

Perbandingan Algoritma Macro Dan Cloth Simulation Filtering Untuk Penyaringan Data Point Cloud Dari Foto Udara Pada Area Dengan Dominasi Vegetasi

Yohananda Maria Mendhieta^{a*}, Catur Aries Rokhmana^b

^aTeknologi Survei dan Pemetaan Dasar, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

^bTeknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Research Article

DOI:

10.22146/jgst.v4i2.26889

correspondence:

yohananda.maria.mendhieta
@mail.ugm.ac.id

Article history:

Received:

08-12-2025

Accepted:

31-12-2025

Published:

31-12-2025

ABSTRACT

Digital Terrain Model (DTM) is an essential component in the mining industry, particularly in natural resource exploration for geological modeling and resource reserve estimation. DTMs derived from aerial imagery point cloud data require filtering processes to separate ground and non-ground points. This process becomes challenging in vegetation-dominated areas, as dense canopy coverage can reduce model accuracy. One filtering method widely used as a standard in the mining industry is the Macro algorithm, but its rule-based configuration and parameters must be adjusted for each data area. An alternative method is the Cloth Simulation Filtering (CSF) algorithm, which is more cost-efficient with simpler parameter adjustments, but requires evaluation in vegetation-dominated areas. This research aims to compare the results of aerial imagery point cloud filtering and the resulting DTM produced by the Macro and CSF algorithms in vegetation-dominated areas. The research was conducted within the mining license of PT Timah in Kota Kapur Village. Secondary data consisting of point cloud, orthophoto, and 20 check points were used. The point cloud data were divided into three areas. The filtering was carried out by adjusting the parameters of both algorithms for the three areas. DTM gridding uses the binning (minimum value) method. Both DTMs were analyzed through visual comparison and vertical accuracy calculation refers to SNI 9135-1:2022. The point cloud data filtering using the Macro algorithm produced 5.002.791 points, while the CSF algorithm produced 39.772.434 points. The Macro-derived DTM appeared smoother, whereas the CSF-derived DTM appeared rougher across various area conditions. Vertical accuracy calculations indicated that the Macro-derived DTM produced a LE90 of 0,908 m, meeting the standards for 1:5.000 scale maps in class 3. Meanwhile, the CSF-derived DTM produced a LE90 of 1,439 m, exceeding the maximum threshold allowed by SNI 9135-1:2022. Thus, the Macro-derived DTM is more vertically accurate than the CSF-derived DTM in vegetation-dominated areas.

Keywords: Vegetation, Point Cloud Data Filtering, DTM, Macro algorithm, CSF algorithm, Vertical Accuracy

INTISARI

Digital Terrain Model (DTM) merupakan komponen penting dalam industri pertambangan, khususnya pada kegiatan eksplorasi sumber daya alam untuk pemodelan geologi dan perhitungan cadangan. DTM yang dihasilkan dari data point cloud foto udara memerlukan proses penyaringan untuk memisahkan titik tanah dan non-tanah. Proses ini menjadi tantangan pada area dengan dominasi vegetasi karena dapat menurunkan akurasi model. Salah satu metode penyaringan yang banyak digunakan sebagai standar industri pertambangan adalah algoritma Macro, namun susunan Macro (*rule-based*) dan parameternya perlu disesuaikan pada setiap area data. Alternatif lain adalah algoritma Cloth Simulation Filtering (CSF) yang lebih efisien dari segi biaya dengan penyesuaian parameter sederhana, namun pada area dengan dominasi vegetasi perlu dievaluasi. Penelitian ini bermaksud membandingkan hasil penyaringan data point cloud dari foto udara dan DTM yang dihasilkan oleh algoritma Macro dan CSF pada area dengan dominasi vegetasi. Penelitian dilakukan pada wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Timah di Desa Kota Kapur. Data sekunder berupa point cloud, ortofoto, dan 20 titik uji digunakan. Data point cloud kemudian dibagi menjadi tiga area. Proses penyaringan dilakukan dengan penyesuaian parameter kedua algoritma pada ketiga area. Gridding DTM menggunakan metode binning (*minimum value*). Kedua DTM dianalisis melalui perbandingan visual dan

hitung ketelitian vertikal mengacu pada SNI 9135-1:2022. Penyaringan data point cloud menggunakan algoritma Macro menghasilkan 5.002.791 titik, sedangkan algoritma CSF menghasilkan 39.772.434 titik. Visual DTM Macro tampak lebih halus, sedangkan visual DTM CSF tampak lebih kasar pada berbagai kondisi area. Hitung ketelitian vertikal DTM Macro menghasilkan LE90 0,908 m, memenuhi standar peta skala 1:5.000 pada kelas 3. Sementara itu, DTM CSF menghasilkan LE90 1,439 m, melebihi ambang batas SNI 9135-1:2022. Dengan demikian, DTM Macro lebih akurat secara vertikal dibanding DTM CSF pada area dengan dominasi vegetasi.

