

ANALISIS AKURASI DTM TERHADAP PENGGUNAAN DATA POINT CLOUDS DARI FOTO UDARA DAN LAS LIDAR BERBASIS METODE PENAPISAN SLOPE BASED FILTERING DAN ALGORITMA MACRO TERRASOLID

Dani Nur Martiana, Yudo Prasetyo, Arwan Putra Wijaya^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : martianadani@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan data spasial detail dengan skala besar semakin meningkat, namun ketersediaan peta dasar belum dapat mengimbangi kebutuhan. Peta dasar skala besar diperlukan untuk percepatan pembangunan. Peta topografi sebagai peta dasar dibutuhkan untuk analisis spasial. Salah satu unsur dari peta topografi yaitu kontur dapat dibentuk dari *Digital Terrain Model* (DTM). Diperlukan metode pembentukan DTM yang efektif dan efisien untuk mempercepat pemenuhan kebutuhan akan peta dasar. Teknologi LiDAR dan Foto udara diterapkan dalam pembentukan DTM yang detail dan akurat serta dalam waktu yang relatif cepat.

DTM dari data LiDAR dan Foto udara dihasilkan dengan melakukan klasifikasi dan *filtering* terhadap data *point clouds* LAS LiDAR serta *point clouds* DSM yang dihasilkan dari *image matching* foto udara. Metode yang digunakan untuk klasifikasi dan *filtering* adalah algoritma *macro Terrasolid* dan metode *Slope Based Filtering* (SBF). Hasil DTM dari kedua data dibandingkan terhadap DTM *Stereoplotting* yang digunakan sebagai *benchmark*. Perbandingan tersebut berupa perbandingan geomorfologi secara visual, serta ketelitian geometri dari kedua DTM yang dihasilkan.

Secara visual, DTM LiDAR menghasilkan geomorfologi yang halus sedangkan DTM Foto menghasilkan geomorfologi yang masih kasar. Kemudian berdasarkan hasil analisis *transect*, diperoleh hasil bahwa ketinggian DTM LiDAR sudah mendekati DTM *Stereoplotting*, sedangkan DTM Foto masih menghasilkan selisih ketinggian yang cukup besar terhadap DTM *Stereoplotting*. DTM LiDAR yang dihasilkan dari pengolahan dengan algoritma *macro Terrasolid* pada sampel area di NLP 1209-1432C dan NLP 1209-1415C masuk ke dalam kelas 2 skala 1:5.000 dan kelas 3 skala 1:5.000. Sedangkan DTM LiDAR dengan metode SBF pada sampel area di NLP 1209-1432C dan NLP 1209-1415C masuk ke dalam kelas 3 skala 1:5.000. DTM Foto hasil pengolahan dengan *macro Terrasolid* pada sampel area di NLP 1209-1432C dan NLP 1209-1415C masuk dalam kelas 3 skala 1:10.000. Sedangkan DTM Foto dengan metode SBF pada NLP 1209-1432C dan NLP 1209-1415C masuk dalam kelas 3 skala 1:5.000 dan kelas 2 skala 1:10.000.

Kata Kunci : DTM, *filtering*, foto udara, ketelitian geometri, LiDAR.

ABSTRACT

The need for detailed spatial data with large amount of scale is increasing, but the availability of base map cannot comprehend the needs. Base map with large scales is needed for faster development. Topographic maps as a base map is needed for spatial analysis. One element of topographic maps is contour can shaped from Digital Terrain Model (DTM). An effective and effecient DTM method is hastened the fullfilment needs of topographic base map. LiDAR technology and aerial photos is implemented for creating a detailed and accurate DTM in a relatively efficient time.

DTM from LIDAR data and aerial photos are produced by doing classification and filtering on LARS LIDAR point clouds data and DSM point clouds that is created from aerial image matching. The method used for classification and filtering is macro terrasolid algorithm dan slope based filtering method. DTM results from both data are compared to DTM Steroplotting to see the geomorphology that is produced and also the geometry accuracy of them both.

Visually, DTM LIDAR produces smoother geomorphology and DTM photos produce rough geomorphology. Based on the transect analysis result, it is given that DTM LIDAR height has already neared DTM Steroplotting. DTM LiDAR the is produced with macro terrasolid algorithm on sample area in NLP (map sheet) 1209-1432C and NLP 1209-1415C is categorized in second class scale 1:5.000 and third class scale 1:5.000. Whereas DTM LiDAR with SBF method on sample area from NLP 1209-1432C and NLP 1209-1415C is categorized into third class scale 1:5000. DTM image result from Macro Terrasolid processing on sample area from NLP 1209-1432C and NLP 1209-1415C is categorized into third class scale 1:10.000. While DTM image with SBF method from NLP 1209-1432C and NLP 1209-1415C is categorized into third class scale 1:5.000 and second class scale 1:10.000.

Keywords : DTM, *filtering*, aerial photo, geometry accuracy, and LiDAR

^{*)}Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan data spasial detail dengan skala besar semakin meningkat, namun ketersediaan peta dasar yang ada belum dapat mengimbangi kebutuhan tersebut. Peta dasar yang telah dibuat di Indonesia pada umumnya adalah skala 1:50.000 dan beberapa kawasan Indonesia dengan skala 1:25.000. Peta RBI skala 1:10.000 dan 1:5.000 masih sangat terbatas pada daerah-daerah tertentu. Sedangkan kebutuhan akan peta dasar skala besar sangat diperlukan untuk percepatan pembangunan.

Peta topografi merupakan peta dasar yang dibutuhkan untuk keperluan analisis geospasial. Peta dasar ini diperlukan untuk penyusunan Rencana Detail Tata Ruang (RDTR). Selain itu peta topografi diperlukan dalam bidang pemetaan kawasan rawan bencana, perencanaan dan analisis pertanian, perkebunan, dan pertambangan, serta pemetaan geologi detail.

Salah satu unsur yang diperlukan pada pembuatan peta topografi adalah kontur. Pembuatan kontur detail umumnya diperoleh dengan melakukan pemetaan secara terestrial, serta dengan metode konvensional yaitu mengekstraksi data DTM (*Digital Terrain Model*) hasil *manual stereoplotting*. Pengerjaan dengan metode ini menghasilkan tingkat keakuratan yang tinggi, namun memerlukan waktu yang relatif lama sehingga belum bisa memenuhi permintaan informasi geospasial skala besar yang terus bertambah.

