



Terakreditasi Peringkat 4 (S4)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

## **Analisis Perbedaan Volume Material Antara Metode *Truck Count* dan *Mine Survey* pada Kegiatan Penambangan Terbuka (Studi Kasus Pit Lokma PT. Serinding Sumber Makmur, Kalimantan Barat)**

Dewi Nur Setiani<sup>1\*</sup>, Murad MS<sup>1</sup>, Ricka Aprillia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

\*E-mail: [dewinrsetiani@gmail.com](mailto:dewinrsetiani@gmail.com)

Submitted: 06-10-2025

Revised: 06-01-2026

Accepted: 24-01-2026

### **Abstract**

*PT. Serinding Sumber Makmur (PT. SSM) is a gold mining company operating an open-pit system in Ketapang Regency, West Kalimantan. In practice, discrepancies are often found between material volume calculations using the Truck Count and Mine Survey methods, which can affect production targets and gold recovery levels. This study aims to evaluate the volume differences between the two methods at Pit Lokma of PT. SSM and to identify the contributing factors. The research analyzed ore and overburden volumes for June 2025 using both methods. Results show that the Truck Count method recorded 30,929.47 BCM, while the Mine Survey method measured 33,759.94 BCM. The difference of 2,830.47 BCM resulted in a deviation of 8.38%, exceeding the ASTM tolerance ( $\pm 2.78\%$ ) but still within the company's internal standard ( $90\% \leq x \leq 110\%$ ), with a value of 109.15%. Key factors contributing to the deviation include variations in dump truck loads, hauling road conditions during rainfall, material hardness, recording errors, and insufficient survey point density. Recommended improvements include load standardization, regular vessel capacity evaluation, better road maintenance, improved recording accuracy, and denser survey point measurements. These findings highlight the importance of integrating both methods with consistent technical control to enhance volume measurement accuracy and support optimal gold recovery.*

**Keywords:** Deviation, Mine Survey, Material Volume, Truck Count.

### **Abstrak**

PT. Serinding Sumber Makmur (PT. SSM) merupakan perusahaan tambang emas dengan sistem tambang terbuka di Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. Dalam kegiatan operasional, sering terjadi perbedaan hasil perhitungan volume material antara metode *Truck Count* dan *Mine Survey*, yang dapat memengaruhi target produksi dan tingkat *gold recovery*. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi selisih volume material berdasarkan kedua metode di Pit Lokma PT. SSM serta mengidentifikasi faktor penyebabnya. Data penelitian mencakup volume ore dan overburden bulan Juni 2025 yang dianalisis menggunakan kedua metode. Hasil menunjukkan volume berdasarkan *Truck Count* sebesar 30.929,47 BCM, sedangkan *Mine Survey* mencatat 33.759,94 BCM. Selisih sebesar 2.830,47 BCM menghasilkan deviasi 8,38%, melebihi toleransi ASTM ( $\pm 2,78\%$ ) namun masih dapat diterima menurut standar internal perusahaan ( $90\% \leq x \leq 110\%$ ) dengan nilai 109,15%. Faktor utama penyebab deviasi meliputi variasi muatan dump truck, kondisi jalan hauling saat hujan, kekerasan material, kesalahan pencatatan ritasi, serta rendahnya kerapatan titik ukur *Mine Survey*. Rekomendasi perbaikan mencakup standarisasi muatan, evaluasi berkala kapasitas vessel, peningkatan kualitas jalan hauling, ketelitian pencatatan ritasi, dan penambahan titik ukur survei. Temuan ini menegaskan perlunya integrasi kedua metode dengan pengendalian teknis yang konsisten untuk mendukung keakuratan perhitungan volume dan pencapaian *gold recovery* optimal.

**Kata Kunci:** Deviasi, *Mine Survey*, Volume Material, *Truck Count*

## PENDAHULUAN

Industri pertambangan emas berperan penting dalam mendukung kebutuhan sumber daya mineral di Indonesia. Salah satu perusahaan yang aktif beroperasi adalah PT. Serinding Sumber Makmur (PT. SSM) di Dusun Serinding, Kecamatan Sandai, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat, dengan sistem tambang terbuka (*open pit*). Dalam kegiatan penambangan, pengukuran volume material menjadi indikator krusial karena berhubungan langsung dengan evaluasi produksi, efisiensi operasi, serta pencapaian *gold recovery*.

Namun, dalam praktiknya sering dijumpai perbedaan hasil perhitungan volume antara metode *Truck Count* dan *Mine Survey*. *Truck Count* didasarkan pada jumlah ritasi dump truck, kapasitas muatan, serta densitas material, sedangkan *Mine Survey* memanfaatkan pengukuran topografi melalui *total station* atau teknologi pemetaan digital (*cut and fill surface*). Ketidaksesuaian hasil kedua metode dapat menimbulkan deviasi yang berimplikasi pada ketidakakuratan laporan produksi dan potensi kerugian perusahaan (Hardianti & Rohimin, 2023; Hasvah & Maiyudi, 2021; Hendri et al., 2023).

Penelitian sebelumnya menunjukkan berbagai faktor penyebab deviasi, antara lain kondisi jalan angkut, cuaca, kekerasan material, muatan dump truck yang tidak seragam, serta keterbatasan titik ukur survei (Fauzah et al., 2023; Manik et al., 2022; Salu & Silaban, 2024; Sepriadi et al., 2023). Dalam konteks global, teknologi berbasis UAV (Unmanned Aerial Vehicle), *remote sensing*, dan *machine learning* juga dikembangkan untuk meningkatkan akurasi perhitungan volume tambang (Hasözdemir et al., 2025; Zhang & Chen, 2023). Metode berbasis pengolahan citra dan *deep learning* bahkan mulai diterapkan untuk mendeteksi kapasitas muatan dump truck secara otomatis (Firoozi et al., 2024; Sun et al., 2021b). Disisi lain, penelitian terkini mengonfirmasi bahwa *Truck Count* sering kali menghasilkan bias akibat ketidakkonsistenan muatan aktual dan kesalahan pencatatan ritasi (Adam, 2025; Kurniawan & Okdinawati, 2024). Hal ini diperparah oleh faktor eksternal seperti curah hujan tinggi yang menyebabkan jalan licin, menurunkan kapasitas angkut, serta mempersulit pengukuran topografi (*survey cut and fill*) (Choi et al., 2022; Vera-Burau et al., 2023).

Studi perbandingan metode perhitungan volume di berbagai perusahaan tambang menunjukkan deviasi berkisar 5-20%, dengan kecenderungan hasil *Truck Count* lebih tinggi dibanding *Mine Survey* (Mantey & Aduah, 2021; Saputra et al., 2024). Meski demikian, standar toleransi deviasi bervariasi: ASTM menetapkan  $\pm 2,78\%$ , sedangkan banyak perusahaan tambang di Indonesia menggunakan batas internal 90-110% (Sepriadi et al., 2023). Dengan demikian, evaluasi deviasi hasil perhitungan volume menggunakan dua metode ini sangat penting dilakukan. Pertama, untuk memastikan hasil pengukuran volume material memenuhi standar akurasi yang ditetapkan. Kedua, untuk mengidentifikasi faktor penyebab perbedaan sehingga dapat dirumuskan rekomendasi perbaikan, seperti standarisasi muatan, peningkatan kualitas jalan hauling, pengaturan titik ukur lebih rapat, serta penggunaan teknologi digital sebagai pelengkap metode konvensional. Penelitian ini berfokus pada analisis ketidaksesuaian volume material di Pit Lokma PT. SSM pada bulan Juni 2025. Data perbandingan hasil *Truck Count* dan *Mine Survey* dianalisis terhadap standar ASTM dan ketentuan internal perusahaan. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai faktor penyebab deviasi serta solusi praktis untuk meningkatkan keakuratan pengukuran volume material tambang, sehingga mendukung efisiensi operasional sekaligus pencapaian *gold recovery* yang optimal.

