

# Evaluasi Pendekatan Hybrid Dalam Pengukuran Volume *Stockpile* Batubara Menggunakan UAV, GNSS RTK dan Total Station

Muhammad Hafidh Rifqi Maulana, Henri Kuncoro\*

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung

\*Koresponden email: henrikuncoro@itenas.ac.id

Diterima: 1 September 2025

Disetujui: 5 September 2025

## Abstract

The measurement of coal stockpile volumes is essential for production planning, reserve reporting, and logistics management in mining operations. Conventional methods such as GNSS RTK and Total Station provide high accuracy but are less efficient in challenging terrains. As an alternative, UAV-based photogrammetry offers faster and safer surveys, although its accuracy is influenced by Ground Control Point (GCP) configuration and lighting conditions. This study evaluates a hybrid approach that combines UAV, GNSS RTK, and Total Station for stockpile volume measurement at the Kotabaru Site, South Kalimantan. Two measurement sessions were conducted: UAV compared with GNSS RTK in the first survey and UAV compared with Total Station in the second. The evaluation was based on volume results, coordinate accuracy (X, Y, Z), and operational efficiency using RMSE, MAE, volume deviation, survey duration, manpower, and safety risk parameters. The results showed that UAV yielded a volume deviation of  $-1.19\%$  compared to GNSS RTK and  $-1.13\%$  compared to Total Station, with an average RMSE of 1.73 cm and 1.33 cm, respectively. In terms of efficiency, UAV outperformed in both time and manpower requirements. Therefore, the hybrid approach is recommended as an optimal method for stockpile volume measurement in open-pit mining areas.

**Keywords:** *uav, gnss rtk, total station, stockpile volume, hybrid approach*

## Abstrak

Pengukuran volume stockpile batubara sangat penting untuk perencanaan produksi, pelaporan cadangan, dan pengendalian logistik tambang. Metode konvensional seperti GNSS RTK dan Total Station memiliki akurasi tinggi, namun kurang efisien di medan sulit. Sebagai alternatif, fotogrametri berbasis UAV menawarkan kecepatan dan keamanan lebih baik, meski akurasinya dipengaruhi konfigurasi Ground Control Point (GCP) dan pencahayaan. Penelitian ini mengevaluasi pendekatan hybrid dengan menggabungkan UAV, GNSS RTK, dan Total Station dalam pengukuran volume stockpile di Site Kotabaru, Kalimantan Selatan. Pengukuran dilakukan dua kali: UAV dibandingkan GNSS RTK pada pengukuran pertama dan dibandingkan Total Station pada pengukuran kedua. Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil volume, akurasi koordinat (X, Y, Z), serta efisiensi operasional menggunakan parameter RMSE, MAE, deviasi volume, durasi survei, jumlah personel, dan risiko kerja. Hasil menunjukkan UAV menghasilkan deviasi volume  $-1,19\%$  terhadap GNSS RTK dan  $-1,13\%$  terhadap Total Station, dengan RMSE rata-rata 1,73 cm dan 1,33 cm. Dari sisi efisiensi, UAV lebih unggul dalam waktu dan tenaga. Dengan demikian, pendekatan hybrid direkomendasikan sebagai metode optimal untuk pengukuran volume stockpile di area tambang terbuka.

**Kata Kunci:** *uav, gnss rtk, total station, volume stockpile, pendekatan hybrid*

## 1. Pendahuluan

Industri pertambangan batubara memiliki peran penting dalam mendukung ketahanan energi nasional sekaligus memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian. Salah satu aspek krusial dalam operasional pertambangan adalah pengukuran volume stockpile batubara yang berfungsi sebagai dasar dalam pelaporan produksi, perencanaan logistik, serta pengendalian cadangan material. Ketidakakuratan dalam estimasi volume dapat menimbulkan kesalahan inventori, inefisiensi biaya, hingga terganggunya rantai pasok produksi.