Perlu dilakukan upaya percepatan dalam penyediaan data dan informasi geospasial, dalam hal ini DTM sebagai unsur pembentuk peta topografi skala besar. Untuk itu diperlukan metode pembentukan DTM yang lebih efektif. Penelitian dilakukan untuk mengkaji metode yang dapat menghasilkan DTM dengan cara otomatis, agar diperoleh metode pemetaan yang cepat dan efisien.

Perkembangan teknologi *remote sensing* memunculkan beberapa teknologi baru, seperti penerapan teknologi LiDAR dalam membantu memperoleh informasi topografi detail yang akurat dengan waktu akuisisi dan pengolahan yang relatif lebih cepat. Namun, teknologi LiDAR memiliki kekurangan jika dibandingkan dengan metode konvensional yaitu biaya yang relatif besar. Selain dengan LiDAR, metode lain yang dapat digunakan untuk menghasilkan DTM adalah dari *image matching* foto udara digital. Seperti halnya pada data LAS LiDAR, *point clouds* yang dihasilkan dari *image matching* dapat dilakukan klasifikasi dan *filtering*. Untuk itu diperlukan penelitian yang mengkaji mengenai ketelitian DTM yang dihasilkan dari LiDAR serta foto udara.

Dari paparan tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan analisis algoritma *macro Terrasolid* serta metode *Slope Based Filtering* (SBF) dalam menghasilkan DTM dari data *point clouds* LAS LiDAR dan DSM foto udara. Selain itu akan dikaji

mengenai perbandingan ketelitian DTM Foto dan DTM LiDAR terhadap DTM dari *manual stereoplotting*, ketelitian geometri yang dihasilkan, serta selisih akurasi dari kedua metode tersebut.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana geomorfologi DTM LiDAR dan DTM yang dihasilkan menggunakan algoritma *macro Terrasolid* dan SBF?
2. Bagaimana *transect* DTM LiDAR dan DTM Foto yang dihasilkan menggunakan algoritma *macro Terrasolid* dan SBF?
3. Bagaimana ketelitian geometri DTM LiDAR yang dihasilkan menggunakan algoritma *macro Terrasolid* dan SBF?
4. Bagaimana ketelitian geometri DTM Foto yang dihasilkan menggunakan metode SBF dan algoritma *macro Terrasolid*?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui geomorfologi DTM LiDAR dan DTM Foto hasil pengolahan algoritma *macro terrasolid* dan SBF
- b. Mengetahui *transect* DTM LiDAR dan DTM Foto hasil pengolahan algoritma *macro terrasolid* dan SBF
- c. Mengetahui ketelitian geometri DTM LiDAR yang dihasilkan menggunakan metode SBF dan algoritma *macro Terrasolid*
- d. Mengetahui ketelitian geometri DTM Foto yang dihasilkan menggunakan metode SBF dan algoritma *macro Terrasolid*

2. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. Aspek Keilmuan

Ditinjau dari aspek keilmuan, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi atau masukan pengetahuan mengenai pengembangan ekstraksi DTM dari data foto udara dan LiDAR serta dapat membantu pihak lain yang mengadakan penelitian serupa.

- b. Aspek Kerekayasaan

Ditinjau dari aspek kerekayasaan, dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan, serta menjadi pertimbangan apakah DTM Foto udara dapat digunakan sebagai data referensi lain selain DTM LiDAR

I.4 Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Penyusunan algoritma pada saat klasifikasi dan *filtering* yang menggunakan algoritma *macro* pada *software Terrasolid* dibatasi pada kelas *ground*
2. Parameter yang digunakan pada *filtering* dengan SBF adalah radius dan *slope*
3. Pembuatan DTM LiDAR dan DTM Foto dengan Terrasolid menggunakan susunan algoritma *macro* yang sama

4. Pembuatan DTM LiDAR dan DTM Foto dengan SBF menggunakan nilai parameter radius dan *slope* yang sama
5. Parameter yang digunakan pada perbandingan ketelitian DTM adalah data ketinggian (ketelitian vertikal) yaitu dengan nilai RMSEz terhadap data pembandingan yang dianggap benar yaitu DTM hasil manual *stereoplotting*
6. Analisis kuantitatif yang dilakukan berupa perbandingan beda tinggi antara DTM hasil pemrosesan terhadap DTM *Stereoplotting*
7. Analisis kualitatif yang dilakukan berupa perbandingan geomorfologi secara visual serta bentuk *transect* antara DTM hasil pemrosesan terhadap DTM *Stereoplotting*
8. Nilai beda tinggi dari DTM LiDAR dan foto udara terhadap DTM manual *stereoplotting* diperoleh dengan menggunakan modul *combine/compare terrain layer* yang pada *software* Global Mapper.

I.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut :
Area studi penelitian ini terdiri dari dua NLP yaitu NLP 1209-1432C dan NLP 1209-1415C wilayah Kota dan Kabupaten Bogor, Jawa Barat.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Konsep Dasar DEM, DTM, dan DSM

Digital Elevation Model (DEM) merupakan model permukaan bumi yang merepresentasikan permukaan topografi yang mempunyai data ketinggian permukaan tanah. DEM terbentuk dari kumpulan *array* titik-titik tinggi *ground point* dari *point clouds*. Definisi lain, menyatakan bahwa DEM merupakan suatu file atau *database* yang menampung titik-titik ketinggian dari suatu permukaan (Jensen, 2007). Selanjutnya, Jensen (2007) membedakan DEM menjadi dua, yaitu DSM dan DTM.

1. *Digital Terrain Model* (DTM)
DTM merupakan model medan digital yang hanya memuat informasi ketinggian permukaan tanah (*bare earth surface*) tanpa terpengaruh oleh vegetasi atau fitur buatan manusia lainnya. DTM disertai fitur-fitur tambahan yang memberikan representasi permukaan topografi yang lebih baik, contohnya *breakline* dari punggung bukit atau aliran air dan sungai. DTM mampu memodelkan relief secara lebih realistik atau sesuai dengan kenyataan.
2. *Digital Surface Model* (DSM)
DSM merupakan representasi permukaan bumi yang memuat lebih banyak informasi ketinggian termasuk semua objek yang berada di atas permukaan bumi seperti vegetasi, gedung, dan fitur lainnya. Perolehan data DSM bisa melalui data dari peta, *image matching*, ekstensi dari data LiDAR, maupun pengukuran secara langsung di lapangan.

