

# ***Accuracy Analysis of Mining Material Volume Estimation Using Terrestrial Laser Scanning and UAV Photogrammetry***

**Dedi Wijaya<sup>1</sup>, Gusti Ayu Jessy Kartini<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Jln. PHH. Mustofa No.23 Bandung, Jawa Barat, 40124 Indonesia

Email: [ayujessy@itenas.ac.id](mailto:ayujessy@itenas.ac.id)\*

*Received 1 April 2026 | Revised 9 April 2026 | Accepted 13 April 2026*

## **ABSTRAK**

*Pengukuran volume stockpile batubara berperan penting dalam perencanaan produksi dan pengendalian logistik tambang. Penelitian ini mengevaluasi akurasi, efisiensi operasional, dan biaya survei menggunakan Terrestrial Laser Scanning (TLS) dan UAV fotogrametri pada stockpile batubara di Site Banko Barat, Sumatera Selatan. Akuisisi data dilakukan menggunakan TLS Riegl VZ-2000i dan UAV Wingtra Gen II. Hasil menunjukkan error registrasi TLS sebesar 0,0244 m dan UAV sebesar 0,0647 m. Volume yang dihasilkan masing-masing sebesar 170.625,147 m<sup>3</sup> dan 168.580,104 m<sup>3</sup>, dengan selisih 1,199%, masih berada di bawah toleransi ASTM D6172-98 sebesar 2%. Perbedaan volume dipengaruhi mekanisme pembentukan point cloud, di mana TLS menghasilkan representasi elevasi yang lebih detail dibandingkan rekonstruksi Structure from Motion (SfM) pada UAV. UAV lebih efisien dari sisi waktu dan biaya, sedangkan TLS memberikan akurasi geometrik yang lebih tinggi sehingga keduanya dapat dipilih sesuai kebutuhan operasional.*

**Kata kunci:** batubara, stockpile, akurasi, volume, TLS, UAV fotogrametri, point cloud

## **ABSTRACT**

*Coal stockpile volume measurement is essential for production planning and mine logistics management. This study evaluates the accuracy, operational efficiency, and survey cost of Terrestrial Laser Scanning (TLS) and UAV photogrammetry for measuring a coal stockpile at Banko Barat Site, South Sumatra, Indonesia. Data were acquired using a Riegl VZ-2000i TLS and a Wingtra Gen II UAV. The registration errors were 0.0244 m for TLS and 0.0647 m for UAV. The calculated volumes were 170,625.147 m<sup>3</sup> and 168,580.104 m<sup>3</sup>, respectively, with a difference of 1.199%, which is below the 2% tolerance specified by ASTM D6172-98. The volume discrepancy is attributed to differences in point cloud generation, where TLS provides more detailed elevation representation than Structure from Motion (SfM)-based UAV reconstruction. UAV offers greater time and cost efficiency, whereas TLS provides higher geometric accuracy, making both methods suitable depending on operational requirements.*

**Keywords:** coal, stockpile, accuracy, volume, TLS, UAV photogrammetry, point cloud

## 1. PENDAHULUAN

Pertambangan batubara merupakan salah satu pemasukan terbesar negara dalam pemanfaatan sumber daya mineral negara. Selain itu batubara juga menjadi sumber energi yang paling efisien saat ini sebagai pembangkit tenaga listrik. Batubara membutuhkan proses yang sangat lama untuk pembentukannya, sehingga dapat dikatakan batubara merupakan sumber energi yang tidak terbarukan [1]. 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 [2]. *Stockpile* batubara merupakan tumpukan material batu bara yang disimpan sementara sebelum digunakan, *Stockpile* berfungsi sebagai penyangga antara pengiriman dan proses sehingga data pengukuran pada *Stockpile* digunakan untuk monitoring dan atau pengawasan terhadap data pengiriman dan data pemrosesan batubara [3]. Pemantauan sebagai kontrol wajib dilakukan secara berkala dalam manajemen *Stockpile*. Salah satu indikator terpenting pada manajemen *Stockpile* yaitu pemantauan volume stock [4]. Survei topografi menjadi metode umum yang dipakai dalam pengukuran volume.

Beberapa metode yang sering dipergunakan adalah pengukuran menggunakan alat Total Station, *Terrestrial Laser Scanner* dan, *Global Navigation Satellite System* [5]. Dibutuhkan ketelitian yang tinggi dalam perhitungan volume batubara sehingga target nilai ekonomis cadangan dan produksi tidak melenceng jauh dari perencanaan. Kebanyakan pengukuran dan pengambilan data volume tumpukan batubara pada *Stockpile* masih menggunakan metode konvensional yang dalam proses pekerjaannya membutuhkan banyak waktu. Metode konvensional seperti Total Station dan GNSS RTK telah lama digunakan dalam survei geospasial karena menghasilkan data koordinat presisi tinggi [6]. Namun, metode konvensional tersebut memiliki keterbatasan, seperti memerlukan waktu yang relatif lama dalam akuisisi data, akses langsung ke permukaan *Stockpile*, serta risiko keselamatan kerja pada area lereng curam. Dalam kondisi tambang terbuka yang dinamis, efisiensi waktu dan keselamatan pekerja menjadi faktor utama yang harus diperhatikan [2]. Namun tidak hanya penggunaan metode konvensional dalam pengukuran volume *Stockpile*, seiring dengan kemajuan teknologi yang berkembang terdapat wahana *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 [7]. *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) yang memiliki prinsip scan obyek dengan pancaran sinar lasernya yang kemudian dipantulkan kembali oleh obyek. Hasil yang diperoleh dari TLS adalah kumpulan titik dengan kerapatan tertentu dalam koordinat 3D yang kemudian digunakan untuk keperluan penentuan volume ataupun pemodelan [8]. Tujuan utama TLS adalah menghitung jarak dari lensa ke setiap objek berdasarkan jangkauan serta waktu tempuh cahaya yang dipantulkan oleh permukaan objek hingga kembali ke lensa [9]. UAV maupun TLS dapat dimanfaatkan untuk menghitung volume secara lebih efisien. TLS telah banyak digunakan untuk estimasi volume pada berbagai bidang [10].

Penelitian [11] melakukan perbandingan perhitungan volume *Stockpile* batubara menggunakan UAV fotogrametri dan UAV LiDAR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume *Stockpile* yang dihasilkan dari UAV fotogrametri sebesar 90821,981 m<sup>3</sup>, sedangkan UAV LiDAR sebesar 91699,438 m<sup>3</sup>, dengan selisih volume sekitar 877,457 m<sup>3</sup>. Perbedaan ini dipengaruhi oleh kualitas *image matching* pada fotogrametri yang sangat bergantung pada tekstur permukaan *Stockpile*, sementara LiDAR menghasilkan *point cloud* yang lebih merata sehingga model permukaan yang dihasilkan lebih konsisten untuk perhitungan volume. [12] menggunakan TLS untuk menghitung volume *Stockpile* dengan visualisasi permukaan tiga dimensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TLS mampu menghasilkan *point cloud* dengan kepadatan tinggi sehingga dapat merepresentasikan bentuk permukaan *Stockpile*

secara detail dan meningkatkan ketelitian perhitungan volume dibandingkan metode konvensional. [13] membandingkan perhitungan volume *Stockpile* batubara menggunakan TLS dan Drone. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume yang diperoleh dari Drone sebesar 243.214,506 ton sedangkan TLS menghasilkan 242.713,028 ton dengan selisih sekitar 0,21%. Selisih tersebut masih berada dalam batas toleransi industri sebesar 2% berdasarkan standar ASTM, sehingga Drone memiliki tingkat akurasi yang mendekati TLS dalam pengukuran volume batubara. Penelitian ini bertujuan membandingkan akuisisi data TLS dan Drone untuk mendapatkan hasil perhitungan volume *Stockpile* batubara.

