

ANALISIS PERHITUNGAN VOLUME STOCKPILE BATUBARA MENGGUNAKAN DATA FIX-WING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) WINGTRA (Studi Kasus: PT Bukit Asam Tbk)

Widyastuti

Jurusan Teknik Geodesi
Fakultas Teknik, Perencanaan, dan Arsitektur
Universitas Winaya Mukti
Jl. Pahlawan no. 69, Bandung
Email : widyastuti1719@gmail.com

ABSTRACT

Coal stockpile measurement is a crucial aspect in mining operations to determine the amount of available material. The advancement of mapping technologies such as TLS (Terrestrial Laser Scanning) and UAV (Unmanned Aerial Vehicle) has been widely applied in various fields. The use of UAVs as a new technology can increase efficiency, particularly in terms of coverage of large areas and fast data acquisition time. However, the quality of the volume data produced is still uncertain. As coal production increases at PT Bukit Asam Tbk, the demand for more stockpile locations also grows, meaning the technology used should also improve. This study aims to analyze the volume obtained using UAV as a new method for stockpile measurement.

UAV data undergoes processes such as photo alignment, georeferencing, and point cloud generation using Agisoft Metashape software. The next step is volume calculation using 12D Model software. The resulting volumes are compared to determine the volume difference, with the TLS measurement considered as the reference or ground truth. Further analysis is conducted on the volume difference data using volumetric testing and t-test.

The comparison results between TLS and UAV volumes from 17 datasets show that 71% meet the standard, while 29% do not. The t-test result yields a t-value of 1.9774, which is less than the t-table value of 3.1825 ($1.9774 < 3.1825$), indicating that the volume measurements obtained using UAV and TLS do not have a significant difference.

Keywords: TLS, UAV, stockpile, coal

ABSTRAK

Pengukuran stockpile batubara merupakan hal utama dalam kegiatan pertambangan untuk menentukan jumlah material yang tersedia. Teknologi pemetaan yang semakin berkembang seperti TLS dan UAV telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang. Pemanfaatan UAV sebagai teknologi baru dapat meningkatkan efisiensi terlebih pada jangkauan dan cakupan area luas serta waktu akuisisi cepat. Namun belum diketahui kualitas volume yang dihasilkan. Seiring dengan meningkatnya produksi batubara di PT Bukit Asam Tbk membuat kebutuhan lokasi stockpile yang banyak, sehingga teknologi yang digunakan seharusnya juga semakin meningkat. Penelitian ini bertujuan menganalisis volume yang dihasilkan menggunakan UAV sebagai metode baru pengukuran stockpile.

Data UAV akan melalui proses align foto, georeferensi, dan pembuatan point cloud pada perangkat lunak Agisoft Metashape. Proses selanjutnya adalah perhitungan volume pada perangkat lunak 12D Model. Volume dibandingkan untuk mendapatkan selisih volume, acuan volume yang dianggap benar adalah pengukuran menggunakan TLS. Dilakukan analisis lanjutan dengan data selisih volume berupa uji volumetrik dan uji t sampel.

Hasil perbandingan volume TLS dan UAV dengan jumlah 17 data memperoleh hasil yang memenuhi standar sebesar 71% dan yang tidak memenuhi sebesar 29%. Dari hasil uji t diperoleh hasil thitung 1.9774, dibandingkan dengan nilai ttabel $1.9774 < 3.1825$, maka volume hasil pengukuran UAV dan TLS tidak memiliki perbedaan volume yang signifikan.

Kata kunci: TLS, UAV, stockpile, batubara

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambangan batubara di Indonesia adalah salah satu sektor utama yang berkontribusi sebagai penggerak perekonomian negara. Berdasarkan laporan BP Statistical Review of World Energy tahun 2020, Indonesia merupakan negara dengan cadangan batubara terbesar keenam di dunia. Secara spesifik, data dari Badan Geologi Kementerian ESDM tahun 2020, menunjukkan bahwa cadangan batu bara Indonesia sebesar 38.805 juta metrik ton atau sekitar 3,6% dari total cadangan batubara dunia.

Stockpile batubara adalah tempat penyimpanan sementara batubara yang telah tergali. Produksi batubara dari area *front* tambang akan dibawa ke *stockpile* untuk kemudian

dilakukan proses pengiriman. Proses *monitoring stockpile* perlu dilakukan untuk mengetahui volume batubara yang masuk dan keluar. Salah satu langkah yang dilakukan selama pengawasan yaitu melakukan pengukuran secara periodik untuk memonitor volume batubara tersebut. Penentuan volume batubara dapat dilakukan menggunakan pengukuran terestris dan fotogrametri.

Saat ini pengukuran *stockpile* batubara di PT Bukit Asam Tbk masih menggunakan metode terestris. Adapun beberapa alat yang digunakan berupa GNSS Geodetik, TS dan TLS. Dari segi teknis dibutuhkan waktu dan sumber daya yang cukup banyak. Sedangkan dari segi keselamatan, potensi kecelakaan kerja yang tinggi saat pengukuran akibat kondisi maupun tindakan yang tidak aman. Seperti yang diketahui

pertambangan merupakan sektor yang dianggap memiliki tingkat risiko kecelakaan kerja tinggi.

