

Analisis Perubahan Volume Lahan Pasca Kegiatan Galian Berbasis UAV dengan Evaluasi DEMNAS sebagai Permukaan Awal

UAV-Based Analysis of Land Volume Change After Excavation with DEMNAS Evaluation as the Initial Surface

Anugerah Satria Pradana Budiyo^{*}

¹Jurusan Geomatika, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Jl. Padjajaran Jl. Ring Road Utara No.104, Sleman, Yogyakarta 55283

^{*}Corresponding Author: anugerahsatria@upnyk.ac.id

Article Info:

Received: 30 - 08 - 2025

Accepted: 30 - 10 - 2025

Published: 20 - 11 - 2025

Kata kunci: DTM, UAV, DEMNAS, CSF, Volume

Keywords: DTM, UAV, DEMNAS, CSF, Volume

Abstrak: Permukaan bumi terus berubah akibat aktivitas alam dan manusia seperti penambangan, pembangunan, reklamasi, longsor, dan erosi. Perubahan ini meninggalkan jejak berupa material yang tergali, berpindah, atau tertimbun, sehingga perhitungan volume perubahan permukaan penting untuk menilai dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan menghasilkan model elevasi dan ortofoto berketelitian tinggi melalui integrasi metode GNSS statik dan fotogrametri udara berbasis *Structure from Motion* (SfM), serta mengevaluasi penggunaan DEMNAS sebagai acuan permukaan dasar dalam estimasi volume perubahan lahan. Empat titik kontrol tanah ditentukan dengan metode GNSS statik selama 1 jam (interval 1 Hz) dengan ketelitian rata-rata 8 mm (*Northing*), 10 mm (*Easting*), dan 3,7 mm (*Elevasi*). Titik-titik tersebut menjadi acuan pengukuran *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP). Foto udara diolah menggunakan Agisoft Metashape dengan algoritma *Cloth Simulation Filtering* (CSF) untuk pemisahan permukaan tanah. Hasilnya berupa ortofoto beresolusi 2,05 cm/pixel dengan ketelitian horizontal CE90 sebesar 0,027 m dan DTM beresolusi 3,39 cm/pixel dengan ketelitian vertikal LE90 sebesar 0,030 m. Estimasi volume pada area 3.670 m² memiliki ketelitian $\pm 110,1$ m³, sedangkan perbandingan DTM UAV terhadap DEMNAS menunjukkan selisih 13.355,72 m³ (ketelitian relatif 0,82%).

Abstract: The Earth's surface continuously changes due to natural processes and human activities such as mining, construction, land reclamation, landslides, and erosion. These changes leave traces in the form of excavated, displaced, or accumulated materials, making volume estimation essential for assessing environmental impacts. This study aims to produce high-accuracy elevation models and orthophotos through the integration of static GNSS and UAV-based photogrammetry using the *Structure from Motion* (SfM) method, as well as to evaluate the use of DEMNAS as a reference surface in estimating land surface volume changes. Four ground control points were established using static GNSS observations for 1 hour (1 Hz interval), achieving an average accuracy of 8 mm (*Northing*), 10 mm (*Easting*), and 3.7 mm (*Elevation*). These points were used as references for *Ground Control Points* (GCP) and *Independent Check Points* (ICP). Aerial photos were processed using Agisoft Metashape with the *Cloth Simulation Filtering* (CSF) algorithm for ground surface extraction. The results include an orthophoto with a 2.05 cm/pixel resolution and horizontal accuracy (CE90) of 0.027 m, and a DTM with a 3.39 cm/pixel resolution and vertical accuracy (LE90) of 0.030 m. Volume estimation over a 3,670 m² area achieved an accuracy of ± 110.1 m³, while comparison between UAV-derived DTM and DEMNAS showed a volume difference of 13,355.72 m³ with a relative accuracy of 0.82%.

How to Cite:

Budiyo, A. S. P. (2025). Analisis Perubahan Volume Lahan Pasca Kegiatan Galian Berbasis UAV dengan Evaluasi DEMNAS sebagai Permukaan Awal. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 5(2), 87-97. <https://doi.org/10.31315/imagi.v5i2.14913>.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bentuk permukaan bumi akan mengalami perububahan karena proses yang disebabkan oleh alam dan aktivitas manusia seperti penambangan, pembangunan infrastruktur, reklamasi lahan, maupun bencana alam seperti longsor dan erosi. Seluruh proses tersebut selalu meninggalkan jejak berupa material yang digali, dipindahkan, atau ditimbun serta menghasilkan bentuk lahan dan lingkungan yang sudah berubah bahkan mengalami kerusakan. Untuk menghitung tingkat kerusakan lingkungan, membantu dalam perencanaan reklamasi, dan sebagai dasar hukum untuk mengawasi aktivitas pertambangan, mengetahui volume material yang berubah sangat penting. Menurut (Aji & Djurdjani, 2022) dalam studi terbarunya menunjukkan bahwa fotogrametri berbasis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dapat digunakan untuk melacak progres galian tambang dengan waktu pemrosesan yang relatif cepat dan dengan akurasi yang cukup baik. Penemuan ini sejalan dengan penelitian internasional yang menunjukkan bahwa fotogrametri UAV efektif untuk mengestimasi volume galian pada tambang terbuka (Eltner dkk., 2016, Carvajal et al., 2012).

