudjiastuti Geosurvey
2	GCP dan ICP	Data didapatkan dengan mengambil data LiDAR ke PT. Asi Pudjiastuti Geosurvey
3	DTM Hasil Olahan PT.APG dan BIG	Data didapatkan dengan mengambil data LiDAR ke PT. Asi Pudjiastuti Geosurvey

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Konsep Dasar DEM, DSM dan DTM

Digital Elevation Model (DEM) adalah data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang akan terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil *sampling* dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat

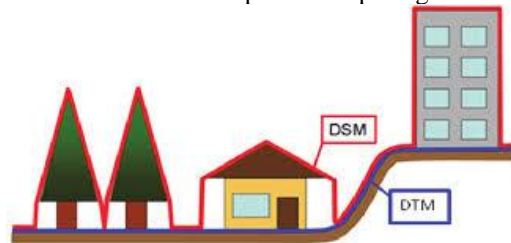
(Tempfli, 1991 dalam Rahman, 2011). Menurut Jensen (2007), DEM merupakan suatu file atau *database* yang menampung titik-titik dari suatu permukaan. Selanjutnya Jensen (2007) membedakan DEM menjadi dua yaitu *Digital Terrain Model* (DTM) dan *Digital Surface Model* (DSM).

1. *Digital Terrain Model* (DTM)

DTM merupakan model tanah digital yang memuat informasi ketinggian permukaan tanah (*bare earth surface*) tanpa terpengaruh oleh vegetasi dan fitur buatan manusia lainnya. DTM disertai fitur-fitur tambahan seperti punggung bukit atau aliran air sungai memberikan representasi permukaan topografi yang lebih baik serta mampu memodelkan relief lebih realistik.

2. *Digital Surface Model* (DSM)

DSM merupakan representasi muka bumi yang memuat informasi ketinggian termasuk semua obyek yang ada diatas muka bumi seperti bangunan, vegetasi dan fitur lainnya. Perbedaan DSM dan DTM dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Perbedaan DSM dan DTM

II.2 LiDAR

LiDAR (*light detection and ranging systems*) adalah perangkat atau sistem yang sering digunakan pada aktivitas-aktivitas survei, pengukuran, atau pengamatan yang menggunakan teknik atau metode penginderaan jauh aktif dengan cahaya dalam bentuk pulsa-pulsa laser untuk mengukur jarak terhadap objek di permukaan bumi dengan kerapatan dan akurasi yang tinggi (Prahasta, 2015).

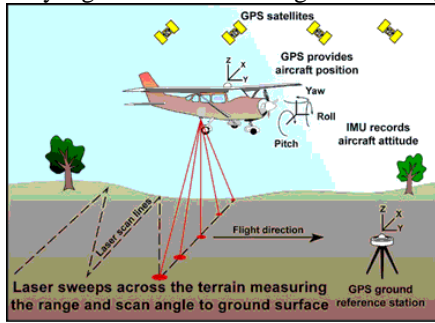
II.3 Prinsip Kerja LiDAR

Sistem LiDAR mengkombinasikan sebuah sinar laser yang sempit dengan sebuah sub-sistem penerima. Laser ini menghasilkan pulsa-pulsa optik yang akan dikirimkan dan kemudian dipantulkan kembali oleh objek-objek permukaan bumi hingga akhirnya diterima kembali oleh sub-sistem penerimanya. Sub-sistem penerima kemudian mengukur secara akurat waktu perjalanan pulsa dari awal hingga akhirnya diterima kembali. Pulsa-pulsa tersebut berjalan pada kecepatan cahaya yang mengakibatkan sub-sistem penerimanya harus mengindra pulsa-pulsa yang kembali (*returns*) sebelum pulsa-pulsa berikutnya dikirimkan menuju objek (Prahasta, 2015). Pada penelitian ini menggunakan data dari akuisisi *airborne* LiDAR. Ilustrasi akuisisi data *airborne* LiDAR dapat dilihat pada gambar 2.

II.4 Akurasi Digital Terrain Model

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang pedoman

teknis ketelitian peta dasar, ada dua parameter untuk menentukan akurasi dari pembuatan peta yaitu akurasi horizontal beserta akurasi vertikal. Akurasi horizontal didapatkan dari perhitungan ketelitian geometrik horizontal yang didefinisikan sebagai radius lingkaran



Gambar 2 Airborne LiDAR

yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan posisi horizontal objek di peta dengan posisi yang dianggap sebenarnya tidak lebih besar dari radius tersebut yang dinamakan perhitungan *Circular Error 90%* (CE90). Sedangkan untuk mendapatkan akurasi vertikal didapatkan dari perhitungan ketelitian geometrik vertikal (ketinggian) yang didefinisikan sebagai 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 yang dinamakan perhitungan *Linear Error 90%* (LE90) (Badan Informasi Geospasial, 2014).