Sejumlah penelitian open-access menunjukkan bahwa akurasi volumetri berbasis UAV fotogrametri sangat dipengaruhi oleh strategi akuisisi (misalnya kombinasi citra vertical high oblique dan ketinggian terbang) sehingga evaluasi ketelitian RMSE menjadi prasyarat sebelum volume digunakan sebagai dasar evaluasi produksi. (Lee & Lee, 2022). Di sisi lain, pengukuran volumetri berbasis TLS (terrestrial laser scanner) menawarkan kepadatan titik tinggi untuk estimasi volume stockpile, tetapi kualitas estimasi tetap sensitif terhadap desain akuisisi (cakupan

pemindaian, occlusion, dan strategi penggabungan point cloud) sehingga standar prosedur survei perlu dirumuskan agar bias volume dapat ditekan secara operasional (Lu et al., 2023).

Pendekatan UAV-fotogrametri juga berkembang melalui integrasi RTK/PPK dan perancangan GCP/CP untuk meningkatkan konsistensi elevasi dan ketelitian model permukaan, namun hasilnya tetap menuntut pengujian akurasi berbasis indikator kuantitatif agar kesalahan sistematis tidak terbawa ke estimasi volume. (Niu et al., 2024). Dalam jalur yang lebih digital, UAV LiDAR dengan pemrosesan intensitas reflektansi dan algoritma pembelajaran tak terawasi dipakai untuk ekstraksi permukaan tanah dan penilaian ketelitian estimasi volume pekerjaan tanah, yang menegaskan bahwa aspek pemrosesan data (filtering ground extraction) dapat memengaruhi hasil volume setara pentingnya dengan instrumen surveinya (Kang et al., 2025).

Pada konteks operasional tambang tropis, faktor eksternal seperti durasi hujan terbukti menurunkan efisiensi alat dan menaikkan cycle time sehingga berpotensi memengaruhi ritasi, kondisi jalan, serta kestabilan muatan actual yang pada akhirnya dapat memperlebar deviasi ketika volume dihitung berbasis ritasi dibandingkan berbasis survei permukaan (Basar et al., 2024). Selain itu, kualitas jalan angkut dapat dipetakan secara kuantitatif melalui parameter kekasaran misal IRI untuk mengaitkan kondisi jalan dengan dampak kinerja misal konsumsi bahan bakar, yang menguatkan argumen bahwa variabilitas jalan hauling adalah variabel operasional yang layak diuji keterkaitannya dengan perbedaan hasil Truck Count-Mine Survey (Luan et al., 2025).

Dari sisi kontrol muatan, tren pengukuran volume material secara in-situ menggunakan sensor 3D (mis. LiDAR pada bucket) menunjukkan peluang penguatan kontrol “hulu” muatan aktual untuk mengurangi bias estimasi berbasis asumsi kapasitas nominal semata (Niskanen et al., 2025). Di level praktik, studi komparatif drone dengan metode konvensional pada volumetri stockpile menekankan pentingnya validasi checkpoint dan menunjukkan rujukan toleransi ketidakpastian volumetri (mis.  $\pm 3\%$ ) sebagai batas kelayakan operasional, tetapi fokus kajiannya umumnya masih pada stockpile/earthwork, bukan pada rekonsiliasi pelaporan produksi harian antara Truck Count dan Mine Survey dalam operasi tambang yang dipengaruhi dinamika muatan jalan dan cuaca (Matsimbe et al., 2022).

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengujian empiris deviasi volume Truck Count dengan Mine Survey secara spesifik pada Pit Lokma PT. SSM (Juni 2025) dengan perbandingan terhadap standar toleransi yang digunakan (ASTM dan ketentuan internal perusahaan) sekaligus penelusuran variabel operasional yang paling berkontribusi terhadap deviasi untuk merumuskan tindakan perbaikan yang aplikatif. Tujuan penelitian ini menghitung dan membandingkan volume material berdasarkan metode Truck Count dan Mine Survey pada Pit Lokma PT. SSM bulan Juni 2025; menilai tingkat deviasi hasil kedua metode terhadap standar toleransi ASTM dan batas internal perusahaan; mengidentifikasi faktor operasional dominan yang berasosiasi dengan deviasi (misalnya variasi muatan aktual, kondisi jalan hauling, dan kendala pengukuran topografi); serta dan menyusun rekomendasi teknis yang terukur untuk meningkatkan akurasi pengukuran volume material dan keandalan pelaporan produksi.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah penelitian empiris dimana data-datanya dalam bentuk sesuatu yang dapat dihitung (Ali, 2022). Penelitian kuantitatif memperhatikan pengumpulan dan analisis data dalam bentuk numerik.

Tahapan penelitian diawali dengan studi pustaka dan observasi awal untuk memperoleh landasan teori dan gambaran kondisi lapangan. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data yang terdiri atas data primer berupa hasil pengukuran lapangan dengan *total station* akhir bulan Mei 2025 dan setiap minggu di bulan Juni 2025, data uji petik kapasitas *vessel dump truck*, data ritasi *shift* 1, serta data sekunder berupa arsip produksi perusahaan meliputi data ritasi *shift* 2, volume muatan, *density* material, dan data curah hujan selama bulan Juni 2025.

Uji petik pada kapasitas aktual vessel idealnya diposisikan sebagai tahap kalibrasi faktor volume (vessel factor) agar hasil Truck Count tidak semata bergantung pada kapasitas kesepakatan, melainkan mendekati kondisi muatan aktual yang benar-benar terjadi di front dan saat dumping (Nababan et al., 2024). Dalam praktik pengukuran volume stockpile, literatur mutakhir menunjukkan bahwa metode terestris (total station/GNSS) dan metode berbasis citra (UAV/photogrammetry/TLS) memiliki profil ketelitian dan sumber error yang berbeda, sehingga pengukuran stockpile untuk uji petik akan lebih kuat jika diperlakukan sebagai cross-check terhadap potensi bias geometri tumpukan dan occlusion (Alsayed & Nabawy, 2023).

Pada konteks operasional tambang, pendekatan hybrid (misalnya Total Station, GNSS RTK, UAV) dilaporkan efektif untuk meningkatkan confidence hasil volume karena masing-masing sensor saling menutup kelemahan (misalnya RTK pada area terbuka, TS pada area sempit/terhalang, UAV pada area luas) (Maulana & Kuncoro, 2025). Dengan desain uji petik yang hanya merepresentasikan sebagian kondisi (misalnya variasi kelembapan, fragmentasi, dan cara loading), penguatan akurasi dapat dilakukan melalui replikasi uji petik lintas shift dan lintas jenis material agar faktor vessel yang dipakai Truck Count lebih stabil secara statistik.

Pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahap. Pada metode *Truck Count*, perhitungan volume didasarkan pada jumlah ritasi, volume muatan, dan *density* material, dengan persamaan:

$$\text{Total Ore} = \text{Jumlah Ritasi} \times \text{Volume Muatan} \times \text{Density} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{Total OB} = \text{Jumlah Ritasi OB} \times \text{Volume Muatan} \dots\dots\dots (3.2)$$

Pada metode *Mine Survey*, perhitungan volume dilakukan menggunakan data koordinat (X, Y, Z) yang diperoleh dari *total station* dengan sistem proyeksi UTM. Data hasil pengukuran kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Surpac 6.3 melalui fitur *Surface to Surface Volume (cut and fill)* untuk menghitung perubahan volume material. Selanjutnya, dilakukan perhitungan deviasi antara metode *Truck Count* (V2) dan *Mine Survey* (V1) dengan persamaan:

$$\text{Selisih} = V1 - V2 \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\% \text{ Selisih} = \frac{V1-V2}{V1} \times 100\% \dots\dots\dots (3.4)$$

Standar akurasi yang digunakan mengacu pada toleransi ASTM sebesar  $\pm 2,78\%$ . Selain itu, persentase perbandingan hasil perhitungan *Truck Count* terhadap *Mine Survey* dihitung dengan persamaan:

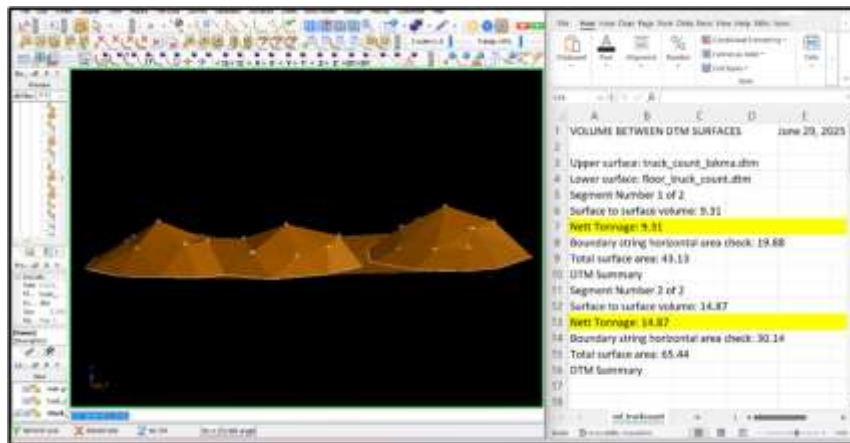
$$\% \text{ Perbandingan} = \frac{V1}{V2} \times 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

Perusahaan menetapkan bahwa nilai perbandingan hasil kedua metode berada dalam rentang toleransi  $90\% \leq x \leq 110\%$ . Tahap akhir adalah analisis data, yang bertujuan untuk mengidentifikasi selisih hasil perhitungan volume material dari kedua metode, menentukan faktor-faktor penyebab ketidaksesuaian, serta merumuskan rekomendasi guna meminimalkan deviasi hasil perhitungan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Petik

Uji petik merupakan suatu teknik pengambilan sebagian data dari keseluruhan populasi sebagai representasi untuk memperoleh gambaran atau estimasi terhadap kondisi aktual (Sugiyono, 2016). Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data uji petik untuk mengetahui kapasitas aktual vessel dari *dump truck* yang digunakan dalam aktivitas pengangkutan material. Data uji petik diperoleh melalui pengukuran volume tumpukan material (*stockpile* hasil *dumping*) menggunakan alat *Total station*, yang kemudian diolah menggunakan aplikasi Surpac 6.3 untuk mendapatkan estimasi volume material yang akurat berdasarkan model permukaan (*surface to surface volume*).



**Gambar 1.** Tampilan Hasil Pengolahan Volume Tumpukan Material Uji Petik Menggunakan Aplikasi Surpac 6.3  
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil pengolahan di *software surpac 6.3*, diperoleh volume total tumpukan sebesar 24,18 LCM. Maka kapasitas aktual *dump truck* dapat dihitung, dimana total volume tonase tumpukan diperoleh dari penjumlahan volume 3 (tiga) tumpukan material, yang mana setiap tumpukan terdiri dari 4 (empat) *bucket*, sehingga totalnya mencakup 12 (dua belas) *bucket*. Berikut detail perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Vol. Bucket} &= (V_1 + V_{2+3}) / \text{SF} / N \\
 &= (9,31 \text{ LCM} + 14,87 \text{ LCM}) : 1,60 : 12 \text{ bucket} \\
 &= 1,26 \text{ BCM} \times 1,60 \text{ ton/m}^3 \\
 &= 2,02 \text{ ton} \\
 \text{Kapasitas Vessel} &= \text{Vol. Bucket} \times \text{Jumlah Bucket} \\
 &= 1,26 \times 4 \text{ bucket} \\
 &= 5,03 \text{ BCM} \times 1,60 \text{ ton/m}^3 \\
 &= 8,05 \text{ ton} \\
 \text{Keterangan:} \\
 V_1 &= \text{Volume Tumpukan 1} \\
 V_{2+3} &= \text{Total Volume Tumpukan 2 dan 3} \\
 \text{SF} &= \text{Swell Factor} \\
 N &= \text{Jumlah Total Bucket} \\
 P \text{ (density)} &= 1,60 \text{ ton/m}^3
 \end{aligned}$$

Dalam konversi bank loose dan konversi volume tonase, literatur menunjukkan bahwa swell factor dan bulk density sensitif terhadap kondisi material (derajat fragmentasi, kadar air, dan cara pemuatan), sehingga penggunaan nilai tetap berpotensi menjadi sumber deviasi sistematis bila kondisi lapangan berubah misalnya saat hujan. Parameter operasional seperti bucket fill factor dan swell factor dilaporkan menjadi komponen utama yang menggeser estimasi produktivitas/volume karena ia memodifikasi volume teoritis menjadi volume aktual yang benar-benar termuat dan terangkut.

Selain itu, kajian resolusi/ketelitian model permukaan menegaskan bahwa perubahan detail geometri permukaan (akibat resolusi/kepadatan data) dapat menghasilkan perubahan estimasi volume yang nyata, sehingga konsistensi parameter (SF density) sebaiknya dibarengi konsistensi kualitas permukaan model stockpile/pit. (Sařak et al., 2024). Karena itu, penguatan uji petik tidak hanya pada angka kapasitas, tetapi juga pada traceability kondisi material saat uji petik (cuaca, kadar air relatif, front asal material) agar interpretasi deviasi pada EOM lebih terkendali.

### Hasil Metode *Truck Count*

Berdasarkan data ritasi yang telah dikumpulkan di lapangan, volume material menggunakan metode *Truck Count* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.1) dan (3.2). Perhitungan ini dilakukan untuk memperoleh total volume material yang diangkut selama periode penelitian. Berikut perhitungan volume material yang tertambang selama bulan Juni 2025:

$$\begin{aligned}\text{Total Ore Sub Grade} &= \text{Jumlah Ritasi} \times \text{Volume Muatan} \times \text{Density} \\ &= 755 \times 5,03 \text{ BCM} \times 1,60 \text{ ton/m}^3 \\ &= 6.076 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Ore Low Grade} &= \text{Jumlah Ritasi} \times \text{Volume Muatan} \times \text{Density} \\ &= 431 \times 5,03 \text{ BCM} \times 1,60 \text{ ton/m}^3 \\ &= 3.469 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Ore Medium Grade} &= \text{Jumlah Ritasi} \times \text{Volume Muatan} \times \text{Density} \\ &= 213 \times 5,03 \text{ BCM} \times 1,60 \text{ ton/m}^3 \\ &= 1.714 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Ore High Grade} &= \text{Jumlah Ritasi} \times \text{Volume Muatan} \times \text{Density} \\ &= 218 \times 5,03 \text{ BCM} \times 1,60 \text{ ton/m}^3 \\ &= 1.754 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Ore Super High Grade} &= \text{Jumlah Ritasi} \times \text{Volume Muatan} \times \text{Density} \\ &= 99 \times 5,03 \text{ BCM} \times 1,60 \text{ ton/m}^3 \\ &= 797 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Ore Keseluruhan} &= \text{Jumlah Ritasi} \times \text{Volume Muatan} \\ &= 1.716 \times 5,03 \text{ BCM} \\ &= 8.631,48 \text{ BCM}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total OB} &= \text{Jumlah Ritasi OB} \times \text{Volume Muatan} \\ &= 4.433 \times 5,03 \text{ BCM} \\ &= 22.297,99 \text{ BCM}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka total volume material yang tertambang selama bulan Juni 2025, yaitu: Total Vol. Material} &= \text{Total Ore} + \text{Total OB} \\ &= 8.631,48 \text{ BCM} + 22.297,99 \text{ BCM} \\ &= 30.929,47 \text{ BCM}\end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi hasil perhitungan volume untuk masing-masing jenis material menggunakan metode *Truck Count* pada *End of Month* (EOM) bulan Juni 2025.

