

ANALISIS PENGUKURAN VOLUME TIMBUNAN *STOCKWASH* MENGGUNAKAN METODE FOTOGRAMETRI DAN TERESTRIS PADA PENAMBANGAN BAUKSIT

Oleh

Andyono Broto Santoso

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik dan Desain, Institut Teknologi Sains

Bandung

E-mail: ab.santoso@itsb.ac.id

Article History:

Received: 11-06-2024

Revised: 26-06-2024

Accepted: 04-07-2024

Keywords:

Timbunan, Stockwash,
Bauksit, Fotogrametri,
Terestris

Abstract: Pengukuran volume timbunan stockwash pada penambangan bauksit merupakan aspek yang penting untuk efisiensi proses penambangan. Optimalisasi ruang penyimpanan stockwash dan pemanfaatannya menjadi faktor yang perlu diperhatikan. Penelitian ini dikembangkan untuk menganalisis pengukuran volume timbunan stockwash menggunakan metode fotogrametri dan terestris pada penambangan bauksit di Daerah Tayan, Kalimantan Barat, Indonesia. Metode fotogrametri melibatkan pengambilan gambar dari udara dan pengolahan datanya menggunakan perangkat lunak khusus untuk menghasilkan model 3D dari timbunan stockwash menggunakan drone dengan tipe Aerial DJI Mavic 2 pro. Sementara, metode terestris melibatkan pengukuran langsung menggunakan alat total station untuk menghitung volume timbunan. Penelitian ini membandingkan hasil pengukuran volume timbunan dan menganalisis akurasi, efisiensi, serta kelebihan dan kekurangan dari kedua metode tersebut. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran fotogrametri menggunakan drone menghasilkan volume timbunan sebesar 14.524,50 m³ dengan tonase sebesar 24.546,40 ton. Pengukuran terestris menggunakan total station menghasilkan volume timbunan sebesar 14.307,45 m³ dengan tonase sebesar 24.179,59 ton dengan deviasi volume timbunan sebesar 1,5%. Berdasarkan analisis hasil volume timbunan dan biaya yang dikeluarkan, metode pengukuran dengan menggunakan fotogrametri terbukti lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan metode pengukuran terestris, terutama untuk timbunan dengan area yang luas dan lokasi yang sulit dijangkau.

PENDAHULUAN

Penambangan bauksit adalah proses ekstraksi mineral untuk memperoleh bijih bauksit, yang merupakan salah satu sumber daya mineral penting dan banyak digunakan dalam industri alumunium. Cadangan bauksit di Kalimantan Barat memiliki potensi nilai tambah yang signifikan, jika diolah menjadi bahan baku alumina (Liun, 2021). Kandungan alumina dalam bauksit yang layak ditambang berkisar antara 45 hingga 65% (Jafar, 2017).

Perkembangan teknologi yang semakin maju telah membawa dampak positif di berbagai bidang, termasuk dalam industri pertambangan. Proses penambangan bauksit melibatkan beberapa tahapan, yaitu tahapan pembongkaran, pemuatan, pencucian, dan pengangkutan ke *stockpile*. Saat proses pencucian, bauksit disimpan sementara di area yang disebut sebagai *stockwash* sebelum akhirnya diangkut ke *stockpile* utama (Hutmi & Prabowo, 2022). *Stockwash* berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara untuk bauksit, menjadi penyangga antara pengiriman dan produksi (Model et al., 2021).

Manajemen *stockwash* dilakukan secara berkala untuk memantau aliran masuk dan keluar bauksit. Salah satu metode yang digunakan untuk memantau volume bauksit di *stockwash* adalah melalui pengukuran volume. Pengukuran volume timbunan bauksit merupakan aspek penting dalam industri pertambangan untuk mengelola persediaan dan perencanaan operasional (Model et al., 2021). Penelitian ini dikembangkan bertujuan untuk menganalisis efektivitas dan keakuratan metode-metode tersebut dalam mengukur volume *stockwash* dan potensi kontribusinya terhadap optimalisasi operasi penambangan (Ginting et al., 2024). *Monitoring* terhadap timbunan diperlukan untuk mengetahui total volume bahan galian yang telah ditambang dalam periode waktu tertentu (Kristianie et al., 2023). Metode pengukuran volume timbunan *stockwash* menggunakan metode fotogrametri dan metode terestris yang menjadi sangat penting dalam penambangan bauksit di Daerah Tayan, Kalimantan Barat (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian di penambangan bauksit Daerah Tayan, Kalimantan Barat

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dua metode pengukuran volume, yaitu menggunakan terestris dan fotogrametri. Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan bahwa kedua metode tersebut mampu memberikan pengukuran yang cepat, efisien, dan akurat, serta memberikan detail yang tinggi tentang bentuk dan ketinggian timbunan dari bauksit. Hasil penelitian ini penting untuk manajemen persediaan dan perencanaan operasional pertambangan, karena pengukuran yang akurat dan efisien sangat esensial dalam mengoptimalkan proses penambangan dan meningkatkan nilai tambah dari bauksit yang diolah. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan efektivitas dan produktivitas industri pertambangan bauksit, khususnya di Daerah Tayan, Kalimantan Barat.

