

**ANALISIS PERUBAHAN TOPOGRAFI BUKAAN TAMBANG TERBUKA
MENGUNAKAN DATA FOTOGRAMETRI BERBASIS UAV
(Studi Kasus Pada PT. Sumber Swarna Pratama, Kecamatan Petasia,
Kabupaten Morowali Utara, Sulawesi Tengah)**

Adidayan Pratama¹, Ruth Bunga Rangu², Zulfahmi³

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Pejuang Republik Indonesia, Indonesia

ruthbunga091@gmail.com², zulfahmiagoodminer@gmail.com³

Kata Kunci:

UAV, Fotogrametri, Digital Elevation Model (DEM), Topografi, Tambang Terbuka, Cut and Fill

Abstrak

Perubahan topografi pada wilayah pertambangan terbuka berlangsung secara cepat akibat aktivitas pengupasan lapisan tanah penutup dan penggalian bijih. Perubahan ini perlu dimonitor secara berkala untuk mendukung pengendalian produksi, keselamatan kerja, serta pengelolaan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan topografi bukaan tambang terbuka menggunakan teknologi fotogrametri berbasis Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengambilan data menggunakan UAV dengan ketinggian terbang 120 meter, overlap 80%, dan sidelap 70%. Data hasil pemotretan diolah menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape untuk menghasilkan orthomosaic dan Digital Elevation Model (DEM), kemudian di analisis menggunakan ArcGIS dan Surpac untuk menghitung perubahan luas dan volume material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas bukaan tambang mengalami peningkatan dari 4,8 hektar menjadi 5,2 hektar dalam satu bulan. Perhitungan volume material menunjukkan nilai cut sebesar 52.757,44 m³ dan fill sebesar 16.774,11 m³, dengan perubahan selisih sebesar -35.983,30 m³. Berdasarkan hasil tersebut, metode UAV fotogrametri terbukti efektif dalam memantau perubahan topografi tambang secara cepat, akurat, dan efisien dibandingkan metode survey konvensional.

Abstract

Key Word:

UAV, Photogrammetry, Digital Elevation Model (DEM), Topography, Open-Pit Mining, Cut and Fill

Topographic changes in open-pit mining areas occur rapidly due to overburden removal and ore extraction activities. These changes require an efficient monitoring method capable of providing fast, accurate, and reliable data to support production control, safety, and environmental management. This study aims to analyze topographic changes in an open-pit mining area using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based photogrammetry. Data acquisition was carried out using a UAV at a flight altitude of 120 meters with 80% overlap and 70% sidelap. The capture images were processed using Agisoft Metashape to generate orthomosaic and Digital Elevation Model (DEM), then analyzed using ArcGIS and Surpac to calculate changes in area and material volume. The results show that mining area increased from 4.8 hectares to 5.2 hectares within one month. The volume calculation indicates a cut value of 52,757.44 m³ and a fill value of 16,774.11 m³, with a net change -35,983.30 m³. Based on these results, UAV photogrammetry is proven to be effective in monitoring topographic changes in mining areas in a fast, accurate, and efficient manner compared to conventional surveying methods.

PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan terbuka menyebabkan perubahan topografi yang signifikan akibat aktivitas pengupasan overburden dan penggalian material (Dollhopf, 2020). Perubahan ini berlangsung secara dinamis sehingga memerlukan pemantauan berkala untuk memastikan kegiatan penambangan berjalan sesuai perencanaan serta meminimalkan risiko geoteknik dan dampak lingkungan. Ketersediaan data topografi yang akurat dan mutakhir menjadi faktor penting dalam mendukung pengambilan keputusan operasional tambang.