Peningkatan produksi batubara yang semakin tinggi diiringi dengan makin luas bukaan tambang yang dilakukan sehingga membuat jumlah *stockpile* juga bertambah untuk menampung batubara yang telah tergali. Hal ini membuat data volume *stockpile* dilaporkan secara periodik tiap minggunya, sehingga pemanfaatan metode fotogrametri menggunakan UAV perlu dioptimalkan untuk menunjang pekerjaan agar semakin efisien.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian diantaranya:

1. Mengetahui seberapa sesuai data hasil pengukuran UAV dengan kondisi aktual *stockpile* terukur.
2. Mengetahui ketelitian yang dihasilkan dari data pengukuran UAV dilihat dari ketelitian horizontal dan vertikal.
3. Menganalisis perbandingan volume yang dihasilkan dari pengolahan data UAV dan TLS.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui metode fotogrametri menggunakan teknologi UAV digunakan pada sektor pertambangan khususnya dalam bidang pengukuran dan perhitungan volume *stockpile* batubara, juga dijadikan acuan dan gambaran dalam menguji validitas dan akurasi dari data UAV serta menganalisis secara teori faktor yang mempengaruhinya.

2. DASAR TEORI

2.1 Stockpile Batubara

Stockpile merupakan suatu lokasi yang digunakan sebagai tempat penyimpanan batubara setelah mengalami proses pengangkutan yang panjang baik dari tempat distributor ataupun dari tempat material pada industri pertambangan (Aliyusra Jolo, 2017). Lokasi ROM umumnya terletak di daerah yang strategis sehingga mudah untuk didistribusikan misalnya di dekat daerah front penambangan atau di dekat pelabuhan (Mulyana, 2005). Hal ini untuk mencegah batubara terhindar dari gangguan jangka pendek maupun jangka panjang seperti penurunan kualitas batubara karena oksidasi.

Pemantauan sebagai kontrol wajib dilakukan secara berkala dalam manajemen *stockpile*. Salah satu indikator terpenting pada manajemen *stockpile* yaitu pemantauan volume. Dibutuhkan ketelitian yang tinggi dalam perhitungan volume batubara sehingga target nilai ekonomis cadangan dan produksi tidak melenceng jauh dari perencanaan.

2.2 Pengukuran Stockpile

Pengukuran merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menentukan posisi (koordinat dan ketinggian) titik-titik dipermukaan bumi. *Mine surveying* atau *survey* tambang mencakup teknik-teknik khusus yang diperlukan untuk menentukan posisi-posisi dan gambar proyeksi obyek, baik di bawah tanah (dalam bidang bawah tanah) maupun permukaan bumi (tambang terbuka) Basuki (2011).

Fotogrametri atau *aerial surveying* adalah teknik pemetaan melalui foto udara. Hasil pemetaan secara fotogrametrik berupa peta foto dan tidak dapat langsung dijadikan dasar atau lampiran penerbitan peta. Fotogrametri adalah suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh data dan informasi tentang suatu obyek serta keadaan di sekitarnya melalui suatu proses pencatatan, pengukuran dan interpretasi bayangan fotografis (hasil pemotretan).

2.3 UAV

Pesawat tanpa awak UAV merupakan jenis pesawat terbang yang dikendalikan alat sistem kendali jarak jauh lewat gelombang radio. Adapun jenis UAV secara umum terbagi menjadi dua macam antara lain:

1. Fixed Wing

Fixed wing adalah sebuah pesawat yang memiliki sayap sebagai alat bantu penerbangan. Pesawat ini memiliki bentuk sayap yang tetap atau tidak bergerak. Pesawat mendapat *thrust* dari gaya dorong yang menerpa bagian sayap yang memiliki bantuk *airfoil* tertentu dari depan sampai belakang sehingga menghasilkan gaya angkat.

2. Multirotor

Multirotor adalah *drone* yang menggunakan baling-baling (*Propellers*) untuk terbang yang memanfaatkan gaya angkat yang dihasilkan dari putaran motor yang terpasang *propeller*. Prinsip kerja *multirotor* yaitu ketika beroperasi menggunakan empat rotor dan empat buah baling-baling. Dua rotor berputar melawan arah jarum jam dan dua lainnya searah jarum jam. Karena kombinasi ini lah sistem mampu mengendalikan gaya angkat pesawat, melalui kondisi torsi yang seimbang. Sedangkan ketika dilihat dari segi "*vertical take off and landing (VTOL)*" *Multirotor* mampu melakukan *pitch*, *yaw* dan *roll* menggunakan kontrol kendali empat rotor (munir hutama, 2015).

2.4 TLS

TLS merupakan suatu instrumen yang didesain untuk keperluan pengukuran yang biasa disebut *terrestrial laser scanning*. Teknik ini dilakukan dengan memancarkan cahaya *laser* untuk mengukur titik-titik pada pola tertentu secara langsung dalam tiga dimensi dari suatu permukaan objek. TLS merupakan salah satu instrumen yang dapat menghasilkan pengukuran tiga dimensi dengan tingkat akurasi yang tinggi. Kelebihan yang dimiliki TLS adalah kemampuannya dalam mengambil jutaan titik awan yang rapat dengan cepat. Namun disamping itu, TLS tidak dapat mengambil warna nyata dari suatu obyek, warna yang didapatkan hanya warna intensitas dari gelombang pantulan (Quintero dkk. 2008).