Metode konvensional seperti Total Station dan GNSS RTK telah lama digunakan dalam survei geospasial karena menghasilkan data koordinat presisi tinggi [7]. Namun, kedua metode tersebut memiliki keterbatasan, seperti memerlukan waktu yang relatif lama, akses langsung ke permukaan stockpile, serta risiko keselamatan kerja pada area curam atau tidak stabil [8], [15]. Dalam kondisi tambang terbuka yang dinamis, efisiensi waktu dan keselamatan pekerja menjadi faktor utama yang harus diperhatikan.

Sebagai alternatif, teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) berbasis fotogrametri menawarkan pendekatan yang lebih cepat, fleksibel, dan aman. UAV dapat mengakuisisi citra udara resolusi tinggi tanpa kontak langsung dengan permukaan, kemudian diolah menjadi model permukaan digital untuk perhitungan volume [11]. Beberapa studi menunjukkan bahwa UAV mampu menghasilkan deviasi volume yang sangat kecil dibandingkan metode konvensional, misalnya  $-0,67\%$  oleh Arango & Morales [5],  $0,5\%$ – $2\%$  oleh Raeva dkk. [11], dan kurang dari  $3\%$  oleh Tucci dkk. [15]. Penelitian terbaru di Indonesia oleh Fathurrahman dkk. [17] juga menegaskan bahwa UAV fotogrametri mampu meningkatkan efisiensi dengan akurasi yang kompetitif terhadap data perusahaan.

Namun, tidak ada metode tunggal yang ideal untuk semua kondisi lapangan. Pendekatan hybrid melalui kombinasi UAV, GNSS RTK, dan Total Station kini semakin banyak diterapkan untuk mengatasi keterbatasan masing-masing metode. James & Robson [9] menegaskan bahwa integrasi titik kontrol dari GNSS RTK maupun Total Station dapat meminimalkan kesalahan sistematis pada model fotogrametri. Seno Aji & Djurdjani [13] serta Syafique dkk. [14] bahkan menunjukkan bahwa pendekatan hybrid menghasilkan deviasi volume yang sangat kecil, mendekati nilai aktual.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi ketelitian dan efisiensi pendekatan hybrid dalam pengukuran volume stockpile batubara dengan mengombinasikan UAV fotogrametri, GNSS RTK, dan Total Station. Evaluasi mencakup aspek akurasi spasial, deviasi volume, efisiensi operasional, serta tantangan teknis di lapangan, dengan harapan dapat merumuskan pendekatan survei yang lebih optimal, adaptif, dan aplikatif dalam mendukung kegiatan pertambangan modern.

## 2. Metode dan Peralatan

### 2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di salah satu area stockpile aktif milik perusahaan pertambangan batubara yang berlokasi di Site Kotabaru, Kalimantan Selatan. Lokasi ini dipilih karena karakteristiknya yang merepresentasikan kondisi stockpile dinamis dengan material batubara yang mudah berubah bentuk akibat aktivitas loading dan hauling, serta memiliki tingkat aktivitas tambang yang tinggi sehingga relevan untuk menguji akurasi dan efisiensi metode survei [1], [2].

### 2.2 Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif untuk mengevaluasi keakuratan, efisiensi, dan risiko dari tiga metode survei volumetrik: UAV fotogrametri, GNSS RTK, dan Total Station.

Desain penelitian dilakukan secara berpasangan:

- Sesi I: UAV dibandingkan dengan GNSS RTK (1 Mei 2025).
- Sesi II: UAV dibandingkan dengan Total Station (15 Mei 2025).

Pengukuran dilakukan pada area stockpile yang sama dan dibagi ke tiga segmen berdasarkan aktivitas operasional. Tiap metode menghasilkan Digital Surface Model (DSM)/Digital Terrain Model (DTM) untuk perhitungan volume metode cut and fill. Evaluasi meliputi akurasi spasial, deviasi volume, efisiensi operasional, serta identifikasi risiko teknis [3], [4].