Nilai CE90 dan LE90 diperoleh dengan rumus yang mengacu kepada standar US NMAS (*United States National Map Accuracy Standards*) sebagai berikut :

$$CE90 = 1,5175 * RMSE_{\gamma} \dots \dots \dots (II.1)$$

$$LE90 = 1,6499 * RMSE_z \dots \dots \dots (II.2)$$

Keterangan :
 RMSE_γ : *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (horizontal)
 RMSE_z : *Root Mean Square Error* pada posisi z (vertikal)

Penelitian ini lebih menitikberatkan pada ketelitian vertikal yang dimana LiDAR sudah tidak diragukan lagi ketelitian horizontalnya. Maka rumus RMSE vertikal dapat dinyatakan sebagai berikut (*Federal Geographic Data Committee, 1998*)

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - Z_j)^2}{N}} \dots \dots \dots (II.3)$$

Keterangan :
 RMSE_z : *Root Mean Square Error* pada posisi z (vertikal)
 Z_j : koordinat Z (tinggi) dari DTM hasil proses *filtering*
 Z_i : koordinat Z (tinggi) dari DTM yang memiliki akurasi yang lebih tinggi
 N : Jumlah titik

Mengacu pada Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis

Ketelitian Peta Dasar, ketentuan untuk standar ketelitian geometri Peta RBI dapat dilihat pada tabel 2.

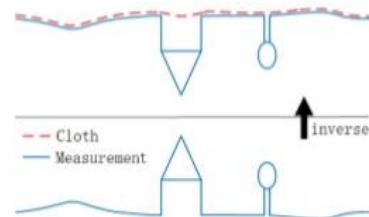
II.5 *Cloth Simulation Filtering* (CSF)

Metode ini berbasis pada simulasi dari proses

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	300	200	600	300	900,0	400
2	1:500.000	200	150	100	300	150	450,0	200
3	1:250.000	100	75	50	150	75	225,0	100
4	1:100.000	40	30	20	60	30	90,0	40
5	1:50.000	20	15	10	30	15	45,0	20
6	1:25.000	10	7,5	5	15	7,5	22,5	10
7	1:10.000	4	3	2	6	3	9,0	4
8	1:5.000	2	1,5	1	3	1,5	4,5	2
9	1:2.500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,3	1
10	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

Fisik sederhana yang dimana adalah membayangkan sepotong kain diletakkan diatas tanah lalu kainnya tenggelam kebawah dikarenakan gravitasi dengan asumsi bahwa kainnya begitu lembut untuk lengket ke permukaan. Bentuk akhir dari kain tersebut adalah DSM. Namun jika tanah diputarbalikkan dan kainnya kaku, maka bentuk akhirnya adalah DTM. Proses ini disebut sebagai *cloth simulation* (Zhang dkk., 2016). Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Ilustrasi kain pada Cloth Simulation Filtering

II.6 *Parameter-Free Ground Filtering* (Mongus)

Metode ini menentukan diskontinu yang besar pada tinggi di titik yang disebabkan oleh berbagai macam objek (bangunan, vegetasi serta kendaraan). Metode ini menggunakan interpolasi *thin plate spline* (TPS) untuk mengatasi masalah perbedaan tinggi titik yang cukup signifikan.

Permukaan interpolasi diestimasi berdasarkan set penapisan dari titik kontrol TPS pada tingkat hierarki sebelumnya (dianggap bahwa tingkat paling atas dari titik kontrol TPS hanya berisi *ground points*). Titik residu dari permukaan yang diinterpolasi kemudian dihitung dan *filtering* titik didapatkan dalam tiga tahap :

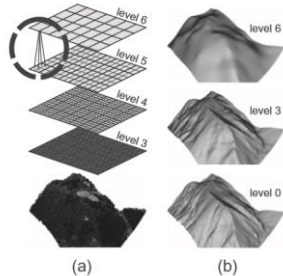
1. *Top-hat transformation* digunakan untuk membandingkan antara titik residu yang bertetangga.
2. Ambang batas otomatis diterapkan untuk mendeteksi *high outliers*.
3. *High outliers* dibuang.

Ilustrasi dari *Parameter-Free Ground Filtering* dapat dilihat pada gambar 4.

II.7 *Slope Based Filtering*

Konsep dari *slope based filtering* dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa nilai perbedaan tinggi antara dua *cell* bertetangga diakibatkan oleh curamnya lereng pada permukaan.

Cell yang letaknya lebih tinggi dapat menjadi *ground point* jika jarak dua *cell* dikurangi. Sebuah *cell* diklasifikasikan sebagai permukaan tanah jika tidak ada *cell* lain dalam jangkauan radius pencarian kernel yang ketinggiannya melewati ambang batas (*threshold*) (Pambudi, 2015).



Gambar 4 bagian (a) sebagai struktur hierarki titik kontrol dan (b) sebagai interpolasi permukaan

II.8 Simple Morphological Filtering

Konsep dasar dari *Simple Morphological Filtering* sebenarnya sama seperti *Progressive Morphological Filtering* tetapi SMRF dikembangkan dengan tujuan untuk menyederhanakan proses *filtering*. *Progressive Morphological Filtering* dikembangkan untuk mengatasi sulitnya menggunakan ukuran dari *structuring element* yang sama untuk menghilangkan beberapa fitur bukan tanah yang berbeda antara satu dengan yang lain dengan cara meningkatkan nilai dari *structuring element* atau disebut dengan *window* secara bertahap (Pambudi, 2015).