**Tabel 1.** *End of Month* (EOM) Bulan Juni 2025

| Material                      | Rit          | Volume               |
|-------------------------------|--------------|----------------------|
| <i>Sub Grade</i> (SG)         | 755          | 6.076 Ton            |
| <i>Low Grade</i> (LG)         | 431          | 3.469 Ton            |
| <i>Medium Grade</i> (MG)      | 213          | 1.714 Ton            |
| <i>High Grade</i> (HG)        | 218          | 1.754 Ton            |
| <i>Super High Grade</i> (SHG) | 99           | 797 Ton              |
| <b>Total Ore Non-SG</b>       | <b>961</b>   | <b>7.734,13 Ton</b>  |
| <b>Overburden</b>             | <b>4.433</b> | <b>22.297,99 BCM</b> |
| <i>Overburden</i> + SG        | 5.188        | 26.096 BCM           |
| <i>Stripping Ratio</i>        |              | 2,88                 |

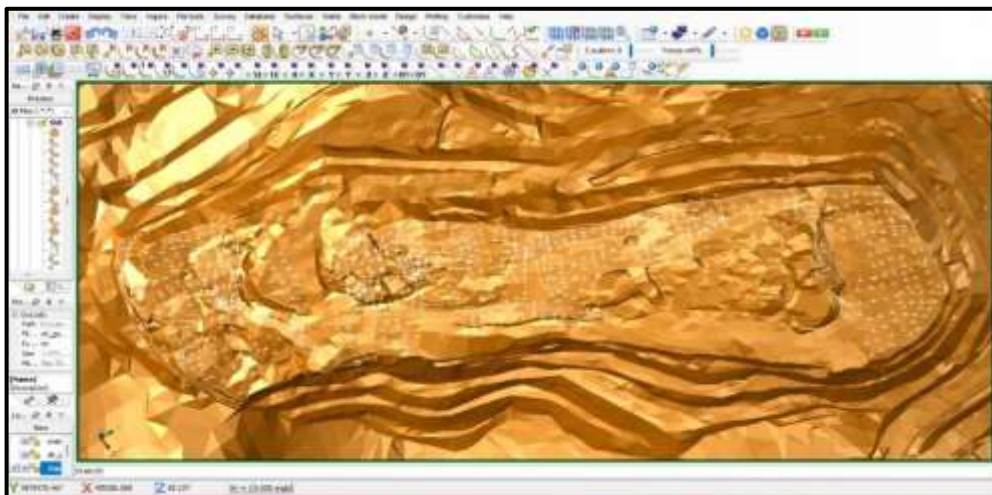
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Secara metodologis, Truck Count rentan bias ketika volume muatan aktual tidak teramati langsung, sehingga pendekatan automation berbasis visi komputer dan pembelajaran mendalam mulai digunakan untuk mendeteksi volume muatan dump truck dari citra guna mengurangi ketergantungan pada pencatatan manual ritasi dan asumsi kapasitas (Sun et al., 2021). Studi open-access lain menunjukkan bahwa sistem pengenalan kendaraan berbasis computer vision dapat menekan human involvement pada monitoring truk secara real-time, yang relevan untuk mengurangi under/over counting ritasi dan meningkatkan konsistensi data produksi (Chou & Liu, 2021).

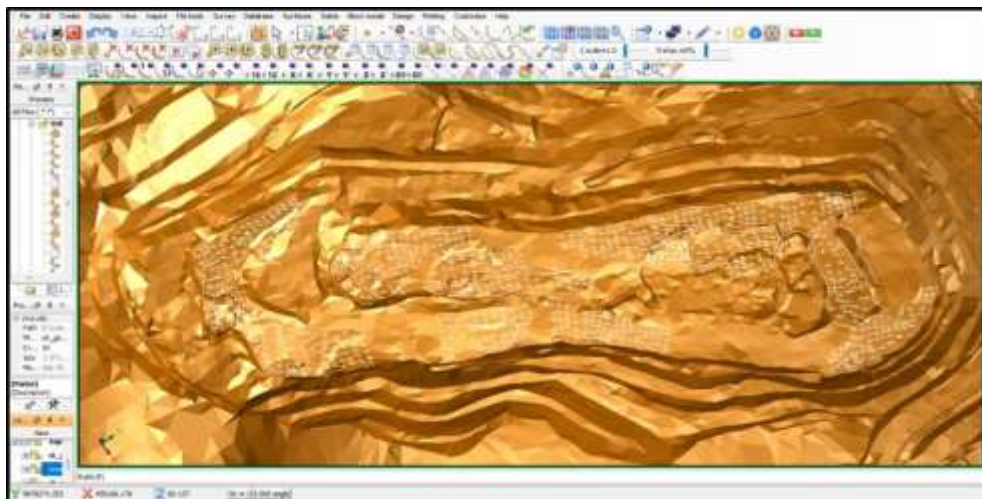
Untuk konteks perbaikan proses pencatatan, pendekatan perbaikan mutu berbasis analisis akar masalah (misalnya process improvement pada tahap pencatatan, rekapitulasi) dilaporkan efektif menekan deviasi produksi yang bersumber dari variasi input data dan ketidaktertiban prosedural. (Kurniawan & Okdinawati, 2024). Dengan demikian, Truck Count pada studi Anda dapat diperkuat sebagai sistem estimasi yang terkalibrasi (oleh uji petik) dan terkendali (oleh kontrol pencatatan), bukan sekadar hasil perkalian ritasi dan kapasitas.

### Hasil Metode *Mine Survey*

Pengambilan data situasi koordinat dilakukan untuk memperoleh informasi posisi dan elevasi titik-titik di lapangan secara presisi. Proses ini dilakukan menggunakan alat *Total station*. Banyak data koordinat situasi topografi tambang yang diperoleh adalah untuk akhir bulan Mei sebanyak 2.109 titik koordinat sedangkan untuk bulan Juni sebanyak 2.344 titik koordinat.



**Gambar 2.** Area yang Diukur Topografi Diakhir Bulan Mei 2025

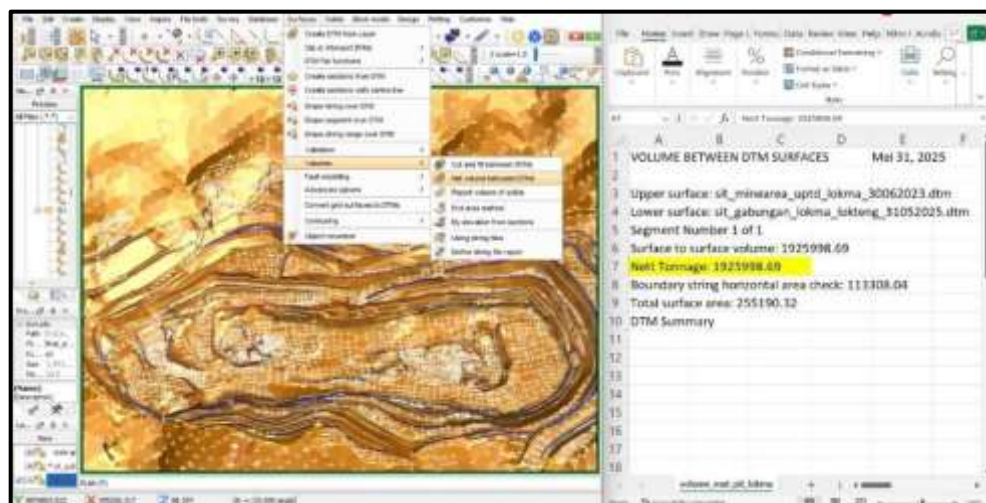


**Gambar 3.** Area yang Diukur Topografi Diakhir Bulan Juni 2025  
Sumber: Hasil Analisis, 2025

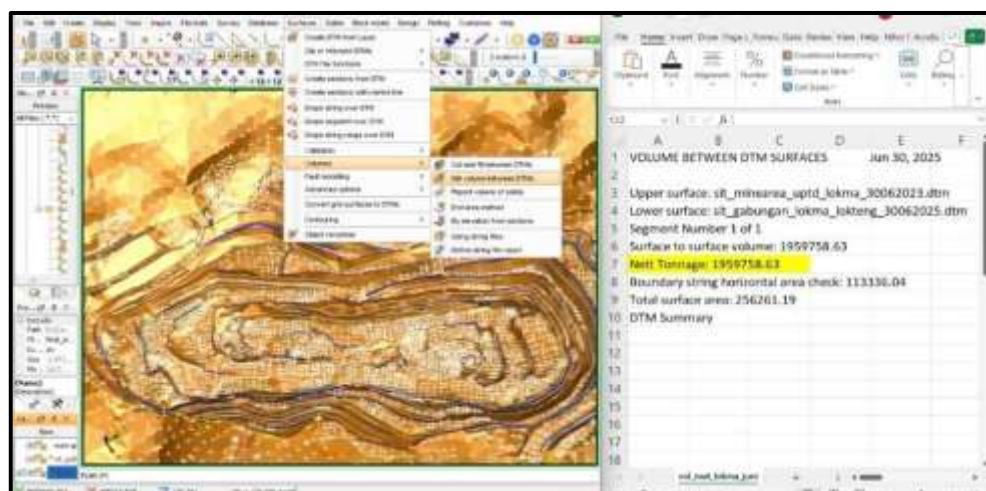
Berdasarkan data *Mine Survey* yang telah diolah menjadi model permukaan (*surface*) awal dan akhir. Selisih antara kedua permukaan tersebut dapat dihitung untuk menentukan volume aktual material yang telah dibongkar. Ketelitian volume *surface to surface* sangat dipengaruhi oleh kualitas model permukaan (kerapatan titik, distribusi titik pada area perubahan elevasi tajam, serta konsistensi *breakline*), karena perubahan resolusi/representasi geometri permukaan dapat menggeser estimasi volume dan perubahan tinggi rata-rata secara terukur (Šašak et al., 2024).