### 2.3. Metode Penelitian

Alat dan perangkat lunak yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Daftar Alat dan Perangkat Lunak Penelitian

No	Alat/Bahan	Merek/Tipe	Fungsi Utama
1	UAV (Unmanned Aerial Vehicle)	DJI Mavic 3 Enterprise (M3E)	Akuisisi citra udara untuk pemodelan permukaan
2	GNSS RTK Receiver	Trimble R8	Pengukuran koordinat Ground Control Point (GCP)
3	Total Station	Leica TS07	Pengukuran titik kontur permukaan dan GCP
4	Perangkat lunak fotogrametri	Agisoft Metashape 2023	Pengolahan citra UAV menjadi DSM dan mesh
5	Perangkat lunak pemetaan tambang	Minescape 2023	Pembuatan model digital permukaan dan hitung volume
6	Aplikasi misi penerbangan UAV	DJI Pilot 2	Perencanaan dan pelaksanaan misi terbang otomatis
7	Laptop pengolahan data	Intel i5, RAM 16 GB	Pemrosesan UAV, GNSS, dan Total Station

### 2.3. Prosedur Akuisisi Data

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua sesi pengukuran yang berbeda. Prosedur akuisisi data dilakukan menggunakan tiga metode utama: UAV fotogrametri, GNSS RTK, dan Total Station. Setiap metode menggunakan titik kontrol yang diukur dengan perangkat masing-masing dan tidak saling dipertukarkan sebagai referensi, untuk menjaga independensi hasil pengukuran.

#### 1. UAV Fotogrametri

Akuisisi data dilakukan menggunakan DJI Mavic 3 Enterprise (M3E). Penerbangan dirancang dengan ketinggian 74,5 m dan overlap  $80\% \times 70\%$ . Sebanyak enam Ground Control Point (GCP) diukur menggunakan GNSS RTK dan Total Station, kemudian digunakan untuk koreksi georeferensi pada Agisoft Metashape 2023. Hasil olahan berupa Digital Surface Model (DSM) dan mesh diekspor ke Minescape 2023 untuk perhitungan volume metode cut and fill.

#### 2. GNSS RTK

Pengukuran dilakukan secara kinematik dengan konfigurasi base-rover. GNSS RTK digunakan untuk dua tujuan utama, yaitu (1) mengukur koordinat GCP untuk UAV, dan (2) mengukur titik permukaan stockpile secara menyeluruh sebagai data referensi. Data hasil GNSS RTK dibandingkan dengan hasil UAV pada sesi pertama.

#### 3. Total Station

Total Station digunakan untuk pengukuran titik permukaan dan validasi lokal. Selain itu, instrumen ini juga digunakan untuk pengukuran koordinat GCP. Data titik kontur yang diperoleh diolah menjadi model permukaan di Minescape 2023, lalu dibandingkan dengan hasil UAV pada sesi kedua.

### 2.3. Prosedur Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari UAV, GNSS RTK, dan Total Station diolah menggunakan perangkat lunak untuk menghasilkan model permukaan digital serta perhitungan volume stockpile.

#### 1. Data UAV

Foto udara diproses di Agisoft Metashape 2023 melalui tahapan align photos, dense point cloud, mesh, DSM/DTM, dan orthomosaic. Model spasial diekspor ke Minescape 2023 untuk perhitungan volume cut and fill. Titik GCP hasil GNSS RTK/Total Station digunakan untuk kalibrasi agar meningkatkan akurasi georeferensi.

#### 2. Data GNSS RTK dan Total Station

Titik permukaan hasil pengukuran GNSS RTK dan Total Station diolah menjadi model permukaan digital (triangulated surface) di Minescape 2023. Kedua data ini digunakan sebagai acuan pembandingan terhadap UAV sekaligus sebagai kontrol geometri untuk validasi akurasi koordinat.