Kata kunci: Vegetasi, Penyaringan Data Point Cloud, DTM, Algoritma Macro, Algoritma CSF, Ketelitian Vertikal

1. Pendahuluan

Digital Terrain Model (DTM) merupakan komponen penting dalam industri pertambangan, khususnya pada kegiatan eksplorasi sumber daya alam untuk pemodelan geologi dan perhitungan cadangan. Kebutuhan DTM akurat dan cepat mendorong pemanfaatan teknologi fotogrametri dengan wahana udara nirawak untuk akuisisi data foto udara. Data foto udara kemudian diproses menggunakan algoritma *Structure from Motion* (SfM) dan *Multi-View Stereo* (MVS) untuk menghasilkan point cloud (Pavlis & Serpa, 2023). Data point cloud umumnya membentuk *Digital Surface Model* (DSM) melalui gridding, sehingga diperlukan penyaringan untuk pembentukan DTM. Tantangan penyaringan adalah memisahkan titik tanah dan non-tanah, terutama di area dengan tutupan vegetasi rapat (Chen, dkk., 2014).

Berbagai algoritma telah dikembangkan untuk mengatasi tantangan penyaringan data point cloud pada area dengan dominasi vegetasi guna menghasilkan DTM akurat. Kerapatan titik, kemiringan medan, dan kompleksitas vegetasi dapat memengaruhi hasil klasifikasi dan menimbulkan kesalahan (Meng, Currit, & Zhao, 2010). Oleh karena itu, pemilihan algoritma menjadi aspek penting. Algoritma yang biasa digunakan adalah *Progressive Morphological Filter* (PMF), *Slope-Based Filtering* (SBF), *Simple Morphological Filter* (SMRF), *Blue Marble Geographic's Hybrid Filtering* (BMHF), Macro, dan *Cloth Simulation Filtering* (CSF) (Štular & Lozić, 2020).

Algoritma Macro telah banyak digunakan sebagai standar industri pertambangan karena susunan *Macro* (*rule-based*) yang dapat disesuaikan dengan karakteristik lapangan data (Hariyono & Windiastuti, 2018). Susunan Macro tidak bersifat tetap sehingga eksplorasi dan penyesuaian parameter Macro diperlukan pada area data yang berbeda, terutama area dengan dominasi vegetasi. Algoritma CSF (*open source*) dapat menjadi alternatif efisien dari segi biaya dibandingkan algoritma Macro (komersial). Algoritma CSF berbasis simulasi kain dengan beberapa parameter yang mudah diatur oleh pengguna (*user-friendly*) (Zhang, dkk., 2016). Meskipun algoritma CSF mudah dioperasikan, penyesuaian parameter pada area dengan dominasi vegetasi menjadi tantangan karena parameter penyaringan yang digunakan lebih sedikit.

Permasalahan penyaringan data point cloud pada area dengan dominasi vegetasi mendorong penggunaan algoritma Macro dan CSF untuk menghasilkan DTM akurat. Kebutuhan akan susunan Macro yang lebih efektif dan algoritma CSF yang lebih efisien, menunjukkan perlunya pengujian. Penelitian ini bermaksud membandingkan hasil penyaringan data point cloud dari foto udara dan DTM yang dihasilkan oleh algoritma Macro dan CSF pada area dengan dominasi vegetasi. Penelitian dilakukan pada wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Timah di Desa Kota Kapur. Ketelitian vertikal DTM diuji mengacu pada SNI 9135-1:2022 (Badan Standarisasi Nasional, 2022) tentang Pengolahan Data Geospasial Skala Besar Hasil Akuisisi Wahana Udara Nirawak-Bagian 1: Berbasis Kamera Non-Metrik.

2. Tinjauan Pustaka

Berbagai penelitian telah membahas penyaringan data point cloud untuk pembentukan DTM, terutama menggunakan data LiDAR. (Grădinaru, dkk. 2022) mengkaji efisiensi algoritma Macro pada data LiDAR untuk pemodelan kota tiga dimensi. Algoritma Macro mampu menghasilkan klasifikasi titik tanah secara otomatis dengan kebutuhan penyaringan manual yang relatif minimal. Penelitian ini memberikan dasar pemahaman mengenai alur kerja dan keunggulan algoritma Macro.

Algoritma CSF diperkenalkan oleh Zhang, dkk. (2016) sebagai metode *open-source* berbasis simulasi kain untuk penyaringan data point cloud. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa algoritma CSF memiliki tingkat kesalahan total yang kompetitif dibandingkan algoritma penyaringan mutakhir

lainnya pada berbagai karakteristik medan, termasuk area bervegetasi. Potensi algoritma CSF dalam mengikuti bentuk permukaan tanah juga dilaporkan oleh Untoro (2019), yang menunjukkan ketelitian vertikal algoritma CSF lebih baik dibandingkan metode klasifikasi manual berbasis informasi tematik.

Perbandingan langsung antara algoritma Macro dan CSF dilakukan oleh Makarim (2023) menggunakan data LiDAR dengan evaluasi menggunakan nilai *overall accuracy*. Hasilnya menunjukkan bahwa algoritma CSF memiliki nilai *overall accuracy* lebih tinggi dibandingkan algoritma Macro. Namun, pendekatan tersebut belum mengevaluasi kualitas DTM berdasarkan ketelitian vertikal menggunakan titik uji lapangan, yang penting dalam analisis spasial berskala besar dan kebutuhan industri pertambangan. Selain itu, Brovelli & Lucca (2012) menunjukkan bahwa penyaringan otomatis pada area dengan dominasi vegetasi masih menghadapi keterbatasan akurasi dan sering memerlukan intervensi manual.