Dalam studi volume berbasis pemodelan permukaan, pelaporan error band (misalnya berbasis RMSE/standard deviation dari metode) disarankan agar pembaca dapat memisahkan “selisih karena fenomena nyata” dengan “selisih karena ketidakpastian model” (Maulana & Kuncoro, 2025). Pada praktik tambang terbuka, pemrosesan Surpac dengan skema cut and fill/surface modelling juga lazim digunakan untuk membandingkan data survey dan truck count, sehingga penguatan pada tahap *surface building* (pembersihan outlier, konsistensi grid/TIN, dan validasi area pit disposal) menjadi kunci sebelum interpretasi deviasi (Amalia et al., 2024).

Dengan penguatan tersebut, argumen Anda tentang perbaikan akurasi saat spasi titik berubah menjadi  $\pm 3$  m akan lebih kuat karena disertai penjelasan mekanisme perubahan kualitas permukaan. Berikut ini hasil perhitungan total volume material sebelum kegiatan penambangan pada bulan Mei dan setelah proses penambangan pada bulan Juni, sesuai dengan periode pelaksanaan penelitian:



**Gambar 4.** Hasil Output Perhitungan Volume Akhir Bulan Mei 2025



**Gambar 5.** Hasil Output Perhitungan Volume Akhir Bulan Juni 2025

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil pengolahan data permukaan topografi menggunakan metode *surface to surface* di *software Surpac 6.3*, diperoleh total volume material yang terbongkar sejak Bulan Juni 2023 sampai bulan Mei 2025 sebesar 1.925.998,69 BCM. Sementara itu, total volume material yang terbongkar sejak Bulan Juni 2023 hingga akhir bulan Juni 2025 tercatat sebesar 1.959.758,63 BCM. Maka volume material yang hanya terbongkar di Bulan penelitian, yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Vol. Material Bulan Juni} &= 1.959.758,63 \text{ BCM} - 1.925.998,69 \text{ BCM} \\ &= 33.759,94 \text{ BCM}\end{aligned}$$

### Analisis Selisih Volume Berdasarkan Standar Toleransi ASTM

Perhitungan deviasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar selisih volume antara metode *Mine Survey* (V1) dan metode *Truck Count* (V2) terhadap total volume aktual (V1) berdasarkan standar toleransi ASTM. Berikut rekapitulasi perbandingan volume *overburden* berdasarkan metode perhitungan *Mine Survey* dan *Truck Count* pada kegiatan penambangan di Pit Lokma.

**Tabel 2.** Perbandingan Volume Material Berdasarkan Metode *Mine Survey* dan Metode *Truck Count*

| Volume Material Metode<br><i>Truck Count</i> | Volume Material Metode<br><i>Mine Survey</i> | Selisih |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------|
| 30.929,47 BCM                                | 33.759,94 BCM                                | 8,38%   |

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Adapun rincian perhitungan deviasi volume material berdasarkan data *Truck Count* dan *Mine Survey* pada bulan Juni tahun 2025 di Pit Lokma PT. SSM, antara lain:

$$\begin{aligned}\text{Selisih} &= V1 - V2 \\ &= 33.759,94 \text{ BCM} - 30.929,47 \text{ BCM} \\ &= 2.830,47 \text{ BCM} \\ \% \text{ Selisih} &= \frac{V1 - V2}{V1} \times 100\% \\ &= \frac{33.759,94 \text{ BCM} - 30.929,47 \text{ BCM}}{33.759,94 \text{ BCM}} \times 100\% \\ &= 8,38\%\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, selisih volume antara kedua metode sebesar 2.830,47 BCM menghasilkan nilai deviasi sebesar 8,38%. Nilai ini melebihi batas toleransi deviasi yang ditetapkan oleh standar ASTM, yaitu sebesar  $\pm 2,78\%$ , sehingga secara teknis menunjukkan adanya ketidaksesuaian yang signifikan antara hasil perhitungan kedua metode apabila mengacu pada standar umum tersebut.

Beberapa publikasi open-access bidang survei/rekayasa sipil di Indonesia menggunakan batas toleransi ASTM 2,78% sebagai ambang evaluasi akurasi perbandingan volume cut–fill terhadap volume rujukan, sehingga praktik perbandingan yang Anda gunakan memiliki pijakan pada tradisi uji toleransi yang juga diterapkan di studi volume berbasis permukaan (Firmansyah et al., 2023). Kajian interval profil melintang juga menunjukkan bahwa pemilihan interval/kepadatan pengambilan data dapat membuat sebagian skenario perhitungan volume tidak lolos batas toleransi 2,78%, yang secara konseptual sejalan dengan temuan Anda bahwa perubahan spasi titik memengaruhi kedekatan *Mine Survey* terhadap estimasi aktual (Azzumardi et al., 2022). Studi lain menegaskan penerapan uji ASTM 2,78% pada evaluasi volume berbasis penampang/komposit, yang memperlihatkan bahwa pemenuhan toleransi sangat bergantung pada kualitas data topografi dan metode komputasi volume yang digunakan (Azzumardi et al., 2022). Dengan demikian, posisi hasil deviasi 8,38% pada studi Anda dapat ditegaskan sebagai tidak memenuhi tolok ukur ASTM remeberan namun tetap masih masuk kontrol internal perusahaan, tanpa menegaskan kebutuhan korektif pada sumber deviasi.

### Analisis Perbandingan Volume Berdasarkan Standar Toleransi Perusahaan

Selain mengacu pada standar ASTM, perbandingan hasil perhitungan volume juga dianalisis berdasarkan standar toleransi internal perusahaan. Berikut ini perhitungan perbandingan kedua metode:

$$\begin{aligned}\text{Perbandingan} &= \frac{V1}{V2} \times 100\% \\ &= \frac{33.759,94 \text{ BCM}}{30.929,47 \text{ BCM}} \times 100\% \\ &= 109,15 \%\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas diperoleh nilai persentase perbandingan sebesar 109,15%. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh PT. SSM, yaitu  $90\% \leq x \leq 110\%$ . Namun demikian, nilai tersebut sudah mendekati batas atas toleransi yang ditetapkan perusahaan, sehingga perlu menjadi perhatian untuk evaluasi lebih lanjut terhadap faktor-faktor penyebab ketidaksesuaian agar hasilnya tetap berada dalam rentang yang ideal dan tidak melebihi ambang batas yang ditentukan.

### Analisis Faktor Penyebab

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan, diketahui bahwa nilai deviasi antara metode *Mine Survey* dan metode *Truck Count* (ritase alat angkut) menunjukkan deviasi sebesar 8,38%. Ketidaksesuaian ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

#### 1. Variasi Muatan *Dump Truck*

Ketidaksamaan dalam jumlah muatan *dump truck* menjadi salah satu penyebab deviasi yang mengakibatkan volume yang tercatat melebihi atau kurang dari volume aktual yang seharusnya.

#### 2. Kapasitas Rata-Rata *Vessel Dump Truck*

Hasil uji petik menunjukkan bahwa kapasitas rata-rata muatan *vessel dump truck* merk Mercy adalah sebesar 5,03 BCM. Namun demikian, tidak semua unit alat muat mengangkut volume material yang konsisten dalam setiap siklus kerja, sehingga menyebabkan ketidaksesuaian dalam perhitungan volume.

