

Perbandingan Hasil Pengukuran Volume Overburden Dengan Unmanned Aerial Vehicle Dan Total Station (Comparison of Overburden Volume Measurement Results with Unmanned Aerial Vehicle and Total Station)

Harjuni Hasan^{1*}, Reonaldo Purba², Aprisal³

^{1,2 & 3}Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman
harjuni@unmul.ac.id

Abstrak

Pengukuran dan perhitungan volume dengan *total station* masih menerapkan *human plotting*, artinya *surveior* harus mengukur titik-titik untuk memperoleh data koordinat, sehingga waktu, tenaga kerja dan biaya yang dibutuhkan lebih banyak, akan tetapi dengan kemajuan teknologi, pengukuran volume material dapat dilakukan dengan menggunakan *unmanned aerial vehicle* (drone). Sepanjang jalur terbang memiliki *overlapping* berdasarkan perolehan warna dan keseluruhan block berada pada daerah berwarna biru artinya seluruh block memiliki *overlapping* lebih dari 9 foto udara. Penggunaan 7 GCP memberikan hasil *Root Mean Square Error* (RMSE) horizontal sebesar 0.08 dan RMSE vertikal 0.16 meter. Nilai tersebut lebih kecil dibanding 5 GCP dan 3 GCP, sehingga dengan penambahan GCP dapat memberikan hasil yang lebih baik untuk nilai RMSE serta berpengaruh terhadap nilai *circular error* (CE90) dan *linear error* (LE90). Pada 7 GCP nilai ketelitian geometri CE90 sebesar 0.13 meter dan LE90 sebesar 0.27 meter, sehingga memenuhi standar kelas 2 pada peta skala 1:1000 dengan interval kontur 0.14 meter, sedangkan penggunaan 3 GCP hanya memenuhi standar kelas 2 sekala peta 1:25000 dengan interval kontur 10 meter dan penggunaan 5 GCP memenuhi standar kelas 2 sekala peta 1:1000 dengan interval kontur 0.4 meter. Volume overburden yang diperoleh berdasarkan pengukuran foto udara pada 7 GCP block I sebesar 4722.74 BCM, block II sebesar 8251.22 BCM, dan block III sebesar 7089.49 BCM. sedangkan volume overburden berdasarkan hasil pengukuran menggunakan total station sebesar 4520.00 BCM pada Blok I, pada Blok II sebesar 8127.65 BCM, dan Blok III sebesar 6827 BCM.

Kata Kunci : UAV, Total station, Volume.

Abstract

Current volume measurement and calculation with the total station still utilize human plotting, in which surveyors are required to measure plots to obtain coordinate data. This process is time-consuming and costlier. However, technological advancement has allowed the use of unmanned aerial vehicles, or drones, to measure the overburden volume. More than nine images overlappings were identified based on the color, and the entire block was in the blue color, meaning that all blocks overlapped in more than nine aerial images. Test involved 3 GCPs, 5 GCPs, and 7 GCPs to determine the effect of the number of GCPs on the geometric accuracy output. It involved CE90 and LE90. The use of seven GCPs showed horizontal and vertical Root mean square error (RMSE) values of 0.08 and 0.16 meter, respectively. The value was lower than the use of 5 and 3 GCPs, indicating that more GCPs may lead to better RMSE values and affect the Circular (CE90) and linear error (LE90) values. Values obtained using seven GCPs meet the class-2 standard of a 1:1000 map with a contour interval of 0.14. Meanwhile, using 3 GCPs meets only the class-2 standard of a 1:25000 map with a 10-meter contour interval, and using 5 GCPs meets the class-2 standard of a 1:1000 map with a 0.4-meter contour interval. The calculated overburden volume based on aerial photos with seven GCPs in blocks I, II, and III was 47.22.74 BCM, 8251.22 BCM, and 7089.49 BCM, respectively. Meanwhile, that of the total station for the same blocks was 4520.00 BCM, 8127.65 BCM, and 6827 BCM, respectively.