Berdasarkan tinjauan tersebut, sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada data LiDAR serta evaluasi berdasarkan klasifikasi dan nilai *overall accuracy*. Kajian penyaringan data point cloud dari foto udara dengan validasi ketelitian vertikal DTM masih terbatas pada area dengan dominasi vegetasi. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud membandingkan hasil penyaringan data point cloud dari foto udara dan DTM yang dihasilkan oleh algoritma Macro dan CSF pada area dengan dominasi vegetasi. Evaluasi ketelitian vertikal menggunakan titik uji hasil akuisisi GPS RTK.

2.1. Point Cloud Dari Proses Foto Udara

Menurut Otepka, dkk. (2013), point cloud didefinisikan sebagai kumpulan data titik tiga dimensi (X, Y, dan Z). Pembentukan point cloud dari foto udara meliputi tiga tahap. Pertama, *feature matching* menggunakan algoritma SfM yang mencocokkan *key point* antar foto untuk menghasilkan *tie point*. Kedua, *bundle adjustment* pada SfM menggunakan *tie point* untuk mengoptimalkan pose kamera dan posisi titik. Tahap ini menghasilkan *sparse point cloud* (Bianco, Ciocca, & Marelli, 2018). Ketiga, *dense point cloud generation* menggunakan algoritma MVS untuk mengisi detail dengan mencocokkan piksel dari berbagai sudut pandang. Kombinasi SfM-MVS menghasilkan point cloud dengan ketelitian tinggi (Pavlis & Serpa, 2023).

2.2. Digital Surface Model (DSM) dan Digital Terrain Model (DTM)

Berdasarkan SNI 9135-1:2022, DEM dapat berupa DSM dan DTM. DSM merupakan model digital yang merepresentasikan bentuk permukaan bumi beserta seluruh objek yang berada di atasnya. DTM adalah model digital yang merepresentasikan bentuk permukaan bumi tanpa menyertakan objek lain di atasnya.

2.3. Penyaringan Data Point Cloud

2.3.1. Algoritma Macro

Algoritma Macro merupakan fitur dalam modul *TerraScan* di software *MicroStation* untuk menyaring data point cloud. Algoritma Macro secara otomatis memisahkan titik tanah dari titik non-tanah melalui susunan Macro (rule-based) (Hariyono & Windiastuti, 2018). Prosesnya dimulai dengan klasifikasi *low point* terlebih dahulu lalu menghapusnya (Soininen, 2015). Tahap awal klasifikasi titik tanah, algoritma memilih titik terendah lokal sebagai tanah menggunakan parameter *max building size* dan membangun model *Triangulated Irregular Network* (TIN) secara iteratif. Iterasi ini dikendalikan oleh tiga parameter utama. *Iteration angle* mengatur sudut maksimum perubahan kemiringan antara suatu titik, proyeksinya pada model TIN, dan titik sudut segitiga terdekat. *Iteration distance* mengatur jarak maksimum dari suatu titik ke model TIN. *Terrain angle* mengatur sudut maksimum kecuraman permukaan tanah yang diizinkan, sehingga membantu membedakan titik tanah dengan objek lain pada area miring (Soininen, 2015).

2.3.2. Algoritma Cloth Simulation Filtering (CSF)

Algoritma CSF pada software *CloudCompare* dikembangkan oleh Zhang, dkk. (2016) dan bekerja dengan simulasi kain fleksibel yang dijatuhkan ke medan (point cloud). Proses penyaringan memerlukan penyesuaian parameter *scene*, *slope processing*, *cloth resolution*, *max iterations*, dan *classification threshold* berdasarkan medan dan tutupan lahan data. *Scene* dipilih berdasarkan topografi (*steep slope*, *relief*, *flat*). *Slope processing* dapat diaktifkan untuk menangani perubahan elevasi (Latifa, dkk., 2021). *Cloth resolution* mengatur ukuran grid kain simulasi (Štular & Lozić, 2020). *Max iterations* mengatur jumlah iterasi kain simulasi. *Classification threshold* mengatur ambang batas atau jarak maksimum antara titik point cloud dan permukaan kain simulasi (Latifa, dkk., 2021).

2.4. Gridding Metode Binning

Binning adalah teknik pemrosesan data yang mengubah kumpulan titik menjadi sel-sel (bins). Setiap bin berisi nilai yang mewakili karakteristik titik-titik yang berada di dalamnya, seperti nilai *minimum*, *average*, *maximum*, *median*, atau *variance*. Nilai antar bin kemudian diinterpolasi menggunakan algoritma *Inverse Weighted Distance* dan parameter *grid tightness*. Metode *grid binning* (*minimum value*) sesuai untuk membentuk DTM (Blue Marble Geographics, 2025).

2.5. Hitung Ketelitian Vertikal

Ketelitian peta mengacu pada tingkat kesesuaian antara posisi objek pada peta dengan posisi di lapangan (Badan Informasi Geospasial, 2017). Ketidakpastian posisi ini dikenal sebagai ketelitian geometrik, meliputi ketelitian horizontal dan vertikal. Standar ketelitian geometrik yang digunakan pada penelitian ini adalah SNI 9135-1:2022. Penentuan kelas dan skala dilakukan berdasarkan perhitungan nilai *Root Mean Squared Error* (RMSEz) dan *Linear Error 90%* (LE90).