LANDASAN TEORI

Bauksit berasal dari perubahan dan lapukan kimia dari batuan induk yang kaya akan kandungan mineral aluminosilikat. Endapan bauksit dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama, berdasarkan kandungan mineralogi, geokimia, dan litologi batuan dasar yang terdiri dari (Zamanian et al., 2016), yaitu 1) bauksit yang berjenis Lateritik, umumnya terbentuk secara *in-situ* atau laterisasi dari batuan aluminosilikat. 2) bauksit berjenis Tikhvin yang bersifat detrital, endapan ini umumnya menutupi permukaan batuan aluminosilikat yang terkikis dan merupakan produk erosi dari endapan bauksit laterit. 3) bauksit berjenis Karstik yang terletak pada batuan karbonat tanpa memperhatikan permukaan batuan dasar yang menutupinya. Tipe ini adalah bauksit sedimen yang terbentuk melalui transportasi dan pengendapan kembali material hasil pelapukan batuan aluminosilikat (Zhou et al., 2023). Dari ketiga kategori bauksit tersebut, bauksit lateritik sering dianggap lebih baik untuk diproduksi secara komersial. Karena kandungan aluminium yang tinggi dan memiliki pengotor yang relatif rendah, sehingga membuatnya lebih efisien untuk diolah (Santoso & Syaputra, 2024). Secara umum, komponen yang mampu mempengaruhi kualitas bauksit yaitu komposisi batuan induk, iklim, hasil lindian, topografi, kimia airtanah, dan proses pelapukan merupakan faktor terpenting dalam menentukan luas dan kadar bauksit (Gu et al., 2013). Hal yang paling mempengaruhi adalah perubahan mineralogi dan geokimia sangat bergantung pada waktu yang dikendalikan oleh faktor seperti derajat keasaman, komposisi mineralogi, dan distribusi ukuran partikel (Syaputra et al., 2023).

Bauksit sebagai residu hasil dari pelapukan kimia yang kuat, terdiri dari Al-oksihidroksida, Fe oksida atau Fe-oksihidroksida, dan Ti-oksida (Zhou et al., 2023). Bauksit terbentuk dari batuan yang mempunyai kadar aluminium (Al) yang tinggi, kadar besi (Fe) rendah dan sedikit mengandung silika atau kuarsa (Si), serta memiliki bentuk menyerupai tanah liat yang kemerahan. Endapan ini terbentuk melalui proses laterisasi intensif yang merupakan hasil dari pelapukan kimia pada batuan induk dibawah kondisi iklim tropis (Santoso & Syaputra, 2024). Proses ini mengakibatkan konsentrasi mineral aluminium oksida menjadi tinggi dan menjadikannya sebagai sumber daya yang sangat berharga. Analisis geokimia dapat memberikan wawasan tentang kualitas bauksit, potensi pengolahan, dan dampak lingkungan yang mungkin timbul dari kegiatan penambangan (Prihartini et al., 2022). Selain itu material yang masuk ke lingkungan dapat merusak perairan ekosistem, karena memiliki pH rendah yang diiringi oleh konsentrasi logam berbahaya (Harnanda et al., 2023). Baku mutu air diperlukan sebagai pedoman atau alat ukur dari batas toleransi zat organik dan non-organik yang dimungkinkan ada dan dibatasi keberadaanya di dalam badan perairan (Supriatno et al., 2022). Sehingga, manajemen *stockwash* dilakukan secara berkala untuk memantau aliran masuk dan keluar dari timbunan bauksit. Salah satu metode yang digunakan untuk memantau volume bauksit di *stockwash* melalui pengukuran volume, yaitu menggunakan terestris dan fotogrametri.

Metode terestris atau survei topografi menjadi metode yang paling umum digunakan dalam pengukuran volume. Pengukuran ini melibatkan pemetaan dan pengukuran kontur permukaan timbunan survei seperti *total station* atau *global positioning system* (Aji & Djurdjani, 2022). Data yang dikumpulkan kemudian diproses untuk membuat model digital permukaan timbunan, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung volume bauksit. Namun demikian survei topografi ini tidak dapat diutilisasi secara cepat, apabila terdapat

kebutuhan data yang bersifat insidental (Aji & Djurdjani, 2022). Seiring dengan perkembangan teknologi, teknik survei topografi terus berkembang, mulai dari metode tradisional hingga metode modern seperti fotogrametri.

Metode fotogrametri umumnya dilakukan dengan menggunakan wahana pesawat udara, citra satelit, atau balon udara. Seiring perkembangan teknologi, penggunaan fotogrametri dengan menggunakan *unmanned aerial vehicle* (UAV) atau *drone* semakin umum untuk digunakan. Hal ini disebabkan oleh cakupan area yang lebih luas, waktu pengukuran yang lebih singkat, dan data yang dihasilkan cukup akurat (Kristianie et al., 2023). Penggunaan *drone* dalam pengukuran fotogrametri memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode lainnya. *Drone* memungkinkan pengambilan foto udara dengan sudut pandangan yang lebih variatif dan akurat, sehingga menghasilkan data yang lebih lengkap dan detail tentang permukaan timbunan bauksit. Selain itu, *drone* dapat mencapai ketinggian yang lebih tinggi dan dapat menjangkau area yang sulit dijangkau secara manual, seperti daerah yang terjal atau berbahaya (Negara et al., 2021).