Metode survei konvensional memiliki keterbatasan dalam hal waktu, biaya, dan keselamatan kerja. Pengukuran di lapangan membutuhkan waktu yang relatif lama dan tenaga kerja yang lebih banyak, sehingga kurang efektif untuk monitoring tambang yang bersifat dinamis. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) berbasis fotogrametri menjadi solusi yang lebih efektif. UAV mampu menghasilkan data spasial resolusi tinggi dalam waktu singkat sehingga sangat mendukung kegiatan monitoring tambang.

Model (DEM Pemanfaatan fotogrametri berbasis UAV memungkinkan dihasilkannya produk seperti orthomosaic dan Digital Elevation) yang dapat digunakan untuk analisis perubahan topografi secara detail (Mohamad et al., 2022). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan UAV mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi pemetaan topografi. (Chand et al., 2025) menyatakan bahwa UAV efektif untuk monitoring kemajuan tambang terbuka, sedangkan (Luu, 2025) menunjukkan bahwa penggunaan Ground Control Point (GCP) mampu meningkatkan ketelitian geometrik hasil pemetaan. Selain itu, (Chen et al., 2020) menegaskan bahwa teknologi UAV memiliki potensi tinggi dalam analisis perubahan lahan berbasis spasial.

Selain itu, penggunaan UAV juga memberikan keuntungan dari segi keselamatan kerja. Area tambang terbuka umumnya memiliki kondisi medan yang kompleks dan berisiko tinggi, seperti lereng curam dan area aktif penambangan. Dengan memanfaatkan UAV, proses pengambilan data dapat dilakukan tanpa harus melibatkan banyak tenaga kerja di lapangan, sehingga risiko kecelakaan kerja dapat diminimalkan. Hal ini menjadikan UAV sebagai salah satu teknologi yang mendukung penerapan prinsip keselamatan dan kesehatan kerja (K3) dalam industri pertambangan.

Penelitian ini dilakukan di PT. Sumber Swarna Pratama yang merupakan perusahaan tambang nikel di Morowali Utara. Aktivitas penambangan yang intensif menyebabkan perubahan bentuk lahan yang signifikan sehingga diperlukan metode pemantauan yang akurat. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis perubahan topografi berdasarkan luas bukaan, elevasi, serta volume material menggunakan data UAV fotogrametri. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan UAV dalam pemetaan topografi mampu memberikan tingkat akurasi yang tinggi serta efisiensi waktu yang lebih baik dibandingkan metode konvensional. UAV juga telah banyak digunakan dalam monitoring kemajuan tambang serta analisis perubahan lahan secara multitemporal.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada area tambang terbuka PT. Sumber Swarna Pratama yang terletak di kecamatan Petasia, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi tengah. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025 sampai September 2025.

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif dan analisis spasial. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menghitung perubahan luas, elevasi dan volume material (cut and fill) secara numerik berdasarkan data Digital Elevation Model (DEM), yang umumnya digunakan dalam analisis topografi berbasis geospasial. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi perubahan topografi yang terjadi pada area tambang secara sistematis dan faktual (Sugiyono, 2017). Analisis spasial dilakukan dengan memanfaatkan sistem informasi geografis untuk mengidentifikasi dan membandingkan perubahan permukaan lahan secara multitemporal (Aronoff, 1989; Prayogo, 2020).

Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui kegiatan pengambilan citra udara menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) pada area tambang terbuka di PT. Sumber Swarna Pratama. Data tersebut berupa foto udara yang kemudian diolah menjadi produk fotogrametri seperti orthomosaic dan Digital Elevation Model (DEM) untuk keperluan analisis perubahan topografi. Data sekunder diperoleh dari dokumen pendukung seperti peta topografi, data koordinat, serta data yang berkaitan dengan kegiatan penambangan (Bindzarova Gergelova et al., 2021). Data ini digunakan sebagai