Keywords: *Unmanned Aerial Vehicle, Total Station, Overburden Volume*

PENDAHULUAN

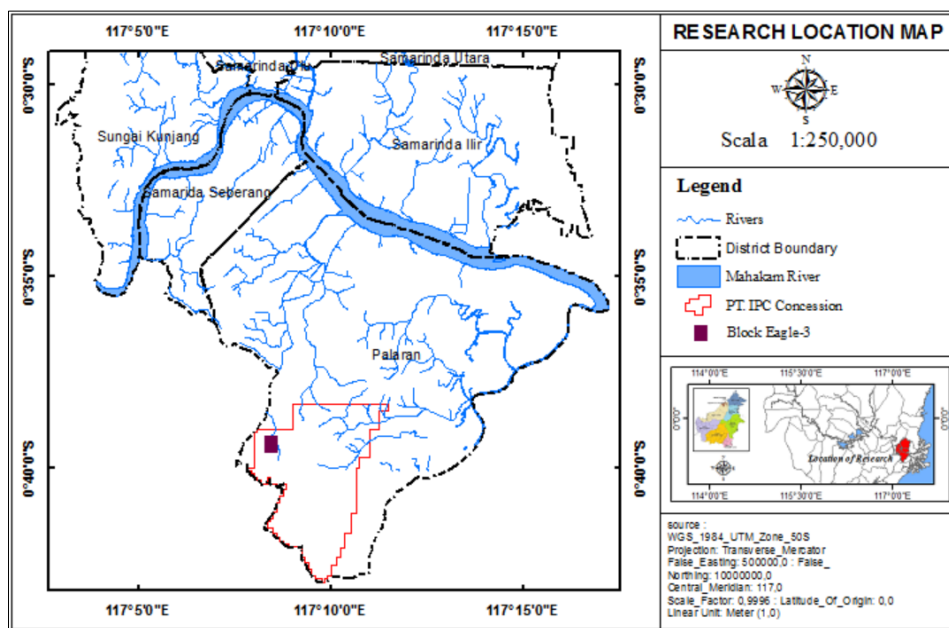
Kegiatan survei dan pemetaan topografi sangat dibutuhkan dalam dunia pertambangan karena bersifat *support and service*. Teknologi yang umum dalam survei tambang saat ini termasuk pemindaian laser terestrial, pemindaian laser udara (Lidar), fotogrametri udara, sistem udara tak berawak, dan citra satelit (Nikolakopoulos et al., 2019), sehingga pematangan geomorfologi sebagai ilmu kuantitatif telah dimungkinkan sebagian besar oleh munculnya data resolusi tinggi untuk karakterisasi topografi permukaan (Kasprak et al., 2019) Penggalan *overburden* pada kegiatan penambangan dilakukan untuk berbagai tujuan seperti untuk menyingkap lapisan batubara di bawahnya, pembuatan jalan, dan pembuatan tanggul.

Penggalian dan penimbunan material *overburden* merupakan bidang pekerjaan yang erat kaitannya dengan perhitungan volume (Zenkov et al., 2022), sedangkan perhitungan volume menjadi penting dalam pekerjaan penambangan, karena berhubungan dengan volume yang direncanakan untuk digali atau ditimbun. Volume material yang dimaksud adalah menggali atau menimbun material pada *pit* maupun *disposal* (Kostic & Trivan, 2022) Menurut (Maharfi et al., 2019), perhitungan estimasi volume dengan alat konvensional, seperti *theodolite*, *total station*, dan GPS memiliki permasalahan utama, yaitu teknologi perhitungan yang masih menerapkan *human plotting*, artinya *surveior* harus menuju titik-titik yang diinginkan untuk memperoleh data koordinat, sehingga waktu, tenaga kerja dan biaya yang dibutuhkan tentu lebih banyak. Sementara *Ramadhan et al.*, (2020) berpendapat, bahwa dengan kemajuan teknologi, maka kegiatan pengukuran volume material dapat dilakukan dengan menggunakan *unmanned aerial vehicle*/pesawat tanpa awak (drone). Namun keakuratan perhitungan dibanding dengan alat lainnya seperti *Total Station* masih dianggap perlu dilakukan penelitian. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk membandingkan volume *overburden* dengan penggunaan foto udara menggunakan drone dan alat survei *total station* untuk mengetahui prosentasi penyimpangan.

METODOLOGI

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei – Juli 2022 di PT Internasional Prima Coal dengan IUP Eksploitasi seluas 3.238 hektar yang berada di Kelurahan Bantuas Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis, IUP tersebut dibatasi oleh koordinat 00°38'20" - 00°43'00" LS dan 117°07'50" - 117°11'30" BT. Secara actual lokasi pengambilan foto udara dilakukan di PIT A Blok Eagle-3 (Gambar 1).



Gambar 1. Research Location Map *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) *Fotogrametri* dan *Total Station*

Kendaraan udara tak berawak (UAV), umumnya dikenal sebagai drone, semakin banyak digunakan di seluruh dunia sebagai sarana untuk merampingkan pemantauan, inspeksi, dan pemetaan (Alyassi et al., 2022). *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS, 2012), berpendapat, bahwa fotogrametri didefinisikan sebagai seni, ilmu dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang obyek fisik dan lingkungannya melalui proses perekaman, pengukuran dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam. Sedangkan *total station* merupakan perangkat elektronik yang dilengkapi piringan horizontal, vertical, dan komponen pengukur jarak untuk memperoleh nilai koordinat X, Y, Z serta beda tinggi (Prokop et al., 2015) serta menggunakan sistem prisma dan laser untuk mengembangkan pembacaan digital dari seluruh pengukuran (Pagounis et al., 2022).