METODE PENELITIAN

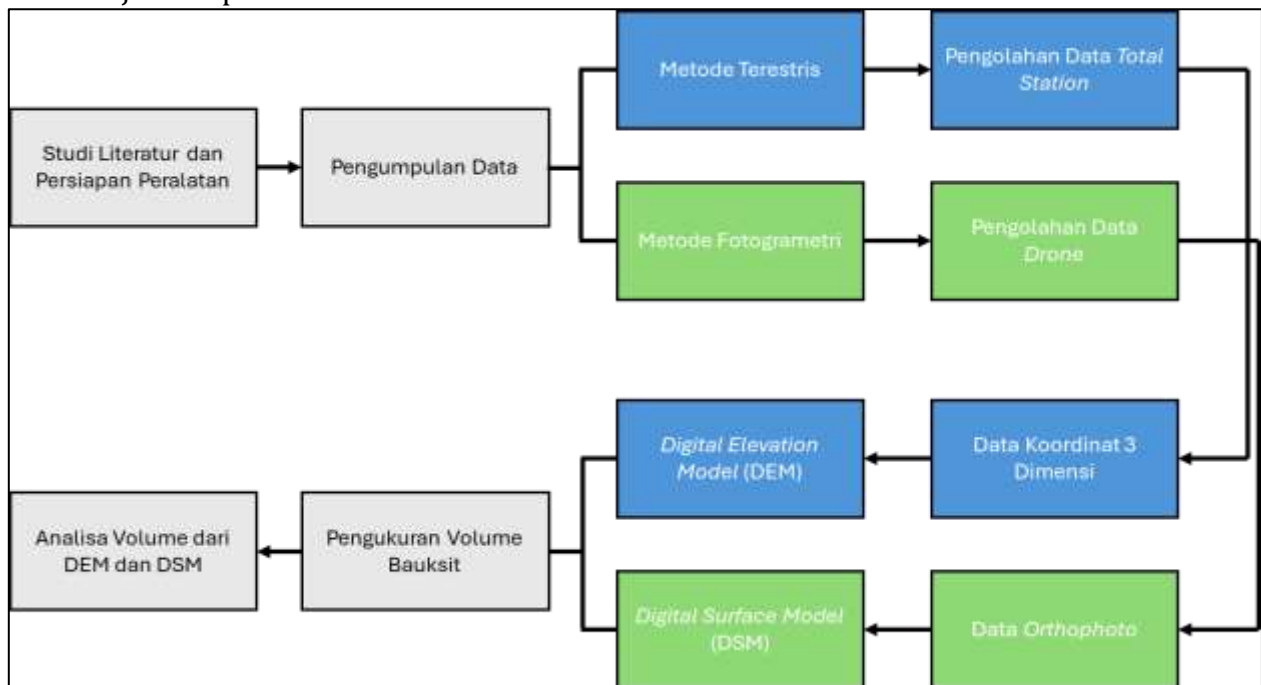
Lokasi Penelitian

Endapan bauksit di Indonesia termasuk kedalam tipe laterit yang merupakan hasil dari pelapukan dan pengayaan sekunder batuan beku yang kaya akan feldspar (Santoso & Syaputra, 2024). Secara geografis, Kalimantan Barat merupakan daerah yang memiliki cadangan bauksit terbesar di Indonesia dengan total sumberdaya sebesar 3.268.533.344 ton dan cadangannya sebesar 1.129.154.090 ton (Kurniasih et al., 2022). Lokasi penelitian berada pada PT X yang merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan bauksit yang berlokasi di Kecamatan Tayan, Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat (Gambar 1). Bauksit di Daerah Tayan diketahui memiliki kandungan alumina dan silika yang cukup tinggi. Penelitian dilakukan di lokasi *stockwash* yang berada di PT X. Metode penambangan tambang terbuka dengan sistem penambangan *open cast* dengan menggunakan kombinasi antara *excavator* dan *dump truck*. Kegiatan utama yang dilakukan di PT X adalah *digging* (penggalian), *loading* (memuat), *hauling* (mengangkut), *dumping* dan proses pencucian bauksit di *washing plant*, kemudian ditumpuk dan ditiriskan di *stockwash*.

Metode Penelitian

Tahapan awal dalam penelitian ini melibatkan kegiatan studi literatur untuk mengumpulkan informasi dan data relevan yang perlu diambil. Selanjutnya, dilakukan persiapan peralatan pengukuran, berupa metode terestris menggunakan *total station* (TS) dan metode fotogrametri menggunakan *drone* dengan tipe *Aerial DJI Mavic 2 pro*, rencana titik *ground control point* (GCP) dan rencana titik-titik ukur *flight plan overlap*. Tahapan pengumpulan data, tahap semua data dikumpulkan dan diolah dari data hasil pengukuran menggunakan metode terestris (pengolahan data TS) diawali dengan penentuan titik awal (*benchmark*), pengukuran dilakukan terhadap titik-titik yang diinginkan dengan TS. Pengolahan data dilakukan dengan memindahkan data pengukuran ke dalam *software* dalam format CSV atau TXT yang berisi data koordinat (X, Y, Z). Jika diperlukan, transformasikan data koordinat ke sistem koordinat yang diinginkan (koordinat lokal ke UTM). Setelah proses *editing* akan menghasilkan data berupa koordinat 3 dimensi yang akan berubah menjadi *digital elevation model* (DEM). Sementara, dengan menggunakan metode fotogrametri

pengolahan dimulai dari pemindahan data dari *drone* ke dalam komputer yang kemudian diolah dengan menggunakan *software Agisoft Metashape*. Setelah proses *editing* akan menghasilkan data berupa *single photo* yang akan berubah menjadi *orthophoto* dan *digital surface model* (DSM). Pada hasil akhir ini dilakukan perhitungan volume bauksit, dari DEM dan DSM akan diperoleh volume bauksit yang ada di *stockwash*. Adapun tahapan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