Nilai dari *window* pada *Progressive Morphological Filter* meningkat secara eksponensial (Pingel, 2012). Sehingga proses tersebut dapat menghilangkan objek bukan tanah seperti bangunan dan pepohonan dengan ukuran yang bervariasi pada data LiDAR (Pambudi, 2015). Pada metode ini juga diperkenalkan istilah *elevation difference threshold* (ambang batas beda tinggi). Jika beda tinggi dari suatu titik lebih kecil dari ambang batas maka titik ini akan diklasifikasikan sebagai tanah (Chen dkk., 2007 dalam Pambudi, 2015). Ambang batas ditentukan berdasarkan kemiringan dari permukaan. Nilai kemiringan pada metode PMF diasumsikan konstan pada seluruh area dan didapatkan dengan cara berulang membandingkan data yang sudah dilakukan proses *filtering* dengan yang belum dilakukan proses *filtering*. Nilai kemiringan didapatkan dengan ukuran *window* yang berbeda pada tiap langkah (Pambudi, 2015).

II.9 Interpolasi

Interpolasi adalah proses memperkirakan ketinggian di daerah yang tidak memiliki data (*no data*). Interpolasi pada pembentukan DEM digunakan untuk operasi berikut (Suprayogi, 2009 dalam Martiana, 2016) :

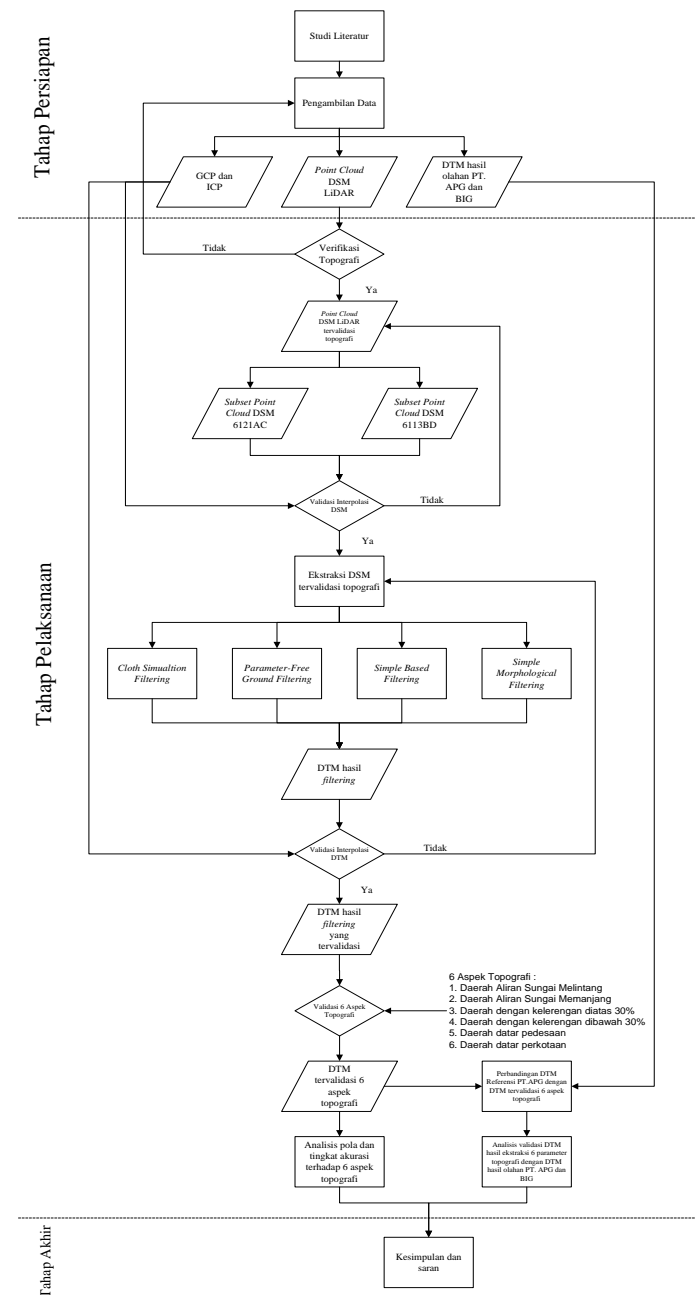
1. Perhitungan elevasi (z) pada lokasi tertentu (*data point*)
2. Perhitungan elevasi (z) untuk sel grid yang ditentukan

3. Perhitungan lokasi (x, y) dari titik sepanjang kontur (digunakan untuk interpolasi kontur) yaitu *inverse interpolasi*.

Dalam metode interpolasi triangulasi, langkah-langkah yang akan dilakukan pada proses interpolasi atas data-data sampel yang diperoleh dimulai dengan menerapkan metode triangulasi. Metode ini bekerja dengan membuat segitiga dengan menggambarkan garis antara data sampel yang berupa titik yang telah diketahui. Titik-titik tersebut dihubungkan menjadi segitiga yang tidak berpotongan (Ervina, 2005).

III. Metodologi Penelitian

Secara umum, prosedur pelaksanaan penelitian terdiri atas tahapan utama yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

III.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan terbagi menjadi dua tahapan, yaitu studi literatur dan pengambilan data. Tahapan studi literatur sudah dibahas pada bab tinjauan pustaka dan tahapan pengambilan data sudah dibahas pada bab pendahuluan.

