

INTISARI

Dalam operasional pertambangan, pengelolaan *stockpile* batu bara menjadi sangat penting untuk memastikan akurasi pelaporan keuangan, dan optimasi produksi. Pentingnya pengelolaan ini antara lain disebabkan oleh masih kurang efisiennya proses pengukuran volume stockpile batu bara, yang merupakan aspek krusial dalam operasional tambang terbuka. PT Putra Perkasa Abadi hingga saat ini belum menerapkan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk pengukuran volume *stockpile*, melainkan masih menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) sebagai metode pengukuran utama. Penggunaan TLS pada dasarnya tidak menjadi permasalahan, namun metode ini kurang efisien dari segi biaya dan keselamatan. Teknologi UAV menjadi alternatif yang lebih efisien. Namun, akurasinya sangat bergantung pada tinggi terbang dan jumlah *Ground Control Point* (GCP) yang akurat guna menghasilkan pengukuran *stockpile* yang akurat dan efisien. Proyek Akhir ini dilakukan untuk mencari jumlah GCP dan tinggi terbang akurat sehingga dapat membantu perusahaan dalam meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya pengukuran, serta memperoleh hasil ketelitian volume yang akurat.

Proyek akhir ini menggunakan data pengukuran UAV yang diambil pada bulan Februari 2025 dengan konfigurasi GCP sebanyak 0, 3, 4, 5, dan 6 titik, serta variasi ketinggian terbang 60 meter dengan GSD 1,55 cm/piksel, 70 meter dengan GSD 1,78 cm/piksel, dan 80 meter dengan GSD 2,09 cm/piksel. Sebelum perhitungan volume dilakukan, foto udara diproses terlebih dahulu melalui beberapa tahapan, yaitu *align photos*, *georeferencing*, dan pembentukan *point cloud (build dense cloud)*. Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk mengetahui tingkat ketelitian geometri. Ketelitian geometri ini mengacu pada Spesifikasi Teknis Stereo Model dari Foto Udara Hasil Survei Udara Menggunakan Kamera Udara Nonmetrik (BIG No. 18 Tahun 2021). Foto yang telah diproses digunakan untuk ekstraksi *point cloud* dan selanjutnya digunakan untuk menghitung volume menggunakan metode *cut and fill*. Hasil perhitungan volume dari UAV kemudian dibandingkan dengan data referensi dari TLS untuk memperoleh nilai persentase deviasi, sehingga tingkat ketelitian dan keakuratan dari UAV dapat diketahui.

Berdasarkan hasil analisis perbandingan deviasi volume, diperoleh temuan bahwa semakin banyak GCP, deviasi volume cenderung lebih kecil dan stabil. Deviasi terkecil diperoleh pada 6 GCP, yaitu antara -0,871% hingga -1,495%, sedangkan deviasi terbesar pada 3 GCP pada ketinggian 70 meter sebesar 1,941%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin sedikit jumlah GCP, maka risiko kesalahan georeferensi akan meningkat, yang berdampak langsung pada ketidakakuratan hasil perhitungan volume. Selain itu, tinggi terbang juga memengaruhi ketelitian volume. Ketinggian 60 meter menghasilkan deviasi volume paling rendah dan stabil di semua variasi GCP, sehingga dianggap akurat. Sebaliknya, ketinggian 70 meter menghasilkan deviasi yang besar dan tidak konsisten, meskipun nilai RMSE nya kecil. Hal ini menunjukkan bahwa nilai RMSE tidak selalu berbanding lurus dengan akurasi volume.

Kata kunci: *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), *stockpile* batu bara, *Ground Control Point* (GCP), ketelitian geometri, perhitungan volume.

ABSTRACT

In mining operations, managing coal stockpiles is crucial to ensure accurate financial reporting and optimize production. The importance of this management stems from the inefficiency that still exists in the process of measuring coal stockpile volumes, which is a critical aspect of open-pit mining operations. PT Putra Perkasa Abadi has not yet implemented Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology for stockpile volume measurements and still relies on Terrestrial Laser Scanner (TLS) as its primary measurement method. While the use of TLS is not inherently problematic, it is less efficient in terms of cost and safety. UAV technology offers a more efficient alternative; however, its accuracy highly depends on the flight altitude and the number of accurately positioned Ground Control Points (GCPs) to ensure precise and efficient stockpile measurements. This final project aims to determine the optimal number of GCPs and flight altitude to help the company improve operational efficiency, reduce measurement costs, and achieve accurate volume measurement results.

This project uses UAV survey data collected in February 2025, with GCP configurations of 0, 3, 4, 5, and 6 points, and flight altitudes of 60 meters (GSD 1.55 cm/pixel), 70 meters (GSD 1.78 cm/pixel), and 80 meters (GSD 2.09 cm/pixel). Before calculating the volume, the aerial photographs underwent several processing stages, including photo alignment, georeferencing, and point cloud generation (dense cloud). The Root Mean Square Error (RMSE) value was then calculated to assess geometric accuracy, referring to the Technical Specifications for Stereo Models from Aerial Photography Survey Using Non-Metric Aerial Cameras (BIG No. 18 of 2021). The processed photographs were used for point cloud extraction and subsequently for volume calculation using the cut-and-fill method. The UAV-derived volume results were compared with TLS reference data to determine the percentage deviation, thereby assessing the accuracy and precision of the UAV measurements.

Based on the analysis of volume deviation comparisons, it was found that a higher number of GCPs generally resulted in smaller and more stable deviations. The smallest deviation was obtained with 6 GCPs, ranging from -0.871% to -1.495%, while the largest deviation occurred with 3 GCPs at a 70-meter flight altitude, reaching 1.941%. This indicates that fewer GCPs increase the risk of georeferencing errors, which directly affect the accuracy of volume calculations. Furthermore, flight altitude also influences volume accuracy. A 60-meter altitude yielded the lowest and most consistent volume deviations across all GCP variations, making it the most accurate. Conversely, a 70-meter altitude resulted in larger and more inconsistent deviations, despite having a low RMSE value. This shows that RMSE values do not always correlate directly with volume accuracy.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), coal stockpile, Ground Control Point (GCP), geometric accuracy, volume calculation.