II.2 Klasifikasi dan *Filtering*

Untuk menghasilkan DTM diperlukan data ketinggian *ground* yang diperoleh dari data pengamatan LiDAR. Data LiDAR merekam semua fitur yang berada di atas permukaan bumi termasuk bangunan dan tumbuhan. Untuk itu, perlu dilakukan klasifikasi untuk membedakan antara objek bangunan, tanah (*ground*), serta vegetasi. Objek-objek tersebut dikelompokkan menjadi beberapa kelas yang berbeda. Pengolahan fitur yang dilakukan berupa pengklasifikasian terhadap data *ground* dan *non ground point* (bangunan dan vegetasi). Untuk itu, pada proses menghasilkan DTM perlu menghilangkan fitur vegetasi, bangunan dan benda-benda *non ground* lainnya.

II.2.1 *Filtering* dengan pendekatan Adaptive TIN – *Surface*

Pemrosesan dari data laser *scanner* sering bertujuan untuk menghapus pengukuran yang tidak diinginkan, baik dari kesalahan pengukuran atau objek, maupun pemodelan data yang diberikan dari model spesifik. Penghapusan objek seperti pada kasus dalam pendefinisian permukaan tanah dari campuran antara pengukuran tanah dan tumbuhan, disini disebutkan dengan istilah *filtering* (Axelsson, 2000).

II.2.2 Algoritma *Macro Terrasolid*

Klasifikasi pada *software* Terrasolid terdiri dari dua macam metode, yaitu klasifikasi otomatis dan klasifikasi manual. Klasifikasi otomatis bertujuan untuk membagi jutaan data *point cloud* secara otomatis ke dalam *layer ground* dan *non ground*. Untuk melakukan klasifikasi otomatis diperlukan algoritma yang tepat sehingga *point clouds* dapat terklasifikasi ke dalam *layer* yang tepat. Pada metode ini juga dilakukan klasifikasi ke kelas *low points* yaitu kelas untuk titik-titik yang dianggap sebagai *noise* (berada di bawah nilai rata-rata). Algoritma yang disusun dijalankan pada perintah *running macro* pada modul TerraScan pada *software* Terrasolid. Sedangkan, klasifikasi manual dilakukan oleh operator untuk mengklasifikasikan titik-titik yang belum terklasifikasikan dengan benar.

TerraScan merupakan salah satu modul yang terdapat pada perangkat lunak Terrasolid yang dikhususkan sebagai solusi untuk pemrosesan *point clouds* dari perekaman data laser. *Software* ini membaca data titik dari laser berdasarkan teks atau kode biner dan memungkinkan operator untuk melihat *point clouds* secara tiga dimensi, mengklasifikasikan data, dan membuat vektor data berdasarkan titik-titik tersebut (TerraScan, 2015).

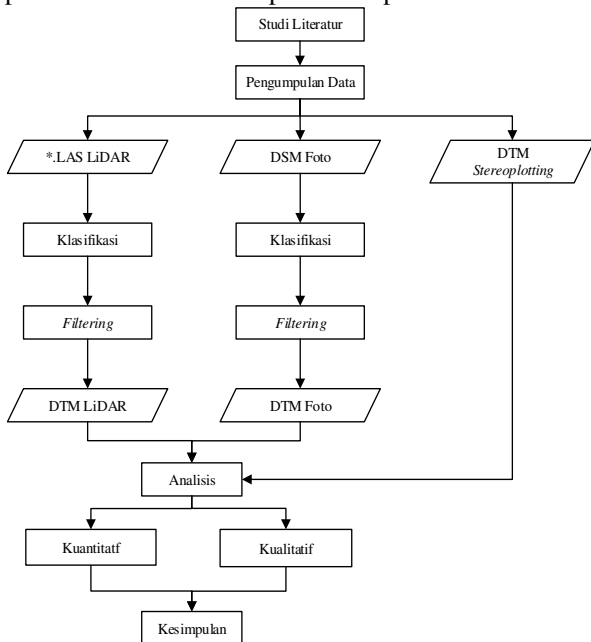
II.3 *Slope Based Filtering*

Teknik *Slope Based Filtering* ini menyaring bentuk lereng atau kemiringan dari data *digital surface model* yang dianggap bukan merupakan permukaan atau medan tanah (Pfreifer, 2008). Konsep dari SBF dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa NLP berbeda-beda tinggi antara dua *cell* bertetangga diakibatkan oleh curamnya lereng pada permukaan.

Cell yang letaknya lebih tinggi dari *ground point* dapat menjadi *ground point* jika jarak antara dua *cell* diperkecil. Oleh karena itu, modul *filter* ini mendefinisikan perbedaan tinggi yang dapat diterima antara dua *cell* sebagai fungsi dari jarak antara *cell* tersebut. Sebuah *cell* diklasifikasikan sebagai permukaan tanah jika tidak ada *cell* lain pada jangkauan radius pencarian kernel yang ketinggiannya melewati batas *threshold*. Penentuan parameter permukaan lereng digunakan untuk mengubah fungsi filter agar sesuai dengan kondisi keseluruhan lereng pada area studi. Beberapa parameter yang harus didefinisikan nilainya antara lain *search radius*, *approx terrain slope* dan *tension threshold* (Pambudi,2015).

III. Metodologi Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui 2 tahapan utama yaitu tahap pembentukan DTM LiDAR dan pembentukan DTM Foto. Tahapan metodologi penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar III.1



Gambar III.1 Diagram Alir Pelaksanaan

III.1 Alat dan Data Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut :

- a. Perangkat keras
 - Laptop ASUS A451LB Intel® Core™ i5 –4200U CP @ 1.60GHz (4 CPUs), 2.3 GHz
- b. Perangkat Lunak
 - i. Terrasolid Microstation
 - ii. SAGA GIS
 - iii. Global Mapper
 - iv. LASTools

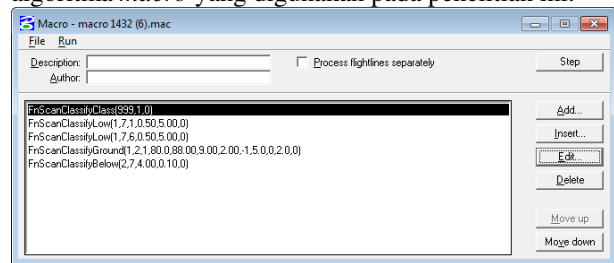
Data yang digunakan pada penelitian ini adalah LAS LiDAR NLP 1209-1432 dan 1209-1415C, DSM *Image Matching*, ortofoto, dan DTM *Stereoplotting* Wilayah Bogor tahun 2014.