acuan dalam proses pengolahan dan analisis sehingga hasil yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi lapangan secara akurat.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis untuk memperoleh data yang akurat dan sesuai dengan kebutuhan analisis. Pengumpulan data primer dilakukan dengan metode pemotretan udara menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) pada area tambang. Proses ini meliputi perencanaan jalur terbang, penentuan area pemetaan, serta pengaturan ketinggian terbang agar menghasilkan citra dengan resolusi yang baik. Pemotretan dilakukan dengan memperhatikan tingkat overlap dan sidelap sehingga data yang diperoleh dapat diolah menjadi model tiga dimensi secara optimal. Pengumpulan data sekunder dilakukan melalui studi dokumentasi, yaitu dengan mengumpulkan data pendukung seperti peta topografi, data koordinat, serta informasi teknis terkait kegiatan penambangan. Data ini digunakan sebagai acuan dalam proses pengolahan dan analisis sehingga hasil penelitian dapat menggambarkan kondisi yang sebenarnya di lapangan.

Dalam proses akuisisi data, penerbangan UAV dilakukan dengan memperhatikan parameter teknis seperti ketinggian terbang, overlap, dan sidelap untuk memastikan kualitas data yang dihasilkan (Lopes Bento et al., 2022). Ketinggian terbang disesuaikan dengan luas area penelitian agar diperoleh resolusi spasial yang optimal. Overlap dan sidelap yang tinggi diperlukan untuk menghasilkan model tiga dimensi yang akurat serta meminimalkan kesalahan dalam proses rekonstruksi permukaan.

Selain itu, penggunaan Ground Control Point (GCP) juga berperan penting dalam meningkatkan akurasi geometrik hasil pemetaan. Titik kontrol ini digunakan sebagai acuan dalam proses georeferensi sehingga posisi objek pada peta sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Dengan demikian, data yang dihasilkan dapat digunakan untuk analisis perubahan topografi secara lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

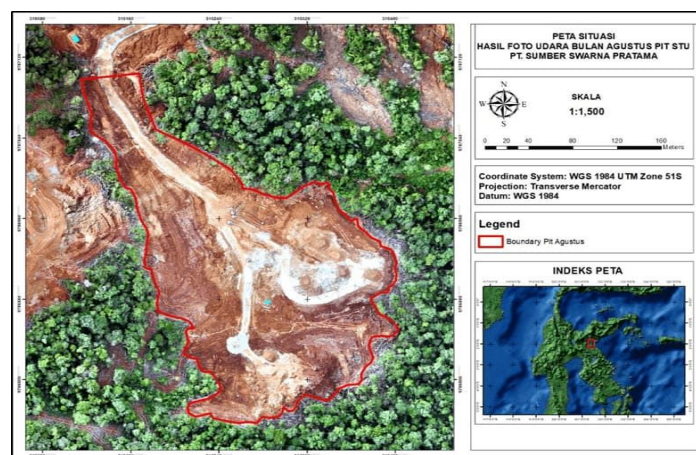
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Akuisisi Data UAV

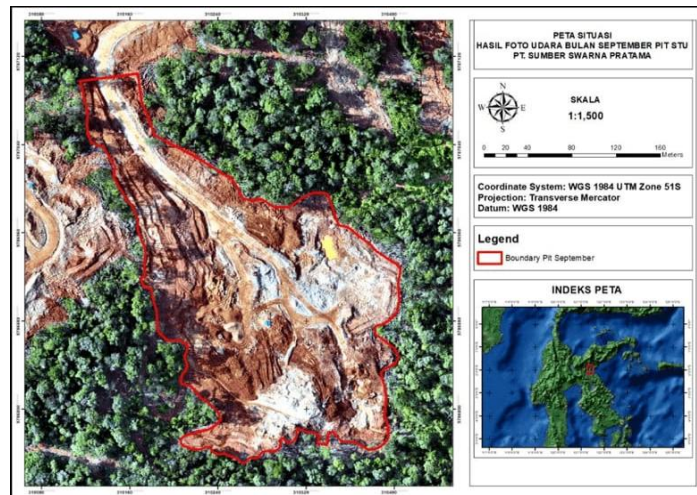
Pemotretan udara dilakukan menggunakan UAV DJI Matrice 4e pada ketinggian terbang 120 m. penerbangan menghasilkan 1.336 foto pada bulan Agustus dan 1.799 foto pada bulan September dengan resolusi 5.10 cm/pix, overlap longitudinal 80%, dan sidelap 70%. Data ini diolah dengan perangkat lunak Agisoft Metashape.