III.2 Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan terbagi menjadi beberapa tahap, yaitu tahap verifikasi topografi, tahap *subset point cloud* DSM, tahap validasi interpolasi DSM, tahap *filtering* dengan empat metode, tahap validasi interpolasi DTM, tahap validasi dengan 6 aspek topografi, tahap analisis pola dan tingkat akurasi terhadap 6 aspek topografi beserta analisis validasi DTM hasil ekstraksi 6 parameter topografi dengan DTM hasil olahan PT. APG dan BIG.

III.2.1 Verifikasi Topografi

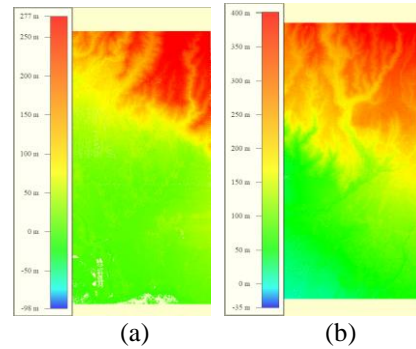
Tahap verifikasi topografi dilakukan dengan cara melihat data daerah penelitian tidak memiliki cacat data seperti adanya data yang hilang atau rusak (*blank*). Lalu dilanjutkan mencari data yang berpotensi memiliki beberapa aspek seperti ketinggian yang bervariasi serta bentuk topografi yang beragam. Seperti pada daerah penelitian Kota Agung memiliki beragam bentuk topografi mulai dari pesisir hingga ke kaki gunung, yang dimana ketinggiannya memiliki perbedaan yang besar. Serta ada berbagai macam bentuk topografi yang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Kota Agung, Kabupaten Tanggamus

III.2.2 Subset Point Cloud DSM

Pada saat pengambilan data dari PT.APG dan BIG, penulis diberikan empat buah *tile point cloud* DSM LiDAR, yaitu NLP 1010-6113B, NLP 1010-6113D, NLP 1010-6121A dan NLP 1010-6121C. Lalu penulis melakukan *subset* guna untuk mengurangi kesalahan rambat. Penulis membuat menjadi dua bagian, yaitu NLP 1010-6113BD dan NLP 1010-6121AC dikarenakan perangkat keras yang kurang memadai. Pada gambar 7 dapat dilihat visualisasi dari DSM NLP 1010-6113BD dan DSM NLP 1010-6121AC.



Gambar 7 (a) DSM NLP 1010-6113BD dan (b) DSM NLP 1010-6121AC

III.2.3 Validasi Interpolasi DSM

DSM yang berupa *point cloud* di interpolasi menjadi raster dengan *grid spacing* sebesar 1 meter. Parameter interpolasi ada *vertical unit* yaitu dalam satuan meter, *grid method* yaitu *triangulation (grid TIN of points)*. Dilanjutkan dengan mengkonversi data ketinggian GCP dan ICP kedalam EGM 2008. Jumlah GCP dan ICP sebanyak 3 buah yang lokasinya dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 Persebaran GCP dan ICP yang ada pada studi lokasi penelitian

Karena data DSM interpolasi sudah berada dalam ketinggian geoid, maka dilakukan konversi ketinggian data GCP dan ICP dari tinggi ellipsoid menjadi tinggi geoid yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Koordinat GCP dan ICP pada model geoid

Objek	X	Y	Z (Geoid EGM 2008)
TGM 014	458131,857	9392524,040	15,341
TGM 015	459080,799	9395809,328	260,967
CP002	459169,495	9395877,8511	227,806

III.2.4 Checking Koordinat Z GCP dan ICP pada model DSM

Pada tabel 4 dapat dilihat perubahan yang sedikit terjadi pada nilai Z Geoid EGM 2008 terhadap Z hasil interpolasi.

Tabel 4 Koordinat GCP dan ICP beserta nilai Z interpolasi

Objek	X	Y	Z (Geoid EGM 2008)	Z Interpolasi
TGM 014	458131,857	9392524,040	15,341	14,860
TGM 015	459080,799	9395809,328	260,967	260,610
CP002	459169,495	9395877,851	227,806	227,470

III.3 Filtering DSM

III.3.1 Filtering DSM dengan metode Cloth Simulation Filtering (CSF)

Parameter *filtering* dengan metode CSF terdapat 2 bagian yaitu bagian *general parameter* dan *advanced parameter setting*. Pada bagian *general parameter setting* ada pilihan *steep slope*, *relief* dan *flat*. Pemilihan parameter ini didasarkan pada keadaan topografi dari data yang akan diproses. Pada bagian *advanced parameter setting* ada bagian *cloth resolution*, *max iterations* dan *classification threshold*. *cloth resolution* mengacu pada ukuran *grid* dari *cloth* yang digunakan untuk menutupi tanah. Semakin besar resolusi *cloth* maka DTM akan semakin kasar. *Max iterations* mengacu pada pengulangan maksimum dari simulasi *terrain*. *Classification threshold* mengacu pada ambang batas untuk mengklasifikasikan *point clouds* kedalam *ground* dan *non-ground* berdasarkan jarak antara titik dan simulasi *terrain*.