III.2 Pembentukan DTM LiDAR dengan Terrasolid

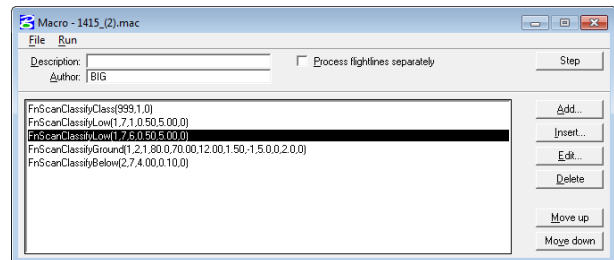
III.2.1 Klasifikasi

Proses klasifikasi dilakukan secara otomatis dengan menjalankan Algoritma *Macro* pada modul TerraScan pada *software* Terrasolid. Proses ini bertujuan untuk mengelompokkan *point clouds* ke dalam dua kelas utama yaitu *ground* (permukaan tanah) dan *non-ground* (obyek diatas permukaan tanah). Tahap awal dari proses ini adalah pembentukan atau penyusunan algoritma *macro*. Pada penelitian ini, algoritma yang dibentuk terdiri dari kelas *low point*, *ground*, dan *below point*. Pada masing-masing kelas terdapat beberapa parameter. Nilai dari setiap parameter ini diisi sesuai dengan kondisi lapangan. Setelah algoritma *macro* tersusun, selanjutnya dilakukan proses klasifikasi secara otomatis dengan melakukan *running* algoritma tersebut.

Pada gambar III.2 berikut ditampilkan susunan algoritma *macro* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar III.2 Penyusunan kelas macro 1432



Gambar III.3 Penyusunan kelas macro 1415

III.2.2 Filtering

Pada tahapan ini, dilakukan penyaringan dengan tujuan untuk mendapatkan fitur *ground*. Kelas lain selain kelas *ground* dihilangkan pada *filtering* ini. Proses *filtering* dilakukan pada *software* Global Mapper, yaitu dengan cara hanya memilih fitur *ground* pada saat memasukkan data LAS hasil klasifikasi pada Terrasolid.

III.2.3 Interpolasi

Point clouds fitur *ground* hasil *filtering* kemudian dilakukan interpolasi untuk membentuk DTM. Interpolasi yang dilakukan bertujuan untuk menutup area kosong yang merupakan bekas area *non ground*. Proses ini disebut juga sebagai *gridding*. Pada penelitian ini, proses *gridding* dilakukan dengan menggunakan *software* Global Mapper.

III.2.4 Ekspor Data

DTM dari data LiDAR yang telah terbentuk selanjutnya disimpan dalam format geoTIFF.

III.3 Pembentukan DTM Foto dengan SBF

III.3.1 Filtering

Seperti pada pembentukan DTM Foto, proses *filtering* ini bertujuan untuk memisahkan fitur *ground* atau *bare earth* dengan fitur *non ground* atau *non bare earth* pada data *point clouds* DSM Foto. *Filtering* untuk pembentukan DTM Foto udara ini dilakukan pada *software* SAGA GIS. Proses ini terdiri dari tiga tahap yaitu *gridding*, *close gaps*, dan tahap *filtering* dengan modul *Slope Based Filtering* (SBF). Parameter yang diperlukan dalam proses *filtering* menggunakan SBF antara lain *radius*, *slope*, dan *threshold*.

Parameter yang digunakan untuk pembentukan DTM Foto pada NLP 1209-1432C adalah dengan radius sebesar 20 dan *slope* sebesar 7%. Sedangkan untuk NLP 1209-1415C radius yang digunakan sebesar 10 dengan *slope* sebesar 21%. Nilai *threshold* yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,1.

III.3.2 Interpolasi

Konsep dari interpolasi pada tahapan ini sama seperti interpolasi pada pembentukan DTM LiDAR, yaitu menutup area kosong yang merupakan bekas area *non ground*. Pada pembentukan DTM Foto ini, interpolasi masih dilakukan pada *software* SAGA GIS.

III.3.3 Konversi Data

Sama seperti pada pembentukan DTM LiDAR, DTM Foto yang dihasilkan disimpan dalam format geoTIFF.

III.4 Pembentukan DTM LiDAR dengan SBF

Pada pembentukan DTM LiDAR dengan SBF, dilakukan pemotongan sampel area menjadi area yang lebih kecil. Hal ini disebabkan kemampuan *software* yang digunakan yaitu SAGA GIS dan minimnya kapasitas penyimpanan dari *hardware* tidak mampu membaca *point clouds* LiDAR yang memiliki jumlah yang banyak, sehingga dilakukan pemotongan area menjadi area yang lebih kecil. Alur dari proses pembentukan DTM LiDAR dengan menggunakan metode SBF sama seperti pembentukan DTM Foto dengan SBF pada sub bab III.3.

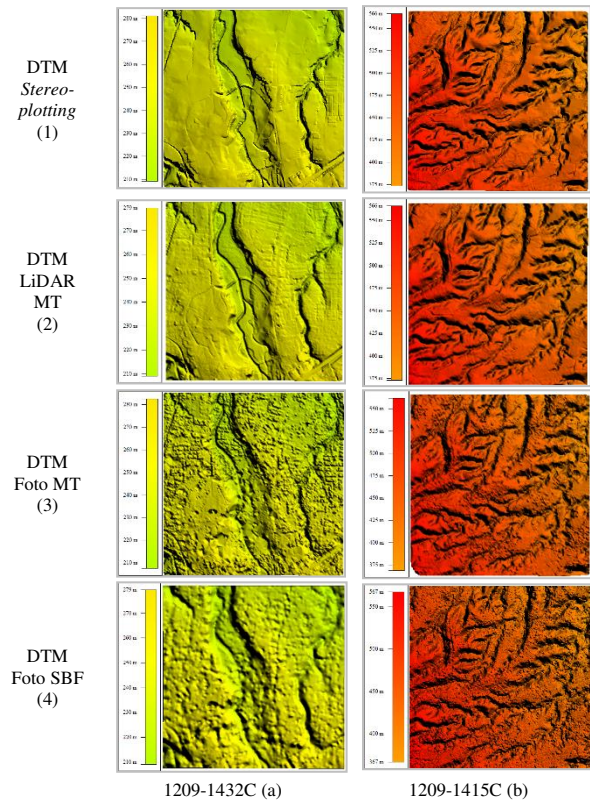
III.5 Pembentukan DTM Foto dengan Terrasolid

Proses yang dilakukan pada pembentukan DTM Foto dengan algoritma *macro* Terrasolid sama seperti pada tahapan sebelumnya yaitu pada pembentukan DTM LiDAR dengan Terrasolid, yang membedakan hanyalah pada pengolahan ini tidak dilakukan penyusunan algoritma. Algoritma yang digunakan adalah algoritma yang sama seperti yang digunakan pada pembentukan DTM LiDAR dengan Terrasolid. Proses selanjutnya yang dilakukan adalah sama seperti pada proses pembentukan DTM LiDAR dengan Terrasolid pada sub bab III.2

IV. Hasil dan Analisis

IV.1 Hasil dan Analisis Geomorfologi

Geomorfologi yang dihasilkan dari DTM LiDAR dan DTM Foto pada masing-masing sampel NLP ditunjukkan pada gambar IV.1 dan IV.2.