Hasil Orthomosaic

Orthomosaic memperlihatkan kondisi aktual bukaan tambang saat survei. Citra resolusi tinggi memungkinkan identifikasi batas pit dengan jelas. (Pashchenko et al., 2025) hasil orthomosaic tidak hanya memberikan visual kondisi tambang, tetapi juga dapat digunakan untuk analisis spasial secara detail. Dengan resolusi citra yang tinggi, batas pit, jalan tambang, serta area disposal dapat diidentifikasi dengan jelas. Hal ini menunjukkan bahwa orthomosaic memiliki peran penting sebagai dasar dalam kegiatan digitasi serta analisis perubahan penggunaan jalan.



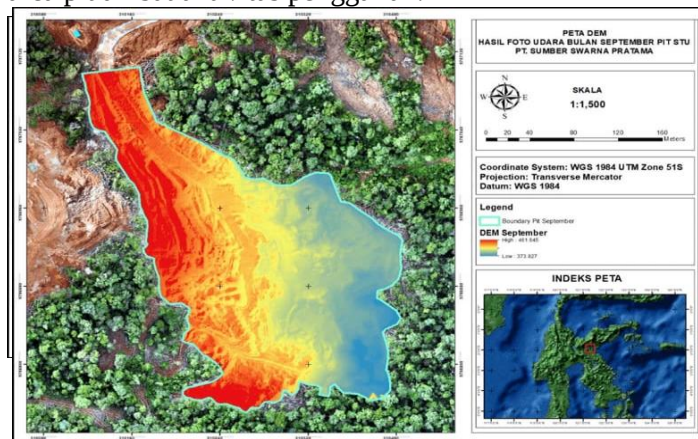
Gambar 1. Orthomosaic bulan Agustus



Gambar 2. Orthomosaic bulan September

Hasil Digital Elevation Model (DEM)

Digital Elevation Model (DEM) yang dihasilkan menggambarkan variasi elevasi permukaan tanah pada area penelitian (Saritha et al., 2021). Pada DEM bulan Agustus, elevasi area tambang masih relatif lebih tinggi dibandingkan dengan bulan September. Sementara itu, DEM bulan September menunjukkan adanya penurunan elevasi pada area pit akibat aktivitas penggalian.



Gambar 4. DEM bulan September

DEM pada bulan Agustus, elevasi permukaan tanah masih relatif lebih tinggi, terutama pada area yang belum mengalami penggalian intensif. Sedangkan DEM bulan September, terlihat adanya penurunan elevasi yang cukup signifikan pada area pit. Perubahan elevasi yang terlihat pada DEM menunjukkan adanya aktivitas penambangan yang signifikan selama periode penelitian. Penurunan elevasi pada area pit mencerminkan kegiatan penggalian yang intensif, sedangkan peningkatan elevasi pada area disposal menunjukkan adanya penimbunan material. Pola ini merupakan karakteristik umum dari sistem penambangan terbuka.

Hasil Kontur

Peta kontur yang dihasilkan dari DEM menunjukkan bentuk relief permukaan tanah dengan interval tertentu. Kontur pada bulan September terlihat lebih rapat pada beberapa area dibandingkan bulan Agustus, yang menunjukkan adanya perubahan kemiringan lereng akibat aktivitas penambangan. Kerapatan kontur ini mengindikasikan adanya kemiringan lereng yang lebih curam akibat aktivitas penggalian. Sementara itu, pada area disposal, kontur cenderung lebih renggang yang menunjukkan bentuk lahan yang lebih landai akibat proses penimbunan material.