2.5 Metode Perhitungan Volume

1. Metode Garis Kontur

Garis kontur adalah garis yang menghubungkan titik-titik yang memiliki ketinggian yang sama, sehingga bidang yang oleh sebuah garis kontur adalah merupakan bidang datar. Luas penampang ditentukan dengan luasan yang dibatasi oleh suatu garis kontur, sedangkan beda tinggi atau jarak antar penampang ditentukan oleh interval garis kontur, yaitu beda tinggi antara Penentuan volume dengan menggunakan garis kontur dapat ditentukan dengan menggunakan rumus *end areas* untuk setiap dua buah tampang yang berurutan. Volume dapat dihitung dengan cara

menghitung luas daerah yang terdapat di dalam batas kontur, kemudian mempergunakan prosedur yang umum dikenal. Prosedur perhitungan volume dilakukan dengan metode garis kontur:

$$v = h \frac{A1+A2+A3+A4+A5}{n} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

A1,...dst : Luas tampang

h :Interval kontur/beda tinggi antar kontur

n : Jumlah luasan

2. Metode Cross Section

Penampang melintang merupakan gambar irisan arah tegak lurus potongan memanjang. Penampang melintang umumnya diukur selebar rencana melintang bangunan ditambah daerah penguasaan bangunan atau hingga sejauh jarak tertentu. Pengukuran melintang dilakukan untuk menentukan tinggi rendahnya tanah atau untuk mendapatkan bentuk permukaan titik sepanjang garis tertentu.

a. Metode Potongan Melintang Rata-Rata

Potongan melintang rata-rata yaitu potongan atau penampang dari suatu areal pengukuran tanah arah melintang dari suatu areal pengukuran tanah arah melintang yang memperlihatkan jarak dan elevasi tertentu. Pada metode ini, volume total terbagi menjadi beberapa seri dari padatan area dengan potongan melintang. Jarak dari bagian tergantung pada karakter umum dari tanah dan akurasi yang diinginkan. Rumus :

$$v = \left[\frac{A1+A2}{2} \right] L \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

V : Volume

A1 : Luas penampang pertama

A2 : Luas penampang kedua

L :Panjang dari luas tampang pertama ke luas tampang kedua

b. Metode Jarak Rata-Rata

Metode ini merupakan untuk menghitung volume tanah dengan jarak L1 dan L2 sebelum dan sesudah potongan A1 dan A2 dirata-rata, lalu harga rata-rata ini dikalikan dengan luas potongan A0.

Rumus:

$$V = A_0 \left[\frac{L1+L2}{2} \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

3. Metode Prisma dan Piramida Kotak (Prismoidal)

Sebuah prisma didefinisikan sebagai sebuah bentuk padat (solid) yang mempunyai dua bidang paralel, baik dalam ukuran tertentu atau tak tentu bentuknya. Kedua permukaan ini dihubungkan oleh permukaan bidang ataupun lengkungan yang dari satu ujung kelainnya. Metode ini dapat digunakan untuk menghitung bentuk sembarang pisma melintang dengan mempersiapkan terlebih perhitungan galian dan timbunan dahulu luas potongan melintang tengah dari bentuk prisma.

Rumus volume metode prisma:

$$v = \frac{h}{6} (A1 + 4Am + A2) \dots\dots\dots(2.4)$$

Rumus volume Metode Piramida Kotak:

$$V = \frac{h}{3} (A1 + \sqrt{A1 \times A2} + A2) \dots\dots\dots(2.5)$$

4. Metode Cut And Fill

Prinsip perhitungan volume galian dan timbunan menggunakan metode *cut and fill* adalah menghitung luasan dua penampang serta jarak antara penampang atas dan penampang bawah tersebut. Dengan mengetahui data penampang atas dan penampang bawah, maka dapat dihitung luas masing-masing penampang. Volume dihitung dari DTM yang dibentuk dari jaring-jaring segitiga (TIN). Jaring segitiga inilah yang akan membentuk suatu geometri prisma dari dua *surface*. *Surface* dibedakan menjadi dua yaitu *design surface* dan *base surface*. *Design surface* merupakan *surface* yang akan dihitung volumenya sedangkan *base surface* merupakan *surface* yang dijadikan sebagai alas.

2.6 Ground Control Point (GCP)

Dalam pemetaan fotogrametri untuk mendapatkan kualitas gambar dengan ketelitian yang akurat diperlukan adanya titik kontrol berupa *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP). Titik kontrol GCP dan ICP berfungsi sebagai titik acuan. Titik acuan menyatakan kedudukan atau posisi sebenarnya di muka bumi dalam bentuk koordinat (x,y) dua dimensi atau koordinat tiga dimensi (x,y,z). (Pribadi, 2016).

Independent Control Point atau titik cek adalah titik kontrol tanah yang digunakan sebagai kontrol kualitas dari objek dengan cara membandingkan koordinat model dengan koordinat sebenarnya. Perbedaan utama antara GCP dan ICP adalah GCP digunakan saat pengolahan data sedangkan ICP berfungsi ketika data sudah menjadi produk dan tidak termasuk dalam proses pengolahan data. Titik ini digunakan untuk mendapatkan ketelitian horizontal foto udara hasil pemotretan (Lailissaum, 2015).

2.7 Root Mean Square Error (RMSE)

Setiap pengukuran pasti tidak lepas dari kesalahan. Begitu juga dalam proses pengolahan data ukuran, yaitu proses registrasi yang juga tidak lepas dari kesalahan. Besarnya nilai kesalahan tersebut ditunjukkan dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*). RMSE adalah suatu nilai perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil ukuran. Semakin besar nilai RMSE, maka semakin besar pula kesalahan hasil ukuran terhadap kondisi yang sebenarnya. RMSE didapatkan dari proses pembagian antara nilai akar kuadrat total selisih ukuran kuadrat dengan jumlah ukuran yang digunakan. Definisi matematis dari RMSE mirip dengan simpangan baku, yaitu akar kuadrat dari rata - rata jumlah kuadrat residual (Soetaat, 1994).