Gambar IV.1 Perbandingan geomorfologi DTM LiDAR MT, DTM Foto MT, dan DTM Foto SBF terhadap DTM *Stereoplotting*

Secara visual, geomorfologi yang terbentuk pada DTM LiDAR maupun DTM Foto telah menyerupai DTM *Stereoplotting*. Pada sampel area datar (NLP 1209-1432C) terdapat fitur sungai yang sudah terbentuk dan terlihat pada DTM LiDAR maupun DTM Foto. Pada sampel area berbukit (NLP 1209-1415C) geomorfologi yang terbentuk juga sudah terlihat memiliki kesamaan dengan DTM *Stereoplotting*. Bentuk dari punggung bukit yang dihasilkan sudah terlihat menyerupai bentuk punggung bukit pada DTM *Stereoplotting*.

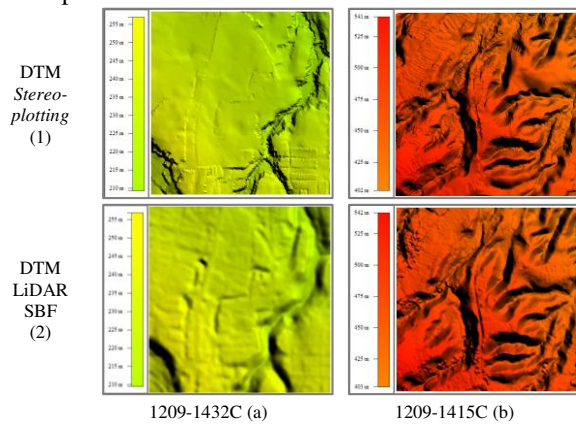
Namun, geomorfologi yang terbentuk pada DTM Foto masih terlihat cukup berbeda. Topografi yang dihasilkan terlihat kasar, khususnya pada DTM Foto hasil pemrosesan dengan Terrasolid NLP 1209-1432C. Banyak fitur non tanah yang masih terklasifikasi sebagai tanah, sehingga pada proses *filtering* unsur tersebut tidak terhapus. Hal ini dikarenakan algoritma yang digunakan pada pembentukan DTM Foto dengan Terrasolid ini adalah algoritma yang sama seperti yang digunakan pada pembentukan DTM dengan data LiDAR.

Meskipun data LiDAR dan data foto udara yang digunakan adalah area yang sama dengan kondisi wilayah yang sama, namun karakteristik dari kedua sumber data tersebut berbeda. Data LiDAR lebih memiliki kerapatan *point clouds* yang lebih besar dibandingkan dengan *point clouds* pada DSM foto udara. *Point clouds* data LiDAR dapat menembus kanopi sehingga dapat mencapai ke permukaan tanah. Maka dari itu meskipun objek yang berada di atas

permukaan tanah dihilangkan, masih terdapat sisa *point clouds* di permukaan tanah. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun karakteristik dari areanya sama, dengan nilai parameter yang sama akan dihasilkan DTM yang berbeda. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan parameter sehingga diperoleh DTM dengan hasil yang optimal.

Pada DTM Foto SBF, geomorfologi yang terbentuk menunjukkan bahwa DTM Foto masih menghasilkan permukaan yang kasar. Banyak terdapat area berlubang pada permukaannya. Hal ini dikarenakan sistem dari *filtering* metode SBF yang meninggalkan sisa titik terendah dari fitur yang dihilangkan. Hal ini mengakibatkan tersisanya satu titik dari masing-masing objek yang terhapus. Pada saat dilakukan interpolasi, titik tersebut membentuk seperti corong. Banyaknya fitur non tanah yang terhapus pada area ini meninggalkan banyak bekas sehingga mengakibatkan banyak lubang seperti corong pada daerah ini.

Pada penelitian ini terdapat perbedaan sampel area pada pembentukan DTM LiDAR dengan menggunakan SBF. Pembentukan DTM dilakukan pada sampel area dengan ukuran yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan keterbatasan ruang penyimpanan (RAM) dari *hardware* yang digunakan, serta keterbatasan kemampuan dari SAGA GIS dalam memproses data LAS yang memiliki ukuran yang cukup besar.



Gambar IV.2 Perbandingan geomorfologi DTM LiDAR SBF terhadap DTM Stereoplotting

Pengolahan DTM LiDAR dengan SBF pada sampel area pada NLP 1209-1432C menghasilkan permukaan topografi yang halus. Bentuk sungai yang dihasilkan juga sudah menyerupai bentuk sungai pada DTM Stereoplotting, bentuk dari punggung bukit pada NLP 1209-1415C juga telah menyerupai DTM Stereoplotting. Secara keseluruhan, hasil yang diperlihatkan pada masing-masing sampel NLP terlihat bahwa geomorfologi yang dihasilkan oleh DTM LiDAR dengan metode SBF sudah menyerupai geomorfologi yang terbentuk pada DTM Stereoplotting.

IV.2 Analisis perbandingan ketinggian

Pada tabel IV.1 dapat dilihat bahwa nilai ketinggian minimal, maksimal, dan rata-rata nilai

ketinggian dari DTM LiDAR dan DTM Foto telah mendekati nilai ketinggian dari DTM Stereoplotting, baik pada NLP 1209-1432C yang mewakili daerah datar maupun NLP 1209-1415C yang mewakili daerah berbukit. Selisih rata-rata ketinggian dari masing-masing DTM terhadap DTM Stereoplotting yang dihasilkan tidak lebih dari 2 m.

Pada NLP 1209 -1432C yang mewakili daerah datar, terlihat selisih ketinggian rata-rata yang paling kecil adalah DTM yang dihasilkan oleh data LiDAR yaitu dengan pengolahan menggunakan Terrasolid. Sedangkan pada NLP 1209 -1432C yang mewakili daerah berbukit, selisih rata-rata ketinggian terkecil dihasilkan oleh DTM LiDAR dengan metode SBF.