Gambar 5. Kontur bulan Agustus



Gambar 6. Kontur bulan September

Perubahan pola kontur ini menggambarkan dinamika topografi yang terjadi di lokasi penelitian. Kontur juga membantu dalam memahami perubahan elevasi secara visual serta sebagai pendukung dalam analisis perencanaan tambang. Perubahan kerapatan kontur juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kemiringan lereng. Kontur yang rapat menunjukkan lereng yang curam, sedangkan kontur yang renggang menunjukkan lereng yang landai. Hal ini penting dalam evaluasi kestabilan lereng serta perencanaan desain tambang.

Perubahan Luas Bukaian Tambang

Hasil digitasi pit dari orthomosaic dua periode (Agustus dan September 2025) menunjukkan adanya peningkatan luasan bukaian tambang:

Table 1. Luas bukaan tambang

Periode	Luas Bukaan (Ha)	Pertambahan (Ha)
Agustus 2025	4,8	-
September 2025	5,2	0,4

Berdasarkan hasil digitasi diatas batas pit dari orthomosaic masing-masing periode, terjadi peningkatan luas bukaan dari 4,8 hektar menjadi 5,2 hektar, atau mengalami pertambahan sebesar 0,4 hektar dalam satu bulan. Peningkatan luas bukaan tambang menunjukkan adanya perkembangan kegiatan penambangan yang cukup signifikan. Hal ini dapat dikaitkan dengan peningkatan target produksi yang mendorong ekspansi area penambangan. Perubahan luas bukaan juga dapat digunakan sebagai indikator kemajuan tambang dalam periode tertentu. Peningkatan luas area bukaan menunjukkan adanya ekspansi kegiatan penambangan yang dilakukan untuk memenuhi target produksi. Namun demikian, perlu dilakukan pengendalian terhadap perluasan area tambang agar tetap sesuai dengan perencanaan yang telah ditetapkan serta tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar.

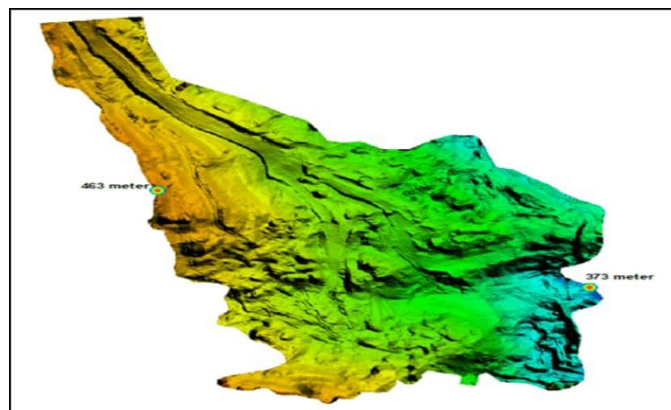
Namun demikian, perlu dilakukan pengendalian terhadap perluasan area tambang agar tetap sesuai dengan perencanaan yang telah ditetapkan. Perluasan yang tidak terkontrol dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti meningkatnya potensi erosi, sedimentasi, serta perubahan tata guna lahan di sekitar area tambang (Bowell et al., 2025). Oleh karena itu, monitoring perubahan luas bukaan tambang menjadi sangat penting dalam menjaga keseimbangan antara kegiatan produksi dan aspek lingkungan.

Selain sebagai indikator produksi, perubahan luas bukaan tambang juga dapat digunakan sebagai dasar dalam evaluasi kinerja operasional. Dengan membandingkan luas bukaan pada periode tertentu, perusahaan dapat mengetahui tingkat pencapaian target penambangan serta melakukan perencanaan yang lebih efektif untuk periode berikutnya.