Kesalahan baku didefinisikan sebagai akar dari jumlah kuadrat residual. Rumus menghitung RMSE disajikan pada persamaan 2.6.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (R-R_1)^2}{n}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Ketelitian geometri adalah nilai yang menggambarkan tingkat ketidakpastian koordinat posisi suatu objek pada peta dibandingkan dengan koordinat posisi objek yang dianggap posisi sebenarnya. Ketentuan untuk standar ketelitian geometri berdasarkan Peraturan Badan Informasi Geospasial No 6 Tahun 2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

2.8 Uji Volumetrik

Uji volumetrik dilakukan menggunakan uji statistik dan uji volumetrik menggunakan standar *American Society for*

Testing and Materials (ASTM). ASTM D6172-98 adalah standar teknis pengukuran volume tumpukan material (*bulk material*). Batas toleransi maksimal yang diambil adalah dibawah 2% yang merupakan nilai *industry accepted error*.

2.9 Uji t Berpasangan

Uji statistik distribusi T dipakai untuk membandingkan hubungan rata – rata sampel terhadap rata – rata populasi yang didasarkan jumlah pengukuran lebih pada sampel. Pada penelitian ini sampel yang digunakan adalah kompartemen stockpile yang tidak mengalami perubahan. Distribusi T digunakan untuk mengetahui nilai interval konfidensi dari rata – rata populasi (μ) berdasarkan nilai rata – rata sampel ($\bar{X}$) dan varian (S^2) dari sampel serta derajat kebebasan (*degree of freedom*) (Ghilani, 2010). *Mean* sampel pertama dibandingkan dengan mean sampel kedua untuk mengetahui perbedaan kedua sampel uji. Nilai t-hitung dapat diperoleh menggunakan persamaan

$$t = \frac{\bar{D}}{\frac{SD}{\sqrt{n}}} \dots \dots \dots (2.7)$$

2.10 Penelitian Terkait

PENELITIAN TERKAIT

Peneliti/ Penulis	Keterangan		
	Instansi	Tahun	Judul Penelitian
Antonius Raditya Seno Aji Djurdjani 2	Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada	2022	Analisis Perbandingan Volume <i>Stockpile</i> Batu Bara Hasil UAV Fotogrametri dan UAV Lidar
Sepriadi Iqbal Mirza Siti Roby Moh. Ade	Teknik Pertambangan Batubara Politeknik Akamigas Palembang	2025	Perbandingan Volume <i>Overburden</i> Menggunakan Software 12d Model 14 Dengan Metode Ritase Alat Angkut (<i>Truck Count</i>) Di Pit X Pt Y

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, melibatkan pengumpulan, pengolahan, dan analisis data numerik. Data yang digunakan adalah data sekunder berupa *point cloud* hasil pengukuran TLS (sebagai acuan) dan *point cloud* hasil foto udara UAV yang telah terkoreksi dengan GCP.

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PT Bukit Asam Tbk, Kelurahan Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara

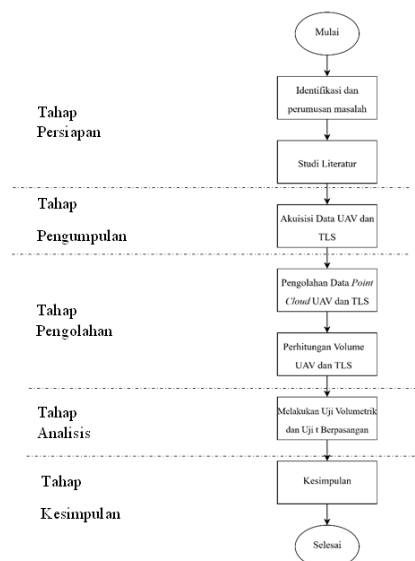
Enim, berfokus pada area *stockpile* 1 yang dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Secara garis besar tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Penjelasan umum setiap tahap yang dilakukan

a. Identifikasi masalah

Tahap awal dalam penelitian ini adalah identifikasi masalah, dimana penulis menentukan tujuan yaitu menganalisa perhitungan volume *stockpile* menggunakan UAV dan dibandingkan dengan acuan volume dari hasil pengukuran TLS.

b. Studi Literatur

Sebelum melaksanakan penelitian, dilakukan studi literatur untuk memahami konsep dasar terkait perhitungan volume *stockpile* dan analisis yang sesuai terkait permasalahan yang dialami penulis. Pelaksanaan studi literatur dilakukan dengan membaca jurnal dan laporan penelitian terkait dengan permasalahan yang dialami penulis

c. Metode Pengumpulan Data

Data sekunder diperoleh dari instansi terkait yang meliputi data CORS, data mentah pengukuran foto udara UAV dan data mentah TLS, data koordinat GCP, dan data GNSS posisi *scan*. Dalam akuisisi data UAV langkah yang dilakukan diantaranya, *pre-mark* GCP dilakukan sebelum pengukuran UAV. GCP sementara disebar minimal empat buah di atas *stockpile*. Akuisisi data UAV menggunakan WingtraOne Gen II dengan parameter: Tinggi Terbang 120 m, *Ground Sampling Distance* 1.6 cm/px, *Side Overlap*

70%, *Front Overlap* 70%. Luas area akuisisi berkisar 58.1 ha dalam 35 menit dengan data GCP permanen hasil pengamatan GPS statik. GCP sementara diukur dengan GNSS RTK. Sedangkan untuk akuisisi data TLS dilakukan menggunakan Riegl VZ-2000i bersamaan dengan UAV. Jumlah *scan* 14-32 pada area 21.36 ha. Parameter TLS: *Laser pulse repetition rate* PRR 300-600 kHz, *Pattern Panorama* 40. Tinggi alat GNSS Leica 0.156 m atau 0.228 m.

d. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Leica Infinity, WingtraHUB, Agisoft Metashape, Riscan Pro, dan 12D Model. Pengolahan Data TLS dilakukan dengan melakukan registrasi data mentah TLS dengan koordinat posisi scan menggunakan Riscan Pro, diikuti *adjustment* untuk memenuhi toleransi standar deviasi. Seleksi dan filter data dilakukan sesuai area volume yang akan dihitung. Sedangkan pengolahan data foto udara UAV dilakukan dengan melakukan *geotagging* dengan WingtraHUB menggunakan data RINEX CORS (PPK). Hasil *geotagging* diproses di Agisoft Metashape (import foto, import hasil *geotagging*, *align photos*, *georeference* dengan GCP, dan *build point cloud*). *Point cloud* diekspor ke format .las, kemudian difilter menggunakan Riscan Pro dengan kerapatan yang sama dengan data TLS, lalu diekspor ke format .dxf. Kemudian dilakukan perhitungan volume dengan 12D Model versi 14. Data yang dibutuhkan meliputi DTM *stockpile* original, *point cloud* TLS dan UAV, serta batas *stockpile*. DTM dibuat menggunakan metode TIN (Delaunay Triangulation). Volume dihitung menggunakan metode *cut and fill*, dengan fokus pada volume *balance* (selisih *fill* dan *cut*).

e. Metode Analisis

Analisis yang dilakukan meliputi:

1. **Uji Ketelitian Model:** Menentukan nilai RMSE dengan membandingkan data ICP pengukuran GPS dengan ICP foto udara, menghasilkan nilai CE90 dan LE90, mengacu pada Peraturan BIG No. 6 Tahun 2018.
2. **Uji Volumetrik:** Membandingkan volume hasil perhitungan UAV dan TLS menggunakan standar ASTM D6172-98, dengan toleransi maksimal 2%.
3. **Uji t Berpasangan:** Mengetahui perbedaan volume yang dihasilkan dari pengukuran UAV terhadap TLS, dengan derajat kepercayaan 95%.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menganalisis perbandingan volume yang dihasilkan oleh pengukuran UAV dan TLS. Data foto udara UAV diolah menjadi *point cloud*, difilter, dan dihitung volumenya sesuai batas tumpukan yang sama dengan hasil TLS, kemudian dianalisis.

4.1 Hasil Akuisisi Data UAV

Akuisisi data UAV dilakukan tiga kali menggunakan UAV Wingtra One (*fixed wing*, PPK GNSS). Jalur terbang 120 m dengan *overlap* 70% mencakup area 64.2 – 81.2 ha. Berikut merupakan rincian hasil akuisisi foto udara menggunakan UAV pada Tabel 1.

Tabel 1. Rincian Akuisisi Data UAV

No	Tanggal Ukur	Jumlah Foto (buah)	Luas Area (ha)
1	13 Februari 2025	1512	81,2
2	18 Februari 2025	679	64,2
3	28 Februari 2025	347	66,6

4.2 Hasil Akuisisi Data TLS

Akuisisi data TLS menggunakan Riegl VZ-2000i dilakukan tiga kali, menghasilkan 14-32 *scan* pada area 21.36 ha. Adapun rincian waktu akuisisi dan jumlah scan dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rincian Akuisisi Data TLS

No	Pengukuran	Tanggal Ukur	Jumlah Scan (Buah)
1	Minggu ke-1	10 Februari 2025	32
2	Minggu ke-2	18 Februari 2025	16
3	Minggu ke-3	27 Februari 2025	14

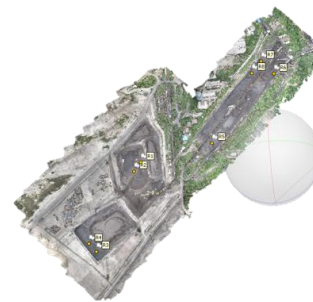
4.3 Hasil Pengolahan

Foto udara dari UAV dilakukan proses *geotagging* di WingtraHUB mengikat data mentah ke CORS, menghasilkan koordinat geografis PPK untuk setiap foto. Akurasi horizontal 0.03 m dan vertikal 0.06 m. Data foto udara yang sudah di-*geotagging* diimpor ke Agisoft Metashape. Proses *align photos* menghasilkan *tie point*, diikuti *georeference* dengan GCP dan *optimize*. Nilai RMS pada pengolahan minggu ke-2 menunjukkan *error* GCP antara 0.6 – 1.7 cm.

Tabel 3. Hasil Optimize Menggunakan GCP

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)
R1	365470.7752	9586688.1390	66.9796	0.0050	0.0087
R2	365441.9821	9586648.7390	68.9412	0.0050	0.0176
R3	365286.8709	9586316.0310	60.6397	0.0050	0.0143
R4	365256.7248	9586349.8090	65.7800	0.0050	0.0174
R5	365780.5688	9586754.4900	52.5373	0.0050	0.0169
R6	366069.2251	9587060.8740	53.2057	0.0050	0.0141
R7	366014.9186	9587126.3410	58.5233	0.0050	0.0066
R8	365970.7101	9587070.8260	58.4454	0.0050	0.0141
Total Error					0.01384