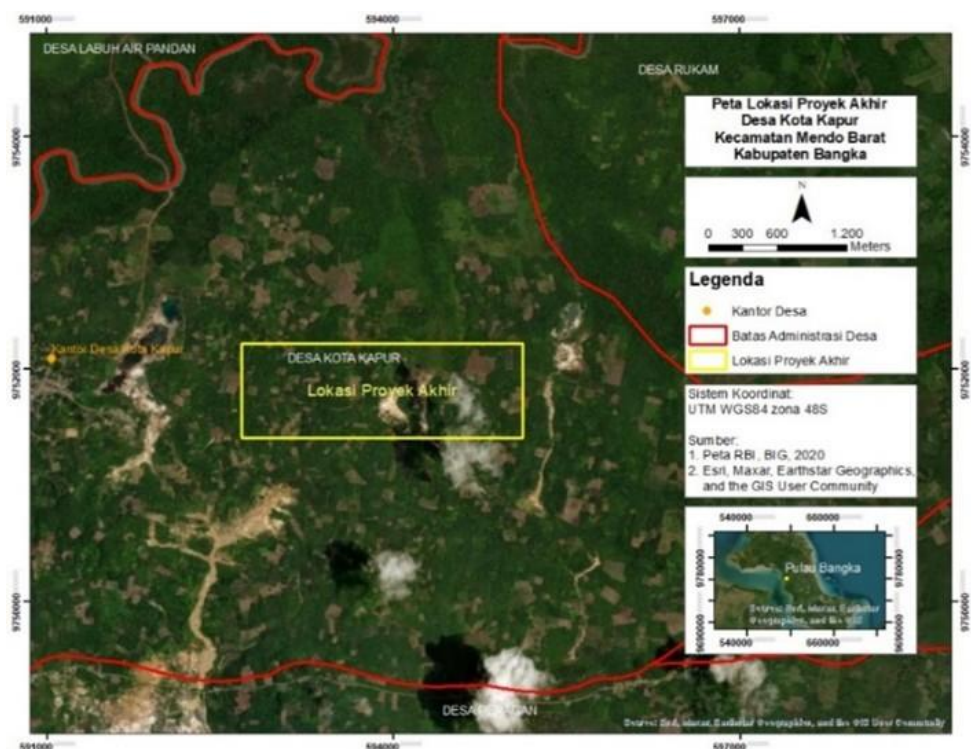
2.6. Profil

Setiap garis profil yang ditarik pada DTM memberikan informasi mengenai bentuk permukaan tanah sesuai dengan data elevasi yang direpresentasikan (Hariyono & Windiastuti, 2018). Analisis profil juga berfungsi sebagai pelengkap penting untuk perhitungan ketelitian vertikal (Julzarika & Dewi, 2018). Analisis profil berguna untuk membandingkan hasil DTM dari metode penyaringan yang berbeda.

3. Data

3.1. Lokasi Data

Lokasi data berada pada area IUP PT Timah di Desa Kota Kapur, Kecamatan Mendo Barat, Kabupaten Bangka seluas 197,800 ha. Area of Interest (AoI) ditunjukkan dalam kotak kuning pada Gambar 1, mencakup area tambang dengan medan yang relatif datar dan dominasi vegetasi.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