Tabel IV.1 Ketinggian DTM Stereoplotting, DTM LiDAR dan DTM Foto

Sampel Area	DTM	Ketinggian		
		Min (m)	Maks (m)	Rata-rata (m)
NLP 1209-1432C	Stereoplotting	209,16	257,02	235,967
	LiDAR MT	209,00	257,00	235,939
	LiDAR SBF	209,54	256,85	235,407
	Foto MT	209,13	265,96	237,098
	Foto SBF	209,41	256,26	234,449
NLP 1209-1415C	Stereoplotting	402,38	540,93	468,095
	LiDAR MT	403,00	541,00	468,411
	LiDAR SBF	402,83	541,81	468,021
	Foto MT	401,58	542,16	469,551
	Foto SBF	401,77	541,92	468,398

Nilai ketinggian rata-rata yang lebih mendekati DTM Stereoplotting adalah DTM hasil pengolahan dari data LiDAR. Dari rata-rata yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa selisih ketinggian DTM LiDAR dengan DTM Stereoplotting berkisar antara 2-50 cm. Sedangkan pada DTM hasil pengolahan data foto udara, selisih tinggi terhadap DTM Stereoplotting mencapai 1,5 m.

IV.3 Analisis Transect

Analisis transect yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk melihat penampang melintang dari masing-masing DTM. Penampang melintang digunakan untuk melihat beda tinggi serta pola garis penampang yang terbentuk. Pada penelitian ini, analisis dibagi menjadi dua bagian yaitu perbandingan transect secara umum pada masing-masing sampel pada setiap NLP serta perbandingan transect pada unsur tutupan lahan.

Pada analisis ini, area yang digunakan adalah sampel area hasil pemotongan yang menyesuaikan ukuran dari hasil DTM LiDAR SBF. Pada perbandingan transect secara umum, dalam satu sampel area dilakukan penarikan tiga garis transect. Masing-masing garis mewakili informasi ketinggian pada masing-masing sisi. Tiga garis ini yaitu garis A yang mewakili daerah sisi kiri, B mewakili bagian tengah, dan C dan mewakili daerah sisi kanan. Panjang segmen transect adalah 1,15 km.

1. 1209-1432C

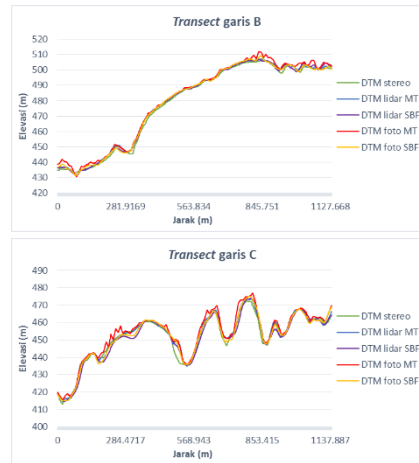
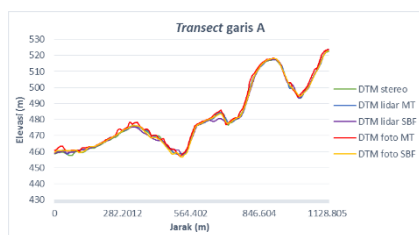


Gambar IV.3 Garis Transect NLP 1209-1432C

Dari ketiga sampel penampang melintang yang dibentuk dari kelima DTM pada NLP 1209-1432C, diperoleh hasil bahwa pada NLP ini telah dihasilkan pola yang sama antara kelima DTM. Namun, masih terdapat selisih ketinggian yang terlihat yaitu pada DTM Foto. Garis yang dibentuk oleh DTM Foto hasil dari pengolahan menggunakan Terrasolid masih terlihat kasar. Sedangkan untuk DTM Foto hasil dari SBF terlihat tidak terlalu kasar, namun masih terlihat selisih ketinggian yang cukup besar terhadap DTM Stereoplotting. Hal ini dikarenakan pada area ini terdapat fitur non tanah yang berupa pemukiman padat. Nilai dari parameter SBF serta algoritma *macro* yang digunakan pada pembentukan DTM Foto masih belum menjalankan *filtering* yang sempurna pada area pemukiman yang padat.

2. 1209-1415C

Dari ketiga sampel penampang melintang yang dibentuk dari kelima DTM pada NLP 1209-1415C, diperoleh hasil bahwa pada NLP ini telah dihasilkan ketinggian yang tidak terlalu berbeda antara DTM hasil pengolahan dengan DTM Stereoplotting. Hal ini dikarenakan banyaknya area terbuka pada NLP ini, sehingga proses *filtering* yang berjalan tidak banyak menghilangkan unsur non tanah.

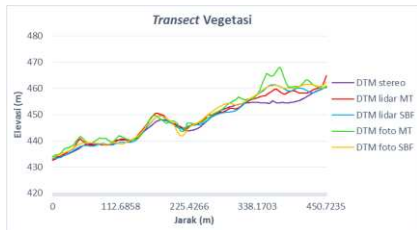


Gambar IV.4 Garis Transect NLP 1209-1415C

3. Tutupan Lahan

Pada perbandingan *transect* tutupan lahan ini, dilakukan penarikan garis *transect* dari masing-masing sampel tutupan lahan. Objek yang dipilih yaitu sungai, jalan, lahan terbuka, pemukiman, dan vegetasi.