### 2.3. Parameter Evaluasi

Evaluasi dilakukan terhadap hasil pengukuran UAV, GNSS RTK, dan Total Station, dengan parameter berikut:

#### 1. Volume Stockpile

Volume dihitung menggunakan metode cut and fill. Hasil perhitungan antar-metode dibandingkan untuk menentukan deviasi persentase (%).

#### 2. Akurasi Spasial (X, Y, Z)

Akurasi koordinat dievaluasi menggunakan UAV terhadap GNSS RTK dan Total Station, dengan parameter statistik:

- Root Mean Square Error (RMSE)
- Mean Absolute Error (MAE)
- Standar Deviasi ( $\sigma$ )

Evaluasi ketelitian spasial mengacu pada ASPRS Positional Accuracy Standards (2014) dengan batas toleransi horizontal  $CE95 \leq 10$  cm dan vertikal  $LE95 \leq 18$  cm.

#### 3. Efisiensi Operasional

Dinilai berdasarkan:

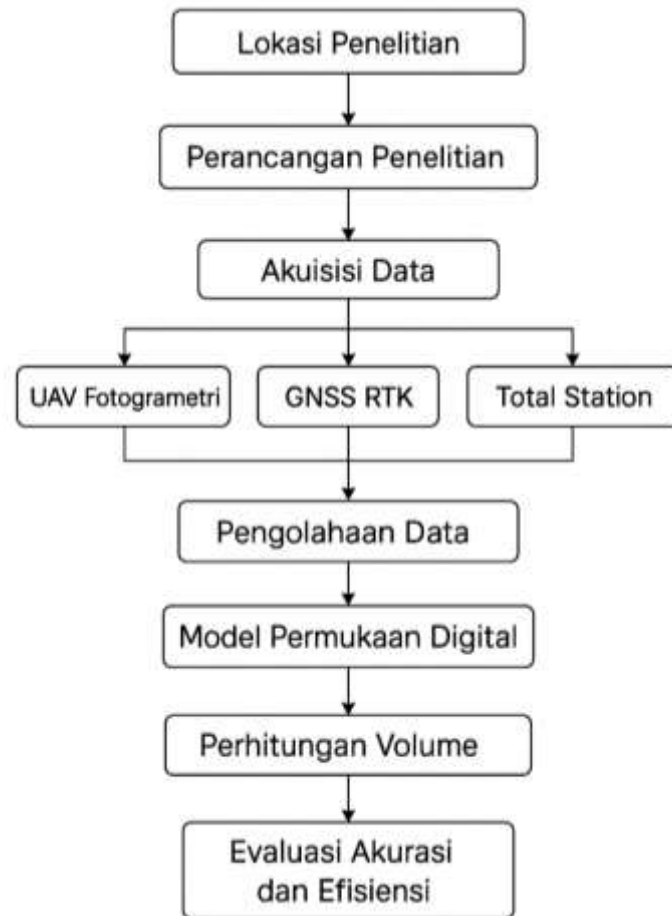
- Durasi pengukuran lapangan
- Jumlah personel yang terlibat
- Lama waktu pemrosesan data

#### 4. Risiko Operasional

Meliputi faktor teknis dan lingkungan, antara lain:

- Cuaca dan pencahayaan (UAV)

- Keterbatasan garis pandang (Total Station)
- Gangguan sinyal satelit (GNSS RTK)
- Aksesibilitas dan kestabilan medan (semua metode)