#### 3. Kekerasan Material

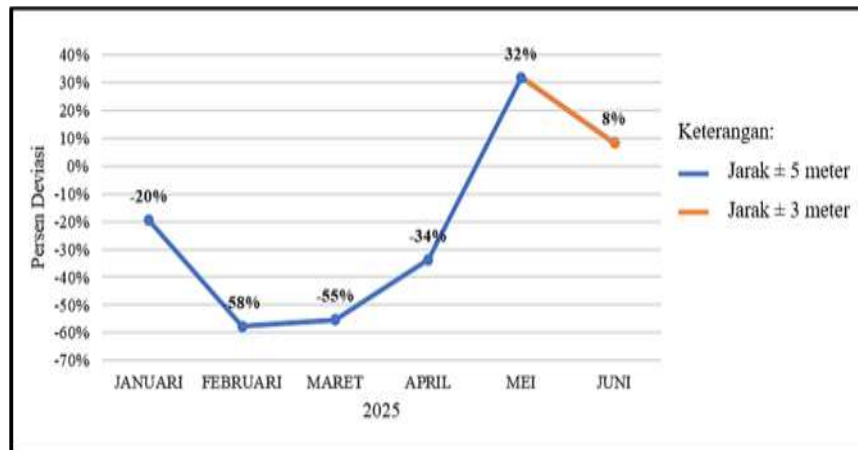
Material di lokasi penelitian memiliki karakteristik fisik yang cukup keras, yang berpotensi mempengaruhi efisiensi proses pemuatan serta volume muatan aktual yang dapat diangkut.

#### 4. Kondisi Jalan Angkut (*Hauling Road*)

Kondisi jalan hauling di *front pit* lokma yang basah dan licin turut mempengaruhi stabilitas dan kapasitas muatan *dump truck* selama proses pengangkutan. Kondisi jalan yang buruk juga akan menghambat proses pengukuran volume material.

#### 5. Tingkat Kerapatan Titik Pengukuran *Mine Survey*

Tingkat akurasi metode *Mine Survey* sangat bergantung pada kerapatan titik pengukuran. Semakin rapat jarak antar titik pengukuran, semakin representatif model permukaan yang dihasilkan terhadap kondisi aktual di lapangan. Berikut grafik perbandingan deviasi antara EOM bulan Juni 2025 dengan data perusahaan selama lima bulan sebelumnya menunjukkan perbedaan signifikan, dimana data sebelumnya masih menggunakan jarak antar titik sebesar 5 meter:



**Gambar 6.** Grafik Persentase Deviasi Volume antara Metode *Truck Count* dan *Mine Survey* (Januari–Juni 2025)

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada bulan Januari hingga Mei 2025, nilai deviasi volume cenderung negatif dan cukup besar, yaitu berkisar antara -20% hingga -58%. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil pengukuran volume menggunakan metode *Mine Survey* lebih rendah dibandingkan metode *Truck Count*, yang salah satunya disebabkan oleh tingkat kerapatan titik pengukuran yang masih rendah (5 meter) sehingga model permukaan kurang merepresentasikan kondisi aktual. Sebaliknya, pada bulan Juni 2025, setelah dilakukan perubahan metode pengukuran dengan jarak antar titik sebesar  $\pm 3$  meter, nilai deviasi menunjukkan peningkatan akurasi, ditandai dengan nilai deviasi 8%.

Selain kontrol lapangan pada operator dan checker, implementasi otomasi pengukuran pada tahapan loading dapat dipertimbangkan sebagai second layer control untuk menekan risiko salah estimasi kapasitas vessel yang berulang, terutama saat kondisi visibilitas rendah misalnya shift malam atau hujan (Yanwari & Enriko, 2022). Untuk peningkatan kualitas jalan hauling, literatur open-access menunjukkan bahwa perbaikan segmen “poor” menjadi “moderate” berdasarkan klasifikasi kuantitatif IRI dapat memberikan penghematan biaya BBM sekaligus mendukung kestabilan operasi angkut, sehingga rekomendasi grading drainase dapat diperkuat dengan target kualitas jalan yang terukur, bukan hanya deskriptif (Luan et al., 2025).

Sebagai pelengkap, rekonsiliasi volume dapat ditingkatkan melalui integrasi rencana pergerakan ore waste dan pemilihan haul road optimal (pada level perencanaan), karena strategi ini dilaporkan mampu menekan jarak angkut dan meningkatkan efisiensi penjadwalan material pada tambang terbuka (Das et al., 2024). Untuk penguatan sisi *Mine Survey*, penerapan standar uji toleransi (misalnya 2,78%) dapat dipadukan dengan evaluasi sensitifitas kerapatan titik (3 m dan 5 m) sehingga perusahaan memperoleh rule of thumb berbasis data untuk menentukan spasi titik pada area kritis (perubahan elevasi besar). (Azzumardi et al., 2022).

Dengan paket kontrol tersebut otomasi loading, target kualitas jalan berbasis IRI, rekonsiliasi perencanaan, dan uji sensitifitas spasi titik, deviasi dapat ditekan tanpa mengubah alur kerja inti yang sudah berjalan di PT. SSM.

#### 1. Human Error

Kesalahan manusia (*human error*), khususnya dalam proses pencatatan dan perhitungan ritasi oleh petugas *checker*, turut menjadi faktor penyebab deviasi antara metode *Truck Count* dan *actual Mine Survey*. Kesalahan ini berupa pencatatan ritasi yang tidak akurat, kelalaian dalam mencatat ritase, dan kesalahan perhitungan totalan data, yang pada akhirnya mempengaruhi hasil estimasi volume material secara keseluruhan.

## 2. Curah Hujan

Curah hujan yang tinggi dengan total 396 mm dan total durasi hujan sebesar 55,01 jam selama bulan penelitian mempengaruhi akurasi perhitungan volume material tambang. Durasi dan intensitas hujan yang tinggi berkontribusi terhadap peningkatan deviasi antara metode *Truck Count* dan *Mine Survey*. Pada metode *Truck Count*, kondisi hujan menurunkan konsistensi kapasitas muatan *dump truck* sehingga menjadi tidak maksimal. Selain itu, jalan yang basah, licin dan berlubang membuat muatan *dump truck* berpotensi tumpah dan membuat operator DT mengurangi kecepatan. Sementara pada metode *Mine Survey*, genangan air dan kondisi medan yang licin menghambat pengambilan data serta mempengaruhi akurasi model permukaan. Akibatnya, terjadi deviasi hasil perhitungan antara kedua metode.

Kondisi jalan angkut dapat dikuantifikasi lebih objektif melalui indikator kekasaran seperti International Roughness Index (IRI) berbasis DEM/point cloud, dan literatur menunjukkan bahwa klasifikasi kualitas jalan yang buruk berkorelasi dengan peningkatan konsumsi BBM sekaligus penurunan efisiensi pengangkutan (Luan et al., 2025). Dalam kondisi iklim ekstrem, performa *dump truck* dan biaya angkut dapat berubah signifikan karena variabel lingkungan memengaruhi indikator operasi (misalnya kecepatan, waktu edar, dan beban efektif), sehingga curah hujan tinggi dan durasi hujan panjang secara teoritis konsisten sebagai pemicu deviasi *Truck Count* maupun hambatan pengambilan data *Mine Survey* (Kuznetsov & Kosolapov, 2022).

Pada studi perbandingan survey–truck count di tambang terbuka, curah hujan juga dilaporkan berkaitan dengan perubahan kohesivitas/kelekatan material dan efeknya terhadap muatan efektif vessel, yang relevan dengan narasi Anda mengenai material lengket, potensi tumpah, serta penurunan kecepatan di jalan basah (Muhiddin, 2023). Untuk faktor human error, penguatan argumen dapat dilakukan dengan menautkan bahwa otomasi pengukuran/monitoring loading misalnya berbasis sensor/laser dilaporkan sebagai strategi pengurangan kesalahan pengukuran kapasitas vessel pada proses loading (Yanwari & Enriko, 2022). Dengan penambahan indikator kuantitatif (IRI, perubahan cycle time, serta catatan hujan harian), bagian faktor penyebab akan lebih sistematis karena menjembatani deviasi numerik 8,38% dengan mekanisme operasional yang terukur.