3.2. Spesifikasi Data

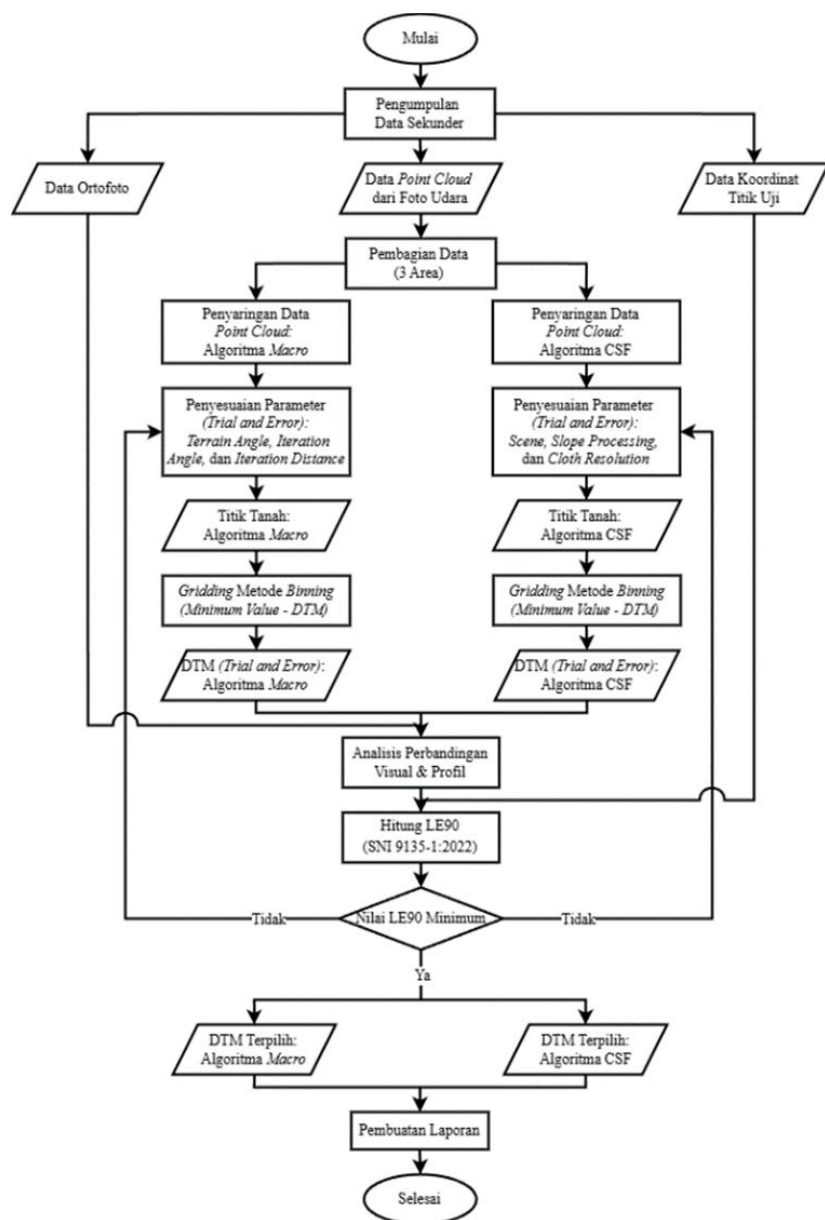
Penelitian menggunakan data sekunder yang tersedia di PT Timah dan diakuisisi pada 1 Desember 2023. Berikut Tabel 1 yang menyajikan spesifikasi data tersebut.

Tabel 1. Spesifikasi Data

Data Sekunder	Spesifikasi
Point Cloud	Sumber: foto udara terkoreksi PPK Sistem proyeksi: UTM WGS84 Zona 48S Point density: 61,836 titik/m ² Point spacing: 0,127 m Format: AutoCAD Layer State (*.las)
Ortofoto	Sumber: foto udara terkoreksi PPK Sistem proyeksi: UTM WGS84 Zona 48S Band warna: 0, 1, 2 (RGB) Format: JP2 File (*.jp2)
Titik Uji	Sumber: GPS RTK Sistem proyeksi: UTM WGS84 Zona 48S Format: Comma Separated Values (*.csv) Jumlah: 20 titik uji

4. Metodologi

Secara garis besar tahapan - tahapan dalam penelitian disajikan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Diagram alir.

4.1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan diawali dengan penelitian literatur dan persiapan *software* pemrosesan data. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan permohonan kepada PT Timah.

4.2. Tahap Penyaringan Data Point Cloud

4.2.1. Pembagian Area

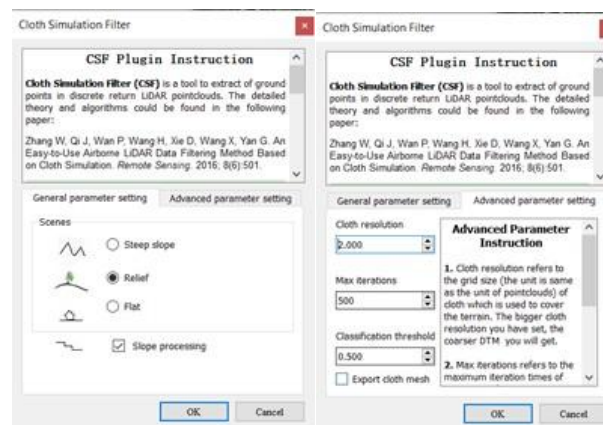
Data point cloud dibagi menjadi tiga area untuk mempermudah penyesuaian parameter penyaringan algoritma Macro dan CSF. Pembagian area tersebut menggunakan *software Global Mapper*.

4.2.2. Penyesuaian Parameter

Karakteristik medan dan tutupan lahan sangat memengaruhi penyesuaian parameter kedua algoritma. Penelitian ini menggunakan 13 susunan Macro, seperti pada Gambar 3. Khusus pada kelas titik tanah tiga parameter yang disesuaikan adalah *terrain angle*, *iteration angle*, dan *iteration distance*. Pada Gambar 4 dapat dilihat parameter-parameter yang terdapat di algoritma CSF. Parameter algoritma CSF yang disesuaikan adalah *scene*, *slope processing*, dan *cloth resolution*, sedangkan *max iterations* dan *classification threshold* menggunakan default yang dianggap sudah stabil (Zhang, dkk. 2016). Penyesuaian parameter dilakukan melalui proses *trial and error* hingga DTM dari penyaringan kedua algoritma menghasilkan nilai LE90 minimum yang dianggap paling optimal.



Gambar 3. Susunan Macro.



Gambar 4. Parameter Algoritma CSF.