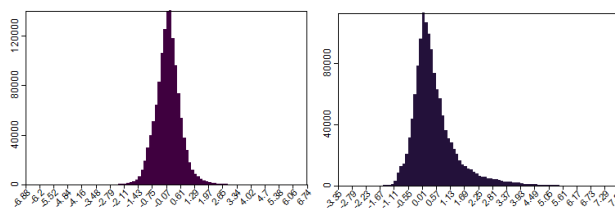


Gambar IV.5 Garis *Transect* pada sampel tutupan lahan

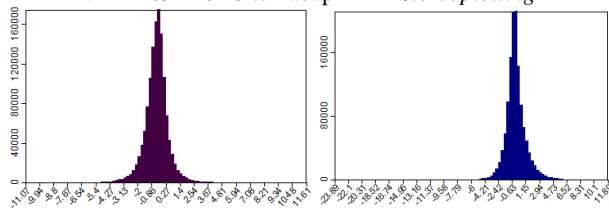
Dari kelima *transect* yang ditampilkan, dapat dilihat bahwa DTM dari data foto udara masih belum menghasilkan DTM yang optimal. Terlihat kekasaran yang dihasilkan DTM Foto hasil pengolahan dengan Terrasolid. Selain itu juga terlihat selisih ketinggian yang cukup besar antara DTM Foto hasil pengolahan SBF dengan DTM lainnya. Kekasaran yang dihasilkan dari DTM Foto Terrasolid disebabkan karena belum optimalnya algoritma yang digunakan, sehingga masih terdapat beberapa objek non tanah yang terdeteksi sebagai tanah. Namun secara umum DTM Foto sudah membentuk pola yang sama seperti DTM lainnya. Jika dilihat dari kelima sampel *transect* yang diambil pada masing-masing tutupan lahan, terlihat selisih ketinggian yang terkecil dihasilkan pada sampel lahan terbuka dan vegetasi. Sedangkan pada pemukiman masih menghasilkan selisih ketinggian yang cukup besar. Hal ini menandakan bahwa *filtering* sudah berjalan optimal pada area yang tidak terlalu banyak terdapat objek di atas permukaan tanah.

IV.4 Analisis Differencing

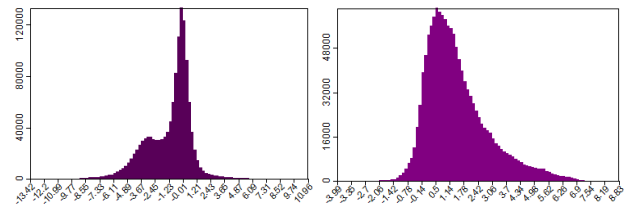
Pada analisis ini, dilakukan proses *comparing* dari DTM LiDAR dan DTM Foto terhadap *Stereoplotting*. Tujuannya adalah untuk melihat perbedaan diantara keduanya. Pada penelitian ini dilihat perbedaan ketinggian yang terbentuk dari *surface* masing-masing DTM. Pada analisis ini ditampilkan histogram yang memuat jumlah nilai beda tinggi antara DTM LiDAR dan DTM Foto terhadap *DTM Stereoplotting*.



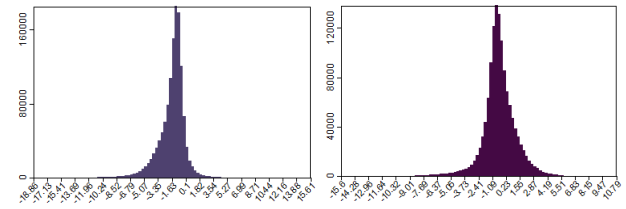
Gambar IV.6 Histogram hasil beda tinggi DTM LiDAR NLP 1209-1432C terhadap *DTM Stereoplotting*



Gambar IV.7 Histogram hasil beda tinggi DTM LiDAR NLP 1209-1415C terhadap *DTM Stereoplotting*



Gambar IV.8 Histogram hasil beda tinggi DTM Foto NLP 1209-1432C terhadap *DTM Stereoplotting*



Gambar IV.9 Histogram hasil beda tinggi DTM Foto NLP 1209-1415C terhadap *DTM Stereoplotting*

Dari histogram yang ditampilkan, secara umum *surface difference* yang dihasilkan antara DTM LiDAR dan DTM *Stereoplotting* telah menghasilkan selisih tinggi yang kecil. Dapat dilihat bahwa jumlah beda tinggi terbesar adalah berkisar pada nilai 0 m hingga 1 m, yang menghasilkan rata-rata beda tinggi dengan nilai kurang dari 1 m.

Pada Tabel IV.2 ditampilkan nilai beda tinggi masing-masing DTM LiDAR dan DTM Foto terhadap *DTM Stereoplotting*. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa rata-rata beda tinggi terbesar adalah pada DTM Foto NLP 1209-1415C yang menggunakan metode *marco* Terrasolid. Hal ini dikarenakan algoritma yang digunakan masih belum sesuai dan belum bekerja dengan baik.

Tabel IV.2 Nilai beda tinggi DTM hasil pemrosesan terhadap *DTM Stereoplotting*

Data	Metode	NLP	Min (m)	Maks (m)	Rata-rata (m)
LiDAR	Macro Terrasolid	1209-1432C	-6,989	6,821	0,040
		1209-1415C	-11,11	11,629	-0,449
	SBF	1209-1432C	-3,351	7,855	0,542
		1209-1415C	-23,891	11,889	-0,078
FOTO	Macro Terrasolid	1209-1432C	-13,646	11,055	-1,129
		1209-1415C	-18,884	15,634	-1,589
	SBF	1209-1432C	-4,065	8,685	1,465
		1209-1415C	-15,607	10,867	-0,451

IV.5 Uji Ketelitian DTM Stereoplotting

Uji ketelitian ini dilakukan untuk melihat kualitas dari *DTM Stereoplotting* yang digunakan sebagai *benchmark*. Pengujian dilakukan menggunakan titik ICP (*Independent Check Points*). Dengan menggunakan 6 titik ICP yang ada menunjukkan hasil dari nilai RMSE sebesar 0,642 m. Kemudian dilakukan perhitungan LE90 menurut PERKA BIG No. 15 Tahun 2014 seperti berikut :

$$\begin{aligned}
 LE90 &= 1,6499 \times RMSE \\
 &= 1,5175 \times 0,642 \\
 &= 1,059 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari hitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa peta ini memiliki ketelitian vertikal sebesar

8,479 m. Kelas ketelitian peta ini adalah ketelitian vertikal kelas 2 pada skala 1 : 5.000.

IV.6 Uji Ketelitian Geometri DTM LiDAR dan DTM Foto

Nilai akurasi vertikal (ketelitian geometri) pada penelitian ini diperoleh dari perhitungan nilai LE90 dari masing-masing DTM. Nilai LE90 dihitung berdasarkan nilai RMSEz yang diperoleh dari pengujian antara DTM LiDAR dan Foto terhadap DTM *Stereoplotting*. Hasil perhitungan nilai LE90 dari masing-masing DTM ditampilkan pada tabel IV.3.