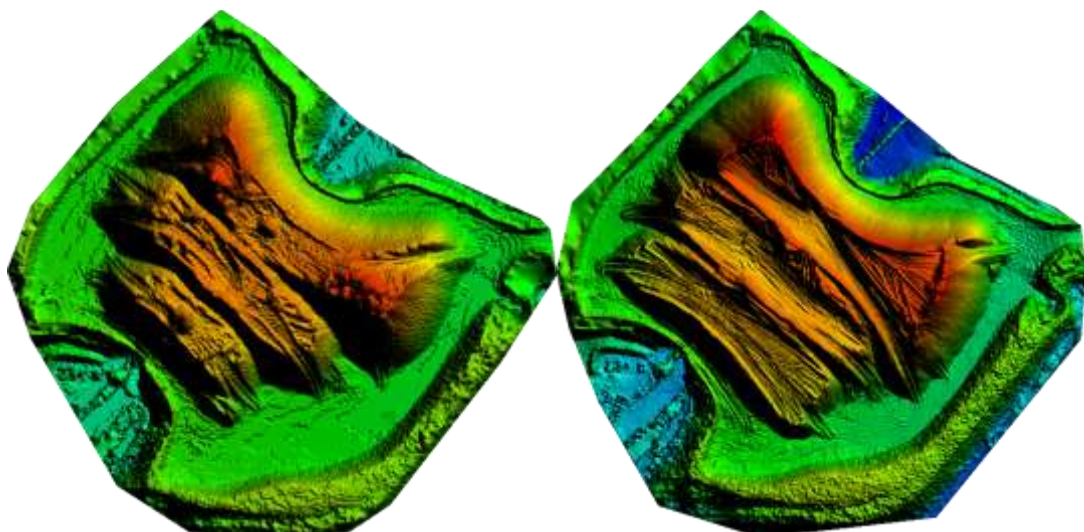


**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Evaluasi Volume Stockpile

Pengukuran dilakukan pada satu lokasi stockpile aktif yang terdiri dari tiga bagian: Tripper 1, Tripper 2, dan Tripper 3. Hasil pengukuran volume dibandingkan antara UAV dan dua metode referensi: GNSS RTK (Sesi I) dan Total Station (Sesi II).

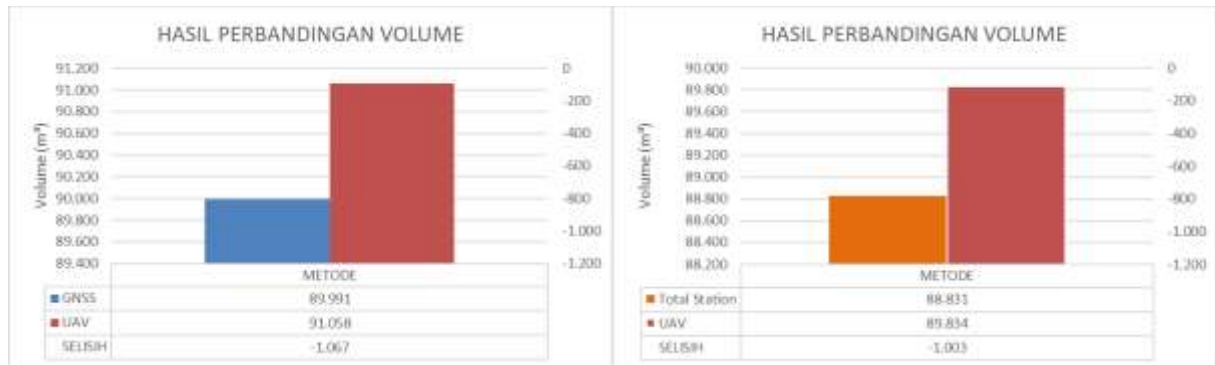


**Gambar 2.** Model Permukaan Stockpile Hasil UAV Fotogrametri

Model ini dihasilkan dari pengolahan citra UAV menggunakan Agisoft Metashape, berupa mesh dan DSM sebagai dasar perhitungan volume stockpile di Minescape [4], [6].