Berbagai penelitian telah mengkaji penggunaan teknologi geospasial dalam perhitungan volume *Stockpile*. Metode UAV fotogrametri dan TLS menjadi dua pendekatan yang paling banyak digunakan karena mampu menghasilkan model permukaan tiga dimensi dengan tingkat ketelitian yang relatif tinggi. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa UAV fotogrametri mampu menghasilkan estimasi volume dengan selisih yang masih berada dalam batas toleransi industri, meskipun sangat bergantung pada kualitas citra dan persebaran *Ground Control Point* (GCP) [11]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa Drone memiliki tingkat akurasi yang mendekati TLS dengan selisih volume yang masih berada di bawah toleransi ASTM sebesar 2% [13]. TLS memiliki keunggulan dalam menghasilkan *point cloud* dengan kepadatan tinggi dan akurasi geometrik yang lebih baik, terutama pada area yang memiliki lereng curam. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan dalam pendekatan analisis. Studi yang ada hanya berfokus pada perbandingan hasil volume atau nilai *Error* tanpa mengevaluasi keterkaitannya dengan kondisi operasional di lapangan. Beberapa penelitian memang telah menunjukkan bahwa fotogrametri menggunakan wahana drone lebih efisien dalam waktu akuisisi dibandingkan TLS [13], tetapi tidak disertai dengan analisis kuantitatif terkait biaya survei dan kebutuhan sumber daya. Keterbatasan ini menunjukkan bahwa belum terdapat pendekatan yang secara simultan mengevaluasi pengambilan keputusan antara akurasi, efisiensi operasional, dan biaya dalam pemilihan metode pengukuran volume *Stockpile*. Akibatnya, rekomendasi metode yang dihasilkan dari penelitian sebelumnya masih bersifat parsial dan belum sepenuhnya aplikatif untuk kebutuhan pengambilan keputusan di lapangan.

Meskipun berbagai penelitian telah membandingkan metode *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan UAV fotogrametri dalam perhitungan volume *Stockpile*, sebagian besar studi masih berfokus pada aspek akurasi hasil volume semata. Penelitian sebelumnya [12] menunjukkan bahwa TLS memiliki ketelitian geometrik yang lebih tinggi, sementara UAV unggul dalam efisiensi akuisisi data. Namun demikian, pendekatan tersebut masih bersifat parsial karena tidak mempertimbangkan aspek operasional secara menyeluruh. Selain itu, penelitian sebelumnya [11], [12], [13] cenderung hanya membandingkan selisih volume tanpa mengaitkannya dengan parameter efisiensi operasional seperti waktu survei, kebutuhan personel, aksesibilitas lapangan, serta aspek biaya yang menjadi pertimbangan utama dalam industri pertambangan. Dalam konteks aplikasi di lapangan, pemilihan metode pengukuran tidak hanya ditentukan oleh tingkat akurasi, tetapi juga oleh efisiensi dan biaya yang dikeluarkan. Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan penelitian masih belum adanya kajian komprehensif yang mengintegrasikan analisis akurasi, efisiensi operasional, dan biaya dalam satu kerangka evaluasi untuk menentukan metode yang paling optimal dalam pengukuran volume *Stockpile* dalam industri pertambangan.

Penelitian ini mengambil salah satu objek *Stockpile* batubara pada site Banko Barat. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis komprehensif terhadap metode *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan UAV fotogrametri dalam perhitungan volume *Stockpile* dengan mengintegrasikan tiga aspek utama, yaitu akurasi hasil perhitungan volume, efisiensi operasional, serta biaya survei. Penelitian ini tidak hanya membandingkan selisih volume yang dihasilkan oleh kedua metode, tetapi juga mengkaji

hubungan antara kualitas data dengan implikasi operasional di lapangan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa kerangka evaluasi yang lebih komprehensif dalam menentukan metode pengukuran volume *Stockpile* yang optimal berdasarkan kebutuhan praktis di industri pertambangan.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil akuisisi yang dilakukan di area *Stockpile* milik perusahaan pertambangan batubara berada di site Banko Barat. Site Banko terletak di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Kegiatan penambangan yang berada di site Banko menggunakan metode penambangan terbuka (*open pit*). Penambangan dengan metode *Open Pit* menggunakan siklus penambangan yaitu pemecahan batuan dengan pengeboran dan peledakan, diikuti dengan operasi penggalan material, pemuatan dan pengangkutan batubara ke *stockpile* [14]. Akuisisi dilakukan menggunakan TLS Riegl VZ-2000i dan UAV Wingtra Gen II, hasil akuisisi data yang diperoleh dari TLS berupa *point cloud* dan data yang dihasilkan dari UAV berupa foto udara *Stockpile*. Serta koordinat titik GCP untuk meningkatkan akurasi geometrik dan mengikat sistem koordinat global, kemudian koordinat berdiri alat TLS/setup yang digunakan pada tahapan georeferencing dan registrasi.

### 2.2 Metode Akuisisi Data UAV Fotogramteri

Dalam akuisisi data UAV, digunakan metode *Post Processing Kinematic* (PPK) yang dikombinasikan dengan 7 titik *Ground Control Point* (GCP) dan 2 titik *Independent Check Point* (ICP). GCP didistribusikan secara merata pada bagian tepi, tengah, serta area yang memiliki variasi elevasi untuk meningkatkan kualitas georeferensi dan stabilitas model fotogrametri. Metode PPK merupakan teknik penentuan posisi diferensial GNSS yang melakukan koreksi koordinat pusat proyeksi kamera (*camera exposure position*) setelah proses penerbangan selesai dengan memanfaatkan data observasi GNSS dari UAV dan base station. Selain itu, penggunaan GCP yang terdistribusi secara merata terbukti berperan penting dalam meningkatkan akurasi model topografi hasil fotogrametri [15]. Penelitian [16] menunjukkan bahwa distribusi GCP pada bagian tepi, tengah, dan area dengan variasi elevasi yang berbeda mampu meningkatkan akurasi pemodelan tiga dimensi secara signifikan dibandingkan distribusi GCP yang tidak merata.

Parameter akuisisi data *Stockpile* meliputi tinggi terbang 100m, *side overlap* dan *front overlap* sebesar 70% yang ditunjukkan pada tabel 1. Nilai parameter tersebut harus memperhatikan kondisi tumpukan *Stockpile* yang terdapat lereng curam atau perbedaan elevasi yang signifikan, luas area pengukuran dan sesuai dengan kebutuhan dalam penentuan nilai dari parameter *front overlap* dan *side overlap*. Parameter tingkat *overlap* dan *sidelap* antara foto udara menjadi salah satu parameter kunci yang menentukan keberhasilan akuisisi data fotogrametri menghasilkan model 3D yang akurat dan representatif, terutama di lingkungan dengan relief yang kompleks seperti lereng curam dan perbedaan elevasi [17].