Perhitungan volume biasanya dilakukan dengan membandingkan permukaan "sebelum" dan "sesudah". Selisih ketinggian antar permukaan yang dikalikan dengan luas area menghasilkan estimasi volume material yang hilang maupun bertambah. Ketika data permukaan awal, atau permukaan awal, tidak tersedia, masalah muncul. Dalam kasus seperti itu, cara lain untuk memperkirakan kondisi awal dibutuhkan. *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS), yang terdiri dari berbagai data penginderaan jauh (IFSAR, TERRASAR-X, ALOS PALSAR) dengan resolusi spasial $\pm 8,25$ m, dapat digunakan untuk pemetaan skala menengah, analisis hidrologi, dan estimasi volume (Susetyo dkk., 2018). Penelitian internasional juga menunjukkan bahwa DEM nasional dengan resolusi menengah dapat menjadi data alternatif jika data survei terestris tidak tersedia (Gesch, 2014; Hawker et al., 2018).

Dalam kajian topografi, terdapat beberapa istilah yang merujuk pada model elevasi, seperti *Digital Surface Model* (DSM) yang menggambarkan permukaan Bumi beserta objek di permukaan seperti gedung dan tumbuhan, *Digital Terrain Model* (DTM) yang menunjukkan permukaan tanah yang bersih tanpa objek di atasnya, dan *Digital Elevation Model* (DEM) yang merupakan istilah umum yang mencakup DSM dan DTM. DEMNAS termasuk dalam kategori DEM/DTM karena menggambarkan bentuk permukaan tanah. Uji coba DEMNAS di sejumlah pulau kecil di Indonesia menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik jika dibandingkan dengan data UAV + GCP (Mutaqin dkk., 2023). Penelitian internasional juga menunjukkan hal yang sama, di mana penggabungan DEM satelit dengan UAV dapat memperbaiki representasi permukaan untuk analisis geomorfologi (Purinton dan Bookhagen, 2017; Leitão dkk., 2016).

Pengumpulan data permukaan bumi untuk menghitung volume dapat dilakukan dengan berbagai metode salah satunya dengan survei terestris yang memanfaatkan total station atau terrestrial laser scanner memiliki akurasi sangat baik, tetapi memerlukan waktu yang lama dan biaya yang cukup tinggi. Sementara itu, survei *Global Navigation Satellite System* (GNSS) dapat memberikan data titik presisi, tetapi kurang efisien untuk area yang lebih luas. Di sisi lain, teknik fotogrametri menggunakan UAV dapat dilakukan lebih cepat, mencakup wilayah yang lebih besar, dan memberikan data berkualitas tinggi dengan akurasi yang dapat dipertanggungjawabkan, khususnya jika dilengkapi dengan *Ground Control Point* (GCP) yang memadai. Beberapa penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa UAV dengan biaya rendah dapat menghasilkan pengukuran *volume cut and fill* yang sangat akurat untuk proyek-proyek sipil (Fikri Musoffa dkk., 2021; Aji dan Djurdjani, 2022)). Penelitian internasional juga mengindikasikan bahwa fotogrametri UAV merupakan teknik yang efektif untuk memperkirakan volume material di area pertambangan dan konstruksi (Ajayi dan Ajulo, 2021; D'Oleire-Oltmanns dkk., 2012).

Perhitungan volume dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah menggunakan metode *Triangulated Irregular Network* (TIN). Metode ini memiliki keunggulan dibandingkan grid sederhana, khususnya pada daerah yang memiliki variasi topografi yang bervariasi dan ekstrim, karena dapat menggambarkan bentuk permukaan dengan lebih detail. Sebuah penelitian di Indonesia membandingkan metode TIN dengan grid sederhana dalam pemetaan *cut and fill*, dan hasilnya menunjukkan bahwa TIN memiliki akurasi yang lebih tinggi (A. R. Lama dkk., 2019). Penegasan serupa juga ditemukan dalam penelitian internasional, di mana TIN dianggap lebih efektif dalam menghitung

volume di wilayah dengan perbedaan topografi yang ekstensif (Lee & Lee, 2022; Xiao dkk., 2013; Yilmaz, 2018)

Berdasarkan penjelasan tersebut, studi ini memiliki tujuan untuk menilai kemungkinan pemanfaatan UAV dalam menciptakan DTM berkualitas tinggi guna menghitung volume perubahan lahan, menilai penggunaan DEMNAS sebagai data permukaan dasar saat data asli tidak ada, serta mengembangkan metode yang efisien, representatif, dan dapat diulang untuk memperkirakan volume perubahan lahan, sehingga dapat diterapkan dalam pengawasan lingkungan, rekayasa lahan, atau penanggulangan bencana.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada area galian yang berlokasi di pada tahun 2025. Data utama yang digunakan berupa foto udara hasil akuisisi menggunakan wahana UAV DJI Phantom 4 Pro yang dilengkapi sensor kamera beresolusi 20 MP dengan ukuran sensor 1 inch. Selain itu, digunakan pula titik kendali berupa 5 GCP dan 5 Independent Check Point (ICP) yang diukur menggunakan metode statik radial dengan alat GNSS Geodetik. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini meliputi Agisoft Metashape untuk pengolahan foto udara, CloudCompare untuk *filtering* pada *point cloud*, serta AutoCAD Civil 3D untuk perhitungan volume.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Penelitian ini menggunakan studi kasus berdasarkan data foto udara drone. Data tersebut dianalisis secara sistemik dan dilakukan evaluasi.