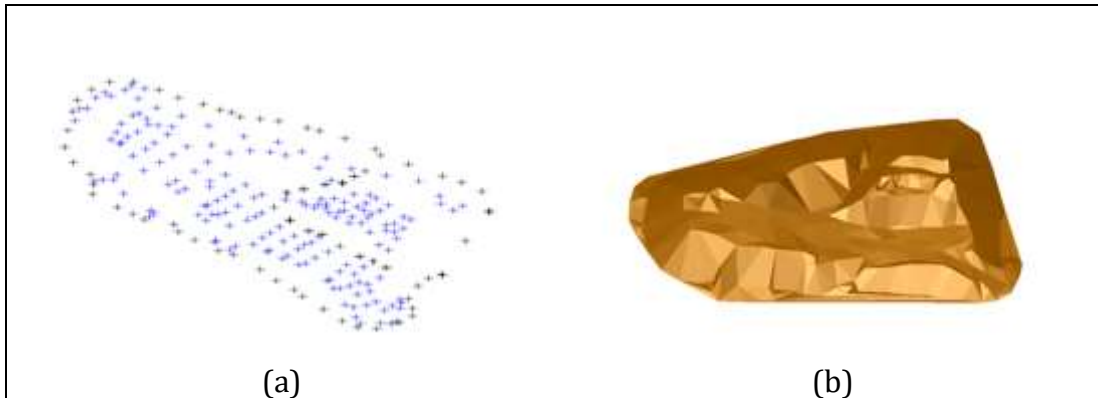
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pengukuran Terestris

Pengukuran terestris dilakukan untuk menentukan titik referensi dari pengukuran dengan menggunakan alat *total station* (TS) yang kemudian dilanjutkan dengan pemetaan situasi. Metode pengukuran terestris yang digunakan adalah metode kontur. Sistem koordinat yang diterapkan dalam penentuan posisi ini adalah *universal transverse mercator* (UTM). Berikut adalah tahapan pembentukan kontur berdasarkan hasil pengukuran terestris:

- 1) Pengambilan titik oleh surveyor umumnya dilakukan di sekitar dasar tanggul dan diatas tiang pancang (jika kondisinya aman). Untuk satu tanggul seluas 40.000 m² (4 ha), diperlukan 150 hingga 1000 pengukuran (meliputi koordinat lintang, bujur, dan tinggi). Setelah mengumpulkan data di lapangan, seorang surveyor biasanya akan melakukan pengolahan data. TS mengacu pada suatu titik acuan yang memiliki hubungan atau nilai terhadap titik referensi.
- 2) Surveyor membuat model 3D berdasarkan titik-titik yang diambil untuk menentukan volume timbunan. Koordinat semua titik tersebut dihubungkan untuk membentuk *triangular irregular network* (TIN) yang merepresentasikan permukaan. Selanjutnya, perangkat lunak yang digunakan akan membangun permukaan dari TIN dan

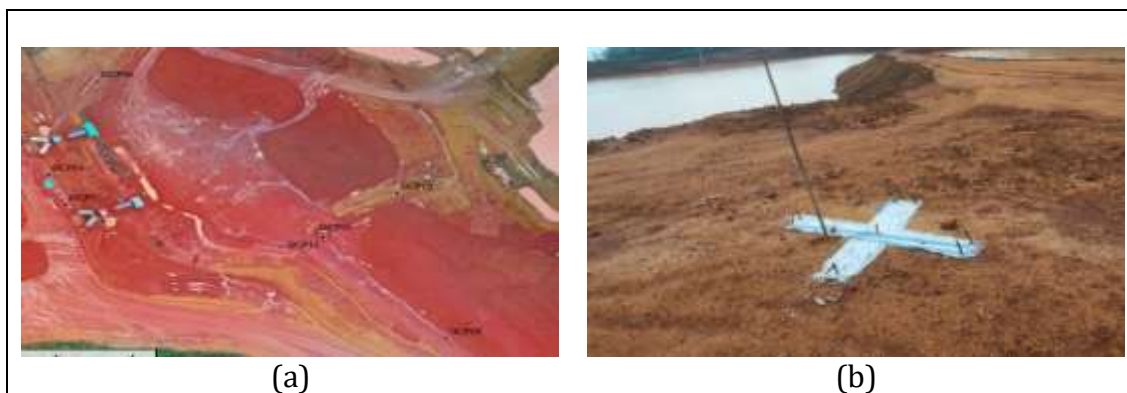
menghitung volume antara TIN dan elevasi timbunan yang sebenarnya (Gambar 3). Meskipun para surveyor dan manajer lokasi menyadari pentingnya inventarisasi fisik untuk memperkirakan volume timbunan, mereka mengakui bahwa proses ini akan memakan waktu dan biaya yang signifikan. Selain itu, sering kali diperlukan bantuan surveyor dari pihak ketiga untuk melakukan analisis, serta melibatkan resiko keselamatan dalam proses pendakian timbunan (*climbing stockpiles*).



Gambar 3. Analisis pengukuran terestris, titik-titik pengambilan data timbunan (a) dan model 3D timbunan bauksit (b)