**Tabel 1. Parameter Jalur Terbang 1 Akuisisi Data UAV Wingtra Gen II**

| Parameter Akuisisi Data UAV       | Nilai Parameter   |
|-----------------------------------|-------------------|
| Waktu pengambilan data            | 10 menit 54 detik |
| Luas area                         | 19.08 ha          |
| Jumlah data foto udara dihasilkan | 168               |
| Tinggi terbang                    | 100 m             |
| Ground sampling distance          | 1.6 cm/pixel      |
| Side overlap                      | 70%               |
| Front overlap                     | 70%               |

Pembuatan jalur terbang dalam akuisisi foto udara *Stockpile* menggunakan metode *doublegrid* atau *cross-hatch* konfigurasi jalur terbang UAV dibentuk dalam dua arah tegak lurus, yakni *north–south* (NS) dan *east–west* (EW), sehingga menghasilkan blok foto udara ganda (*double-grid image block*) yang ditunjukkan pada gambar 1. Jalur terbang *double grid* setiap objek termasuk lereng curam dan permukaan yang kompleks akan terekam secara jelas dalam foto udara, sehingga menghasilkan foto udara lebih banyak untuk memperkuat pencocokan titik tiepoints [17]. Pembuatan jalur terbang arah vertikal dan horizontal dilakukan agar semakin banyak foto udara yang diambil pada daerah *front overlap* dan *side overlap* sehingga terbentuk *crosshatch* 3D untuk mendapatkan hasil model 3D yang lebih optimal sehingga dapat dimodelkan dan dilakukan perhitungan volume.



**Gambar 1. Jalur terbang *Doublegrid* atau *Cross-hatch* arah horizontal dan vertikal Pada *Stockpile* di Site Banko Barat**

### 2.3 Metode Akuisisi Data TLS

Akuisisi data TLS menggunakan metode *direct georeferencing* atau georeferensi langsung. Metode ini digunakan dalam akuisisi data TLS karena mempercepat proses pengikatan koordinat setup TLS ke sistem referensi global tanpa harus menggunakan *checkboard* yang terdapat di area *Stockpile*. Ketika Akuisisi data terdapat GPS geodetik diatas TLS untuk mengambil koordinat dari berdiri alat tersebut sehingga koordinat yang digunakan sudah berada di sistem koordinat yang sesuai. Perencanaan berdiri alat atau penempatan TLS disesuaikan dengan kondisi lapangan dengan semua area pengukuran *Stockpile* dapat terscanning. Dalam akuisisi data terdapat 17 setup atau berdiri alat TLS, dimana perpindahan alat tersebut tergantung sama kebutuhan dan kondisi di lapangan hingga data *scanner* yang didapatkan bisa mencakup semua area *Stockpile* tersebut.

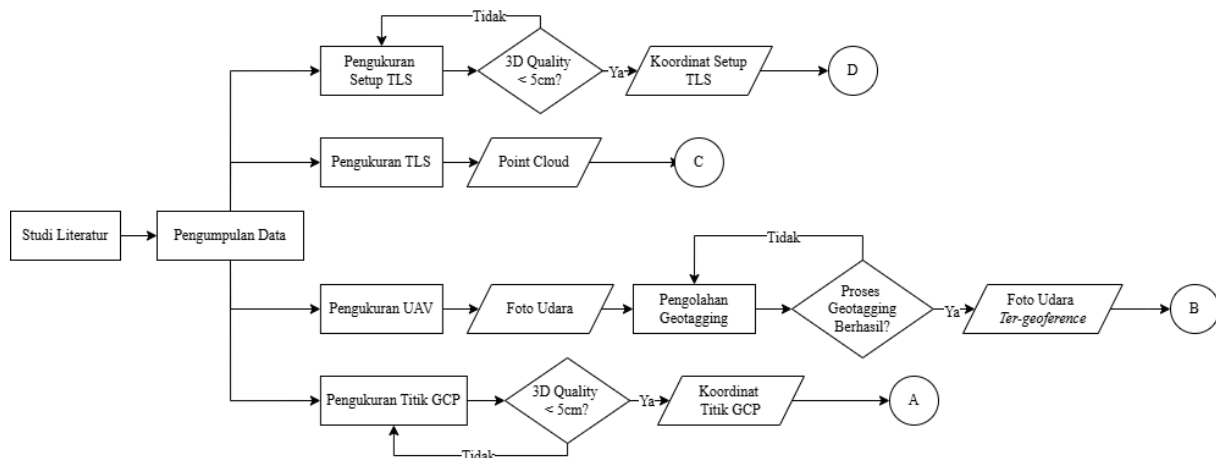
Parameter akuisisi data mempertimbangkan parameter terkait pengaturan resolusi dan frekuensi *point cloud* terhadap jarak *scanner* dengan objek yang akan mempengaruhi detail *Stockpile* yang terwakili oleh *point cloud*. Parameter yang digunakan dalam akuisisi data TLS meliputi *Laser pulse repetition rate PRR* sebesar 300 dan 600 kHz. Parameter *laser pulse repetition rate PRR* 300 kHz menghasilkan *point cloud* sebesar 125.000 titik/detik dan 600 kHz sebesar 250.000 titik/detik. Penentuan nilai parameter *laser pulse* juga harus memperhatikan kondisi area pengukuran, ketika setup TLS berada jauh dari tumpukan *Stockpile* bisa menggunakan parameter 300 kHz dan setup TLS berada di area tumpukan bisa menggunakan parameter 600kHz. Parameter TLS digunakan dalam akuisisi data yang ditunjukkan pada tabel 2.

**Tabel 2. Parameter Akuisisi Data TLS Riegl VZ-2000i**

| Parameter Akuisisi Data TLS            | Nilai Parameter |
|----------------------------------------|-----------------|
| <i>Laser pulse repetition rate PRR</i> | 300-600 kHz     |
| <i>Pattern Panorama</i>                | 40-60           |

## 2.4 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahapan utama yaitu persiapan, pelaksanaan, pengolahan data, dan perhitungan volume. Tahap persiapan diawali dengan studi literatur dan survei lapangan untuk merencanakan strategi titik GCP dan akuisisi yang optimal. Pada tahap pelaksanaan, proses dimulai dengan pemasangan *premark* GCP kemudian marking titik GCP dengan metode GNSS-RTK, akuisisi data foto udara *Stockpile* menggunakan UAV. Tahapan selanjutnya yaitu akuisisi data titik GCP, pengukuran UAV, pemindaian menggunakan TLS dan pengukuran titik setup alat.