Perencanaan Jalur terbang dan Foto udara

Fotogrametri UAV menunjukkan kemajuan pesat dalam penggunaannya di industri pertambangan, dari eksplorasi mineral hingga eksploitasi tambang (Honarmand & Shahriari, 2021). Perencanaan jalur terbang efektif memungkinkan drone mencapai tujuan dan meminimalkan jumlah energi yang diperlukan

dan algoritme perencanaan jalur lebih cepat dan menghasilkan jalur yang lebih pendek (Chen et al., 2021). Metode fotogrametri vertikal merupakan jenis foto udara yang paling umum untuk tujuan penginderaan jauh dan survei udara untuk kegiatan pertambangan yang dapat diskalakan, sehingga memungkinkan karakteristik dapat diidentifikasi (Kabadayi, 2022). Perencanaan jalur terbang dan pengambilan foto udara dilakukan sebanyak 3 kali, meliputi tinggi terbang sebesar 120 m, nilai *overlap/sidelap* sebesar 80%, sudut kamera sebesar 90° (foto vertikal), dan kecepatan terbang drone *fast*. Penggunaan aplikasi *Pix4Dcapture* diperoleh jalur terbang sebanyak 5 kali (Gambar 2) dan hasil foto udara yang diperoleh dianalisis dengan *software Agisoft Metashape Professional* untuk membentuk *dense point cloud* dan uji ketelitian geometri.



Gambar 2. Perencanaan Jalur Terbang UAV

Titik Kontrol Tanah

GCP berfungsi sebagai penentu ketelitian geometris hasil olah foto karena semakin menyebar, GCP yang digunakan, tingkat akurasi semakin tinggi (Zhang et al., 2022), dan harus didistribusikan secara luas dan seragam ke seluruh seluruh blok, terutama ke arah batas blok (Granshaw, 2010), Titik kontrol yang digunakan terdiri atas 2 yaitu *ground control point* (GCP) dan *independent check point* (ICP) dengan jumlah titik kontrol tanah yang digunakan pada periode pertama sebanyak 3 GCP + 3 ICP, periode kedua sebanyak 5 GCP + 3 ICP, dan periode ketiga sebanyak 7 GCP + 3 ICP. ICP adalah titik kontrol tanah yang digunakan sebagai control kualitas dari objek dengan cara membandingkan koordinat model dengan koordinat sebenarnya yang digunakan untuk mendapatkan ketelitian horizontal foto udara hasil pemotretan (Lailissaum, 2018).

Dense Point Clouds

Data *point clouds* adalah titik-titik yang memiliki koordinat 3D yang memberi informasi tambahan yaitu warna serta reflektifitas dan dapat diperoleh dari kegiatan ekstraksi foto atau citra dari kegiatan fotogrametri dan penginderaan jauh (Kim et al., 2017). Di dalam *point clouds* memiliki posisi koordinat 3D dan jika ada tambahan informasi warna dan reflektifitas maka *point clouds* bisa menjadi informasi 4D (Isa et al., 2020). Jika koordinat empat sudut dipilih di Google Earth, koordinat tersebut dapat diubah menjadi koordinat bidang WGS84 (R. Wang et al., 2020). Pengelolaan foto udara dengan melakukan *Import* dan *convert* koordinat foto dengan tujuan untuk menyesuaikan koordinat sistem wilayah yang dipetakan (Gambar 3).

Cameras	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Cameras	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
✓ DJI_0561	117.143108	-0.655037	204.588000	✓ DJI_0561	515923.31	9927598.50	204.588000
✓ DJI_0562	117.143036	-0.655229	204.588000	✓ DJI_0562	515915.28	9927577.20	204.588000
✓ DJI_0563	117.142953	-0.655419	204.688000	✓ DJI_0563	515906.11	9927556.25	204.688000

a) Before convert reference

b) After convert reference

Gambar 3. Convert Reference

Uji Ketelitian Geometri

Ketelitian geometri adalah nilai yang menggambarkan ketidakpastian koordinat posisi suatu objek pada peta dibandingkan dengan koordinat posisi objek yang dianggap sebenarnya. Uji ketelitian posisi dilakukan hingga mendapatkan tingkat kepercayaan peta 90% *Circular Error* (CE90) dan *Linear Error* (LE90). CE90 adalah ukuran ketelitian geometrik horizontal yang didefinisikan bahwa 90% kesalahan

atau perbedaan posisi horizontal objek dipeta dengan posisi yang dianggap sebenarnya tidak lebih besar dari radius tersebut. LE90 adalah ukuran ketelitian geometrik vertikal (ketinggian) yaitu jarak yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek dipeta dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak lebih besar dari pada nilai jarak tersebut (BIG, 2014). Selanjutnya disebutkan bahwa ketelitian geometri peta Rupa Bumi Indonesia berdasarkan kelas meliputi CE90 dan LE90 (Tabel 1).