III.3.2 Filtering DSM dengan metode Parameter – Free Ground Filtering (Mongus)

Parameter *filtering* dengan metode Mongus dapat dilihat pada gambar 9.

```
filtermongus - Notepad
File Edit Format View Help
{
  "pipeline":[
    "6121AC.las",
    {
      "type":"filters.mongus",
      "cell":72,
      "classify":true,
      "extract":false,
      "k":3,
      "l":8
    },
    {
      "type":"filters.range",
      "limits":"Classification[2:2]"
    }
  ],
  "ground.las"
}
}
```

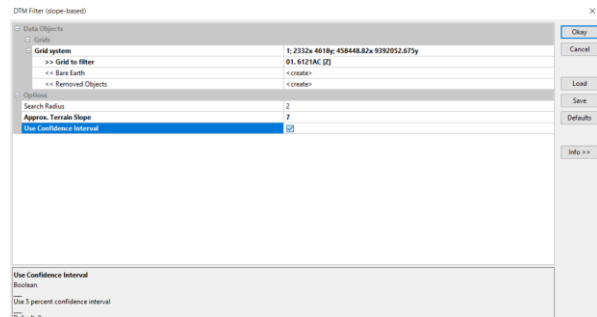
Gambar 9 Parameter pada *filtering* metode Mongus

Pengolahan DTM metode Mongus dalam penelitian ini menggunakan aplikasi PDAL Anaconda yang dimana mengharuskan penggunaan *file *.json* dalam menjalankan perintahnya. Parameter yang digunakan ditulis dalam *file *.json*. Pada gambar 11 terdapat beberapa parameter seperti *cell size*, *classify*, *extract*, *k* dan *l*. *Cell Size* adalah resolusi dari set data yang akan diinterpolasikan berdasarkan densitas. Jadi *cell size* mengindikasikan jarak antar titik yang mempunyai nilai ketinggian.

Classify merupakan klasifikasi dari *point cloud* seperti *ground* dan *non-ground*. *Extract* merupakan ekstraksi pada gelombang pantulan yang mengenai *ground*. *k* merupakan pengganda standar deviasi yang akan digunakan ketika nilai ambang batas. *l* merupakan *level* maksimum pada dekomposisi hierarki.

III.3.3 Filtering DSM dengan metode Slope Based Filtering (SBF)

Parameter *filtering* dengan metode SBF dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Parameter pada *filtering* metode SBF

Pada modul DTM filter (*slope-based*) terdapat dua parameter yang perlu diperhatikan yaitu *search radius* dan *approx terrain slope*. *Search radius* merupakan parameter yang menentukan jarak piksel yang akan diproses. Sedangkan *approx terrain slope* merupakan parameter kemiringan dari area yang dianggap sebagai permukaan tanah.

III.3.4 Filtering DSM dengan metode Simple Morphological Filtering (SMRF)

Parameter *filtering* dengan metode SMRF dapat dilihat pada gambar 11.

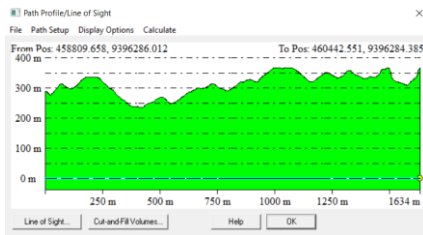
```
SMRF - Notepad
File Edit Format View Help
{
  "pipeline":[
    "6121AC.las",
    {
      "type":"filters.smrf",
      "scalar":1.25,
      "slope":0.1,
      "threshold":0.4,
      "window":16.0
    },
    {
      "type":"filters.range",
      "limits":"Classification[2:2]"
    }
  ],
  "ground.las"
}
}
```

Gambar 11 Parameter pada *filtering* metode SMRF

Sama seperti pengolahan metode Mongus menggunakan PDAL Anaconda, maka metode SMRF juga menggunakan *file *.json*. Pada gambar 13 terdapat beberapa parameter seperti *scalar* merupakan elevasi dalam skalar. *Slope* merupakan nilai kemiringan tertinggi dari permukaan tanah. *Window* merupakan jarak radius maksimum yang oleh algoritma akan diidentifikasi sebagai bangunan. *Threshold* merupakan ambang batas yang dibuat untuk mengecek perbedaan elevasi yang tinggi dikategorikan sebagai titik bukan tanah.