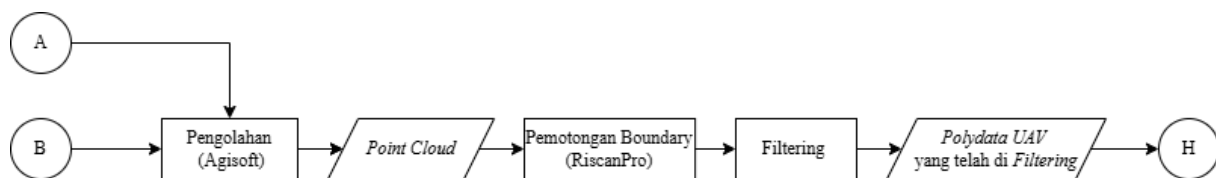


**Gambar 2. Diagram Alir Tahapan Akuisisi Data TLS dan UAV Fotogrametri**

Tahapan dalam pelaksanaan pengumpulan data UAV fotogrametri adalah pengukuran titik GCP dan pengukuran foto udara yang ditunjukkan pada Gambar 2, GCP yang digunakan sebanyak 7 titik yang tersebar merata di setiap ujung-ujung area *Stockpile* dan dibagian tengah dengan melihat perbedaan elevasi dan terdapat 2 titik ICP. Dalam akuisisi data titik GCP harus menyebarkan *premark* kemudian menggunakan metode *Real Time Kinematic* (RTK) dengan alat GPS Leica GS18 untuk mendapatkan koordinat titik GCP tersebut dalam pengambilan koordinat titik GCP harus memperhatikan *3D Quality* yang terdapat dalam *contoller* GPS Leica tidak boleh melebihi ketentuan sebesar 5 cm dan *output* yang dihasilkan adalah koordinat setiap titik GCP yang akan digunakan dalam tahapan pengolahan data foto udara *Stockpile*. Tahapan pengumpulan data foto udara *Stockpile* menggunakan UAV Wingtra Gen II,

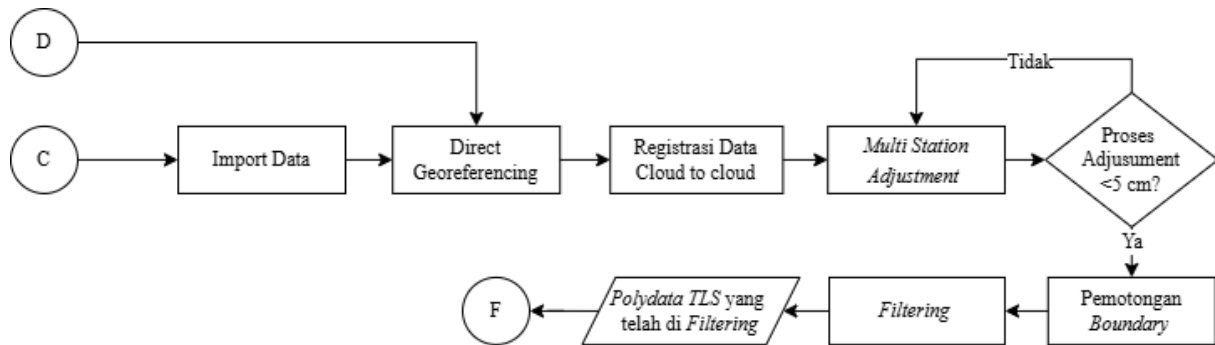
dalam akuisisi data tersebut menggunakan jalur *double grid* atau jalur arah vertikal dan horizontal dalam pembuatan jalur terbang. Parameter *side overlap* dan *front overlap* sebesar 70% dengan tinggi terbang 100m, akuisisi data tersebut memerlukan sekitar 30-60 menit tergantung luas area *Stockpile*. Dari akuisisi data UAV menghasilkan *output* berupa foto udara *Stockpile*, *output* tersebut akan dilakukan pengolahan metode *Post Proccesing Kinematic* (PPK) untuk mendapatkan nilai koordinat foto dengan ketelitian yang baik disetiap foto dan terkoreksi dengan base GPS. Dalam pengolahan geotagging base yang digunakan berupa base CORS Briket, proses PPK dilakukan menggunakan *software* wingtrahub yang menghasilkan keterangan tahapan 100% fix dan *output* dari pemrosesan tersebut adalah foto udara yang sudah tergeofeference.

Tahapan akuisisi data selanjutnya adalah pengukuran TLS dan pengukuran setup berdiri alat TLS yang dapat dilihat dari diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2. Tahapan akuisisi data TLS bersama dengan pengambilan koordinat setup TLS yang menggunakan metode *Real Time Kinematic* (RTK), dimana GPS Leica GS18 diletakkan diatas TLS sehingga tidak diperlukan *checkboard* yang disebarkan di area tumpukan. Dari akuisisi data tersebut mendapatkan data koordinat berdiri TLS dalam pengambilan koordinat titik GCP harus memperhatikan *3D Quality* yang terdapat dalam *contoller* GPS Leica tidak boleh melebihi ketentuan sebesar 5 cm, *output* yang dihasilkan adalah koordinat setup TLS. Dalam akuisisi data TLS menggunakan parameter *Laser pulse repetition rate* PRR sebesar 300 dan 600 kHz dengan panorama 40-60, penentuan parameter tersebut dilihat dari kondisi tumpukan *Stockpile* seperti lereng curam, tumpukan yang besar dan jarak *Stockpile* terhadap berdiri alat TLS itu sendiri. Waktu pemindaian tergantung terhadap parameter *laser pulse* semakin kecil nilai PPR maka waktu nya lama sebaliknya nilai PPR besar semakin cepat dalam akuisisinya, dalam akuisisi satu area *Stockpile* kurang lebih membutuhkan waktu 3 jam dengan setup berdiri alat TLS sebanyak 17 titik, *output* yng dihasilkan berupa *point cloud*.



**Gambar 3. Diagram Alir Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan Software Agisoft Metashape dan Pengolahan di Software RiscanPro Melalui Pemotongan *Boundary*, *Filter* Sampai Polydata UAV**

Pengolahan foto udara *Stockpile* menggunakan *software* Agisoft Metasahpe bisa dilihat dari Gambar 3, tahapan pengolahan dimulai dari *import* data foto udara, *align photos*, penitikan titik GCP yang diambil dari output koordinat titik GCP, pembentukan *point cloud* sampai orthophoto, setelah *point cloud* dari foto udara didapatkan lalu dilakukan pengolahan data menggunakan Riscanpro untuk filtering objek/*terrain*, pemotongan *boundary* hingga didapatkan polydata yang akan digunakan dalam perhitungan volume.

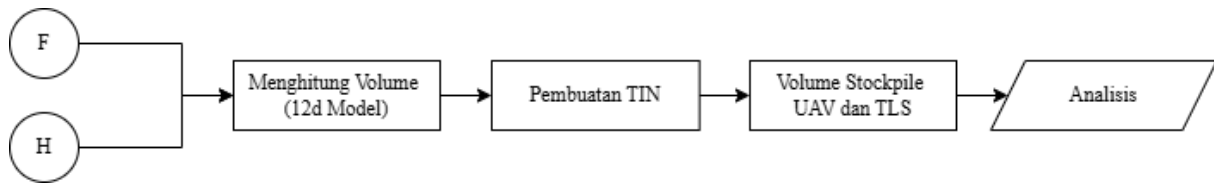


**Gambar 4. Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data *Terrestrial Laser Scanner* Menggunakan Software RiscanPro**

*Error* registrasi merupakan nilai kesalahan geometrik yang menunjukkan tingkat ketidaksesuaian posisi antar *point cloud* atau antara model hasil pengukuran dengan sistem koordinat referensi setelah proses registrasi dilakukan. Pada pengolahan data TLS, *error* registrasi diperoleh dari proses *cloud-to-cloud* registration atau *multi station adjustment* (MSA) yang digunakan untuk menyatukan beberapa hasil scanning menjadi satu sistem koordinat yang konsisten secara geometrik. Sedangkan pada UAV fotogrametri, *error* registrasi diperoleh dari proses *bundle adjustment* yang mengintegrasikan foto udara, parameter kamera, serta GCP untuk membentuk model tiga dimensi permukaan. Semakin kecil nilai *error* registrasi, maka semakin baik kesesuaian antar *point cloud* dan semakin tinggi ketelitian geometrik model 3D yang dihasilkan. Menurut [9] menjelaskan bahwa *point cloud* hasil pemindaian dari beberapa posisi scanner memerlukan proses registrasi agar dapat membentuk model tiga dimensi yang terintegrasi dan memiliki konsistensi geometrik. Selain itu, Menurut [15] akurasi model topografi hasil UAV fotogrametri berbasis *Structure from Motion* (SfM) dievaluasi menggunakan parameter kesalahan geometrik seperti *Root Mean Square Error* (RMSE) melalui perbandingan antara model hasil rekonstruksi dan titik kontrol lapangan (GCP). Evaluasi tersebut digunakan untuk menilai kualitas rekonstruksi permukaan tiga dimensi yang dihasilkan.