2.1 Alat & Bahan

Alat yang digunakan untuk pengambilan data dalam penelitian ini terdiri dari :

1. DJI Phantom 4 Pro, digunakan untuk akuisisi foto udara
2. GNSS CHCNav i50, untuk akuisisi ICP dan GCP

Bahan yang digunakan untuk pengambilan data dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Citra DEMNAS, digunakan sebagai data *original surface*. Data DEMNAS yang digunakan sebagai acuan untuk membandingkan hasil perhitungan volume.

Software yang digunakan untuk pengolahan data dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Microsoft Excel
2. Agisoft Metashape
3. CloudCompare
4. AutoCAD Civil 3D

2.2 Metode

Fotogrametri adalah ilmu, pengetahuan, dan teknik untuk mendapatkan informasi yang akurat tentang objek fisik dan lingkungan. Ini dilakukan dengan merekam, mengukur, dan memahami gambar foto serta pola radiasi energi yang tertangkap (Wolf, 1989) Dari penjelasan ini, ada dua hal penting, yaitu ukuran benda (kuantitatif) dan jenis benda (kualitatif). Kedua hal ini kemudian menjadi cabang-cabang fotogrametri, yaitu fotogrametri yang berfokus pada ukuran dan fotogrametri yang berfokus pada pemahaman.

Foto udara adalah foto yang didapat dari survei udara yaitu melakukan pemotretan lewat udara pada daerah tertentu dengan aturan fotogrametri tertentu. Akuisisi foto udara dilakukan dengan menerbangkan UAV DJI Phantom 4 Pro pada ketinggian 150 meter dengan pengaturan *sidelap* sebesar 80% dan *overlap* sebesar 70%. Pengaturan *sidelap* dan *overlap* yang memadai diperlukan agar model tiga dimensi yang dihasilkan memiliki ketelitian tinggi (Rufe, 2014). Khusus pada area tebing, akuisisi foto udara dilakukan dengan metode oblique agar bidang tegak dapat terekam dengan baik (Abdullah dkk, 2015). Data foto udara yang diperoleh selanjutnya dipadukan dengan data GCP sebagai acuan koreksi georeferensi dan ICP sebagai titik uji ketelitian.

Akuisisi GCP dan ICP dilakukan dengan metode statik radial menggunakan GNSS Geodetik. Lama pengamatan di setiap titik adalah 15 menit sehingga diperoleh ketelitian yang sesuai standar. Hasil pengamatan GNSS diolah untuk memperoleh koordinat tiga dimensi. Evaluasi ketelitian dilakukan dengan menghitung parameter Circular Error 90% (CE90) untuk arah horizontal dan Linear Error 90% (LE90) untuk arah vertikal.

Nilai CE90 dan LE90 dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$CE90 = 1,5175 \times RMSE_{XY} \quad (1)$$

$$LE90 = 1,6449 \times RMSE_Z \quad (2)$$

Perhitungan ini mengacu pada standar akurasi yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG, 2014) dan pedoman ASPRS Positional Accuracy Standards (Abdullah dkk, 2015).

Foto udara yang telah terakuisisi selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape untuk menghasilkan point cloud. Point cloud yang dihasilkan kemudian difilter untuk memisahkan titik tanah (*ground point*) dengan metode *Cloth Simulation Filter* (CSF) pada perangkat lunak CloudCompare. Proses *ground filtering* ini penting agar objek non-permanen seperti vegetasi tidak mengganggu pembentukan DTM (Zhang dkk, 2018). DTM yang dihasilkan merepresentasikan permukaan tanah sebenarnya sehingga sesuai digunakan untuk analisis topografi dan perhitungan volume.

Tahap akhir dari penelitian adalah perhitungan volume. DTM yang telah diperoleh diimpor ke dalam perangkat lunak AutoCAD Civil 3D untuk dibangun menjadi permukaan dengan metode TIN. Perhitungan volume dilakukan dengan membandingkan dua permukaan, yaitu permukaan awal (*origin*) dan permukaan hasil pengukuran terkini. Selisih antara kedua permukaan tersebut memberikan besaran volume galian maupun timbunan yang terjadi pada area penelitian (Cheng dkk, 2017).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Akuisisi GCP dan ICP

Dalam kegiatan ini, penentuan titik ikat dilakukan karena jarak terhadap *Continuously Operating Reference Station* (CORS) melebihi 10 km sehingga diperlukan titik referensi baru dengan ketelitian tinggi. Akuisisi titik ikat dilaksanakan menggunakan metode jaring statik GNSS dengan lama pengamatan selama 1 jam dan interval pencatatan 1 Hz. Hasil pengolahan menunjukkan empat titik ikat dengan ketelitian rata-rata sebesar 8 mm pada arah Northing, 10 mm pada arah Easting, dan 3,7 mm pada elevasi. Sistem koordinat yang digunakan adalah *Universal Transverse Mercator* (UTM) Zona 49S dengan model Geoid EGM2008, serta titik ikat CORS Magetan (CMAG) dan CORS Tulungagung (CTUL). Nilai ketelitian tersebut menunjukkan bahwa metode jaring mampu menghasilkan koordinat referensi yang stabil sehingga layak dijadikan titik dasar pengukuran. Selain itu, titik ikat ini juga digunakan sebagai acuan dalam penentuan GCP pada foto udara.