Tabel 2. Perbandingan Volume UAV terhadap Metode Referensi

Pengukuran	Metode Referensi	Volume Referensi (m <sup>3</sup> )	Volume UAV (m <sup>3</sup> )	Deviasi (%)
Sesi I	GNSS RTK	89.991	91.058	-1,19%
Sesi II	Total Station	88.831	89.834	-1,13%



Gambar 3. Grafik Perbandingan Volume Antar Metode

Dari kedua Sesi pengukuran, UAV menunjukkan deviasi volume sebesar -1,19% terhadap GNSS RTK dan -1,13% terhadap Total Station. Nilai ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan deviasi UAV terhadap metode ground-based berkisar antara 1–3% [1], [5], [15]. Dengan demikian, UAV dapat memberikan estimasi volume yang konsisten dan akurat, sesuai dengan temuan Raeva et al. [11] dan Tucci et al. [15].

### 3.2 Akurasi Koordinat (RMSE)

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan koordinat GCP dari UAV terhadap metode referensi.

Tabel 3. Nilai RMSE UAV terhadap Metode Referensi

Periode	Metode Referensi	RMSE X (m)	RMSE Y (m)	RMSE Z (m)
Sesi I	GNSS RTK	0.0157	0.0331	0.0030
Sesi II	Total Station	0.0062	0.0247	0.0089

Nilai error koordinat UAV berada dalam rentang 1–4 cm, dengan deviasi terbesar pada sumbu Y. Hasil ini masih sesuai standar akurasi geospasial ASPRS ( $\leq 10$  cm untuk pemetaan skala besar) [3]. Variasi error dipengaruhi oleh distribusi GCP, pencahayaan, dan kondisi permukaan [9], namun performa spasial UAV tetap sangat baik untuk pemetaan stockpile tambang [13], [17].

### 3.3 Evaluasi Efisiensi Operasional

Analisis efisiensi mempertimbangkan waktu survei, jumlah personel, pengolahan data, aksesibilitas, risiko lapangan, dan ketergantungan cuaca.

Tabel 4. Perbandingan Efisiensi Operasional

Parameter	UAV Fotogrametri	GNSS RTK	Total Station
Waktu Survei	±30 menit	±4 jam	±5 jam
Personel	2 orang	4 orang	4–5 orang
Pengolahan Data	±3 jam	±1 jam	±2 jam
Aksesibilitas	Sangat Baik	Terbatas	Sulit
Risiko Lapangan	Rendah	Sedang	Tinggi
Ketergantungan Cuaca	Tinggi	Sedang	Rendah

UAV terbukti paling efisien dengan waktu survei singkat dan kebutuhan personel minimal. Meski proses pengolahan data relatif lebih lama, metode ini tetap unggul karena mampu menjangkau area yang sulit diakses sekaligus meminimalisasi risiko keselamatan kerja. Hal ini sejalan dengan temuan Tucci et al. [15] yang menekankan efisiensi UAV dibanding metode topografi konvensional.

Sebaliknya, GNSS RTK membutuhkan waktu lebih lama namun tetap relevan sebagai metode validasi GCP dengan tingkat keandalan tinggi. Total Station menunjukkan akurasi sangat baik, tetapi operasionalnya kurang efisien karena keterbatasan visibilitas dan tingginya risiko lapangan.

### 3.4 Evaluasi Kendala Teknis dan Lingkungan

Setiap metode menghadapi kendala tertentu yang perlu diperhatikan saat implementasi [2], [8], [14].

**Tabel 5.** Kendala Teknis dan Lingkungan Tiap Metode

Metode	Kendala Teknis	Kendala Lingkungan
UAV	Cuaca, bayangan, GCP terbatas	Angin kencang, permukaan gelap
GNSS RTK	Sinyal satelit terhalang, titik curam	Medan sulit, potensi licin
Total Station	Visibilitas terbatas, manual & lama	Risiko jatuh, medan curam, safety

Kendala UAV seperti cuaca dan pencahayaan juga dilaporkan James & Robson [9]. GNSS RTK dipengaruhi ketersediaan satelit [7], sedangkan Total Station rentan pada keterbatasan visibilitas [12].