Tahapan pengolahan data TLS menggunakan *software* RiscanPro bisa dilihat dari Gambar 4, dimana registrasi antar scan tersebut menggunakan metode *cloud to cloud*. Dalam pengolahan data TLS dilakukan filtering debu/noise di sekitaran alat ketika melakukan scanning, *direct georeferencing* dengan memasukkan data koordinat berdiri alat untuk mengetahui hasil scanning alat TLS yang sesuai dengan setup berdiri alat tersebut dan sebagai georeferencing sehingga data memiliki sistem koordinat yang sesuai, selanjutnya dilakukan tahapan registrasi dengan melakukan proses *multi station adjustment* (MSA) data *point cloud* untuk mengoreksi posisi dan orientasi antar scan agar seluruh data *point cloud* bisa tergabung menjadi satu model 3D yang akurat secara geometrik. Proses MSA sebanyak 4 kali literasi hasil dari registrasi yang dilakukan tidak boleh melebihi 5 cm. Hasil registrasi harus memenuhi toleransi dilakukan untuk memastikan bahwa scan 1 dan scan yang lainnya memiliki jarak yang sesuai ketentuan supaya hasil volume *Stockpile* lebih akurat dan presisi. Setelah tahapan tersebut, kemudian dilakukan filtering untuk menghilangkan objek/*terrain* yang ter-scan oleh TLS dan dilakukan pemotongan sesuai dengan *boundary* sehingga menghasilkan *output point cloud* yang sudah bersih dari objek/*terrain*.





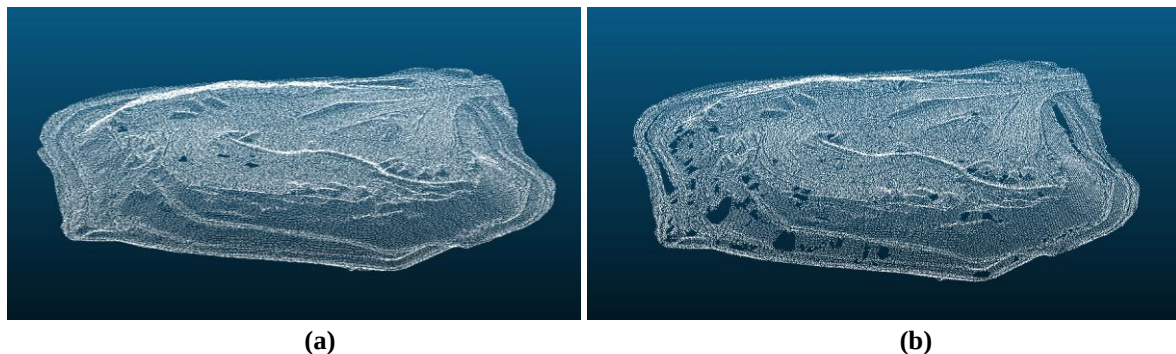
Gambar 5. Diagram Alir Tahapan Perhitungan Volume Menggunakan Software 12d Model

Setelah *output* polydata dari UAV dan TLS didapatkan, proses selanjutnya melakukan perhitungan volume *Stockpile* menggunakan *software* 12d Model yang diunjukkan pada Gambar 5. Pada tahapan pengolahan volume *Stockpile* menggunakan metode *prismoidal* digunakan untuk menghitung volume tanah, khususnya untuk keperluan pertambangan. Metode ini memerlukan pembagian interval dan perbedaan metode dan interval dalam penentuan volume tersebut dapat menghasilkan nilai volume yang berbeda, dimana polydata akan dibentuk TIN untuk memudahkan ketika melakukan perhitungan volume, setelah hasil volume setiap pengukuran tersebut didapatkan kemudian membandingkan hasil volume kemudian dilakukan perhitungan selisih volume dengan merujuk pada ASTM dan tahapan terakhir dilakukan analisis.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Pengolahan Data *Point cloud* dan Volume *Stockpile*

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa jumlah *point cloud* yang dihasilkan oleh UAV fotogrametri sebanyak 97.638 titik (Gambar 6a), lebih banyak dibandingkan jumlah *point cloud* yang terdapat pada data TLS sebanyak 93.151 (Gambar 6b). Akan tetapi, jumlah *point cloud* yang lebih besar tidak secara langsung merepresentasikan kualitas geometri yang lebih baik. Hal ini disebabkan karena kualitas representasi permukaan tidak hanya ditentukan oleh kuantitas titik, tetapi juga oleh pembentukan data dan distribusi spasialnya.

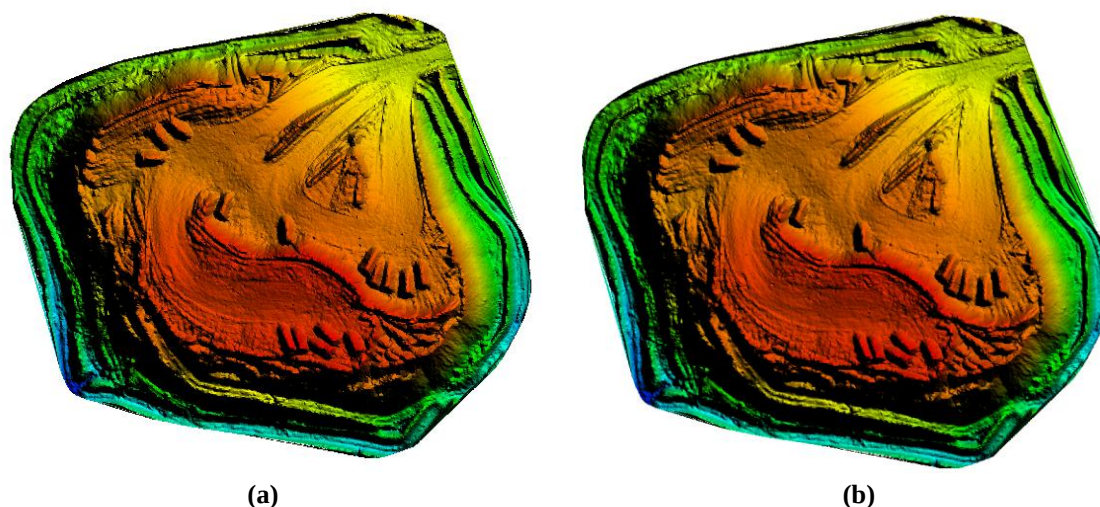


Gambar 6. (a) Hasil *point cloud* UAV Sudah *filter* dan Pemotongan *Boundary* Dengan Jumlah *point cloud* Sebanyak 97.922 dan (b) *point cloud* TLS Fotogrametri Sudah *filter* dan Pemotongan *Boundray* Dengan Jumlah *point cloud* Sebanyak 93.151