Tabel IV.3 Ketelitian geometri DTM

Data	Metode	NLP	RMSEz (m)	LE90 (m)	Skala	Kelas
LiDAR	Macro Terrasolid	1209-1432C	0,689	1,137	1:5.000	2
		1209-1415C	1,174	1,937	1:5.000	3
	SBF	1209-1432C	0,983	1,622	1:5.000	3
		1209-1415C	1,439	2,374	1:5.000	3
FOTO	Macro Terrasolid	1209-1432C	2,062	3,402	1:10.000	3
		1209-1415C	2,107	3,476	1:10.000	3
	SBF	1209-1432C	1,466	2,419	1:5.000	3
		1209-1415C	1,802	2,973	1:10.000	2

Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa DTM LiDAR memiliki ketelitian paling tinggi, terutama yang diolah dengan menggunakan *macro Terrasolid*. Ketelitian DTM yang dihasilkan oleh data foto udara masih belum bisa menyamai ketelitian dari DTM LiDAR. Secara umum, dari penelitian ini data LiDAR dapat digunakan untuk pemetaan skala 1:10.000 sedangkan untuk data foto hanya dapat menghasilkan peta skala 1:25.000.

Dari tabel tersebut juga diperoleh hasil bahwa ketelitian vertikal dari DTM pada daerah datar cenderung lebih baik jika dibandingkan dengan daerah berbukit. Terlihat dari nilai RMSEz yang dihasilkan dari kedua metode pada kedua data. Tabel IV.3 menunjukkan bahwa nilai RMSEz pada NLP 1209-1415C yang dihasilkan lebih besar dibanding pada NLP 1209-1432C.

Hasil yang diperlihatkan oleh DTM LiDAR dari pengolahan otomatis menggunakan algoritma *macro Terrasolid* sudah menunjukkan hasil yang baik. Secara visual dan statistik, DTM yang dihasilkan sudah mendekati DTM *Stereoplotting* khususnya pada daerah datar yaitu NLP 1209-1432C, sedangkan pada area berbukit masih terdapat beberapa objek yang belum terklasifikasi secara sempurna. Objek tersebut berupa pepohonan besar yang berada pada vegetasi rapat.

Hasil yang berbeda ditunjukkan oleh DTM Foto, secara statistik hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa hasil pengolahan dengan *macro Terrasolid* dan SBF menghasilkan RMSEz yang cukup besar, terutama pada pengolahan dengan *macro Terrasolid*. Hal ini disebabkan karena belum optimalnya algoritma yang digunakan.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Secara visual DTM LiDAR dan DTM Foto hasil *filtering* menggunakan algoritma *macro terrasolid* dan SBF menghasilkan geomorfologi yang sudah menyerupai DTM *Stereoplotting*, geomorfologi dari DTM LiDAR sudah terlihat halus sedangkan DTM Foto masih terlihat kasar.
2. Berdasarkan hasil analisis *transect* yang dilakukan kepada masing-masing DTM, diperoleh hasil bahwa ketinggian DTM LiDAR sudah mendekati DTM *Stereoplotting*, sedangkan DTM Foto masih menghasilkan selisih ketinggian yang cukup besar terhadap DTM *Stereoplotting*.
3. Berdasarkan hasil analisis *surface difference* terhadap DTM *Stereoplotting*, pengolahan data LiDAR dengan algoritma *macro Terrasolid* pada NLP 1209-1432C menghasilkan DTM dengan nilai RMS sebesar 0,689 m dan masuk ke kelas 2 skala 1: 5.000, sedangkan untuk NLP 1209-1415C diperoleh RMS sebesar 1,174 m dan masuk ke kelas 3 skala 1: 5.000. DTM LiDAR dari metode SBF pada NLP 1209-1432C menghasilkan nilai RMS sebesar 0,983 m dan masuk ke kelas 3 skala 1:5.000 sedangkan untuk NLP 1209-1415C diperoleh RMS sebesar 1,439 m dan masuk ke kelas yang sama yaitu kelas 3 skala 1:5.000.
4. Berdasarkan hasil analisis *surface difference* terhadap DTM *Stereoplotting*, pengolahan data DSM foto udara dengan penapisan *macro Terrasolid* pada NLP 1209-1432C menghasilkan DTM dengan nilai RMS sebesar 2,062 m, sedangkan untuk NLP 1209-1415C diperoleh RMS sebesar 2,107 m. Kedua DTM tersebut masuk ke dalam kelas 3 skala 1:10.000, sedangkan DTM Foto yang diproses dengan SBF pada NLP 1209-1432C mempunyai nilai RMS sebesar 1,466 m yang masuk ke dalam kelas 3 skala 1:5.000 kemudian untuk NLP 1209-1415C diperoleh RMS sebesar 1,802 m dan masuk dalam kelas 2 skala 1:10.000.

V.2 Saran

Setelah mendapatkan beberapa kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Maka dapat dikemukakan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Akan lebih baik apabila dalam pembentukan DTM Foto dengan Terrasolid dilakukan penyusunan ulang algoritma, tidak menggunakan algoritma yang sama seperti yang digunakan pada pembentukan DTM LiDAR.
2. Pada penelitian ini masih digunakan metode interpolasi berupa *gridding TIN* dan *close gaps*, disarankan untuk menggunakan interpolasi lain seperti *Kriging*, *IDW*, dan *Natural Neighbor*, tidak hanya terpaku pada ketersediaan fitur interpolasi yang terdapat pada satu *software*.
3. Proses penapisan otomatis (SBF dan algoritma *macro Terrasolid*) yang dijalankan pada penelitian ini belum menghasilkan *filtering* yang sempurna. Pada proses otomatis akan tetap menyisakan objek-objek lolos dari *filtering*, sehingga perlu dilakukan

editing manual untuk menghasilkan DTM dengan kualitas yang lebih bagus. Selain itu dapat dicoba untuk menggunakan *filtering* dengan metode dan algoritma lain.

4. Apabila memungkinkan, dalam pemilihan lokasi penelitian sebaiknya memilih lokasi yang mudah dijangkau agar mempermudah jika diperlukan dalam menambahkan kelengkapan data penunjang, seperti penambahan persebaran titik kontrol serta validasi lapangan.
5. Pada pemilihan perangkat lunak disarankan untuk memilih perangkat lunak yang memiliki fitur algoritma yang lengkap, serta dalam menggunakan perangkat keras disarankan menggunakan perangkat dengan spesifikasi dan kemampuan *processing* yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An earth resource perspective*. 2nd Prentice-Hall series in Geographic Information Science, USA.
- Axelsson, P. (2000). *DEM Generation from Laser Scanner Data using Adaptive TIN Models*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Pambudi, L. C. (2015). *Analisis Akurasi Penapisan DSM ke DTM Menggunakan Metode Simple Morphological Filter dan Slope Based Filtering*. Semarang: Skripsi, Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Pfreifer, N. (2008). *Digital surface model and digital terrain model filtering*. Austria: Institute of Photogrammetry and Remote Sensing Vienna University of Technology.
- TerraScan. (2015). *TerraScan User's Guide*.