Tabel 1. Daftar Koordinat GCP

Point ID	North(m)	North Err.(m)	East(m)	East Err.(m)	Elev.(m)	Elev. Err.(m)
GCP03	9134469.4917	0.0076	559327.5795	0.0092	163.7038	0.0033
GCP02	9134594.5974	0.0084	559341.8997	0.0108	165.7146	0.0057
GCP04	9134532.2860	0.0080	559204.3484	0.0097	158.9289	0.0019
GCP01	9134466.0525	0.0080	559204.4333	0.0101	157.8350	0.0039



Gambar 1. Sebaran Titik GCP
(Sumber: Data hasil pengolahan, 2025)

Berdasarkan titik BM yang telah diperoleh, selanjutnya dilakukan akuisisi GCP & ICP menggunakan metode statik dengan lama pengamatan 15 menit per titik. Hasil pengolahan menunjukkan rerata ketelitian sebesar 10,1 mm pada *Easting*, 8,6 mm pada *Northing*, dan 2,6 mm pada elevasi. Nilai ketelitian tersebut memenuhi standar akurasi pemetaan skala besar, sehingga GCP dapat digunakan untuk proses georeferensi ortofoto maupun model elevasi, sementara ICP berfungsi sebagai titik validasi independen terhadap hasil pemetaan.

Tabel 2. Daftar Koordinat ICP

Point ID	North(m)	North Err.(m)	East(m)	East Err.(m)	Elev.(m)	Elev. Err.(m)
GCP05	9134547127	0.0088	559296192	0.0101	161906	0.0028
GCP06	9134525068	0.0088	559256145	0.0102	158239	0.0027
ICP04	9134509902	0.0084	559208331	0.0100	158094	0.0024
ICP01	9134526062	0.0084	559341154	0.0100	164190	0.0024
ICP05	9134508211	0.0085	559306854	0.0102	162262	0.0026
ICP02	9134547699	0.0088	559327029	0.0102	163972	0.0029
ICP03	9134536045	0.0087	559233607	0.0103	158033	0.0029
ICP06	9134497879	0.0087	559243522	0.0104	152886	0.0028



Gambar 2. Konfigurasi jaring koordinat BM serta sebaran titik GCP dan ICP pada area penelitian.
(Sumber: Data hasil pengolahan, 2025)

3.2. Hasil Foto udara (*Orthophoto*)

Pengolahan foto udara dengan metode *Structure from Motion (SfM)* menggunakan perangkat lunak Agisoft menghasilkan produk *orthophoto* dengan resolusi spasial (*Ground Sampling Distance/GSD*) sebesar 2,05 cm/pixel dan ketelitian horizontal sebesar $CE90 = 0,027$ m. Nilai $CE90$ tersebut menunjukkan bahwa 90% titik pada *orthophoto* berada dalam radius 0,027 m dari posisi sebenarnya, sehingga akurasi horizontal yang dicapai sudah sesuai dengan standar pemetaan skala besar. Ketelitian ini dipengaruhi oleh kualitas sebaran GCP serta konfigurasi akuisisi foto udara (*overlap*, *sidelap*, dan sudut pemotretan). Resolusi GSD yang diperoleh memungkinkan identifikasi objek berukuran kecil di lapangan, sehingga *orthophoto* yang dihasilkan memiliki potensi tinggi untuk digunakan dalam analisis spasial detail. Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Liu dkk (2020), yang menunjukkan bahwa penggunaan SfM pada Agisoft dengan dukungan GCP yang memadai dapat menghasilkan *orthophoto* berakurasi tinggi. Dengan demikian, integrasi metode SfM dan GCP terbukti efektif dalam menghasilkan produk *orthophoto* yang memenuhi kebutuhan pemetaan detail.