III.4 Analisis Transect

Analisis *transect* digunakan untuk melihat topografi suatu daerah dari samping (tampak melintang). Penampang melintang digunakan untuk melihat ketinggian dan dilakukan analisis terhadap perbedaan tinggi dari berbagai macam hasil olahan empat metode di tempat yang sama. Analisis *transect* dapat dikerjakan menggunakan menu *Line of Sight* pada *software* Global Mapper. Hasil *line of sight* dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12 Line of Sight

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Uji Akurasi DTM Hasil Olahan Empat Metode Filtering

Uji akurasi yang dilakukan adalah dengan membandingkan nilai Z dari setiap hasil olahan keempat metode *filtering* dengan GCP dan ICP yang tersedia. Nilai Z dari tiap DTM hasil *filtering* dan GCP beserta ICP dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Nilai Z DTM hasil *filtering* beserta GCP dan ICP

GCP dan ICP	Z DTM CSF	Z DTM Mongus	Z DTM SBF	Z DTM SMRF	Z GCP dan ICP (EGM 2008)
TGM 014	14,970	14,660	14,713	14,890	15,341
TGM 015	260,579	260,230	260,119	260,600	260,967
CP002	227,330	227,039	227,098	227,470	227,806

Untuk mengetahui DTM hasil *filtering* masuk ke kelas ketelitian, maka diperlukan perhitungan RMSEz.

$$RMSEz \text{ DTM CSF} = \sqrt{(0,137641 + 0,149779062 + 0,226574096)/3}$$

$$= \sqrt{0,171331386}$$

$$= 0,414 \text{ m}$$

$$LE90 = 1,6499 \times 0,414 \text{ m}$$

$$= 0,683 \text{ m}$$

Nilai dari RMSEz DTM CSF adalah 0,414 m. Sehingga jika dilihat pada tabel ketelitian peta RBI dalam tabel II-2 maka hasil uji LE90 menunjukkan bahwa DTM hasil *filtering* masuk kedalam ketelitian kelas 1 pada skala 1 : 5000.

$$RMSEz \text{ DTM Mongus} = \sqrt{(0,463761 + 0,543152786 + 0,499850414)/3}$$

$$= \sqrt{0,502254733}$$

$$= 0,709 \text{ m}$$

$$LE90 = 1,6499 \times 0,709 \text{ m}$$

$$= 1,169 \text{ m}$$

Nilai dari RMSEz DTM Mongus adalah 0,709 m. Sehingga jika dilihat pada tabel ketelitian peta RBI dalam tabel II-2 maka hasil uji LE90 menunjukkan bahwa DTM hasil *filtering* masuk kedalam ketelitian kelas 1 pada skala 1 : 10000.

$$RMSEz \text{ DTM SBF} = \sqrt{(0,394384 + 0,71741747 + 0,499850414)/3}$$

$$= \sqrt{0,537217294}$$

$$= 0,733 \text{ m}$$

$$LE90 = 1,6499 \times 0,733 \text{ m}$$

$$= 1,209 \text{ m}$$

Nilai dari RMSEz DTM SBF adalah 0,733 m. Sehingga jika dilihat pada tabel ketelitian peta RBI dalam tabel II-2 maka hasil uji LE90 menunjukkan

bahwa DTM hasil *filtering* masuk kedalam ketelitian kelas 1 pada skala 1 : 10000.

$$RMSEz \text{ DTM SMRF} = \sqrt{(0,203401 + 0,134684596 + 0,112895328)/3}$$

$$= \sqrt{0,150326974}$$

$$= 0,388 \text{ m}$$

$$LE90 = 1,6499 \times 0,388 \text{ m}$$

$$= 0,639 \text{ m}$$

Nilai dari RMSEz DTM SMRF adalah 0,388 m. Sehingga jika dilihat pada tabel ketelitian peta RBI dalam tabel II-2 maka hasil uji LE90 menunjukkan bahwa DTM hasil *filtering* masuk kedalam ketelitian kelas 1 pada skala 1 : 5000.

Sehingga kesimpulan dari nilai RMSEz dan nilai LE90 pada tiap metode *filtering* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Nilai RMSEz dan LE90 pada tiap metode *filtering*

Metode	RMSEz (m)	LE90 (m)	Kelas	Skala
CSF	0,414	0,683	Kelas 1	1:5000
Mongus	0,709	1,169	Kelas 1	1:10000
SBF	0,733	1,209	Kelas 1	1:10000
SMRF	0,388	0,640	Kelas 1	1:5000

Dari uji akurasi yang telah dilakukan, didapatkan metode SMRF memiliki RMSEz terendah sebesar 0,388 meter yang dimana nilai LE90 sebesar 0,639 meter sehingga dalam tabel 6 ketelitian peta RBI masuk kedalam kelas 1 dengan skala 1 : 5000. Tetapi uji akurasi menggunakan GCP dan ICP dianggap kurang baik karena GCP dan ICP yang tersedia hanya 3 buah, maka dilanjutkan dengan analisis *transect*.

IV.2 Analisis Transect

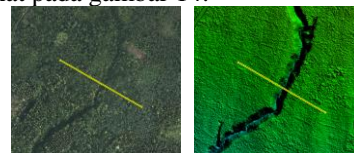
IV.2.1 Transect antar metode penapisan

Pada *transect* antar metode penapisan, dipilih dua aspek topografi dari enam aspek topografi untuk melihat metode penapisan mana yang terbaik. Pemilihan dua aspek topografi ini adalah daerah aliran sungai melintang dan lereng diatas 30 persen yang diasumsikan memiliki tingkat kesalahan yang paling tinggi.