### 3.5 Rekomendasi Teknologi Hybrid

Berdasarkan hasil evaluasi akurasi, efisiensi operasional, serta kendala teknis di lapangan, pendekatan teknologi hybrid direkomendasikan untuk mengoptimalkan survei volume stockpile pada area tambang aktif. Kombinasi UAV, GNSS RTK, dan Total Station memiliki karakteristik yang saling melengkapi, sehingga kelemahan masing-masing metode dapat diminimalisasi.

Konfigurasi Hybrid yang Direkomendasikan:

#### 1. UAV + Total Station

UAV digunakan untuk akuisisi data cepat dengan cakupan luas, sementara Total Station berperan sebagai alat validasi titik kontrol (GCP) dan evaluasi akurasi koordinat lokal. Kombinasi ini sesuai diterapkan pada medan terbuka yang membutuhkan presisi tinggi pada titik-titik kritis [12], [15].

#### 2. UAV + GNSS RTK

Alternatif efisien jika Total Station tidak tersedia. GNSS RTK dimanfaatkan untuk pengukuran GCP presisi tinggi dan sebagai kontrol tambahan. Pendekatan ini relevan untuk area luas dengan akses medan terbatas, selama kondisi visibilitas satelit memadai [10], [14].

**Tabel 6.** Skema Pemilihan Metode Ideal Berdasarkan Kondisi Lapangan

Kondisi Lapangan	Metode Rekomendasi	Alasan
Area luas dan terbuka	UAV Fotogrametri	Akuisisi cepat, efisien, tidak bergantung pada akses fisik medan
Area sempit atau butuh presisi tinggi	Total Station	Presisi sub-centimeter, validasi lokal yang akurat
Cuaca kurang ideal, survei cepat	GNSS RTK	Tetap operasional saat mendung, proses lebih sederhana dan efisien
Area tidak memungkinkan untuk UAV	GNSS RTK	Dapat dilakukan secara fisik tanpa penerbangan
Area berisiko atau tidak stabil	UAV + Validasi Total Station	Aman secara non-kontak, namun tetap divalidasi untuk memastikan presisi

Dengan penerapan konfigurasi hybrid, UAV dapat berfungsi sebagai metode utama yang efisien, sementara GNSS RTK dan Total Station memberikan dukungan validasi spasial. Pendekatan ini menghasilkan pengukuran volume yang lebih akurat, efisien, dan adaptif terhadap kondisi lapangan pertambangan [10], [12], [15].

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa UAV fotogrametri mampu menghasilkan estimasi volume stockpile dengan deviasi kecil, yaitu  $-1,19\%$  terhadap GNSS RTK dan  $-1,13\%$  terhadap Total Station. Nilai RMSE koordinat rata-rata UAV berada pada kisaran  $0,003-0,033$  m, membuktikan ketelitian geometriaknya cukup tinggi untuk aplikasi pemetaan dan perhitungan volume tambang. Dari sisi operasional, UAV terbukti lebih efisien dengan durasi survei  $\pm 30$  menit dan hanya memerlukan dua personel, dibandingkan GNSS RTK dan Total Station yang membutuhkan  $\pm 4-5$  jam serta lebih banyak tenaga. Meskipun demikian, UAV masih terbatas oleh faktor cuaca dan kondisi pencahayaan, sehingga validasi menggunakan GNSS RTK atau Total Station tetap diperlukan. Dengan demikian, pendekatan hybrid yang mengombinasikan

UAV sebagai metode utama dengan GNSS RTK/Total Station sebagai kontrol validasi direkomendasikan sebagai solusi optimal untuk pengukuran volume stockpile di area tambang terbuka.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menguji penggunaan sensor alternatif seperti UAV berbasis LiDAR untuk area dengan vegetasi rapat, serta mengevaluasi aspek biaya operasional agar dapat menyusun standar survei hybrid yang lebih aplikatif di industri pertambangan Indonesia.