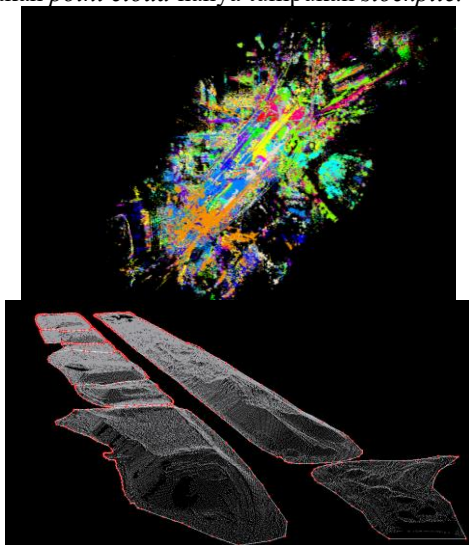
Tampilan *point cloud* yang telah terbuat terlihat pada Gambar 4. Selanjutnya, *point cloud* diekspor dalam format .las, dan difilter dengan Riscan Pro (kerapatan 50 cm) agar sesuai dengan data TLS.



Gambar 4. Hasil Point Cloud UAV

Sedangkan untuk pengolahan data TLS di Riscan Pro meliputi registrasi (*Direct Georeference*) menggunakan koordinat posisi scan, *Multi Station Adjustment* (MSA) untuk menyatukan data scan dan meratakan distribusi *overlap*. *Point cloud* hasil TLS difilter dan

dibersihkan dari *noise* atau objek non-stockpile. Batas stockpile dibuat berdasarkan sketsa lapangan (8 tumpukan per minggu). Filter data menggunakan metode 2.5D *raster* (parameter *true minimum*, resolusi 50 cm) untuk mendapatkan *point cloud* hanya tumpukan *stockpile*.



Gambar 5. Hasil *Point Cloud* dan Filter *Point Cloud*

4.4 Hasil Perhitungan Volume

Perhitungan volume dilakukan di 12D Model versi 14. DTM dibuat dari data original *stockpile*, *point cloud* TLS dan UAV, serta batas *stockpile* menggunakan metode TIN (Delaunay Triangulation). olume dihitung dengan metode *cut and fill*, menghasilkan volume *fill*, *cut*, dan *balance*. Adapun contoh report perhitungan volume pada Gambar 6.

total plan area	2604.070
total cut	-1.065
total fill	3803.088
balance	3802.023
ie excess of fill over cut	3802.023

Gambar 6. Hasil report perhitungan volume 12D

4.5 Analisis Data

Proses analisis data yang dilakukan menggunakan data volume untuk melakukan uji volumetrik dan uji t. Adapun untuk analisis terkait kesesuaian hasil pengukuran UAV menggunakan uji *planimetrik* menggunakan data GCP yang tidak digunakan dalam proses pengolahan UAV sebagai ICP dalam menentukan ketelitian data yang dihasilkan.

1. Uji Model

roses pengujian dilakukan dengan membandingkan koordinat ICP yang diperoleh dari interpretasi *point cloud* UAV dengan koordinat ICP dari pengamatan GNSS. Pengujian dilakukan dengan menghitung nilai CE90 untuk ketelitian horizontal dan LE90 untuk ketelitian vertikal. Adapun hasil pengujian terhadap ICP pada pengukuran minggu ke-2 diperoleh nilai ketelitian horizontal dan vertikal pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Uji Ketelitian Horizontal

No	Nama Titik	X (koordinat point cloud UAV)	X (koordinat ICP)	dX	(dX) ²	Y (koordinat pointcloud UAV)	Y (koordinat ICP)	dY	(dY) ²	dX ² +(dY) ²
1	GCP 1F	365813.040	365813.007	0.032900	0.001082	9586712.530	9586712.558	-0.027900	0.000778	0.001861
2	GCP 3F	366060.870	366060.924	-0.054400	0.002959	9587005.690	9587005.669	0.020900	0.000437	0.003396
3	GCP 4F	365708.110	365708.129	-0.018800	0.000353	9586781.160	9586781.173	-0.013000	0.000169	0.000522
4	GCP 5F	365773.140	365773.129	0.011000	0.000121	9586881.300	9586881.303	-0.003100	0.000010	0.000131
Jumlah										0.005910
Rata-Rata										0.001478
RSME										0.038438
CE90										0.060416

Tabel 5. Hasil Perhitungan Uji Ketelitian Vertikal

No	Nama Titik	Z (koordinat point cloud UAV)	Z (koordinat ICP)	dZ	(dZ) ²
1	GCP 1F	50,210	50,227	-0,016600	0,000276
2	GCP 3F	48,870	48,864	0,006100	0,000037
3	GCP 4F	51,010	51,051	-0,041300	0,001706
4	GCP 5F	50,390	50,437	-0,046600	0,002172
Jumlah					0,004190
Rata-Rata					0,001048
RSME					0,032365
LE90					0,050870

Berdasarkan tabel diatas, hasil pengujian model minggu ke-2 menunjukkan nilai CE 90 sebesar 0,06 m dan nilai LE 90 sebesar 0,05 m. Sesuai dengan standar ketelitian BIG No 6 tahun 2018, maka model uji berada pada skala 1:1000 kelas 1, sesuai standar ketelitian BIG No. 6 Tahun 2018. Nilai RMSE Horizontal (0.03 m) dan RMSE Vertikal (0.05 m) pada minggu ke-2 lebih kecil dari ketelitian model yang disyaratkan (0.12 m untuk horizontal dan 0.08 m untuk vertikal), sehingga model dinyatakan "memenuhi" ketelitian.

Ringkasan hasil RMSE dan ketelitian model untuk semua pengukuran disajikan pada Tabel 6, dimana menunjukkan semua pengukuran "memenuhi" standar.