Tabel 1. Ketelitian Geometri Peta RBI (BIG, 2014)

No	Scale	Contour Interval (m)	RBI Map Accuracy					
			Class 1		Class 2		Class 3	
			Horizontal (CE90, m)	Vertical (LE90, m)	Horizontal (CE90, m)	Vertical (LE90, m)	Horizontal (CE90, m)	Vertical (LE90, m)
1	1 : 1,000,000	400	200	200	300	300	500	500
2	1 : 500,000	200	100	100	150	150	250	250
3	1 : 250,000	100	50	50	75	75	125	125
4	1 : 100,000	40	20	20	30	30	50	50
5	1 : 50,000	10	10	10	15	15	25	25
6	1 : 25,000	10	5	5	7.5	7.5	12.5	12.5
7	1 : 10,000	4	2	2	3	3	5	5
8	1 : 5,000	2	1	1	1.5	1.5	2.5	2.5
9	1 : 2,500	1	0.5	0.5	0.75	0.75	1.25	1.25
10	1 : 1,000	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.5

Pengujian ketelitian posisi mengacu pada perbedaan koordinat (X,Y,Z) antara titik uji pada gambar atau peta dengan lokasi sesungguhnya dari titik uji pada permukaan tanah. Analisa akurasi posisi menggunakan *root mean square error* (RMSE), yang menggambarkan nilai perbedaan antara titik uji dengan titik sebenarnya (James et al., 2017). RMSE digunakan untuk menggambarkan akurasi meliputi kesalahan random dan sistematis. Nilai RMSE dirumuskan sebagai berikut (Agüera-Vega et al., 2017).

$$RMSE_{horizontal} = \sqrt{\frac{D^2}{n}}$$

$$D^2 = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} = \sqrt{\frac{\sum[(X_{data} - X_{cek})^2 + (Y_{data} - Y_{cek})^2]}{n}}$$

$$RMSE_{vertikal} = \sqrt{\frac{\sum[(Z_{data} - Z_{cek})^2]}{n}}$$

Keterangan:

n = Jumlah total pengecekan pada peta

D = Selisih antara koordinat yang diukur dilapangan dengan koordinat dipeta

x, y, z = Nilai koordinat sumbu X, Y, Z

$$CE90 = 1,5175 - RMSE_r \text{ dan } LE90 = 1,6499 - RMSE_z$$

Keterangan:

$RMSE_r$ = Root Mean Square Error pada posisi x dan y (horizontal)

$RMSE_z$ = Root Mean Square Error pada posisi z (vertikal)

CE90 = Nilai ketelitian posisi horizontal dengan tingkat kepercayaan 90% LE90= Nilai ketelitian posisi vertikal dengan tingkat kepercayaan 90%

Filtering Point Cloud

Filtering point cloud dilakukan secara manual untuk menghapus *point cloud* yang berada diluar *boundary cut and fill*, objek yang terekam pada foto udara yang menutupi permukaan tanah seperti pepohonan, alat-alat berat. Penghapusan *point cloud* alat-alat berat bertujuan agar pada saat pembuatan *triangle file point cloud* tidak termasuk sebagai permukaan tanah yang akan berpengaruh pada saat perhitungan volume (Jia et al., 2018).

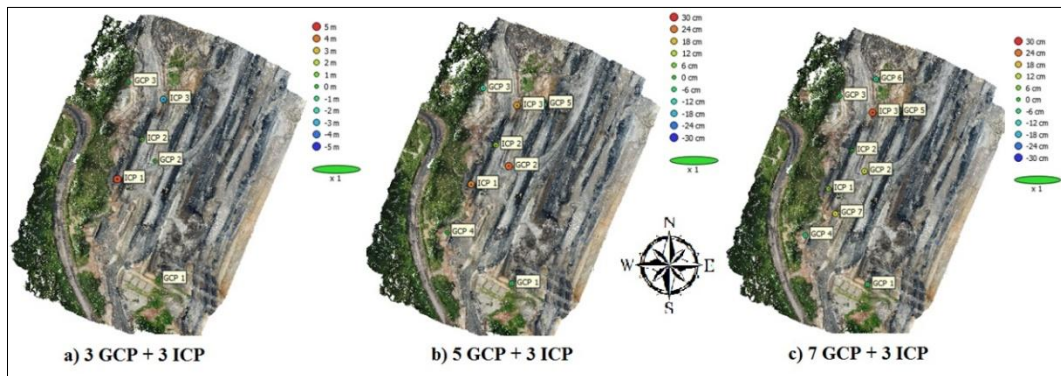
Volume Cut and fill

Perhitungan volume lapisan tanah penutup (overburden) menggunakan software Minescape 5.7 dengan metode *cut and fill* dengan cara menghitung luasan dari dua penampang yaitu penampang atas dan penampang bawah. Prinsip perhitungan volume tersebut sama dengan *borrow pit* yang membentuk jaringan-jaring segitiga atau *Triangulation Irregular Network (TIN)* yang dihasilkan dari *point cloud*. Jaringan-jaring segitiga akan membentuk geometri prisma dari dua permukaan yaitu *design surface* yang merupakan permukaan yang akan dihitung volumenya dan *base surface* yang merupakan permukaan yang dijadikan sebagai dasar perhitungan (Cahyadi et al., 2022).