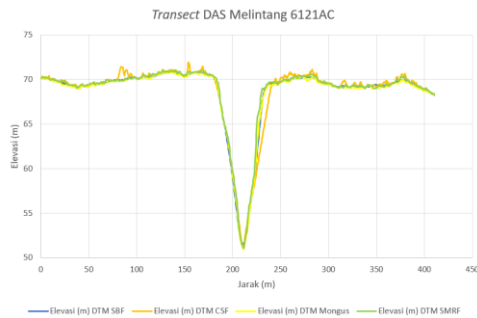
Pada penelitian ini, metode penapisan SBF digunakan sebagai pembanding terhadap metode lainnya karena metode penapisan SBF dianggap yang terbaik pada penelitian sebelumnya.

IV.2.1.1 DAS Melintang NLP 1010-6121AC

Garis *transect* DAS melintang pada NLP 1010-6121AC dapat dilihat pada gambar 13. Gambar grafik penampang melintang dari keempat metode penapisan dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 13 Garis Transect DAS Melintang



Gambar 14 Penampang Melintang area DAS Melintang

Dari garis *transect* didapatkan data ketinggian dari hasil ekstraksi DTM tiap metode penapisan. Data ketinggian tiap metode dapat dilihat pada halaman lampiran. Data ketinggian dari tiap metode kemudian dibandingkan satu dengan yang lainnya sehingga didapatkan RMSEz yang tertera pada tabel 7.

Tabel 7 Nilai RMSEz dari nilai ketinggian area DAS Melintang NLP 1010-6121AC

Metode	RMSEz (meter)
SBF – CSF	0,662
SBF – Mongus	0,180
SBF – SMRF	0,425

Dari hasil RMSEz tiap metode, didapatkan hasil bahwa metode Mongus (*Parameter – Free Ground Filtering*) memiliki RMSEz terendah yaitu 0.180 meter.

IV.2.1.2 DAS Melintang NLP 1010-6113BD

Sama seperti DAS Melintang NLP 1010-6121AC, maka data ketinggian dari tiap metode kemudian dibandingkan satu dengan yang lainnya sehingga didapatkan RMSEz yang tertera pada tabel 8.

Tabel 8 Nilai RMSEz dari nilai ketinggian area DAS Melintang NLP 1010-6113BD

Metode	RMSEz (meter)
SBF – CSF	0,207
SBF – Mongus	0,112
SBF – SMRF	0,175

Dari hasil RMSEz tiap metode, didapatkan hasil bahwa metode Mongus (*Parameter – Free Ground Filtering*) memiliki RMSEz terendah yaitu 0.112 meter.

IV.2.1.3 Lereng diatas 30 persen NLP 1010-6121AC

Sama seperti DAS Melintang NLP 1010-6121AC, maka data ketinggian dari tiap metode kemudian dibandingkan satu dengan yang lainnya sehingga didapatkan RMSEz yang tertera pada tabel 9.

Tabel 9 Nilai RMSEz dari nilai ketinggian area lereng diatas 30% NLP 1010-6121AC

Metode	RMSEz (meter)
SBF – CSF	4,026
SBF – Mongus	0,977
SBF – SMRF	1,395

Dari hasil RMSEz tiap metode, didapatkan hasil bahwa metode Mongus (*Parameter – Free Ground Filtering*) memiliki RMSEz terendah yaitu 0.977 meter.

IV.2.1.4 Lereng diatas 30 persen NLP 1010-6113BD

Sama seperti DAS Melintang NLP 1010-6121AC, maka data ketinggian dari tiap metode kemudian dibandingkan satu dengan yang lainnya

sehingga didapatkan RMSEz yang tertera pada tabel 10.

Tabel 10 Nilai RMSEz dari nilai ketinggian area lereng diatas 30% NLP 1010-6113BD

Metode	RMSEz (meter)
SBF – CSF	2,488
SBF – Mongus	0,540
SBF – SMRF	0,916

Dari hasil RMSEz tiap metode, didapatkan hasil bahwa metode Mongus (*Parameter – Free Ground Filtering*) memiliki RMSEz terendah yaitu 0.540 meter.

Dari empat *scene* yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa metode penapisan Mongus telah menjadi yang terbaik dalam keempat *scene*. Sehingga didapatkan bahwa metode penapisan Mongus yang terbaik dari keempat metode penapisan.

IV.2.2 *Transect* dengan DTM Hasil Pengolahan PT.APG dan BIG

Sub-sub bab ini membahas metode penapisan terbaik yang telah didapatkan dari sub sub bab *transect* antar metode penapisan dibandingkan dengan DTM Hasil Pengolahan PT.APG dan BIG yang dianggap benar lalu dilihat RMSEz dari aspek topografi DAS melintang, DAS memanjang, lereng diatas 30 persen, lereng dibawah 30 persen, *terrain* datar pedesaan dan *terrain* datar perkotaan. Teknis sub-sub bab ini sama seperti sub-sub bab sebelumnya yaitu menggunakan garis *transect* tetapi jumlah garis *transect* ditambah menjadi tiga. Tiga garis *transect* dinamakan dengan nama A, B dan C. Pada tabel 11 dapat dilihat rangkuman dari seluruh nilai RMSEz