4.3. Tahap Pembentukan DTM (Gridding)

Data titik tanah hasil penyaringan kedua algoritma dibentuk menjadi DTM melalui proses *gridding* menggunakan metode binning (minimum value) pada *software Global Mapper*. Nilai grid spacing 0,5 m, ditentukan melalui *trial and error* untuk memperoleh DTM detail dengan nilai LE90 minimum yang dianggap paling optimal. Area yang kosong atau tanpa data titik tanah dapat diisi melalui interpolasi dengan *grid tightness* yang digunakan adalah *Loose*.

4.4. Tahap Analisis Perbandingan Visual dan Profil

Tujuan analisis adalah untuk mengidentifikasi perbedaan pola dan kinerja antara algoritma Macro dan CSF pada area terbuka, vegetasi jarang, vegetasi menengah, dan vegetasi rapat. Analisis ini dilakukan menggunakan *software Global Mapper*.

4.5. Tahap Hitung Ketelitian Vertikal

DTM hasil penyaringan algoritma Macro dan CSF akan dihitung nilai ketelitian vertikalnya pada tahap ini. Ketelitian vertikal DTM dihitung dengan dibandingkan terhadap titik uji pada titik yang sama. Perhitungan ketelitian mengacu pada SNI 9135- 1:2022 (Badan Standarisasi Nasional, 2022) untuk mengetahui skala dan kelas ketelitian data. Berikut rumus perhitungannya.

$$RMSEz = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Zdata_i - Zcek_i)^2}{n}} \quad (1)$$

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

4.6. Tahap Pembuatan Laporan

Laporan ini mencakup perbandingan kedua algoritma dalam penyaringan data point cloud, hasil DTM, analisis perbandingan visual dan profil, dan tabel perhitungan ketelitian vertikal. Penyusunan laporan tersebut memberikan gambaran menyeluruh terhadap kelebihan dan kekurangan kedua algoritma dalam penyaringan data point cloud. Laporan juga memberikan pertimbangan pemilihan metode penyaringan data point cloud yang sesuai digunakan pada area dengan dominasi vegetasi.

5. Hasil Dan Pembahasan

5.1. Hasil Penyaringan Data Point Cloud

Tabel 2 memperlihatkan bahwa kedua algoritma mengurangi jumlah titik sebelum penyaringan secara drastis. Algoritma Macro menghasilkan 5.002.791 titik dengan rerata *point density* 5,651 titik/m². Sementara itu, algoritma CSF menghasilkan 39.772.434 titik dengan rerata *point density* 36,618 titik/m².

Tabel 2. Hasil Penyaringan Data Point Cloud

Area	Sebelum Penyaringan	Algoritma Macro	Algoritma CSF
1	38.320.888	1.738.270	13.409.824
2	36.431.178	1.828.072	12.156.921
3	36.794.716	1.436.449	14.205.689
Jumlah Titik	111.546.782	5.002.791	39.772.434

Point density algoritma Macro lebih rendah dibandingkan algoritma CSF dikarenakan penggunaan *Macro thin points*. Macro ini menghapus titik yang saling berdekatan dengan jarak kurang dari 0,1 m karena dianggap sebagai duplikasi. Sementara itu, pada algoritma CSF tidak terdapat parameter khusus untuk mengurangi *point density*.

5.2. Hasil Pembentukan DTM

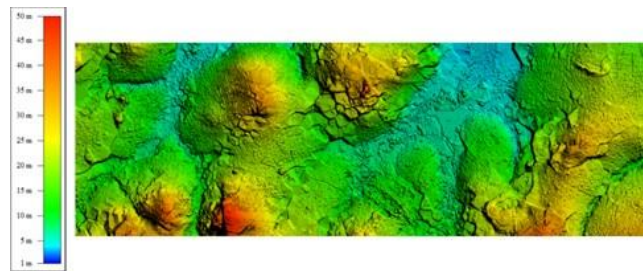
Tabel 3 menyajikan statistik data DTM kedua algoritma. Perbedaan nilai elevasi minimum dan maksimum kedua DTM menunjukkan adanya variasi elevasi hasil penyaringan. Variasi tersebut berpengaruh pada tingkat detail dan ketelitian vertikal DTM. Standar deviasi elevasi pada DTM Macro sebesar 8,170 m dan pada DTM CSF sebesar 8,456 m. Nilai standar deviasi DTM Macro yang lebih kecil menunjukkan bahwa variasi elevasi terhadap nilai rata-rata lebih seragam dan stabil.

Tabel 3. Statistik Data DTM

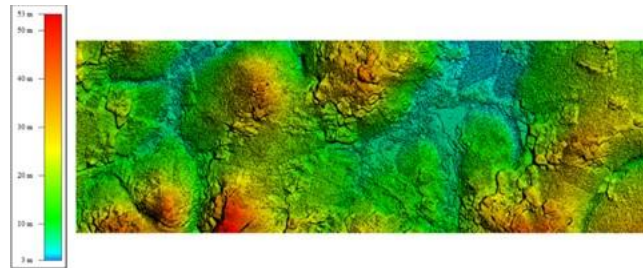
Statistik	DTM Macro (m)	DTM CSF (m)
Z minimum	0,530	2,540
Z maksimum	49,810	53,310
Z rata-rata	17,477	18,069
Z standar deviasi	8,170	8,456