TLS memiliki akurasi geometrik yang lebih tinggi dan mampu menangkap detail permukaan serta lereng curam pada tumpukan *Stockpile* dengan lebih baik yang dibuktikan dengan nilai kesalahan registrasi sebesar 0.0244 m. Kemampuan TLS untuk memindai dan menghasilkan *point cloud* sesuai dengan kondisi aslinya menyebabkan TLS dapat menghasilkan representasi permukaan model yang lebih tajam pada area yang dapat dipindai. Di sisi lain, TLS juga memiliki keterbatasan, seperti terhalangnya sudut laser yang menyebabkan terjadinya *occlusion*, kondisi data yang kosong dikarenakan terdapat bagian yang bisa menghalangi sudut laser dari tempat berdiri alat ketika proses pemindaian.

UAV menghasilkan *point cloud* melalui proses rekonstruksi citra berbasis algoritma *Structure from Motion* (SfM) yang bergantung pada korelasi piksel dan estimasi posisi kamera. Karakteristik tekstur *Stockpile* batubara yang homogen menjadi tantangan dalam akuisisi data fotogrametri UAV karena dapat menyebabkan proses *image matching* pada fotogrametri UAV tidak optimal sehingga model permukaan yang dihasilkan kurang merepresentasikan detail permukaan dan berpengaruh terhadap hasil perhitungan volume [11]. Ketidaktepatan dalam proses *image matching* dibuktikan pada nilai kesalahan registrasi sebesar 0,0647 m. Selain itu, distribusi GCP juga berperan dalam pembentukan model yang dihasilkan oleh UAV. Kesalahan kecil pada GCP dapat menyebabkan distorsi global akibat proses *bundle adjustment* yang berdampak pada keseluruhan model dan distorsi geometrik sehingga mempengaruhi hasil akhir volume.

Berdasarkan hal-hal yang terjadi pada proses akuisisi dan pengolahan data *point cloud*, representasi bentuk berpengaruh langsung terhadap hasil perhitungan volume, dimana permukaan yang lebih halus cenderung menghasilkan estimasi volume yang lebih kecil. Dengan demikian, perbedaan karakteristik *point cloud* yang dihasilkan kedua metode menjadi faktor utama yang menjelaskan perbedaan hasil antara keduanya, sekaligus menunjukkan bahwa evaluasi metode tidak dapat hanya didasarkan pada jumlah titik, tetapi harus mempertimbangkan kualitas geometrik yang dihasilkan. Pada Gambar 7 merupakan bentuk mesh dari *Stockpile* yang biasa dikenal dengan nama *Digital Terrain Model* (DTM). Model ini yang digunakan untuk melakukan perhitungan volume *Stockpile*. Pemodelan DTM dilakukan pada *software* Global Mapper Pro menggunakan input data *point cloud* yang sudah berbentuk format .dxf.



Gambar 7. Hasil DTM TLS (a) dan Hasil DTM UAV (b)

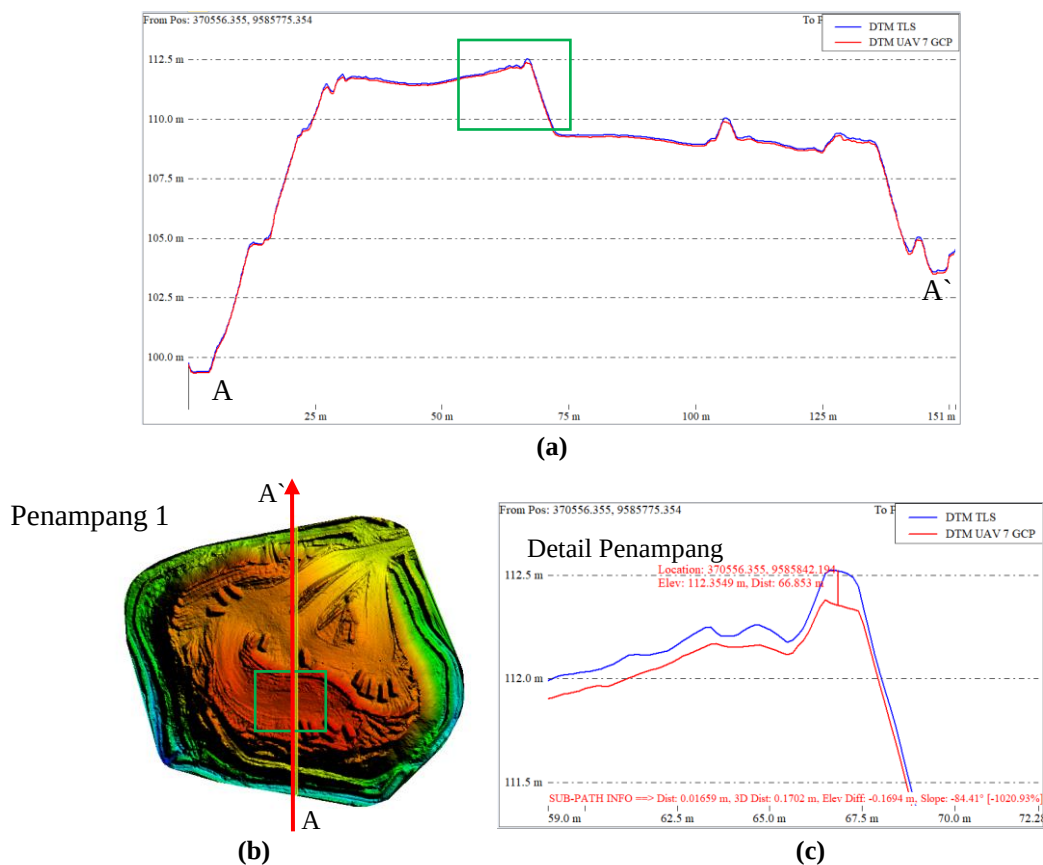
Hasil perhitungan volume menunjukkan bahwa TLS menghasilkan volume sebesar 170.625,147 m<sup>3</sup>, sedangkan UAV sebesar 168.580,104 m<sup>3</sup>, dengan selisih sebesar 2.045,043 m<sup>3</sup> yang menghasilkan persentase perbandingan sekitar 1,199% (Tabel 3). Nilai persentase perbandingan tersebut didapatkan dari selisih volume *Stockpile* TLS dan UAV dibagi dengan nilai volume TLS kemudian menghasilkan nilai persentase 1,199%. Merujuk ASTM D6172-98, persentase selisih *industry accepted error* dari pengukuran UAV dan TLS berada di bawah toleransi yakni sebesar 2% sehingga hasil pengukuran UAV dinilai masih dapat diterima pada pengukuran volume *Stockpile*. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi ASTM sehingga kedua metode dapat dianggap memenuhi standar industri. Perbedaan ini menunjukkan bahwa estimasi volume dari data foto udara UAV berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk kegiatan pengukuran volume *Stockpile*. Menurut [18] menunjukkan bahwa pendekatan