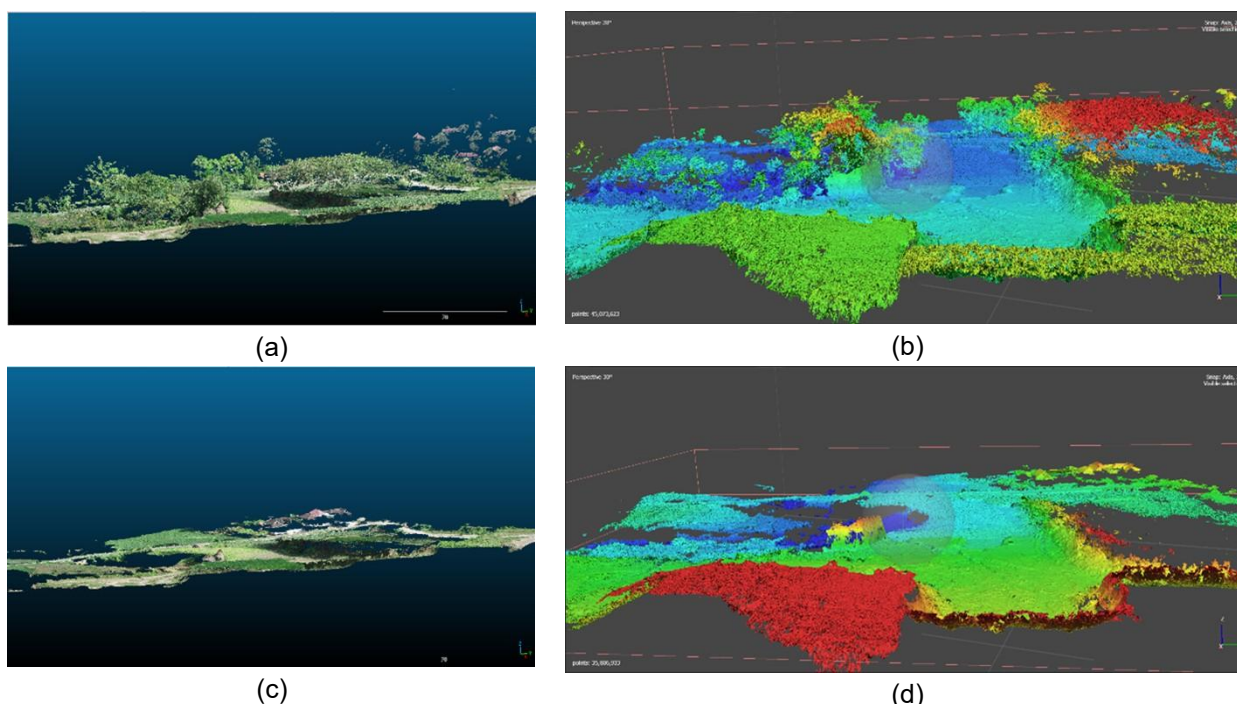
Gambar 3. Hasil ortofoto
(Sumber: Data hasil pengolahan, 2025)

Tabel 3. Hasil Ketelitian Foto Udara

Number of images	: 96	Camera stations	: 96
Flying altitude	: 81.7	Tie points	: 142,953
Ground resolution	: 2.05 cm/pix	Projections	: 407,062
Coverage area	: 0.0889 km ²	Reprojection error	: 0.498 pix

3.3. Hasil *Digital Terrain Model (DTM)* dari Ground

Proses pembuatan DTM dari data foto udara dilakukan melalui pengolahan data *point cloud* hasil pemodelan *Structure from Motion*. Tahap awal berupa segmentasi area penelitian berdasarkan kondisi morfologi, yaitu area landai, terjal, dan vegetasi rapat, untuk memudahkan proses pemisahan titik tanah. Dari *point cloud* tersebut kemudian dilakukan pemilahan titik tanah (*ground point*) dengan metode CSF) menggunakan perangkat lunak Cloud Compare. Sebelum filter otomatis dijalankan, dilakukan penyaringan manual pada area-area dengan tutupan vegetasi rapat untuk mengurangi kemungkinan salah klasifikasi. Selanjutnya, CSF diterapkan secara otomatis untuk menyaring *ground point*, kemudian hasilnya diverifikasi melalui pengecekan visual dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah filter.



Gambar 4. Hasil filter ground point metode CSF, (a) dan (c) sebelum filter, (b) dan (d) sesudah filter
(Sumber: Data hasil pengolahan, 2025)

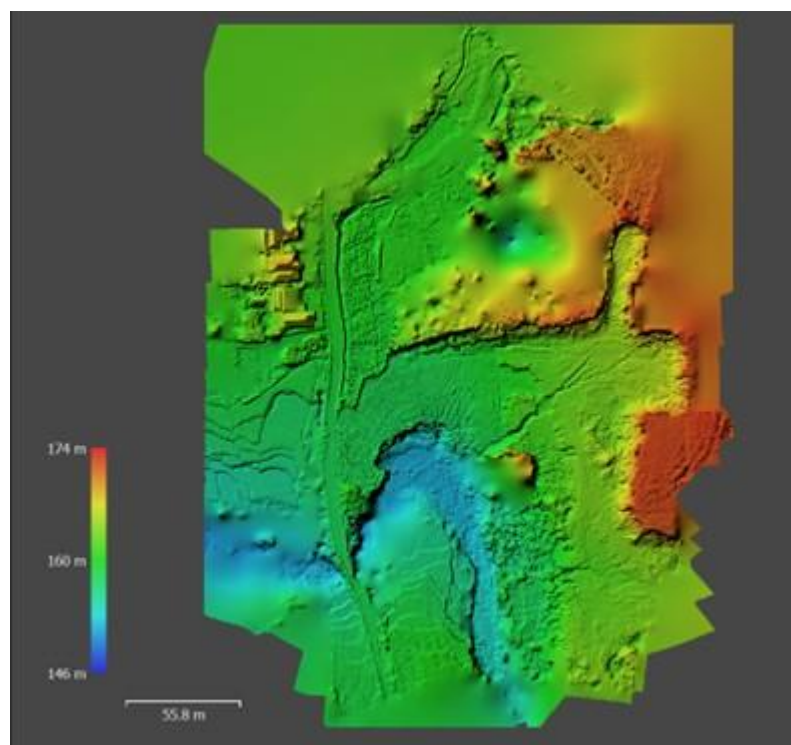
Hasil filter menunjukkan bahwa titik tanah berhasil terpisahkan secara konsisten dari titik non-tanah (vegetasi dan bangunan), di mana perbedaan distribusi titik sebelum dan sesudah filter dapat diamati dengan jelas. *Ground point* yang dihasilkan kemudian digunakan untuk membangun DTM resolusi 3,39 cm/pixel, yang merepresentasikan permukaan tanah aktual tanpa objek di atasnya. Evaluasi ketelitian DTM dilakukan dengan membandingkan posisi vertikal model dengan titik uji lapangan ICP. Hasil analisis menunjukkan nilai ketelitian vertikal dengan $LE90 = 0,03$ m, yang berarti 90% titik DTM berada dalam selisih 0,03 m dari elevasi sebenarnya. Nilai tersebut berada dalam kisaran standar akurasi pemetaan skala besar dan sejalan dengan penelitian sebelumnya, misalnya (Cai dkk, 2018), yang melaporkan efektivitas CSF dalam menghasilkan *ground point* berkualitas tinggi pada area dengan topografi bervariasi.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Ketelitian Geometri (Ketelitian Horizontal)