DTM pada Gambar 5 dan Gambar 6 memiliki ukuran grid sebesar 0,5 m. Berarti setiap sel pada model permukaan tanah mewakili area seluas 0,5 m × 0,5 m. Visual kedua DTM masih memperlihatkan noise, terutama disebabkan oleh vegetasi yang tidak sepenuhnya terhapus. DTM Macro memperlihatkan permukaan tanah yang lebih halus pada area dengan dominasi vegetasi. Hal ini karena mekanisme rule-based yang lebih banyak dan adaptif. Susunan Macro memungkinkan penyesuaian penyaringan secara spesifik untuk mengatasi noise vegetasi. Berbeda dengan rule-based algoritma Macro, algoritma CSF yang berbasis simulasi kain memiliki batasan adaptasi terhadap variasi noise vegetasi. Oleh sebab itu, DTM CSF terlihat lebih kasar karena proses interpolasi model permukaan tanah masih banyak mengandung noise vegetasi. Beberapa contoh noise vegetasi ditunjukkan oleh area di dalam lingkaran warna kuning pada Gambar 5 dan Gambar 6, yang tidak

mewakili keseluruhan area DTM. Oleh karena itu, diperlukan perbandingan lebih lanjut melalui analisis profil pada beberapa sampel kedua DTM tersebut.



Gambar 5. DTM Macro.



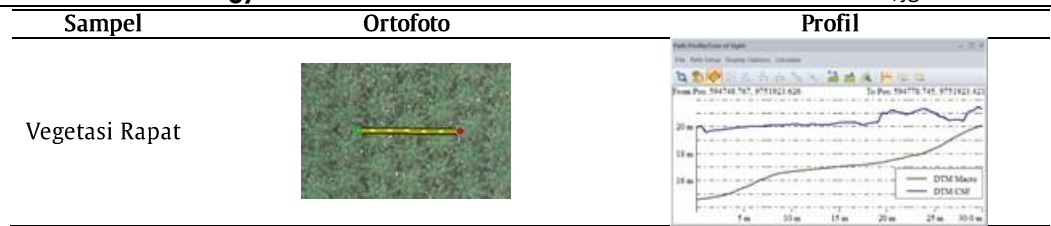
Gambar 6. DTM CSF.

5.3. Hasil Profil

Analisis profil memungkinkan perbedaan elevasi kedua DTM di sepanjang garis profil dapat dilihat secara terukur yang tidak dapat diketahui secara visual. Tabel 4 memperlihatkan perbedaan profil DTM Macro dan CSF pada sampel yang berbeda.

Tabel 4. Perbandingan Profil DTM Hasil Penyangaran

Sampel	Ortofoto	Profil
Area Terbuka 1 (Datar)		
Area Terbuka 2 (Gundukan)		
Vegetasi Jarang		
Vegetasi Menengah		



Secara keseluruhan, algoritma Macro menghasilkan profil DTM yang lebih stabil dan konsisten pada berbagai kondisi sampel. Hal ini karena algoritma Macro lebih baik dalam mempertahankan titik tanah dan meminimalisir titik non-tanah. Sementara itu, algoritma CSF menampilkan hasil yang lebih detail karena *point density* lebih tinggi. Namun, menyisakan banyak noise vegetasi sehingga profil DTM tampak memiliki lonjakan elevasi. Selain itu, adanya titik tanah yang justru terhapus pada hasil algoritma CSF membuat bentuk permukaan tanah menjadi kurang representatif.

5.4. Hasil Hitung Ketelitian Vertikal

Kualitas posisi vertikal data DTM perlu diketahui untuk mendapatkan kesalahan posisi elevasi. Hal ini juga untuk mengetahui seberapa baik metode penyaringan point cloud dan metode *gridding* yang digunakan terhadap data titik uji. Berikut hasil hitung ketelitian vertikal kedua DTM yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ketelitian Vertikal DTM Hasil Penyaringan

Ketelitian Vertikal	DTM Macro	DTM CSF
RMSEz (m)	0,550	0,872
LE90 (m)	0,908	1,439

DTM Macro memiliki RMSEz 0,550 m dan LE90 0,908 m. Memenuhi standar skala 1:5.000 pada kelas 3, sehingga layak digunakan untuk analisis spasial berskala besar. DTM CSF memiliki RMSEz 0,872 m dan LE90 1,439 m, melebihi ambang batas maksimal yang diperbolehkan SNI 9135-1:2022. Dengan demikian, DTM CSF tidak memenuhi standar SNI 9135-1:2022 dari segi ketelitian vertikal untuk analisis spasial berskala besar.

6. Kesimpulan Dan Saran

6.1. Kesimpulan

Hasil penyaringan data point cloud menggunakan algoritma Macro dan CSF menunjukkan pengurangan jumlah titik secara drastis. Jumlah titik sebelum penyaringan adalah 111.546.782 titik. Algoritma Macro menghasilkan 5.002.791 titik dan lebih efektif meminimalisir titik non-tanah. Sementara itu, algoritma CSF menghasilkan 39.772.434 titik dan menyisakan banyak titik non-tanah. Visual DTM Macro tampak lebih halus, sedangkan visual DTM CSF tampak lebih kasar pada berbagai kondisi area. Hitung ketelitian vertikal DTM Macro menghasilkan LE90 0,908 m, memenuhi standar peta skala 1:5.000 pada kelas 3. Sementara itu, DTM CSF menghasilkan LE90 1,439 m, melebihi ambang batas SNI 9135-1:2022. Dengan demikian, DTM Macro lebih akurat secara vertikal dibandingkan DTM CSF pada area dengan dominasi vegetasi.