Perubahan Elevasi

Peta tersebut menunjukkan area yang mengalami penurunan dan peningkatan elevasi. Warna biru menandai lokasi galian, sementara warna merah menunjukkan area timbunan. Perubahan elevasi yang terjadi menunjukkan adanya pergerakan material dalam jumlah besar. Penurunan elevasi pada area pit menunjukkan aktivitas penggalian, sedangkan peningkatan elevasi pada area disposal menunjukkan aktivitas penimbunan. Hal ini mencerminkan keseimbangan antara kegiatan cut and fill dalam sistem penambangan terbuka.

Selain itu, analisis perubahan elevasi juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kestabilan lereng pada area tambang. Perubahan elevasi yang signifikan, terutama pada lereng dengan kemiringan tinggi, berpotensi meningkatkan risiko longsor apabila tidak dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, pemantauan elevasi secara berkala menjadi sangat penting untuk mendukung aspek keselamatan dalam kegiatan penambangan.



Gambar 7. Perubahan elevasi

Perubahan elevasi yang terjadi juga berkaitan erat dengan aktivitas operasional seperti penggalian dan penimbunan material (Wang et al., 2025). Penurunan elevasi pada area pit menunjukkan intensitas kegiatan pengambilan material yang tinggi, sedangkan peningkatan elevasi pada area disposal mencerminkan aktivitas penimbunan yang berlangsung secara terus-menerus. Pola ini menunjukkan adanya keseimbangan antara kegiatan cut and fill dalam sistem penambangan terbuka.

Selain itu, informasi perubahan elevasi dapat dimanfaatkan dalam perencanaan tambang, khususnya dalam penentuan desain lereng dan sistem drainase. Data elevasi yang akurat memungkinkan perencanaan yang lebih optimal sehingga dapat meminimalkan potensi genangan air serta meningkatkan efisiensi operasional tambang secara keseluruhan (Bowden, 2022).

Perubahan Volume Material

Perhitungan cut and fill dari DEM multitemporal menghasilkan data volume material sebagai berikut:

Table 2. Perubahan volume material

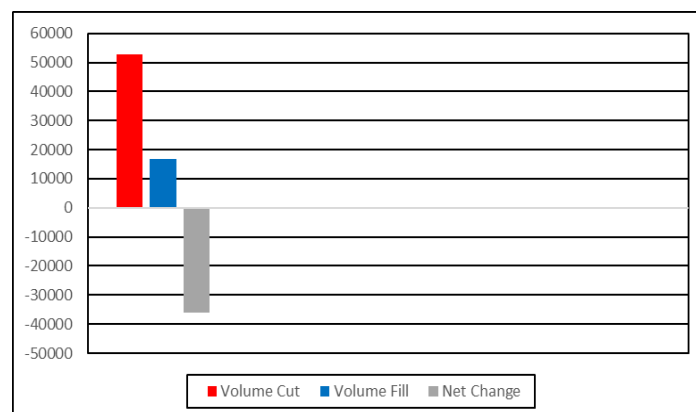
Volume Cut (m ³)	Volume Fill (m ³)	Net Change (m ³)
52.757,44	16.774,11	-35.983,33

Tabel ini memperlihatkan jumlah material yang digali dan ditimbun selama periode penelitian. Volume galian (cut) jauh lebih besar dibanding timbunan (fill), sehingga perubahan bersihnya menjadi -35.983,30 m³, yang berarti banyak material keluar dari pit dibanding yang di isi kembali. Nilai cut yang lebih besar dibandingkan fill menunjukkan bahwa aktivitas penambangan masih didominasi oleh proses penggalian material. Kondisi ini umumnya terjadi pada tahap produksi aktif, dimana kegiatan pengupasan overburden dan pengambilan bijih berlangsung lebih intensif dibandingkan dengan kegiatan penimbunan atau reklamasi.