## 5. Daftar Pustaka

- [1] O. G. Ajayi, E. T. Akinlabi, and O. O. Olatunji, "Comparative evaluation of UAV photogrammetry and ground surveying methods for volume computation in granite quarry," *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 32, no. 4, pp. 589–598, 2022, doi: 10.1016/j.ijmst.2022.01.007.
- [2] M. Alsayed and M. R. A. Nabawy, "Stockpile Volume estimation in open and confined environments: A review," *Drones*, vol. 7, no. 1, p. 12, 2023, doi: 10.3390/drones7010012.
- [3] American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), *ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*. Bethesda, MD: ASPRS, 2014.
- [4] Agisoft LLC, *Agisoft Metashape Professional Edition User Manual, Version 1.7*. St. Petersburg, Russia, 2020.
- [5] C. Arango and C. A. Morales, "Comparison between multicopter UAV and Total Station for estimating stockpile Volumes," *ISPRS Archives*, vol. XL-1/W4, pp. 131–135, 2015, doi: 10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-131-2015.
- [6] Badan Informasi Geospasial, SNI 7645:2010 – Spesifikasi teknis pemetaan topografi dengan UAV. Cibinong: BIG, 2021.
- [7] I. da Silva, W. Ibañez, and G. Poleszuk, "Experience of using Total Station and GNSS technologies for tall building construction monitoring," in *Facing the Challenges in Structural Engineering, Sustainable Civil Infrastructures*. Cham: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, pp. 471–486, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-61914-9\_36.
- [8] Ghana Mining Journal, "Comparative analysis of stockpile Volume estimation using UAV and GPS techniques," *Ghana Mining Journal*, Jun. 2021.
- [9] M. R. James and S. Robson, "Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks," *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 39, no. 10, pp. 1413–1420, 2014, doi: 10.1002/esp.360.
- [10] A. Patel, "Modernizing field surveying: The role and impact of GNSS-RTK technology in digital mapping," *Journal of Computer Technology and Software*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, 2024.
- [11] P. Raeva, S. Filipova, and D. Filipov, "Volume computation of a stockpile using drone photogrammetry," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 5, no. 9, p. 172, 2016, doi: 10.3390/ijgi5090172.
- [12] M. G. Ramadhan, S. Sumarno, and N. Yuhanaifah, "Perbandingan perhitungan Volume stockpile hasil pengukuran UAV dan ETS (Studi kasus: PT Indocement Tbk Palimanan, Cirebon)," *Jurnal Geodesi dan Geomatika*, vol. 6, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [13] A. R. Seno Aji and J. Djurdjani, "Analisis perbandingan Volume stockpile batu bara hasil UAV fotogrametri dan UAV LiDAR," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, vol. 18, no. 3, pp. 215–224, 2022.
- [14] M. Syafique, H. L. D. Usup, and Ferdinandus, "Perbandingan Volume Overburden Removal Menggunakan Foto Udara DJI Phantom 4 dan Hasil Survey Total Station Trimble C5 pada Pit CAP PT. Insani Baraperkasa," Universitas Palangka Raya, 2023.
- [15] G. Tucci, D. Visintini, V. Bonora, and E. I. Parisi, "Monitoring quarry stockpiles by UAV photogrammetry and traditional topographic methods: Accuracy assessment and efficiency evaluation," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 16, p. 1936, 2019, doi: 10.3390/rs11161936.
- [16] J. Zhou, L. He, and H. Luo, "Real-time positioning method for UAVs in complex structural health monitoring scenarios," *Sensors*, vol. 23, no. 9, p. 4321, 2023, doi: 10.3390/s23094321.
- [17] M. Fathurrahman, L. M. G. Jaya, F. Saleh, F. Amin, and A. A. Siharis, "Studi Penentuan Volume Stockpile Penambangan Bijih Nikel Menggunakan Foto Drone," *Jurnal Geografi Aplikasi dan Teknologi (JAGAT)*, vol. 7, no. 2, pp. 64–73, 2023.