Analisis Pengukuran Fotogrametri

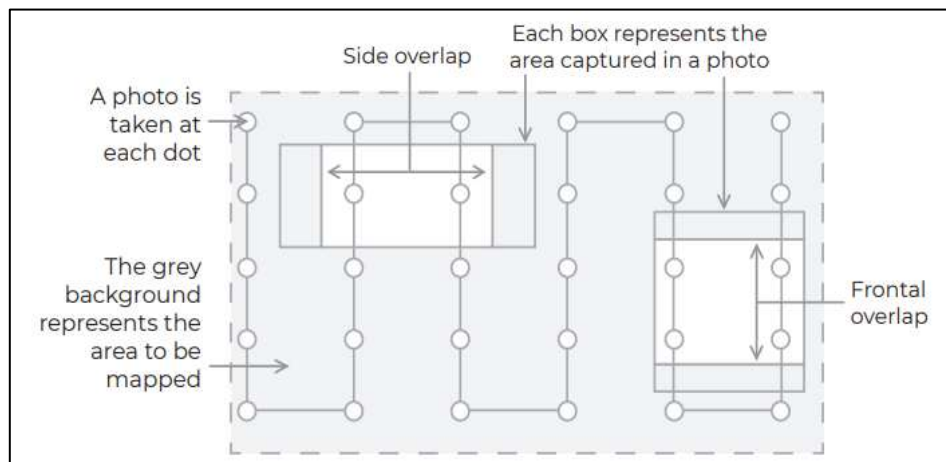
Pengukuran fotogrametri dilakukan dengan menggunakan drone. Pada penelitian ini menggunakan drone dengan tipe *Aerial DJI Mavic 2 Pro*. Pada penelitian ini, drone diterbangkan selama 25 hingga 30 menit dengan menghasilkan beberapa jumlah foto. Pengolahan data selanjutnya menggunakan *software Agisoft Metashape*. Berikut adalah tahapan pembentukan kontur berdasarkan hasil pengukuran fotogrametri:



Gambar 4. Penempatan titik-titik pengamatan (a) dan survei GCP dilapangan sebelum penerbangan drone (b)

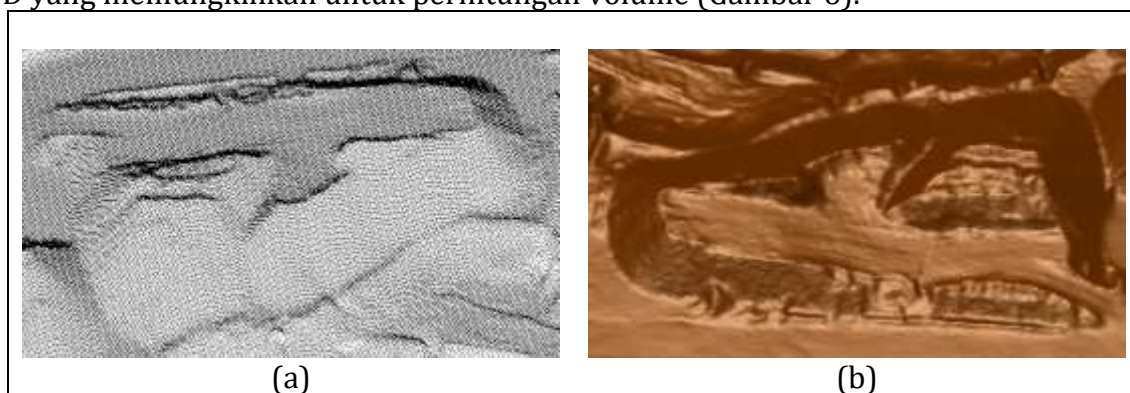
- 1) Penyiapan awal *ground control points* (GCP) sangat penting untuk memastikan keakuratan dan kualitas data yang diperoleh dari *drone*. GCP harus terlihat jelas pada gambar yang diambil oleh *drone* (Gambar 4). Penempatan GCP dilakukan secara homogen di seluruh lokasi pengamatan, baik secara horizontal (planimetri) atau vertikal (altimetri). Instrumen survei terestrial digunakan untuk survei setiap GCP.

- 2) Setelah posisi titik kontrol terestrial (GCP) ditetapkan dan diukur, operator melakukan pemetaan seluruh lokasi dengan menggunakan *drone* dengan pengambilan gambar secara otomatis. Demi memastikan akurasi dan kualitas data yang optimal. Penelitian ini memberikan rekomendasi berupa :
 - Dilakukan penerbangan pada ketinggian 262,467 kaki (80 meter) dengan *longitudinal and lateral overlap* mencapai 75 hingga 80%. Tingkat *overlap* disesuaikan dengan area yang dicakup oleh setiap gambar, untuk memastikan pemetaan yang komprehensif (Gambar 5).



Gambar 5. Ilustrasi rencana penerbangan *overlap*

- Perhatikan kualitas gambar dan ketinggian terbang yang optimal diperlukan, agar resolusi citra (GSD) terjaga pada rentang 2,8 cm/piksel (1,1 inci/piksel) hingga 3,5 cm/piksel (1,4 inci/piksel).
- 3) Kemudian data diolah melalui aplikasi *Visualmine* sehingga menghasilkan data 2D dan 3D. Data terdiri dari jutaan titik yang memungkinkan rekonstruksi *site* atau timbunan secara 3D yang memungkinkan untuk perhitungan volume (Gambar 6).



Gambar 6. *Point cloud* timbunan yang disurvei dengan DJI M2P pada ketinggian 262,467 kaki atau 80 m (a) dan sesuai dengan medan (b)

Proses fotogrametri mencocokkan titik-titik yang disurvei dengan GCP yang direferensikan dengan gambar yang di-*overlap*. Setiap titik yang direferensikan secara geografis di XYZ

seperti dalam survei menggunakan metode terestris.