Tabel 6. Ketelitian Model Pada Setiap Pengukuran

Tanggal Ukur	RMSEH	RMSEV	Ketelitian Model 1:1000 kelas 1		Keterangan
			H	V	
13 Februari 2025	0,038	0,032	0,12	0,08	Memenuhi
18 Februari 2025	0,033	0,038	0,12	0,08	Memenuhi
28 Februari 2025	0,063	0,090	0,12	0,08	Memenuhi

2. Uji Volumetrik

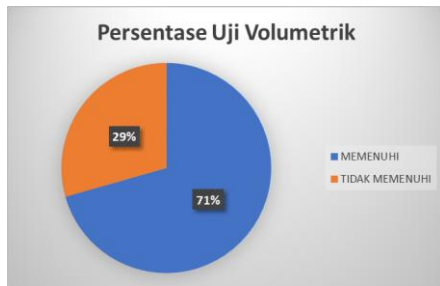
Uji volumetrik menggunakan acuan ASTM D6172-98. Rincian selisih volume total pada ketiga pengukuran disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Uji ASTM Volume Batubara

No	Tanggal Ukur	Tumpukan	Volume (m3)		Selisih (m3)	Presentase (%)
			TLS	UAV		
1	10 Februari 2025	Utara 1	86,348.896	86,277.775	-71.12	-0.08
		Utara 2	2,682.398	2,608.372	-74.03	-2.76
		Selatan 1-3	18,971.224	19,067.841	96.62	0.51
		Selatan 4	13,078.103	13,096.908	18.81	0.14
		Selatan 9	4,578.269	4,556.666	-21.60	-0.47
2	18 Februari 2025	Utara 1	50,797.214	50,434.422	-362.79	-0.71
		Utara 2	2,682.398	2,686.303	3.90	0.15
		Selatan 1-3	18,971.224	19,006.759	35.53	0.19
		Selatan 4	13,078.103	13,048.882	-29.22	-0.22
		Selatan 5	3,731.303	3,647.772	-83.53	-2.24
		Selatan 6-8	15,228.268	15,713.980	485.71	3.19
		Selatan 9	4,578.269	4,550.126	-28.14	-0.61
3	27 Februari 2025	CF	28,481.304	28,544.116	62.81	0.22
		Utara 1	43,397.402	43,416.675	19.27	0.04
		Utara 2	2,682.398	2,685.303	2.90	0.11
		Selatan 1-3	18,971.224	18,519.565	-451.66	-2.38
		Selatan 4	13,078.103	13,023.049	-55.05	-0.42
		Selatan 9	4,578.269	4,687.382	109.11	2.38

Hasil uji ASTM pada volume batubara mingguan sebagian besar “memenuhi” standar yang ditentukan yaitu $\leq 2\%$. Sedangkan pada beberapa kompartemen seperti Utara 2, Selatan 5, Selatan 6-8, dan Selatan 9 memiliki selisih yang cukup besar sehingga dianggap “tidak memenuhi” standar yang ditentukan. Sehingga persentase

uji volumetrik yang memenuhi standar sebesar 71% (12 data) dan yang tidak memenuhi standar sebesar 29 % (5 data).



Gambar 7. Grafik Persentase Uji Volumetrik
Selisih volume yang tinggi pada beberapa kompartemen disebabkan oleh:

- Perbedaan waktu akuisisi data UAV dan TLS pada minggu ke-2 dan ke-4, sehingga data *stockpile* yang mengalami perubahan tidak dapat dibandingkan secara langsung.
- Adanya kegiatan operasional seperti *dumping* atau *loading* batubara selama pengukuran.



Gambar 8. Kegiatan Operasional Selama Pengukuran

- Beberapa kompartemen terhalang instrumen seperti *conveyor*, menyebabkan data tidak terepresentasi secara actual.



Gambar 9. Area Stockpile Terhalang Instrument

3. Uji t Berpasangan

Uji-t berpasangan dilakukan untuk membandingkan volume hasil UAV dan TLS pada kompartemen *stockpile* yang tidak mengalami perubahan dari minggu ke-2 hingga ke-4 (Utara 2, Selatan 1-3, Selatan 4, dan Selatan 9). Rata-rata volume untuk kompartemen ini disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Volume Rerata Minggu Ke-2 Hingga Ke-4

Tumpukan	Volume (m3)	
	TLS	UAV
Utara 2	2,682.398	2,659.993
Selatan 1-3	18,971.224	18,864.722
Selatan 4	13,078.103	13,056.280
Selatan 9	4,578.269	4,598.058

Hipotesa yang digunakan adalah H_0 yaitu terdapat perbedaan signifikan antara hasil volume pengukuran TLS dan pengukuran UAV. H_1 yaitu Tidak terdapat perbedaan signifikan antara hasil volume pengukuran TLS dan pengukuran UAV. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *significant* 0.05 ($\alpha=5\%$) antar variabel independen dengan variabel dependen. Karena pengujian dilakukan dua arah, maka $\alpha = 0,05$ dengan nilai $Df = n-1 = 4 - 1 = 3$, sehingga nilai t_{tabel} didapatkan sebesar 3,1825. Setelah diperoleh nilai T, maka dilakukan perhitungan t_{hitung} dengan rincian sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil Uji T-Hitung Terhadap Selisih Volume