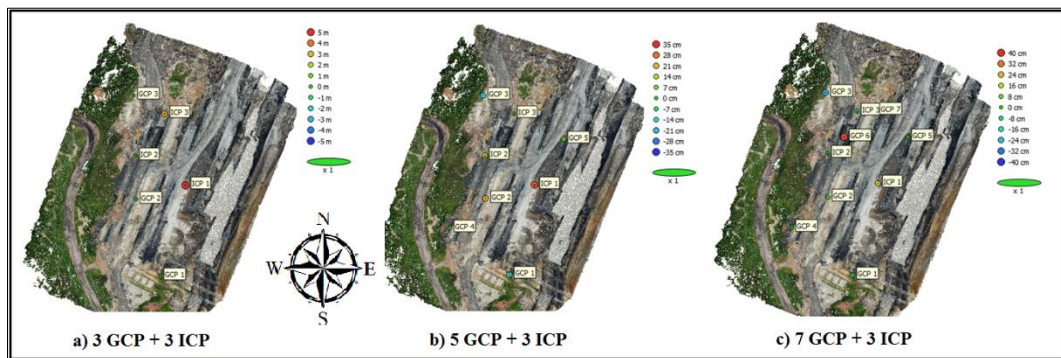
PEMBAHASAN

Ground Control Point (GCP) dan Independent Check Point (ICP)

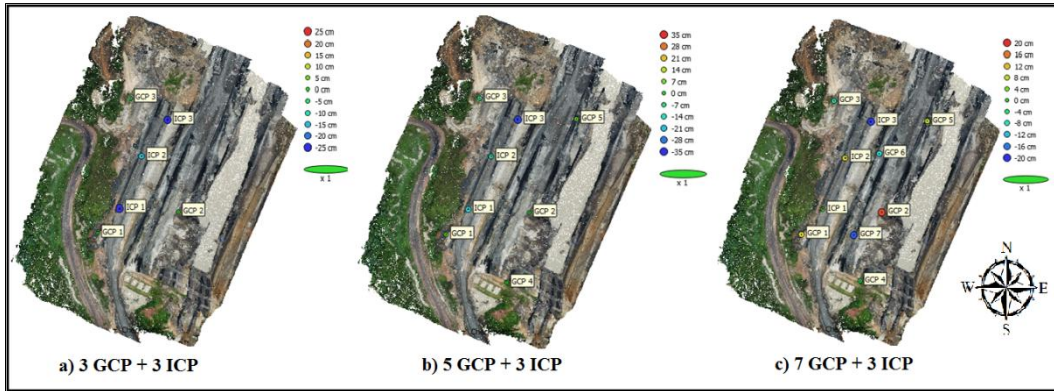
Akurasi meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah poin GCP, serta pentingnya distribusi yang merata (Sanz-Ablanedo et al., 2018). Selain itu GCP berfungsi untuk menyatukan hasil olah data yang terpisah, misal olah data area A dan area B dengan lebih cepat dan efektif, dari pada proses penyatuan berdasar seluruh *point cloud* yang jumlahnya besar (Zhang et al., 2022). Berdasarkan penentuan *Ground Control Point (GCP)* dan *Independent Check point (ICP)* diperoleh hasil sebagai berikut (Gambar 4, 5, 6).



Gambar 4. Titik Kontrol Priode Pertama



Gambar 5. Titik Kontrol Periode kedua



Gambar 6. Titik Kontrol Periode ketiga

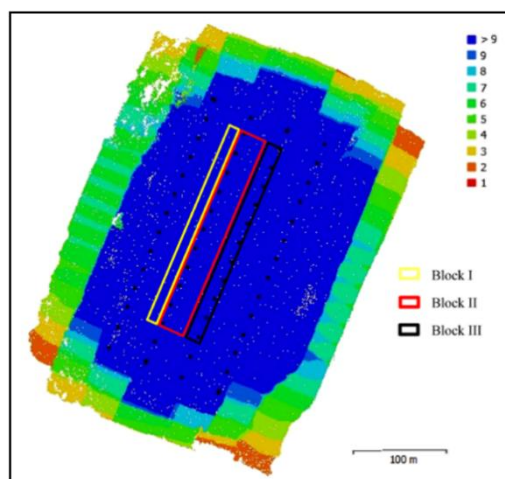
Dari masing-masing priode tersebut setelah dilakukan konversi diperoleh koordinat pada GCP dan ICP (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil konversi koordinat GCP dan ICP