Tabel 11 Nilai RMSEz DTM Pembanding - DTM Mongus

Data	NLP	Area	Bagian	RMSEz (m)
DTM Pembanding – DTM Mongus	1010-6121AC	DAS melintang	A	0,042
			B	0,039
			C	0,019
		DAS memanjang	A	0,192
			B	0,179
			C	0,094
		Lereng diatas 30%	A	0,238
			B	0,076
			C	0,032
		Lereng dibawah 30%	A	0,105
			B	0,029
			C	0,004
	Terrain datar pedesaan	A	0,015	
		B	0,064	
		C	0,003	
	Terrain datar perkotaan	A	0,127	
		B	0,064	
		C	0,301	
1010-6113BD	DAS melintang	A	0,008	
		B	0,045	
		C	0,042	
	DAS memanjang	A	0,058	
		B	0,019	
		C	0,012	
Lereng	A	0,058		

	diatas 30%	B	0,089
		C	0,040
	Lereng dibawah 30%	A	0,029
		B	0,049
		C	0,030
	Terrain datar pedesaan	A	0,042
		B	0,071
		C	0,029
	Terrain datar perkotaan	A	0,633
		B	0,664
		C	0,584

Dari hasil RMSE yang didapatkan pada seluruh aspek topografi, didapatkan bahwa RMSEz terendah adalah 0,003 meter dan terbesar adalah 0,664 meter yang dimana RMSEz DTM Mongus terhadap DTM Pemandangan dibawah 1 meter.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisis uji akurasi DTM yang dilakukan terhadap masing-masing hasil DTM dengan aspek topografi DAS melintang dan lereng diatas 30 persen, didapatkan pola RMSEz metode penapisan Mongus menjadi yang paling kecil di keempat *scene*. Sehingga metode penapisan Mongus masuk ke tahap dibandingkan dengan DTM hasil pengolahan PT.APG dan BIG.
2. Berdasarkan hasil analisis validasi metode penapisan Mongus terhadap DTM Pemandangan, didapatkan RMSEz terendah dari metode penapisan Mongus sebesar 0,003 meter dan tertinggi sebesar 0,664 meter.

V.2 Saran

1. Disarankan untuk pengolahan DTM LiDAR secara otomatis harus menggunakan komputer dengan spesifikasi yang tinggi.
2. Pada penapisan CSF, Mongus, SBF dan SMRF masih terdapat *noise* (objek yang tidak terhapus saat proses *filtering*) sehingga diperlukan *editing* manual untuk mendapatkan DTM dengan kualitas yang lebih baik.
3. Pemilihan lokasi yang terjangkau agar dapat menambah kelengkapan data penunjang seperti penambahan persebaran titik kontrol serta validasi lapangan.
4. Pengambilan sampel *transect* harus lebih dari dua sampel untuk mendapatkan pola yang lebih kuat dan konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

Ervina. 2005. *Interpolasi Spasial Menggunakan Metode Triangulasi*. Diperoleh pada 15 April 2019, dari <http://sinta.ukdw.ac.id/sinta/resources/sintasrv/getintro/22012730/6a90fe99e2ba7c25658e96697f85527f/intro.pdf>.

Jensen, J.R. 2007. *Remote Sensing of the Environment : An Earth Resource Perspective*. 2nd Prentice – Hall series in Geographic Information Science, USA.

Kompas. 2018. *Tanpa Pembangunan Infrastruktur, Pertumbuhan Ekonomi RI Lebih Lambat dari*

Sekarang. Diperoleh 05 Desember 2018, dari <https://ekonomi.kompas.com/read/2018/09/16/155310926/tanpa-pembangunan-infrastruktur-pertumbuhan-ekonomi-ri-lebih-lambat-dari>.

- Martiana, D.N. 2016. *Analisis Akurasi DTM Terhadap Penggunaan Data Point Clouds dari Foto Udara dan LAS LiDAR Berbasis Metode Penapisan Slope Based Filtering dan Algoritma Macro Terrasolid*. Skripsi. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Mongus, D dan Zalik, B. 2012. *Parameter – Free Ground Filtering of LiDAR Data for Automatic DTM Generation*. Slovenia : University of Maribor.
- Pambudi, L.C. 2015. *Analisis Akurasi Penapisan DSM Ke DTM Menggunakan Metode Simple Morphological Filter Dan Slope Based Filtering*. Skripsi. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Pingel, T.J., Clarke, K.C. dan McBride, W.A. 2013. *An Improved Simple Morphological Filter for Terrain Classification of Airborne LiDAR Data*. USA : University of California.
- Prahasta, E. 2015. *Pengolahan Data Sistem LiDAR*. Bandung : Informatika.
- Rahman, A. 2011. *Penuntun Praktikum Inderaja dan Sistem Informasi Geografis Analisis Rawan Banjir (Studi Kasus di Kabupaten Barito Kuala)*. Banjarbaru : Universitas Lambung Mangkurat.
- Republik Indonesia. 2018. *Peraturan Badan Informasi Geospasial No. 6 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No.15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. Jakarta : Badan Informasi Geospasial.
- Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. Jakarta : Badan Informasi Geospasial.
- United States of America. 1998. *Geographic Positioning Accuracy Standards*. Virginia : Federal Geographic Data Committee.
- Vosselman, G. 2000. *Slope Based Filtering Of Laser Altimetry Data*. Netherlands : Delft University of Technology.
- Zhang, dkk. 2016. *An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation*. China : Beijing Normal University.