Tabel 1. Sebelum disesuaikan dengan ketinggian ke titik kontrol

<i>Feature Name</i>	<i>RMSE</i>	<i>LIDAR Elev.</i>	<i>ATR 1</i>	<i>Elev Diff (m)</i>	<i>Elev Diff Abs (m)</i>	<i>Elev</i>	<i>LIDAR Point Count</i>
GCP03	4,060	38,594	GCP03		4,060		
	m	m		4,06	m	34,534	9
GCP04	0,065	61,368	GCP04		0,065		
	m	m		0,065	m	61303	9
GCP05	0,471	44,389	GCP05		0,471		
	m	m		-471	m	44,860	9
GCP06	0,490	47,757	GCP06		0,490		
	m	m		0,49	m	47,267	9
GCP07	0,029	61,499	GCP07		0,029		
	m	m		0,029	m	61,470	9
GCP08	0,877	44,744	GCP08		0,877		
	m	m		-877	m	45,621	9
GCP09	1,005	37,905	GCP09		1,005		
	m	m		1005	m	36,900	9
GCP10	0,051	43,861	GCP10		0,051		
	m	m		0,051	m	43,810	9
GCP11	0,343	44,598	GCP11		0,343		
	m	m		-343	m	44941	9
GCP13	0,108	65,951	GCP13		0,108		
	m	m		-108	m	66059	9
<i>RMSE : 1,373 meters (found match for 10/12 points)</i>							

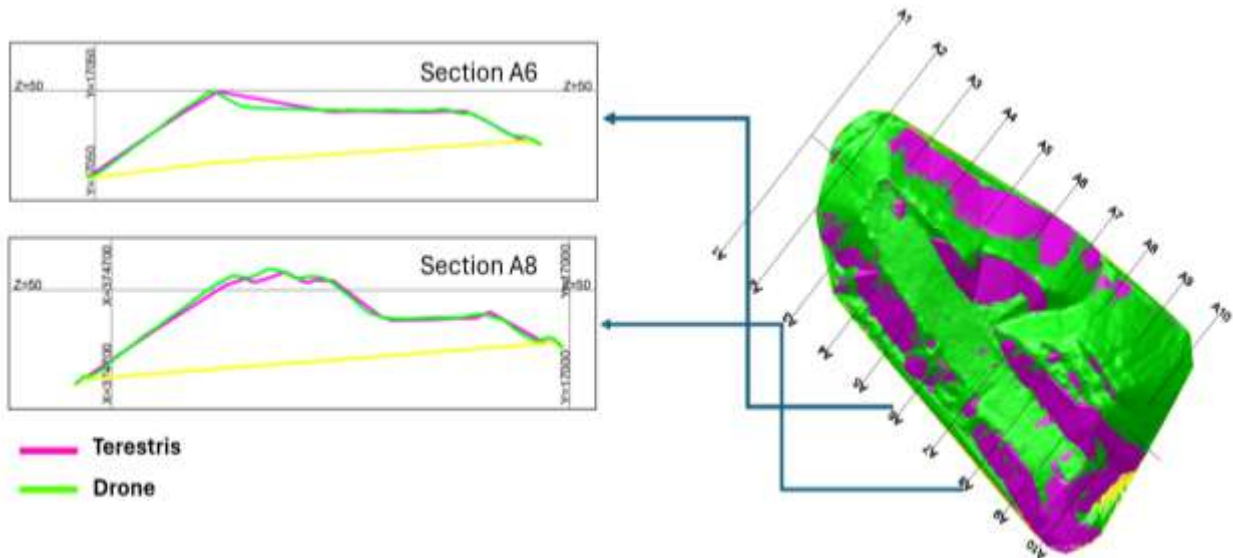
Hasil justifikasi ini memperkuat penggunaan data GCP sebagai nilai acuan fundamental dalam proses pengukuran, bertujuan untuk mengurangi simpangan nilai *root means square* (RMS) atau mengatasi ketidaksesuaian yang mungkin terjadi parameter data *aerial photo* yang memiliki tingkat kesalahan yang cukup signifikan. Pendekatan ini dilakukan melalui perbandingan data dari *aerial photo* dengan data titik kontrol atau GCP.

Tabel 2. Setelah disesuaikan dengan ketinggian ke titik kontrol

<i>Feature Name</i>	<i>RMSE</i>	<i>LIDAR Elev.</i>	<i>ATR 1</i>	<i>Elev Diff (m)</i>	<i>Elev Diff Abs (m)</i>	<i>Elev</i>	<i>LIDAR Point Count</i>
GCP03	0,001003265	34,535 m	GCP03	0,00100	0,00100	34,534	9
GCP04	0,000270844	61,303 m	GCP04	-0,00027	0,00027	61303	9
GCP05	0,003578186	44,856 m	GCP05	-0,00358	0,00358	44,860	9
GCP06	0,000213623	47,267 m	GCP06	0,00021	0,00021	47,267	9
GCP07	0,000221252	61,470 m	GCP07	-0,00022	0,00022	61,470	9
GCP08	0,000549316	45,620 m	GCP08	-0,00055	0,00055	45,621	9
GCP09	0,000034332	36,900 m	GCP09	0,00003	0,00003	36,900	9
GCP10	0,000362396	43,810 m	GCP10	0,00036	0,00036	43,810	9
GCP11	0,000789642	44,942 m	GCP11	0,00079	0,00079	44941	9
GCP13	0,000389099	66,059 m	GCP13	-0,00039	0,00039	66059	9
<i>RMSE : 0,0012323592 meters (found match for 10/12 points)</i>							