GCP/ ICP	First Period			Second Period			Third Period		
	X (m)	Y(m)	Z (m)	X (m)	Y(m)	Z (m)	X (m)	Y(m)	Z (m)
GCP 1	515814	9927348	36	515814	9927348	36	515721	9927422	47
GCP 2	515809	9927517	33	515776	9927468	37	515848	9927455	26
GCP 3	515772	9927630	36	515772	9927630	36	515772	9927630	36
GCP 4	515721	9927422	47	515721	9927422	47	515814	9927348	36
GCP 5	515861	9927605	30	515899	9927561	22	515920	9927598	17
GCP 6	515826	9927654	34	515801	9927561	32	515844	9927598	22
GCP 7	515766	9927454	40	515850	9927601	28	515804	9927421	30
ICP 1	515755	9927491	42	515853	9927489	34	515755	9927460	34
ICP 2	515791	9927547	36	515775	9927536	41	515790	9927541	31
ICP 3	515821	9927605	38	515821	9927601	34	515831	9927597	27

Foto udara

Pelaksanaan foto udara dengan UAV menghasilkan efek pencitraan keseluruhan lebih baik, efisiensi kerja sistem lebih tinggi, efek kontrol sistem lebih baik, dan lebih praktis dan menguntungkan (Wang et al., 2020). Hasil foto udara yang diperoleh berdasarkan jalur terbang sebagai berikut (Gambar 7).



Gambar 7. Foto udara

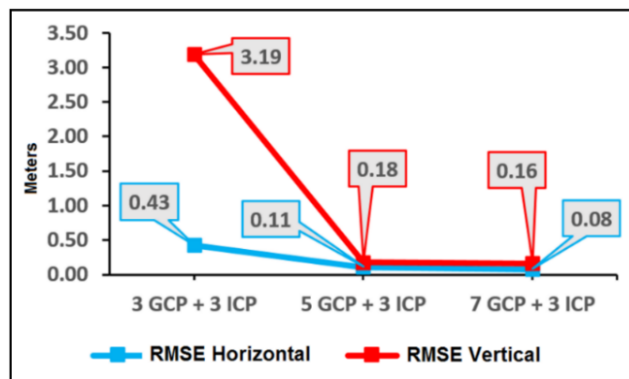
Gambar 7 menunjukkan bahwa, sepanjang jalur terbang memiliki *overlapping* lebih dari 9 foto (berdasarkan perolehan warna) dan keseluruhan block berada pada daerah berwarna biru artinya seluruh block memiliki *overlapping* lebih dari 9 foto udara (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil Foto Udara

Period	Amount of photo	Area (Ha)	Side Lap Overlap	flying speed	fly Height
Fist	60	4.0689	80%	Fast	120
Second	75	4.2912	80%	Fast	120
Third	74	4.2614	80%	Fast	120

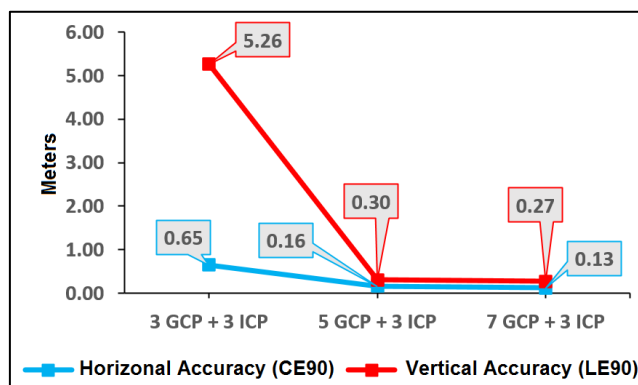
Ketelitian Geometri

Uji ketelitian geometri berfungsi untuk menentukan ketelitian geometri horizontal dan vertikal dari hasil analisis foto udara. Uji ketelitian geometri, meliputi ; 3 GCP, 5 GCP, dan 7 GCP. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penambahan GCP terhadap hasil ketelitian geometri. Pengujian ketelitian geometri meliputi *Circular Error* (CE90) dan *Linear Error* (LE90). Uji ketelitian *Circular Error* (CE90) dilakukan terhadap koordinat horizontal (X,Y) sedangkan uji ketelitian *Linear Error* (LE90) dilakukan terhadap koordinat vertikal (Z). Nilai *error* antara koordinat sebenarnya dengan koordinat hasil pengolahan foto udara diperoleh dari *generate report file software*. Nilai *error* ini digunakan untuk menghitung *root mean square error*. Hasilnya pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik RMSE