6.2. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan menambah titik uji secara merata sesuai karakteristik area penelitian agar evaluasi ketelitian vertikal lebih objektif dan representatif terhadap keseluruhan DTM. Selain itu, penggunaan sensor yang mampu menembus vegetasi, seperti LiDAR, perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan kerapatan dan ketelitian data pada area bervegetasi sehingga DTM yang dihasilkan lebih representatif.

7. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bidang Pemetaan Penambangan, Divisi Eksplorasi, PT Timah atas penyediaan data dan dukungan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Bantuan serta kerja sama yang diberikan sangat berarti dalam penyusunan penelitian ini.

8. Daftar Pustaka

- Badan Informasi Geospasial. 2017. "Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018." *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. 5–24.
- Badan Standardisasi Nasional. 2022. "SNI 9135-1:2022 tentang Pengolahan Data Geospasial Skala Besar Hasil Akuisisi Wahana Udara Nirawak – Bagian 1: Berbasis Kamera Non-Metrik". Badan Standardisasi Nasional.

- Bianco, S., Ciocca, G., & Marelli, D. 2018. "Evaluating the Performance of Structure from Motion Pipelines." *Journal of Imaging* 4(8):1–18. doi: 10.3390/jimaging4080098.
- Blue Marble Geographics. 2025. "Global Mapper - Create Elevation Grid from 3D Vector Data." Blue Marble Geographics. Diakses dari (https://www.bluemarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper/Create_Elevation_Grid_from_3D_Vector_Data.htm).
- Brovelli, M. A., & Lucca, S. 2012. "Comparison of GRASS-LiDAR Modules-TerraScan with Respect to Vegetation Filtering." *Applied Geomatics* 4(2):123–34. doi: 10.1007/s12518-012-0080-6.
- Chen, W., Li, X., Wang, Y., Chen, G., & Liu, S. 2014. "Forested Landslide Detection Using LiDAR Data and the Random Forest Algorithm: A Case Study of the Three Gorges, China." *Remote Sensing of Environment* 152:291–301. doi: 10.1016/j.rse.2014.07.004.
- Grădinaru, A. P., Badea, A. C., & Dragomir, P. L. 2022. "Classifying Lidar Point Cloud Using Bentley Microstation Terrasolid and ArcGIS Pro Software Products." 123–36.
- Hariyono, M. I., & Windiastuti, R. 2018. "Classification of LiDAR Data to Generate Digital Terrain Model." *The 39th Asian Conference on Remote Sensing* (December).
- Julzarika, A., & Dewi, E. K. 2018. "Uji Akurasi Vertikal DTM Alos Palsar terhadap Pengukuran Kombinasi DGNS-Altimeter." *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital* 15(1):11–24. doi: 10.30536/j.pjpdcd.2018.v15.a2804.
- Latifa, D. P., Nurtyawan, R., & Nuha, M. U. 2021. "Analisis Perbandingan Ketelitian Vertikal DTM (Digital Terrain Model) Dari Foto Udara Dan LiDAR (Light Detection And Ranging) (Wilayah Studi: Sungai Gelam Timur Jambi)." *Original Article* 1. doi: 10.35472/x0xx0000.
- Makarim, N. 2023. "Analisis Perbandingan Beberapa Algoritma Klasifikasi Ground Point Cloud pada Data Drone LiDAR." *Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada*.
- Meng, X., Nate, C., & Kaiguang, Z. 2010. "Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues." *Remote Sensing* 2(3):833–60. doi: 10.3390/rs2030833.
- Otepka, J., Ghuffar, S., Waldhauser, C., Hochreiter, R., & Pfeifer, N. 2013. "Georeferenced Point Clouds: A Survey of Features and Point Cloud Management." *ISPRS International Journal of Geo-Information*.
- Pavlis, T. L., & Serpa, L. F. 2023. "Accuracy of Structure-from-Motion/Multiview Stereo Terrain Models: A Practical Assessment for Applications in Field Geology." *Geosciences (Switzerland)* 13(7):1–34. doi: 10.3390/geosciences13070217.
- Soininen, A. 2025. "TERRASCAN USER GUIDE." Terrasolid Ltd. Diakses dari (<https://www.terrasolid.com/guides/tscan/index.html>).
- Štular, B., & Lozić, E. 2020. "Comparison of Filters for Archaeology-Specific Ground Extraction from Airborne LiDAR Point Clouds." *Remote Sensing* 12(18). doi: 10.3390/RS12183025.
- Untoro, M. A. S. 2019. "Perbandingan Ketelitian Geometrik Model Elevasi Digital Hasil Ground Filtering: Metode Algoritma Cloth Simulation Filtering dan Klasifikasi Informasi Tematik." *Skripsi. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada*.
- Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., & Yan, G. 2016. "An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation." *Remote Sensing* 8(6):1–22. doi: 10.3390/rs8060501.