SfM-UAV mampu menghasilkan estimasi volumenya dengan perbedaan kurang dari 2 % terhadap volume referensi sehingga metode fotogrametri bisa mendekati perhitungan volume yang dihasilkan dari pengukuran volume estimati material bulk seperti batubara.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Volume *Stockpile* TLS dan UAV Fotogrametri

| Volume <i>Stockpile</i><br>TLS (m <sup>3</sup> ) | Volume <i>Stockpile</i><br>UAV (m <sup>3</sup> ) | Selisih Volume TLS<br>dan UAV (m <sup>3</sup> ) | Presentase<br>ASTM (%) |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| 170625.147                                       | 168580.104                                       | 2045.043                                        | 1.199                  |

Jika memperhatikan visualisasi DTM dan hasil perhitungan volume, keduanya tidak memiliki perbedaan yang signifikan, akan tetapi jika kedua data tersebut ditumpangtindihkan dan dibuat penampangnya, maka akan terlihat perbedaannya seperti pada Gambar 8. Gambar 8 memperlihatkan bahwa UAV dan TLS memiliki pola profil yang relatif serupa, namun terdapat perbedaan elevasi yang cukup konsisten pada penampang tersebut khususnya pada bagian puncak *Stockpile*. Pada Gambar 8(a) terlihat bahwa profil DTM TLS (garis biru) cenderung memiliki elevasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan DTM UAV (garis merah), terutama pada bagian puncak *Stockpile*. Selisih elevasi maksimum pada penampang mencapai sekitar 0,1694 m berdasarkan informasi perbedaan elevasi yang ditampilkan pada Gambar 8(c). Perbedaan elevasi ini menunjukkan adanya deviasi vertikal antara model TLS dan UAV. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa selisih volume antara TLS dan UAV memiliki korelasi dengan tingkat kemiringan lereng, dimana semakin curam lereng maka semakin besar potensi selisih volumenya [19].



Gambar 8. (a) Hasil penampang data DTM TLS dan UAV Fotogrametri, (b) Garis penampang untuk menunjukkan perbedaan elevasi dari dua data DTM, dan (c) Detail penampang yang ditunjukkan kontak berwarna hijau.

### 3.2 Analisis Tingkat Efisiensi TLS dan UAV

Berdasarkan proses akuisisi data yang telah dilakukan menggunakan TLS dan UAV, pada penelitian diperoleh bahwa UAV terbukti paling efisien dengan waktu survei singkat dan kebutuhan personel minimal. TLS memerlukan waktu survei yang cukup lama dengan proses pengolahan data relatif lebih lama. Metode UAV tetap unggul karena efisien waktu, akses menuju tumpukan *Stockpile* minim sehingga meminimalisasi risiko keselamatan kerja. Perbandingan lebih detail dari kedua metode dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Perbandingan Efisiensi Operasional**

| Parameter            | Terrestrial Laser Scanner (TLS) | UAV Fotogrametri |
|----------------------|---------------------------------|------------------|
| Waktu Survei         | ± 3 Jam                         | ± 1 Jam          |
| Personel             | 4-5 orang                       | 3 Orang          |
| Pengolahan Data      | ± 3 Jam                         | ± 2 Jam          |
| Aksesibilitas        | Terbatas                        | Sangat Baik      |
| Resiko Lapangan      | Tinggi                          | Rendah           |
| Ketergantungan Cuaca | Tinggi                          | Tinggi           |

Jika dilakukan perhitungan biaya survei pengukuran, maka diperoleh penggunaan alat ukur Terrestrial Laser Scanner lebih besar jika dibandingkan dengan UAV yaitu sebesar Rp. 12.400.000 dalam satu hari sedangkan UAV memiliki pengeluaran sebesar Rp. 5.600.000 yang ditunjukkan pada Tabel 5. TLS memiliki akurasi tinggi namun memerlukan waktu survei lebih lama ( $\pm 3$  jam) dan biaya lebih besar (Rp 12.400.000), sedangkan UAV memiliki efisiensi tinggi dengan waktu lebih cepat ( $\pm 1$  jam) dan biaya lebih rendah (Rp 5.300.000).

**Tabel 5. Biaya Survei Pengukuran *Stockpile* Selama Satu Hari**

| Biaya Survei Pengukuran Volume <i>Stockpile</i> |                                                           |                                                                                     |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                 | Terrestrial Laser Scanner (TLS)                           | UAV Fotogrametri                                                                    |
| Sewa Alat                                       | Rp. 10.000.000                                            | Rp. 3.500.000                                                                       |
|                                                 | GPS                                                       | GPS                                                                                 |
|                                                 | Rp. 1.000.000                                             | Rp. 1.000.000                                                                       |
| Personel                                        |                                                           |                                                                                     |
| 1. Surveyor                                     | Rp. 500.000                                               | Rp. 500.000                                                                         |
| 2. Asisten Surveyor                             | Rp. 900.000<br>(3 orang)                                  | Rp. 600.000<br>(2 orang)                                                            |
| Total                                           | Rp. 12.400.000                                            | Rp. 5.600.000                                                                       |
| Keterangan                                      | 1 TLS, 1 set GPS (Base&Rover), 2 Tribach, 2 Statif/tripod | 1 UAV VTOL, 1 set GPS (Base&Rover), 1 Tribach, 1 Statif/tripod, 1 Stikpole, Premack |

Secara operasional, meskipun TLS memberikan akurasi geometrik lebih tinggi terutama untuk area yang terdapat lereng curam, penggunaan UAV menunjukkan keuntungan signifikan dari sisi efektivitas waktu akuisisi data, cakupan area yang luas, dan keselamatan kerja karena tidak memerlukan akses langsung ke area berbahaya seperti tumpukan *Stockpile*. Keunggulan efisiensi menunjukkan bahwa pendekatan UAV fotogrametri merupakan alternatif yang efektif untuk pengukuran volume secara berkala karena memiliki efisiensi waktu yang cukup cepat dalam akuisisi data. Dengan demikian, pemilihan metode harus disesuaikan dengan kebutuhan, dimana UAV lebih sesuai digunakan untuk monitoring rutin dengan frekuensi tinggi karena efisiensinya, sementara TLS lebih tepat digunakan untuk keperluan audit atau pengukuran dengan kebutuhan presisi tinggi.

Implikasi praktis dari penelitian ini menunjukkan bahwa UAV fotogrametri dapat menjadi solusi yang efektif untuk monitoring volume *Stockpile* secara berkala, terutama pada area yang luas dan sulit diakses. Namun, untuk kebutuhan validasi atau audit yang memerlukan tingkat presisi tinggi, TLS tetap menjadi pilihan yang lebih tepat. Secara strategis, pendekatan kombinasi antara UAV dan TLS dapat menjadi solusi optimal, dimana UAV digunakan untuk akuisisi cepat dan TLS digunakan sebagai kontrol akurasi.