Gambar 8 menggambarkan bahwa 7 GCP memiliki nilai RMSE horizontal sebesar 0.08 meter dan RMSE vertikal 0,16 meter. Dari ke-3 model yang digunakan tersebut, menunjukkan bahwa penggunaan 7 GCP memberikan hasil *Root Mean Square Error* (RMSE) horizontal dan RMSE vertikal yang lebih kecil dibanding 3 GCP maupun 5 GCP, sehingga dengan penambahan GCP memberikan hasil yang lebih baik untuk nilai RMSE horizontal maupun RMSE vertikal serta berpengaruh terhadap nilai *circular error* (CE90) dan *linear error* (LE90), seperti ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.

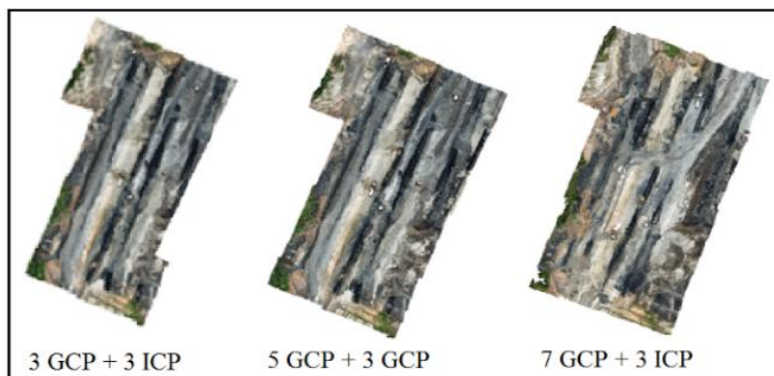


Gambar 9. Grafik uji ketelitian geometri

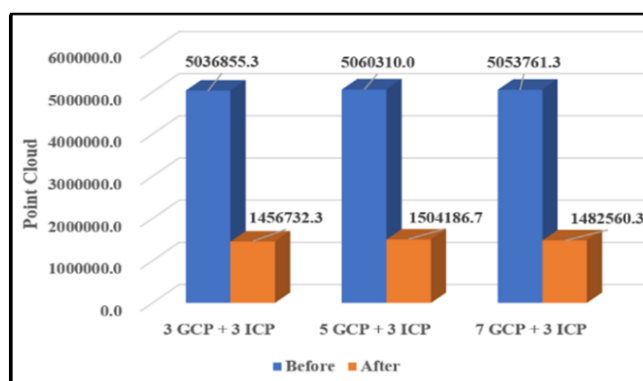
Dari gambar 9 menunjukkan, bahwa penggunaan 7 GCP pada nilai ketelitian geometri CE90 sebesar 0,13 meter dan LE90 sebesar 0,27 meter. Nilai tersebut memenuhi standar kelas 2 pada peta dengan skala 1:1000 dengan interval kontur 0,14 meter, sedangkan penggunaan 3 GCP hanya memenuhi standar kelas 2 pada peta skala 1:25000 dengan interval kontur 10 meter dan penggunaan 5 GCP memenuhi standar kelas 2 pada peta dengan skala 1:1000 dengan interval kontur 0,4 meter.

Point Cloud

Penyaringan point cloud merupakan prasyarat penting untuk pemodelan permukaan tiga dimensi dengan presisi tinggi (B. Wang et al., 2022). UAV mampu mengumpulkan data point cloud beresolusi tinggi (Zeybek & Şanlıoğlu, 2019). Berdasarkan penyaringan point cloud pada masing-masing priode, diperoleh hasil sebagai berikut (Gambar 10 dan 11).



Gambar 10. Filtering point cloud

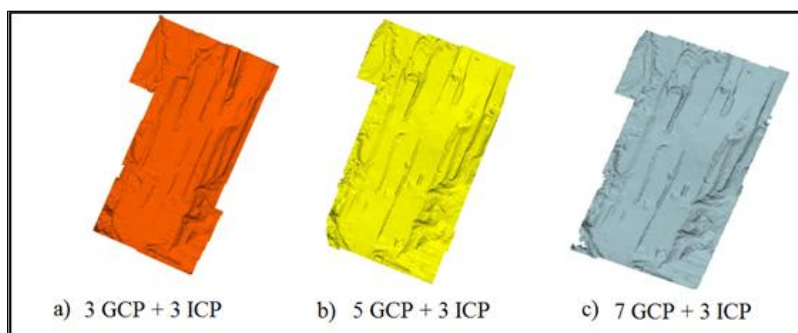


Gambar 11. Grafik Filtering Point Cloud

Grafik tersebut menunjukkan bahwa terjadi pengurangan rata-rata 70,67% setelah dilakukan *filtering*, sehingga ukuran data yang digunakan untuk menghitung volume akan semakin kecil dan proses perhitungan volume dapat dilakukan lebih cepat.