## Rekomendasi Upaya Meminimalisasi

Berdasarkan hasil pengolahan volume material menggunakan metode *Truck Count* dan metode *Mine Survey*, terdapat sejumlah langkah yang dapat diterapkan sebagai upaya untuk meminimalkan deviasi hasil pengukuran volume material, diantaranya adalah sebagai berikut:

### 1. Standarisasi Muatan *Dump Truck*

Untuk mengurangi variasi dalam jumlah muatan, diperlukan pengawasan ketat dan rutin terhadap aktivitas pemuatan oleh pengawas (*Supervisor* dan *Foreman*) terhadap operator alat muat. Pengawasan secara langsung di area *loading* dapat memastikan setiap *dump truck* terisi sesuai ketentuan perusahaan. Selain itu, pembersihan *vessel dump truck* secara berkala setelah *dumping* juga perlu dilakukan guna menghindari sisa material yang menempel dan menyebabkan *overestimasi* volume.

### 2. Evaluasi Kapasitas *Vessel Dump Truck*

Perlu dilakukan validasi ulang terhadap kapasitas rata-rata *vessel dump truck* secara berkala, minimal satu kali dalam sebulan, guna memastikan data yang digunakan tetap representatif.

### 3. Perbaikan Kondisi Jalan Hauling

Upaya peningkatan kualitas jalan hauling dilakukan melalui kegiatan grading rutin minimal sekali dalam setiap *shift* berupa pemadatan permukaan jalan, serta perbaikan sistem drainase untuk menghindari genangan air. Jalan hauling yang stabil dan kering akan meningkatkan efisiensi pengangkutan serta mengurangi risiko kehilangan atau pengurangan muatan akibat kondisi jalan yang kurang baik, hal ini juga akan memperlancar proses pengukuran volume material.

4. Peningkatan Kerapatan Titik Pengukuran *Mine Survey*  
Untuk meningkatkan akurasi, titik-titik pengukuran perlu dibuat lebih rapat, terutama di area dengan perubahan elevasi signifikan. Penggunaan jarak antar titik maksimal 3 meter atau lebih kecil dianjurkan, dengan mempertimbangkan luas area dan kompleksitas topografi. Hal ini telah didukung dengan hasil penelitian yang memperoleh deviasi sebesar 8,38%.
5. Peningkatan Ketelitian Pencatatan dan Sumber Daya Manusia  
Pada saat *shift* malam penempatan *lighting tower* harus standar dan pengecatan ulang nomor unit yang nomornya telah pudar agar dapat terlihat dengan jelas untuk identifikasi unit *dump truck* juga dapat meminimalkan kesalahan pencatatan ritasi akibat nomor unit yang tidak terbaca. Selain itu, penambahan personel pada tim *Mine Survey* dapat mempercepat waktu pengukuran dan memperluas cakupan area pengukuran, sehingga data yang dihasilkan lebih akurat dan representatif. Selanjutnya, setiap pengawas harus lebih ketat dalam melakukan pengawasan pada akhir *shift* agar tidak ada *checker* yang pulang tidak sesuai jam operasional yang dapat mengakibatkan adanya ritasi yang terlewat (tidak tercatat).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di Pit Lokma PT. Serinding Sumber Makmur terdapat perbedaan hasil pengukuran volume material antara metode *Truck Count* dan *Mine Survey* pada periode Juni 2025. Volume material yang dihitung dengan metode *Truck Count* sebesar 30.929,47 BCM, sedangkan *Mine Survey* menunjukkan 33.759,94 BCM. Selisih 2.830,47 BCM menghasilkan deviasi 8,38%, yang melampaui toleransi ASTM ( $\pm 2,78\%$ ), namun masih berada dalam rentang standar internal perusahaan ( $90\% \leq x \leq 110\%$ ) dengan nilai 109,15%; Ketidaksesuaian tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya variasi muatan dump truck, kondisi jalan hauling yang basah dan licin, kekerasan material, serta kesalahan pencatatan ritasi. Selain itu, rendahnya kerapatan titik pengukuran pada metode *Mine Survey* dan gangguan cuaca turut memperburuk akurasi hasil perhitungan; Sebagai upaya perbaikan, penelitian ini merekomendasikan beberapa langkah strategis, yaitu: (1) standarisasi muatan dump truck dengan pengawasan rutin di area loading; (2) evaluasi berkala kapasitas vessel untuk memastikan data tetap representatif; (3) perbaikan kondisi jalan hauling melalui pemadatan dan peningkatan sistem drainase; (4) peningkatan ketelitian pencatatan ritasi serta penguatan pengawasan lapangan; dan (5) penambahan kerapatan titik ukur *Mine Survey* agar model permukaan lebih akurat; dan Temuan penelitian ini menegaskan pentingnya integrasi kedua metode pengukuran dengan dukungan kontrol teknis yang konsisten. Dengan penerapan rekomendasi tersebut, diharapkan deviasi hasil perhitungan dapat diminimalkan sehingga laporan produksi lebih akurat, efisiensi operasional meningkat, dan pencapaian *gold recovery* optimal dapat terjamin.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F. S. (2025). Evaluation of Survey Factors on Truck Count and Achievement of Actual Volume of Mining in July 2024. *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, 8(1). <https://doi.org/10.56139/intan.v8i1.282>
- Ali, M. M. (2022). Metodologi Penelitian Kuantitatif dan Penerapan Nya dalam Penelitian. *JPIB: Jurnal Penelitian Ibnu Rusyd*, 1(2), 1–5.
- Alsayed, A., & Nabawy, M. (2023). Stockpile Volume Estimation in Open and Confined Environments: A Review. *Drones*, 7(1), 12. <https://doi.org/10.3390/drones7010012>
- Amalia, F., Anshariah, A., & Thamsi, A. B. (2024). Analisis Perhitungan Volume Overburden Berdasarkan Data Survey Area PIT dan Disposal Serta Data Truck Count di PT Jaga Aman Sejahtera. *Journal of Mining Insight*, 2(4), 91–96. <https://doi.org/10.58227/jmi.v2i4.282>

- Azzumardi, A., Budisusanto, Y., & Yuwono, Y. (2022). Analisis Interval Jarak Profil Melintang Terhadap Perhitungan Volume Pada Jalan Lurus dan Jalan Berbelok. *Geoid*, 18(1), 124–135. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v18i1.12205>
- Basar, N. L., Hartono, & Robial, S. M. (2024). Rainfall duration's impact on mining earthmoving equipment performance – Case study at PT. BUMA GEO-AJE, South Kalimantan. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 26(2), 77–88. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v26i2.9013>
- Choi, Y., Nguyen, H., Bui, X.-N., & Nguyen-Thoi, T. (2022). Optimization of haulage-truck system performance for ore production in open-pit mines using big data and machine learning-based methods. *Resources Policy*, 75, 102522. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102522>
- Chou, J.-S., & Liu, C.-H. (2021). Automated Sensing System for Real-Time Recognition of Trucks. *Sensors*, 21(2), 555. <https://doi.org/10.3390/s21020555>
- Das, R., Topal, E., & Mardaneh, E. (2024). Concurrent optimisation of open pit ore and waste movement with optimal haul road selection. *Resources Policy*, 91, 104834. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104834>
- Fauzah, D., Nurany, N., & Firman, F. (2023). Evaluasi Kemajuan Tambang Triwulan ke {IV} (Oktober--Desember) 2022 Pada Tambang Bijih Besi {PT}. {Bintani} Megahindah Kabupaten Pulau Taliabu Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral*, 4(2), 45–52. <https://doi.org/10.19184/jeneral.v4i2.41847>
- Firmansyah, A., Yuwono, B. D., & Budisusanto, Y. (2023). Analisis Perbandingan Volume Cut and Fill dan Perhitungan Variasi Interval Jarak Penampang Profil Melintang (Cross Section). *Kokoh*, 21(1), 29–40. <https://doi.org/10.17509/k.v21i1.61024>
- Firoozi, A. A., Tshambane, M., Firoozi, A. A., & Sheikh, S. M. (2024). Strategic load management: Enhancing eco-efficiency in mining operations through automated technologies. *Results in Engineering*, 24, 102890. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102890>
- Hardianti, S., & Rohimin, M. (2023). Perbandingan Volume Produksi Overburden pada Survey Progress dengan Metode Ritase Alat Angkut pada {PT}. {ABC}, Kabupaten Musi Banyuasin. *Jurnal Pertambangan*, 7(3), 122–126. <https://doi.org/10.36706/jp.v7i3.1583>
- Hasözdemir, K., Meral, M., & Kahraman, M. M. (2025). Revolutionizing Open-Pit Mining Fleet Management: Integrating Computer Vision and Multi-Objective Optimization for Real-Time Truck Dispatching. *Applied Sciences*, 15(9), 4603. <https://doi.org/10.3390/app15094603>
- Hasvah, R., & Maiyudi, R. (2021). Perbandingan Volume Overburden Berdasarkan Data Survey dengan Data Truck Count pada Pit Section 2 Timur {PT}. {Budi} Gema Gempita Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. *Journals Mining Engineering: Bina Tambang*, 6(5), 97–106. <https://doi.org/10.24036/bt.v6i5.115148>
- Hendri, G. O., Maiyudi, R., Prabowo, H., & Anarta, R. (2023). Evaluasi Pengupasan Volume Overburden Menggunakan Data Truck Count Monitoring dan Joint Survey di Pit Batu Tegak {PT}. {Andalan} Artha Primanusa Jobsite {PT}. {Budi} Gema Gempita, Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. *Journals Mining Engineering: Bina Tambang*, 8(2), 90–97. <https://doi.org/10.24036/bt.v8i2.125057>
- Kang, H., Lee, K., Shin, H., Kim, J., & Lee, W. (2025). Accuracy assessment of ground extraction and earthwork volume estimation through UAV LiDAR reflectance intensity filtering based on an unsupervised learning algorithm. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 45(2), 265–276. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2025.45.2.0265>