No	Kode Titik	Hasil Orthophoto		Hasil Akuisisi Lapangan		dE (m)	dN (m)	dE2+dN2
		E	N	E	N			
1	ICP01	559208,34	9134509,91	559208,33	9134509,90	0,006	0,004	0,0000582
2	ICP02	559341,14	9134526,06	559341,15	9134526,06	-0,012	-0,003	0,0001488
3	ICP03	559306,85	9134508,19	559306,85	9134508,21	-0,005	-0,017	0,0003275
4	ICP04	559326,99	9134547,70	559327,03	9134547,69	-0,034	0,001	0,0011848
5	ICP05	559233,62	9134536,03	559233,60	9134536,04	0,011	-0,009	0,0002143
6	ICP06	559243,53	9134497,87	559243,52	9134497,88	0,005	-0,004	0,0000394
Jumlah								0,0019731
Rata-rata								0,0003289
RMSE								0,018134
CE90								0,027519

Tabel 5. Hasil ketelitian vertikal

Station_ID	Elev_m_	Elev_DTM	d_Elev	d_Elev^2
ICP01	158,1491	158,1689	-0,01975	0,000390
ICP02	164,1490	164,1480	0,00096	0,000001
ICP03	162,2459	162,2588	-0,01287	0,000166
ICP04	163,9449	163,9429	0,00198	0,000004
ICP05	158,0587	158,0784	-0,01964	0,000386
ICP06	152,8723	152,9049	-0,03268	0,001068
Jumlah				0,002014
Rata-Rata				0,000336
RMSE				0,018321
LE90				0,030227



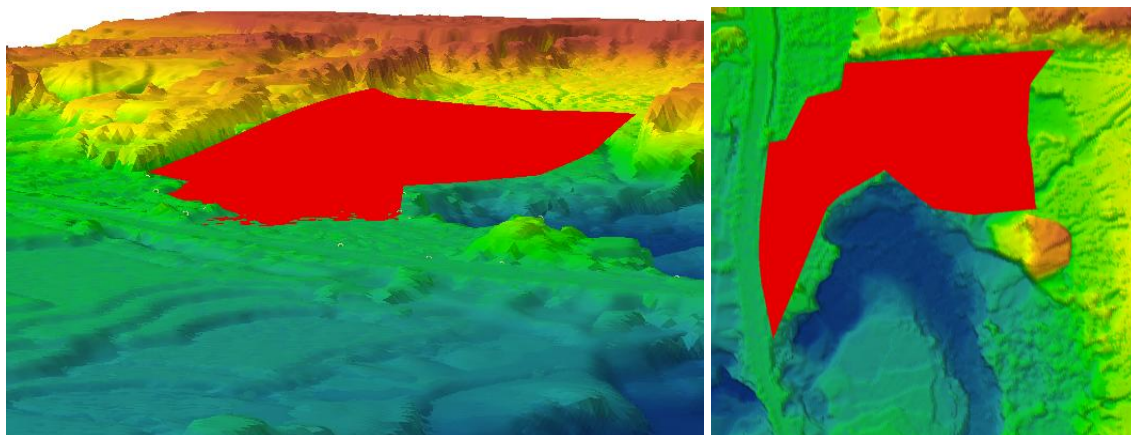
Gambar 5. Hasil pengolahan *ground point* dengan metode CSF
(Sumber: Data hasil pengolahan, 2025)

3.4. Hasil Penghitungan Volume dengan Data Origin DEMNAS.

Penghitungan volume dilakukan dengan membandingkan permukaan DTM yang diperoleh dari DEMNAS dengan DTM hasil pengolahan foto udara menggunakan metode *SfM*. Kedua model elevasi terlebih dahulu disamakan sistem koordinatnya dan dilakukan pengecekan konsistensi elevasi pada titik uji. Setelah itu, kedua DTM diimpor ke dalam perangkat lunak AutoCAD Civil 3D untuk proses analisis volume.