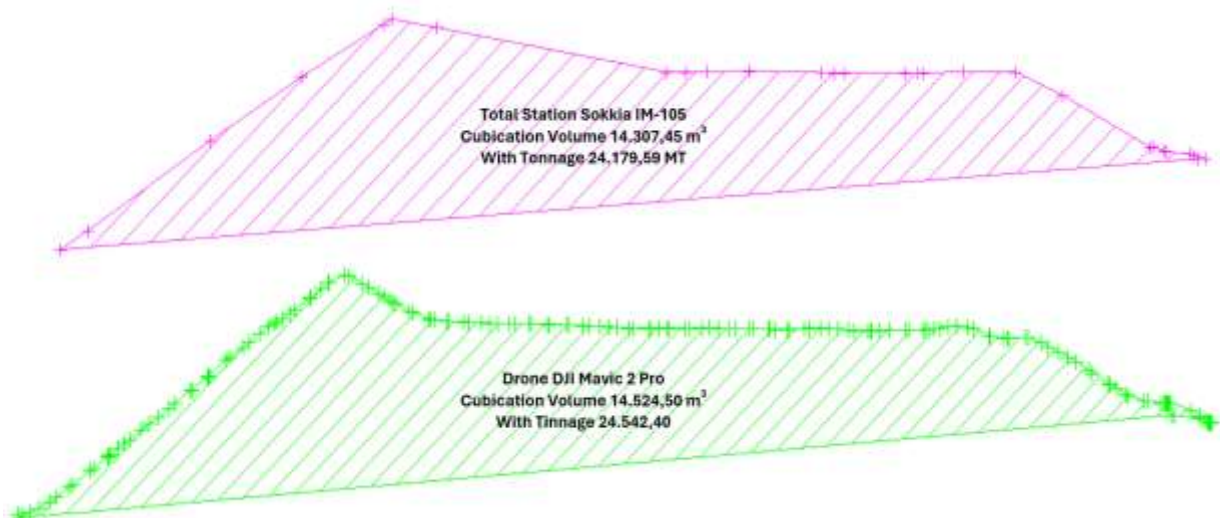
Analisis Volume Timbunan

Volume timbunan menggunakan metode irisan melintang yang diambil tegak lurus terhadap sumbu proyek (*alignment*) dengan interval jarak tertentu (Gambar 7), dalam metode ini volume didapatkan dengan mengalikan luas rata-rata dari irisan yang ada dengan jarak antara irisan awal dan akhir. Nilai volume timbunan dari hasil pengukuran terestris dan fotogrametri ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 7. Ilustrasi rencana penerbangan overlap

Hasil dari *cross-section* yang diperoleh dari lot HGO menunjukkan perbedaan ketinggian antara data terestris dengan fotogrametri berkisar antara 0,04 cm hingga 0,17 cm. Perbedaan ini disebabkan oleh karakteristik fotogrametri yang memiliki kemungkinan pendekatan yang beragam dan tidak selalu seragam.



Gambar 8. Hasil *cross-section* berdasarkan terestris dan fotogrametri

Hasil dari *cross-section* yang diperoleh dari lot HGO menunjukkan volume terestris menggunakan *total station* menghasilkan volume timbunan sebesar 14.307,45 m³ dengan

tonase sebesar 24.179,59 ton. Sementara, metode fotogrametri menggunakan *drone* menghasilkan volume timbunan sebesar sebesar 14.524,50 m³ dengan tonase sebesar 24.546,40 ton. Hasil mengacu kepada *american standard testing and materials* (ASTM) dengan perolehan deviasi sebesar 1,5% dengan status *accepted*. Berdasarkan analisis tersebut, volume *stockwash* bauksit yang diperoleh dari survei menggunakan fotogrametri dan terestris yang menunjukkan deviasi sebesar 1,5%. Tingkat akurasi ini memenuhi kebutuhan presisi yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan yang diisyaratkan. Selain itu, penggunaan fotogrametri dalam survei timbunan memperlihatkan keunggulan dalam efisiensi waktu. Metode ini hanya membutuhkan waktu beberapa menit, dibandingkan dengan survei menggunakan terestris yang memakan waktu hingga satu jam untuk setiap timbunan. Dalam hal efisiensi dan keamanan, fotogrametri mencakup area yang sangat luas dengan beberapa kali pengisian daya, sambil tetap memastikan keselamatan bagi para surveyor.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa analisis pengukuran volume timbunan *stockwash* dengan menggunakan metode terestris dan fotogrametri pada penambangan bauksit di Tayan Kalimantan Barat adalah, sebagai berikut :

- 1) Pengukuran metode terestris menggunakan *total station* menghasilkan volume timbunan sebesar 14.307,45 m³ dengan tonase sebesar 24.179,59 ton. Sementara, metode fotogrametri menggunakan *drone* menghasilkan volume timbunan sebesar sebesar 14.524,50 m³ dengan tonase sebesar 24.546,40 ton.
- 2) Proses pengolahan data dengan menggunakan terestris dan fotogrametri menghasilkan deviasi volume timbunan sebesar 1,5%. Deviasi yang terjadi disebabkan karena adanya perbedaan waktu pada saat pengambilan data dengan kedua metode tersebut. Sehingga, menyebabkan terjadinya perbedaan nilai luasan area permukaan timbunan yang tidak terlalu signifikan.
- 3) Pengukuran dengan menggunakan metode fotogrametri terbukti lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan metode pengukuran terestris, terutama untuk timbunan dengan area yang lebih luas dan lokasi yang sulit untuk dijangkau. Luas yang telah direktifikasi hasilnya cukup baik, oleh sebab itu pengukuran dengan menggunakan metode fotogrametri dapat dipergunakan untuk keperluan evaluasi lainnya.