Perbedaan yang signifikan antara volume cut dan fill juga menunjukkan bahwa sebagian material hasil galian diangkut keluar area tambang untuk keperluan produksi. Hal ini sesuai dengan karakteristik tambang nikel laterit yang umumnya melakukan pengangkutan material secara langsung menuju fasilitas pengolahan atau stockpile.

Selain itu, hasil perhitungan volume ini dapat digunakan sebagai dasar dalam evaluasi kinerja produksi tambang. Dengan mengetahui jumlah material yang digali dan ditimbun, perusahaan dapat melakukan perencanaan yang lebih efektif dalam pengelolaan sumber daya serta pengendalian biaya operasional. Ketidakseimbangan antara volume galian dan timbunan dapat mempengaruhi stabilitas lereng serta perencanaan disposal material. Oleh karena itu, informasi ini sangat penting dalam mendukung perencanaan tambang jangka pendek maupun jangka panjang.

Selain itu, analisis perubahan volume material juga memberikan gambaran mengenai efisiensi kegiatan penambangan yang dilakukan. Perbandingan antara volume cut dan fill dapat digunakan sebagai indikator keseimbangan material dalam area tambang (Arini Putri et al., 2024). Ketidakseimbangan antara volume galian dan timbunan dapat mempengaruhi stabilitas lereng serta perencanaan disposal material (Zhang et al., 2024). Oleh karena itu, informasi ini sangat penting dalam mendukung perencanaan tambang jangka pendek maupun jangka panjang.



Gambar 8. Grafik perubahan volume material

Grafik tersebut menunjukkan perbandingan volume material cut and fill. Volume galian terlihat jauh lebih besar daripada timbunan.

KESIMPULAN

Tahapan pengolahan data UAV yang meliputi penyusunan foto, pembuatan point cloud, DEM, orthomosaic, serta analisis di ArcGIS dan Surpac terbukti mampu menghasilkan informasi topografi yang akurat dan detail, sehingga dapat digunakan secara efektif untuk memantau perubahan dan kondisi tambang (Susilo et al., 2024). Perubahan topografi selama periode Agustus-September 2025 menunjukkan peningkatan luas bukaan tambang dari 4,8 hektar menjadi 5,2 hektar, penurunan elevasi hingga 90 meter pada area pit, serta perpindahan material sebesar 52.757,44 m³ (cut) dan 16.774,11 m³ (fill), sehingga memberikan gambaran jelas mengenai dinamika kemajuan tambang. Selain itu, penggunaan teknologi UAV fotogrametri dalam penelitian ini memberikan manfaat yang signifikan dalam kegiatan monitoring tambang. Metode ini tidak hanya mampu menghasilkan data yang akurat, tetapi juga efisien dalam hal waktu dan biaya. Oleh karena itu, penerapan teknologi ini sangat direkomendasikan untuk digunakan secara berkelanjutan dalam kegiatan pemantauan topografi tambang terbuka. Dengan demikian, metode ini tidak hanya dapat digunakan untuk monitoring, tetapi juga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk keperluan perencanaan tambang dan evaluasi operasional secara berkelanjutan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi UAV fotogrametri memberikan kontribusi yang signifikan dalam kegiatan monitoring topografi tambang terbuka. Metode ini tidak hanya mampu meningkatkan efisiensi dalam pengambilan data, tetapi juga menghasilkan informasi yang akurat dan detail. Oleh karena itu, penerapan teknologi ini sangat direkomendasikan untuk digunakan secara berkelanjutan dalam mendukung kegiatan operasional tambang, baik dalam tahap perencanaan maupun evaluasi.