Pada proses perhitungan, DTM DEMNAS digunakan sebagai permukaan dasar (*base surface*), sedangkan DTM hasil foto udara digunakan sebagai permukaan perbandingan (*comparison surface*). Selisih elevasi antara kedua permukaan dihitung secara sel grid, kemudian hasilnya diintegrasikan untuk memperoleh nilai volume *cut* dan *fill*.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa volume perbedaan antara DTM DEMNAS dan DTM foto udara sebesar 13355.72 m³ galian, dengan rincian galian sebesar 13480.04 m³ dan timbunan sebesar 124.32 m³. Nilai ini menggambarkan besarnya material yang hilang atau bertambah di area penelitian. Perbedaan ini disebabkan oleh resolusi data yang berbeda, di mana DEMNAS memiliki resolusi spasial sekitar 8–10 meter, sementara DTM foto udara memiliki resolusi lebih detail (3,74 cm/pixel), sehingga mampu merepresentasikan variasi topografi kecil dengan lebih akurat.



Gambar 6. Overlay Area Perhitungan *Cut and Fill* (Merah) dengan DTM Foto
(Sumber: Data hasil pengolahan, 2025)

Dalam penelitian ini, akurasi hasil perhitungan volume dievaluasi melalui pendekatan ketidakpastian volume. Pendekatan ini digunakan untuk mengukur tingkat keandalan hasil estimasi volume yang diperoleh, dengan menggunakan rumus sebagai berikut. Untuk akurasi perhitungan volume menggunakan rumus ketidakpastian volume sebagai berikut

$$\Delta V = A \times LE_{90}$$

Dimana:

ΔV = ketidakpastian volume (m³)

A = luas area (m²)

LE 90 = ketelitian vertikal (m) pada tingkat kepercayaan 90%

Berdasarkan hasil pengukuran, luas area diketahui sebesar 3.670 m² dan nilai ketelitian vertikal (LE90) sebesar 0,030 m. Dengan demikian, diperoleh ketidakpastian volume sebagai berikut:

$$\Delta V = 3,670 \times 0,030 = 110,10 \text{ m}^3$$

Hasil ini menunjukkan bahwa estimasi volume memiliki ketelitian sebesar $\pm 110,1 \text{ m}^3$, yang berarti terdapat potensi deviasi volume sebesar nilai tersebut akibat ketidakpastian vertikal data elevasi. Perbandingan antara DTM hasil foto udara dan DEMNAS menunjukkan selisih volume sebesar 13.355,72 m³. Dengan demikian, ketelitian volume relatif terhadap volume selisih tersebut adalah:

$$110,1 : 13.355,72 \times 100\% = 0,82\%$$

Nilai ini menunjukkan bahwa tingkat ketelitian perhitungan volume berada pada kisaran 0,82%, yang tergolong sangat baik untuk skala pemetaan teknis. Perbedaan volume ini terutama disebabkan oleh variasi resolusi spasial dan kemampuan representasi mikro-topografi antar model elevasi.

Tabel 6. Hasil perhitungan volume menggunakan data DTM foto udara

DTM Foto Udara	
Galian	: 13480.04 m ³
Timbunan	: 124.32 m ³
Resolusi	: 3,74 cm/pixel
Ketelitian	: 110,1 m ³

4. KESIMPULAN

Kegiatan akuisisi data dengan metode GNSS statik dan pengolahan foto udara berbasis Structure from Motion (SfM) terbukti mampu menghasilkan data spasial berketelitian tinggi. Penentuan titik ikat dengan metode jaring menghasilkan ketelitian horizontal di bawah 1 cm dan vertikal sekitar 4 mm, memenuhi standar pemetaan skala besar. Hasil pengolahan foto udara menghasilkan orthophoto dengan ketelitian horizontal (CE90) 2,7 cm dan DTM dengan ketelitian vertikal (LE90) 3 cm, menunjukkan kualitas yang sangat baik untuk analisis detail.

Hasil analisis menunjukkan bahwa ketelitian volume pada area seluas 3.670 m² dengan nilai LE90 sebesar 0,030 m mencapai $\pm 110,1$ m³. Perbandingan antara DTM hasil foto udara dan DEMNAS menghasilkan selisih volume sebesar 13.355,72 m³ dengan tingkat ketelitian relatif 0,82%, yang menunjukkan akurasi perhitungan volume tergolong sangat baik. Perbedaan volume ini terutama disebabkan oleh variasi resolusi spasial dan kemampuan representasi mikro-topografi, sehingga integrasi metode GNSS, fotogrametri berbasis Structure from Motion (SfM), dan analisis DTM dinilai efektif dan andal untuk pemetaan detail, analisis morfometri, serta perhitungan volume pada skala teknis maupun rekayasa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim pengukuran dan penyedia data yang menjadi acuan penting dalam validasi hasil penelitian ini. Penulis turut berterima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan teknis maupun akademik selama proses penyusunan penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Daftar Pustaka