Tumpukan	Volume (m3)		Selisih Volume (%)	$(xi - \bar{x})^2$
	TLS	UAV		
Utara 2	2,682.398	2,659.993	0.835	0.1131
Selatan 1-3	18,971.224	18,864.722	0.561	0.0039
Selatan 4	13,078.103	13,056.280	0.167	0.1103
Selatan 9	4,578.269	4,598.058	0.432	0.0044
Jumlah			1.996	0.2317
$\bar{x}$			0.499	
SD			0.5047	
t-hitung			1.9774	

Berdasarkan hasil uji t yang dilakukan dengan jumlah sampel sebanyak empat kompartemen diperoleh nilai t-hitung sebesar 1,9774. Adapun hasil tersebut jika dibandingkan dengan nilai T_{tabel} $1,9774 < 3,1825$, maka hipotesa volume hasil pengukuran UAV dan TLS tidak memiliki perbedaan volume yang signifikan sehingga data “diterima”.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

1. Hasil pengukuran *stockpile* menggunakan UAV cukup merepresentasikan kondisi aktual sesuai dengan pengukuran *stockpile* menggunakan TLS, didapatkan hasil dari uji volumetrik perbandingan total volume pada rentang 0,04 – 3.19 %. Dari 17 data, diperoleh persentase uji volumetrik yang memenuhi standar sebesar 71% (12 data) dan yang tidak memenuhi standar sebesar 29 % (5 data).
2. Ketelitian hasil pengolahan UAV dilakukan dengan membandingkan nilai interpretasi koordinat *point cloud* UAV dengan ICP. Model penelitian menghasilkan nilai CE90 sebesar 0,06 dan nilai LE90 sebesar 0,05 yang menunjukkan jika model berada pada skala 1: 1000 pada kelas 1. Nilai RMSEH dalam rentang 0,033 – 0,063, dan nilai RMSEV dalam rentang 0,032 – 0,090.
3. Hasil pengujian t data perhitungan volume dengan jumlah empat kompartemen data *stockpile* mendapatkan nilai rata – rata 0,499 dengan nilai simpangan baku (SD) sebesar 0,507 sehingga nilai thitung yang diperoleh sebesar 1,9774. Adapun jika dibandingkan dengan nilai t_{tabel} dengan nilai $1,9774 < 3,1825$, maka hipotesa volume hasil pengukuran UAV dan TLS tidak memiliki perbedaan yang signifikan sehingga data “diterima”.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kaprodi, Dosen Pembimbing serta Dosen Pengajar Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti atas bimbinganya selama

ini. PT Bukit Asam Tbk dan seluruh rekan kerja dalam memfasilitasi dan memberikan dukungan penuh sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

2024 (Skripsi S1). Universitas Pendidikan Indonesia. UPI Repository.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, R. (2021). *Pengantar metodologi penelitian*. Yogyakarta: SUKA-Press UIN Sunan Kalijaga.
- Aji, A. R. S., & Djurdjani. (2022). Analisis perbandingan volume *stockpile* batu bara hasil UAV fotogrametri dan UAV LiDAR (*Comparison analysis of coal stockpile volume using UAV photogrammetry and UAV LiDAR*). *JGISE*, 5(2), 132–138.
- ASTM International. (2002). *Standard practice for tonnage calculation of coal in a stockpile (D6542)*. <http://www.astm.org/>
- Badan Informasi Geospasial. (2018). *Peraturan Badan Informasi Geospasial No. 6 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. Jakarta: Badan Informasi Geospasial Indonesia.
- Badan Informasi Geospasial. (2020). *Peraturan Badan Informasi Geospasial No. 1 Tahun 2020 tentang standar pengumpulan data geospasial dasar untuk pembuatan peta dasar skala besar*. Badan Informasi Geospasial Indonesia.
- Diodemus, P., Wahyono, E., & Sufyandi, Y. (2020). Analisis pemanfaatan foto udara hasil pemotretan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) tipe *Post-Processed Kinematic* (PPK) untuk pemetaan topografi. Dalam *Seminar Nasional Geomatika 2020: Informasi Geospasial untuk Inovasi Percepatan Pembangunan Berkelanjutan*.
- Pamungkasari, F. L., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2019). Analisis konfigurasi optimum kerangka GCP untuk survei pemetaan luasan besar menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 268–277.
- Prayogo, I. P. H., Manoppo, F. J., & Lefrandt, L. I. R. (2020, Mei). Pemanfaatan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) *quadcopter* dalam pemetaan digital (fotogrametri) menggunakan kerangka Ground Control Point (GCP). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 10(1), 47–58. ISSN 2087-9334.
- Prayogo, P., Manoppo, F., & Lefrandt, L. (2020). Pemanfaatan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) *quadcopter* dalam pemetaan digital (fotogrametri) menggunakan kerangka Ground Control Point (GCP). *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 10(1), 47–58.
- Robby, R. F., Sukmono, A., & Bashit, N. (2020, April). Pengaruh kelas kelerengan tanah terhadap persentase selisih perhitungan volume data *Terrestrial Laser Scanner* dan foto udara *Unmanned Aerial Vehicle*. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(2).
- Sepriadi, S., Saputra, I. L., Adiwarmanto, M., Hardianti, S., Cahyadi, R., & Isnaeni, K. M. A. (2025). Perbandingan volume *overburden* menggunakan *software* 12D Model 14 dengan metode ritase alat angkut (*truck count*) di Pit X PT Y = *Comparison of overburden volumes using software 12D Model 14 with transportation method (truck count) in Pit X PT Y*. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 16(1).
- Shintadevi, M. T. (2024). *Pemanfaatan Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) metode *Post-Processing Kinematic* (PPK) untuk perhitungan volume stok batubara di *stockpile* PT Berau Coal Kalimantan Timur tahun