PENGAKUAN/AKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan artikel ilmiah ini. Terutama kepada PT. Geofix Indonesia yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di daerah penambangannya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pendamping lapangan bapak Dadi Fathoni, S.T., dan Renaldo, S.T., yang telah mendampingi dalam pengambilan dan pengolahan data. Tanpa bantuan dari para pendamping yang telah membantu dari awal hingga akhir, tentunya penyusunan artikel ilmiah ini tidak akan terlaksana sesuai dengan yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aji, A. R. S., & Djurdjani, D.-. (2022). Perbandingan Volume Stockpile Batu Bara Hasil UAV Fotogrametri dan UAV Lidar. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 5(2), 70. <https://doi.org/10.22146/jgise.78295>
- [2] Ginting, E. B., Haribowo, R., & Hendrawan, A. P. (2024). Studi Perbandingan Perhitungan Volume Galian dan Timbunan Menggunakan Data Total Station dan Drone (UAV) Comparative Study of Cut and Fill Volume Calculations Using Total Station and Drone (UAV) Data. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 04(01), 616–625. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2024.004.01.052>
- [3] Gu, J., Huang, Z., Fan, H., Jin, Z., Yan, Z., & Zhang, J. (2013). Mineralogy, geochemistry, and genesis of lateritic bauxite deposits in the Wuchuan-Zheng'an-Daozhen area, Northern Guizhou Province, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.03.003>
- [4] Harnanda, S., Kusuma, G. J., Badhurahman, A., & Syaputra, R. (2023). The Effect of Fly Ash Ratio Addition as Layering Material Using Free Draining Column Leach Test Method on Laboratory Scale. *EKSPLORIUM*, 44(1), 41–48. <https://doi.org/10.55981/EKSPLORIUM.2023.6707>
- [5] Hutmi, R., & Prabowo, H. (2022). Perhitungan Perbandingan Tonase Bauksit Menggunakan Data Truck Count, dan Tonase Hasil Analisa Laboratorium di Bauxite Processing Plant 1 dan 2 PT. Jaga *Bina Tambang*, 7(1), 1–11. <https://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/view/117653%0Ahttps://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/download/117653/106668>
- [6] Jafar, N. (2017). ANALISIS UNSUR ENDAPAN BAUKSIT MENGGUNAKAN X-RAY FLUORESCENCE (XRF) PT. ANTAM TBK. UNIT GEOMIN DAERAH KENCO KABUPATEN LANDAK PROVINSI KALIMANTAN BARAT. *Journal of Chemical Process Engineering*, 2(1), 46–49. <https://doi.org/10.33536/JCPE.V2I1.115>
- [7] Kristianie, Y., Luwyk Djanas Usup, H., Studi Teknik Pertambangan, P., Teknik, F., Palangka Raya Kota Palangka Raya, U., & Kalimantan Tengah, P. (2023). *Perhitungan Volume Timbunan Batubara Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Di Pt. Mitra Barito Lumbung Energi Site Pt. Kalimantan Prima Nusantara (Kpn). 2018(6)*, 79–83.
- [8] Kurniasih, D., Purwoko, B., Meilasari, D. F. (2022). Estimasi Perhitungan Sumberdaya Bauksit Menggunakan Luas Area Pengaruh Metode Poligon Pada Blok Sungai Ronggas Pt Kalbar Bumi Perkasa Kecamatan Tayan Hilir Kabupaten Sanggau Provinsi Kalimantan Barat. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, Dan Tambang*, 9(3). <https://doi.org/10.26418/JELAST.V9I3.57248>
- [9] Liun, E. N. (2021). Kebutuhan Energi Untuk Pengolahan Bauksit di Kalimantan Barat. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 23(1), 29–37. <https://doi.org/10.17146/JPEN.2021.23.1.6031>
- [10] Model, M. P., Purnomo, H., Sari, L. P., Studi, P., Pertambangan, T., & Mineral, F. T. (2021). *Perbandingan Perhitungan Volume Stockwash Menggunakan Total Station dan Unmanned Aerial Vehicle di PT. Jaga Usaha Sandai. 02(02)*, 147–152.
- [11] Negara, M. A., Wisnawa, I. G. Y., & Putra, I. W. K. E. (2021). Perbandingan Hasil Pemotretan Foto Udara Menggunakan Drone Industrial Dengan Drone Basic. *Jurnal ENMAP*, 2(2), 29–36. <https://doi.org/10.23887/em.v2i2.39842>

-
- [12] Prihartini, R., Syaputra, R., Kusuma, G. J. (2022). Karakteristik Pembentukan Air Asam Tambang pada Endapan High Sulphidation Epithermal. *Jurnal Pertambangan*, 6(3), 107–114. <https://doi.org/10.36706/JP.V6I3.1306>
- [13] Santoso, A. B., & Syaputra, R. (2024). Geochemical Characteristics of Bauxite Deposits in Region X, West Kalimantan, Indonesia. *Jurnal Teknologi Pertambangan Dan Geosains*, 1(2), 29–35. <https://www.jurnal.uts.ac.id/index.php/jtpg/article/view/4133>
- [14] Supriatno, P., Syaputra, R., Kadji, R., & Alfianita, L. (2022). Water Quality and Hydrochemical Studies in Watersheds Cikapundung River Case Study. *Budapest International Research and Critics Institute-Journal*, 19920–19933. <https://doi.org/10.33258/birci.v5i3.6010>
- [15] Syaputra, R., Kusuma, G. J., & Badhurahman, A. (2023). Prediction of Potential Acid Mine Drainage Formation in High Sulfidation Epithermal Deposit using Geochemical and Mineralogy Approaches. *EKSPLORIUM*, 44(1), 33–40. <https://doi.org/10.55981/EKSPLORIUM.2023.6652>
- [16] Zamanian, H., Ahmadnejad, F., & Zarasvandi, A. (2016). Mineralogical and geochemical investigations of the Mombi bauxite deposit, Zagros Mountains, Iran. *Chemie Der Erde*, 76(1). <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2015.10.001>
- [17] Zhou, J., Yu, W., Wei, W., Yang, M., & Du, Y. (2023). Provenance and Tectonic Evolution of Bauxite Deposits in the Tethys: Perspective From Random Forest and Logistic Regression Analyses. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 24(6). <https://doi.org/10.1029/2022GC010745>