- Abdullah, Q., Maune, D., Smith, D., & Heidemann, H. K. (2015). ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 81, 1-26.
- Ajayi, O. G., & Ajulo, J. (2021). Investigating the Applicability of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Photogrammetry for the Estimation of the Volume of Stockpiles. *Quaestiones Geographicae*, 40(1), 25–38. <https://doi.org/10.2478/quageo-2021-0002>
- Aji, A. R. S., & Djurdjani, D.-. (2022). Perbandingan Volume Stockpile Batu Bara Hasil UAV Fotogrametri dan UAV Lidar. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 5(2), 70. <https://doi.org/10.22146/jgise.78295>
- Badan Informasi Geospasial (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. *Cibinong: Badan Informasi Geospasial*.
- Cai, S., Zhao, X., Zhang, W., & Chen, Y. (2018). Applicability analysis of cloth simulation filtering algorithm for mobile LiDAR point cloud. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3, 107–112. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-107-2018>
- Carvajal, F., Agüera, F., & Pérez, M. (2012). Surveying a Landslide in a Road Embankment Using Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-1/(September), 201–206. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xxxviii-1-c22-201-2011>
- Cheng, H., Yamamoto, H., Thoeni, K., & Wu, Y. (2017). An analytical solution for geotextile-wrapped soil based on insights from DEM analysis. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(4), 361-376.
- D'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. D., & Ries, J. B. (2012). Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4(11), 3390–3416. <https://doi.org/10.3390/rs4113390>

- Eltner, A., Kaiser, A., Castillo, C., Rock, G., Neugirg, F., & Abellán, A. (2016). Image-based surface reconstruction in geomorphometry-merits, limits and developments. *Earth Surface Dynamics*, 4(2), 359–389. <https://doi.org/10.5194/esurf-4-359-2016>
- Musoffa, M. F., Sukmono, A., & Ulum, Z. (2021). Kajian Pemanfaatan Metode Fotogrametri Dengan UAV Low Cost Untuk Pekerjaan Cut And Fill Pada Pembangunan Bandara Dhoho Kabupaten Kediri. In *Prosiding Forum Ilmiah Tahunan (FIT)-Ikatan Surveyor Indonesia (ISI)* (Vol. 1, pp. 332-339). Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Gesch, D. B. (2014). An inventory of topographic surface changes: The value of multitemporal elevation data for change analysis and monitoring. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(4), 59–63. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-59-2014>
- Hawker, L., Bates, P., Neal, J., & Rougier, J. (2018). Perspectives on Digital Elevation Model (DEM) Simulation for Flood Modeling in the Absence of a High-Accuracy Open Access Global DEM. *Frontiers in Earth Science*, 6(December), 1–9. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00233>
- Lama, A. R., Sai, S. S., & Maburur, A. Y. (2018). Analisis Ketelitian Perhitungan Volume Galian Menggunakan Data Gridding Dan Tanpa Gridding Pada Pekerjaan Bendungan. *Malang: Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Institut Teknologi Nasional Malang*.
- Lee, K., & Lee, W. H. (2022). Earthwork Volume Calculation, 3D Model Generation, and Comparative Evaluation Using Vertical and High-Oblique Images Acquired by Unmanned Aerial Vehicles. *Aerospace*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/aerospace9100606>
- Leitão, J. P., Moy De Vitry, M., Scheidegger, A., & Rieckermann, J. (2016). Assessing the quality of digital elevation models obtained from mini unmanned aerial vehicles for overland flow modelling in urban areas. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4), 1637–1653. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1637-2016>
- Liu, H., Cheng, M., & Li, L. (2020). The influence of image properties on high-detail SfM photogrammetric surveys of complex geometric landforms: The application of a consumer-grade UAV camera in a rock glacier survey. *Remote Sensing*, 14(15), 3528. <https://doi.org/10.3390/rs14153528>
- Mutaqin, B. W., Isnain, M. N., Marfai, M. A., Fatchurohman, H., Quesada-Román, A., & Khakhim, N. (2023). Assessing the accuracy of open-source digital elevation models for the geomorphological analysis of very small islands of Indonesia. *Applied Geomatics*, 15(4), 957–974. <https://doi.org/10.1007/s12518-023-00533-8>
- Purinton, B., & Bookhagen, B. (2017). Validation of digital elevation models (DEMs) and comparison of geomorphic metrics on the southern Central Andean Plateau. *Earth Surface Dynamics*, 5(2), 211–237. <https://doi.org/10.5194/esurf-5-211-2017>
- Rufe, P. P. (2014). *Digital orthoimagery base specification V1. 0* (No. 11-B5). US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/tm11B5>
- Susetyo, D. B., Lumban-Gaol, Y. A., & Sofian, I. (2018). Prototype of national digital elevation model in Indonesia. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4), 687–692. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-609-2018>
- Wolf, P. R., DeWitt, B. A., & Wilkinson, B. E. (1989). *Elements of photogrammetry with interpretations and applications* (2nd ed.). McGraw Hill LLC. <https://books.google.co.id/books?id=bCx5rmWMHyAC>
- Xiao, X., Weiping, X., Qing, Z., Yeting, Z., & Zhiqiang, D. (2013). Integration method of TINs and Grids for multi-resolution surface modeling. *Geo-Spatial Information Science*, 16(1), 61–68. <https://doi.org/10.1080/10095020.2013.774109>
- Yilmaz, N. (2018). *Volume Calculation Through Using Digital Elevation Models Created By Different Interpolation Methods*.
- Zhang, Z., Gerke, M., Vosselman, G., & Yang, M. Y. (2018). Filtering photogrammetric point clouds using standard LiDAR filters towards DTM generation. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 319-326.