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian, metode *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan UAV fotogrametri sama-sama mampu digunakan untuk estimasi volume *Stockpile* batubara dengan tingkat akurasi yang masih memenuhi standar industri. Selisih volume sebesar 2.045,043 m<sup>3</sup> atau sekitar 1,199% antara TLS dan UAV menunjukkan bahwa hasil UAV masih berada di bawah batas toleransi ASTM D6172-98 sebesar 2%, sehingga layak diterapkan untuk kegiatan monitoring volume pada industri pertambangan. Namun demikian, penelitian ini menegaskan bahwa akurasi estimasi volume tidak semata-mata ditentukan oleh densitas *point cloud*, melainkan lebih dipengaruhi oleh kualitas geometrik model permukaan yang dihasilkan. TLS terbukti mampu merepresentasikan detail morfologi permukaan secara lebih presisi, khususnya pada area dengan lereng curam dan geometri kompleks, sedangkan UAV fotogrametri cenderung menghasilkan efek penghalusan yang menyebabkan underestimation volume. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengungkapan hubungan antara karakteristik geometrik *point cloud*, mekanisme pembentukan data, dan hasil estimasi volume, sehingga evaluasi akurasi pengukuran tidak hanya berfokus pada selisih numerik volume, tetapi juga pada kualitas representasi permukaan. Dari aspek implementasi, UAV fotogrametri unggul dalam efisiensi waktu, cakupan area, biaya operasional, dan keselamatan kerja, sedangkan TLS lebih unggul dalam akurasi geometrik dan ketelitian detail permukaan. Oleh karena itu, integrasi kedua teknologi menjadi pendekatan paling optimal, dengan UAV digunakan untuk monitoring rutin yang cepat dan efisien, sementara TLS dimanfaatkan untuk validasi, audit, dan pengukuran presisi tinggi. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena hanya dilakukan pada satu lokasi, belum mempertimbangkan variasi karakteristik material, serta belum divalidasi menggunakan data pembukuan atau timbangan aktual batubara. Oleh sebab itu, penelitian selanjutnya perlu mengintegrasikan data produksi riil sebagai pembanding independen dan menguji metode pada berbagai kondisi *Stockpile* untuk memperoleh model evaluasi akurasi yang lebih komprehensif dan aplikatif bagi kebutuhan industri pertambangan.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Bukit Asam Tbk atas izin dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Henri Kuncoro dan Dian Noor Handiani atas masukan dan saran yang berkontribusi dalam penyempurnaan penulisan artikel ini.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Borhan, Ahmad Sohibul., Fajrin., & Arini, Dwi. (2025). Perbandingan Volume Run Of Mine dengan Menggunakan Data Hasil Pengukuran Terrestrial Laser Scanner dan Unmanned Aerial Vehicle. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*. Vol 3. No 3. 214-224.

- [2] Maulana, Muhammad Hafidh R & Kuncoro, Henri. (2025). Evaluasi Pendekatan Hybrid Dalam Pengukuran Volume *Stockpile* Batubara Menggunakan UAV, GNSS RTK dan Total Station. *Serambi Engineering*, X(4), 15653-15659.
- [3] Maryuningsih, Y. (2015). Analisis dampak industri *Stockpile* batu bara terhadap lingkungan dan tingkat kesehatan masyarakat desa pesisir rawaurip kec. pangenan kab. Cirebon. *Jurnal Scientae Educatia*, 5(2).
- [4] Setyawan, D., & Susilo, Y. (2025). Analisis Perbandingan Volume *Stockpile* Batu Bara Hasil UAV Lidar dan Hasil Penimbangan (Studi Kasus PT. Hardaya Mining Energy, Site Sebakis, Nunukan, Kalimantan Utara). *El-Jughrafiyah*, 5(1), 112-123.
- [5] Khomsin, Danar G. P. ,Achmad F. A. (2018). Analisa perbandingan volume dan ketelitian icp dari 3's (TS, GNSS, dan TLS). *Jurnal Geoid*. Vol. 14. No. 1, 2018 (112-123).
- [6] Da Silva, I., Ibanez, W., & Poleszuk, G. (2017). Experience of using total station and GNSS technologies for tall building construction monitoring. In International Congress and Exhibition" Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology" (pp. 471-486). Cham: Springer International Publishing.
- [7] Raeva, P. L., Filipova, S. L., & Filipov, D. G. (2016). Volume computation of a *Stockpile*—a study case comparing gps and uav measurements in an open pit quarry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 999-1004.
- [8] Akbar, A. F. (2018). Studi Pengukuran Volumetrik Timbunan Dengan Menggunakan Instrumen Terrestrial Lasser Scanner, Total Station, Dan Gps Rtk (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [9] Wang, W., Zhao, W., Huang, L., Vimarlund, V., & Wang, Z. (2014). Applications of terrestrial laser scanning for tunnels: a review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 1(5), 325-337.
- [10] Kociuba, W., Kubisz, W., & Zagórski, P. (2014). Use of terrestrial laser scanning (TLS) for monitoring and modelling of geomorphic processes and phenomena at a small and medium spatial scale in Polar environment (Scott River—Spitsbergen). *Geomorphology*, 212, 84-96.
- [11] Aji, M. N., & Djurdjani, D. (2022). Perbandingan volume *Stockpile* batu bara hasil UAV fotogrametri dan UAV LiDAR. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering (JGISE)*, 5(2), 146–154.
- [12] Mabur, A. Y., Arafah, F., & Sulistianto, A. (2023). *Stockpile* volume estimation calculation based on terrestrial laser scanner (TLS) data acquisition and 3D surface visualization. *Journal of Applied Geospatial Information*, 7(1), 729-733.
- [13] Hardianti, S. (2025). Analisis Perbandingan Kuantitas Batubara Antara Drone Dji Phantom 4 RTK Dengan Terrestrial Laserr Scanner Pada *Stockpile* LS DH5: Comparative Analysis of Coal Quantity Between DJI Phantom 4 RTK Drone and Terrestrial Laser Scanner on LS DH5 *Stockpile*. *Mineral*, 10(1), 1-6.
- [14] Fadhilah, A., Putra, P., Fathurrahman, N., & Andrawina, A. (2025). Pengelolaan Limbah B3 IUP Banko Barat PT. Bukit Asam Tbk. Site Tanjung Enim. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 3(2), 208-218.
- [15] Mancini, F., Dubbini, M., Gattelli, M., Stecchi, F., Fabbri, S., & Gabbianelli, G. (2013). Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: The *Structure from Motion* approach on coastal environments. *Remote sensing*, 5(12), 6880-6898.
- [16] Zhong, H., Duan, Y., Tao, P., & Zhang, Z. (2025). Influence of *Ground Control Point* reliability and distribution on UAV photogrammetric 3D mapping accuracy. *Geo-spatial Information Science*, 28(5), 1998-2018.
- [17] Nesbit, P. R., & Hugenholtz, C. H. (2019). Enhancing UAV–SfM 3D Model Accuracy in High-Relief Landscapes by Incorporating Oblique Images. *Remote Sensing*, 11(3), 239.

- [18] Dhakal, S., Manandhar, A., Shah, A., & Khanal, S. (2025). Integrating UAS Remote Sensing and Edge Detection for Accurate Coal *Stockpile* Volume Estimation. *Remote Sensing*, 17(18), 3136.
- [19] Robby, R. F., Sukmono, A., & Bashit, N. (2020). Pengaruh Kelas Kelerengan Tanah Terhadap Persentase Selisih Perhitungan Volume Data Terrestrial Laser Scanner Dan Foto Udara Unmanned Aerial Vehicle. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(2), 43-52.