- Kurniawan, S., & Okdinawati, L. (2024). Optimizing Coal Production Estimates: Balancing Topographic Surveys Method and Truck Counts Method at Pit Kress, {PT}. {Bordun} Indie, South Kalimantan, Indonesia. *Asian Journal of Engineering, Social and Health*, 3(11), 2505–2519. <https://doi.org/10.46799/ajesh.v3i11.446>
- Kuznetsov, D., & Kosolapov, A. (2022). The dynamics of performance of open-pit dump trucks in ore mining in a severe climatic environment. *Transportation Research Procedia*, 63, 1042–1048. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.104>
- Lee, K., & Lee, W. H. (2022). Earthwork volume calculation, 3D model generation, and comparative evaluation using vertical and high-oblique images acquired by uncrewed aerial vehicles. *Aerospace*, 9(10), 606. <https://doi.org/10.3390/aerospace9100606>
- Lu, B., Zhu, J., Ge, Y., Chen, Q., Wen, Z., Liu, G., & Li, L. (2023). Stockpile volume estimation based on terrestrial laser scanner data acquisition: A case study in a steel enterprise. *Remote Sensing*, 15(18), 4604. <https://doi.org/10.3390/rs15184604>
- Luan, B., Zhou, W., Ao, Z., Han, Z., & Xiao, Y. (2025). Fuel-Efficient Road Classification Methodology for Sustainable Open Pit Mining. *Applied Sciences*, 15(11), 6309. <https://doi.org/10.3390/app15116309>
- Manik, F. K., Marpaung, N. D., & Sitohang, R. (2022). Perbandingan Perhitungan Volume Overburden yang Terbongkar antara Metode Truck Count dan Metode Survey pada {PT}. Bara Adhipratama Ulok Kupai Job Site Bengkulu Utara. *Jurnal Ruang Luar Dan Dalam*, 4(2), 210–220.
- Mantey, S., & Aduah, M. S. (2021). Comparative analysis of stockpile volume estimation using {UAV} and {GPS} techniques. *Ghana Mining Journal*, 21(1), 1–10. <https://doi.org/10.4314/gm.v21i1.1>
- Matsimbe, J., Mdolo, W., Kapachika, C., Musonda, I., & Dinka, M. (2022). Comparative utilization of drone technology vs. traditional methods for open-pit stockpile volumetric computation: A case study of Njuli quarry, Malawi. *Frontiers in Built Environment*, 8, 1037487. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1037487>
- Maulana, I., & Kuncoro, B. (2025). Evaluasi Pendekatan Hybrid Dalam Pengukuran Volume Stockpile. *Journal Serambi Engineering*, 10(4), 15653–15659. <https://ojs.serambimekkah.ac.id/serambi/article/download/1265/923>
- Muhiddin, I. (2023). Analisis Perbandingan Volume Overburden Menggunakan Metode Survei dengan Truck Count PT Keinz Ventura Kabupaten Morowali Utara Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Aneka Tambang*, 1(2). <https://doi.org/10.33096/jat.v1i2.318>
- Nababan, I., Fidayanti, N., Ganang, N. M. A., Putrawiyanta, I. P., & Iashania, Y. (2024). Analisis Perbandingan Volume Overburden. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(4), 16203–16210. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i4.14243>
- Niskanen, I., Duan, G., Kolli, T., Immonen, M., Makkonen, T., & Heikkilä, R. (2025). Volume measurement of soil in excavator buckets by solid-state 3D LiDAR. *Construction Robotics*, 9, 21. <https://doi.org/10.1007/s41693-025-00166-w>
- Niu, Z., Xia, H., Tao, P., & Ke, T. (2024). Improving vertical and volumetric measurements of UAV photogrammetry by multi-station RTK/PPK: A case study in Fuzhou, China. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X–1, 169–176. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-2024-169-2024>

- Salu, S. P., & Silaban, C. (2024). Perbandingan Tonase Kemajuan Tambang Menggunakan Metode Mine Survey Terhadap Realisasi Penambangan di Bukit Everest {PT}. {Antam} {Tbk}. {UBPN} Sulawesi Tenggara. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 434–443. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3789>
- Saputra, M. R., Herdiansyah, A., & Wijaya, A. (2024). Achievement of overburden stripping production targets based on the calculation of cut-and-fill volume and truck count at Pit Middle West {PT} Cipta Bersama Sukses job site Tungkal Jaya. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1422(1), 12034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1422/1/012034>
- Šašák, J., Kačunuk, J., Rusnák, M., & Šupinský, J. (2024). Impact of data structure types and spatial resolution on landslide volumetric change measurements. *Geodesy and Cartography*, 50(4), 179–197. <https://doi.org/10.3846/gac.2024.20647>
- Sepriadi, S., Adiwarmanto, M., Perdana, R., & Putra, P. (2023). Analisis Perbandingan Volume Overburden Berdasarkan Data Survey Menggunakan Software Surpac 6.5.1 Dengan Data Truck Count Pada Pit Pandu {PT} Putra Muba Coal. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 1(2), 100–105. <https://doi.org/10.62278/jits.v1i2.18>
- Sugiyono. (2016). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. In *Bandung: Alfabeta*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sun, X., Li, X., Xiao, D., Chen, Y., & Wang, B. (2021a). A Method of Mining Truck Loading Volume Detection. *Sensors*, 21(2), 635. <https://doi.org/10.3390/s21020635>
- Sun, X., Li, X., Xiao, D., Chen, Y., & Wang, B. (2021b). A method of mining truck loading volume detection based on deep learning and image recognition. *Sensors*, 21(2), 635. <https://doi.org/10.3390/s21020635>
- Vera-Burau, A., Álvarez-Ramírez, D., Sanmiquel, L., & Bascompta, M. (2023). A comparison of the fuel consumption and truck models in different production scenarios. *Applied Sciences*, 13(9), 5769. <https://doi.org/10.3390/app13095769>
- Yanwari, M. I., & Enriko, I. K. A. (2022). Rear Dump Truck Measurement Design Using Laser. *JAICT*, 7(2). <https://doi.org/10.32497/jaict.v7i2.3648>
- Zhang, X., & Chen, M. (2023). Statewide truck volume estimation using probe vehicle data and machine learning. *Transportation Research Record*, 2677(8), 588–601. <https://doi.org/10.1177/03611981231157400>