DAFTAR REFERENSI

- Arini Putri, D., Utama, R., & Noveriady. (2024). PENGAMATAN KEGIATAN SURVEI TOPOGRAFI ARAH KEMAJUAN TAMBANG PT. RIMAU ENERGY MINING. *JURNAL TEKNIK PERTAMBANGAN*, 24(2), 86–91. <https://doi.org/10.36873/jtp.v24i2.14954>
- Bindzarova Gergelova, M., Labant, S., Mizak, J., Sustek, P., & Leicher, L. (2021). Inventory of Locations of Old Mining Works Using LiDAR Data: A Case Study in Slovakia. *Sustainability*, 13(12), 6981. <https://doi.org/10.3390/su13126981>
- Bowden, G. W. (2022). Field topographic surveys and digital terrain models. In *Geotechnical Stability in Surface Mining* (pp. 409–411). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003079286-62>
- Bowell, R. J., Williams, C. R., Merry, E. J., Carpenter, A., Bertrando, K., & Parshley, J. V. (2025). Mitigation of Mining Effects on the Environment. In *Geology and Mining: Evolution of Best Practice* (pp. 355–371). Society of Economic Geologists. <https://doi.org/10.5382/COM.16.28>
- Chand, K., Bhat, M. F., Koner, R., Fissha, Y., Cheepurupalli, N. R., Saidani, T., & Ikeda, H. (2025). Open-Pit Mine Reclamation Monitoring and Management for a Sustainable Future Using Drone Technology: A Review. *Drones*, 9(9), 601. <https://doi.org/10.3390/drones9090601>
- Chen, P.-C., Chiang, Y.-C., & Weng, P.-Y. (2020). Imaging Using Unmanned Aerial Vehicles for Agriculture Land Use Classification. *Agriculture*, 10(9), 416. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090416>
- Dollhopf, D. J. (2020). Mines: Rehabilitation of Open Cut. In *Managing Soils and Terrestrial Systems* (pp. 267–271). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429346255-34>
- Lopes Bento, N., Araújo E Silva Ferraz, G., Alexandre Pena Barata, R., Santos Santana, L., Diennevan Souza Barbosa, B., Conti, L., Becciolini, V., & Rossi, G. (2022). Overlap influence in images obtained by an unmanned aerial vehicle on a digital terrain model of altimetric precision. *European Journal of Remote Sensing*, 55(1). <https://doi.org/10.1080/22797254.2022.2054028>

- Luu, A. T. (2025). Ground control points and their influences on the precision of generating a digital surface model using an unmanned aerial vehicle. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 179–188. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-6/179>
- Mohamad, N., Ahmad, A., & Md Din, A. H. (2022). A REVIEW OF UAV PHOTOGRAMMETRY APPLICATION IN ASSESSING SURFACE ELEVATION CHANGES. *Journal of Information System and Technology Management*, 7(25), 195–204. <https://doi.org/10.35631/JISTM.725016>
- Pashchenko, O., Zabolotna, Y., Koroviaka, Y., & Rastsvietaiev, V. (2025). Application of drone-based photogrammetry for monitoring surface deformation in open-pit mines. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 81, 74–85. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/81.074>
- Saritha, G., Saravanan, T., Anbumani, K., & Surendiran, J. (2021). Digital elevation model and terrain mapping using LiDAR. *Materials Today: Proceedings*, 46, 3979–3983. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.525>
- Susilo, H., Rahardion, A., Bani, M. N., Cupasindi, D. A. R., Aditya, M. T., Asema, F., & Anggraini, N. (2024). Volume Analysis of Mining Excavation Progress Using Unmanned Aerial Vehicle-Photogrammetry Method. *CIVED*, 11(3), 1120–1126. <https://doi.org/10.24036/cived.v11i3.665>
- Wang, L., Chen, H., Chen, H., & Huang, F. (2025). Exploration of monitoring methods for new construction disturbance points using drone aerial imagery. In Y. Zhao, B. Feng, & L. Liao (Eds.), *Fourth International Conference on Image Processing, Object Detection, and Tracking (IPODT 2025)* (p. 55). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3093042>
- Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, R., Li, Y., Hong, L., & Yuan, Y. (2024). Overall stability. In *Design of Deep Braced Excavation in Urban Geotechnical Environments* (pp. 9–48). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13882-9.00002-9>