Triangle Point Cloud

Volume overburden dihitung berdasarkan model 3D yang dibuat menggunakan konstruksi permukaan topografi dan hasil analisis triangle pada point cloud yaitu 3 GCP + 3 ICP, 5 GCP + 3 ICP, dan 7GCP + 3 ICP (Gambar 12).



Gambar 12. Triangle Point Cloud

Dari *Triangle Point Cloud* tersebut diperoleh jumlah volume overburden pada masing-masing blok (Tabel 4), sedangkan volume overburden hasil pengukuran *Total Station* merupakan data perhitungan PT. International Prima Coal di lokasi yang sama (Blok Eagle-3) dan proses pengukuran pada waktu yang bersamaan.

Tabel 4. Volume Overburden

Model	Unmanned Aerial Vehicle			Total Station		
	Overburden (BCM)			Overburden (BCM)		
	Block I	Block II	Block III	Block I	Block II	Block III
3 GCP + 3 ICP	8879.28	13589.56	11994	4520	8127.63	6827.18
5 GCP + 3 ICP	4870.73	8534.50	7730.53			
7 GCP + 3 ICP	4722.74	8251.22	7089.49			

Tabel 4 menunjukkan, bahwa selisih volume overburden pada masing-masing blok hasil pengukuran menggunakan UAV pada 7GCP + 3 ICP dengan hasil pengukuran menggunakan “total station” yaitu antara 123.59 – 262.31 BCM, sedangkan pada 3 GCP selisihnya antara 4359.28 - 5461.37 BCM dan 5 GCP selisihnya antara 350.73 - 903.53 BCM. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak titik GCP yang digunakan pada pengukuran menggunakan UAV semakin kecil selisihnya antara UAV dan total station.

KESIMPULAN

1. *Root Mean Square Error* (RMSE) horizontal pada 7 GCP sebesar 0.08 meter dan RMSE vertikal 0.16 meter dengan nilai ketelitian geometri CE90 sebesar 0.13 meter dan LE90 sebesar 0.27 meter, sehingga memenuhi standar kelas 2 pada skala peta 1:1000 dengan interval kontur 0.14 meter.
2. Volume overburden yang diperoleh berdasarkan pengukuran foto udara menggunakan UAV pada 7 GCP block I sebesar 4722.74 BCM, block II sebesar 8251.22 BCM, dan block III sebesar 7089.49 BCM. sedangkan volume overburden berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *Total Station* sebesar 4520.00 BCM pada Blok I, pada Blok II sebesar 8127.65 BCM, dan Blok III sebesar 6827 BCM.
3. Selisih volume overburden pada masing-masing blok hasil pengukuran menggunakan UAV dan total station yaitu 123.59 – 262.31 BCM pada 7GCP + 3 ICP, pada 5 GCP santara 350.73 - 903.53 BCM dan pada 3 GCP selisihnya antara 4359.28 - 5461.37 BCM.

DAFTAR PUSTAKA

- Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2017). Accuracy Of Digital Surface Models And Orthophotos Derived From Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *Journal Of Surveying Engineering*, 143(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)Su.1943-5428.0000206](https://doi.org/10.1061/(ASCE)Su.1943-5428.0000206)
- Alyassi, R., Khonji, M., Karapetyan, A., Chau, S. C. K., Elbassioni, K., & Tseng, C. M. (2022). Autonomous Recharging And Flight Mission Planning For Battery-Operated Autonomous Drones. *Ieee Transactions On Automation Science And Engineering*. <https://doi.org/10.1109/Tase.2022.3175565>
- American Society For Photogrammetry And Remote Sensing. (2012). *Survey Review*, 30(231). <https://doi.org/10.1179/003962689791474320>
- Big, B. I. G. (2014). Peraturan Kepala Big Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. *Big, Badan Informasi Geospasial. Bogor*.
- Cahyadi, R., Iskandar, I., & Aprianto, D. (2022). The Pit Design Planning And Planning Result Evaluation Of Overburden Front From West To East Using Minescape Version 5.7 Software At Pt Xyz. *International Journal Of Social Science*, 2(4). <https://doi.org/10.53625/Ijss.V2i4.4241>
- Chen, F. C., Gudan, G., Solis-Oba, R., & Haque, A. (2021). Simple And Efficient Algorithm For Drone Path Planning. *Ieee International Conference On Communications*. <https://doi.org/10.1109/Icc42927.2021.9500370>
- Honarmand, M., & Shahriari, H. (2021). Geological Mapping Using Drone-Based Photogrammetry: An Application For Exploration Of Vein-Type Cu Mineralization. *Minerals*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/Min11060585>
- Isa, M. A., Sims-Waterhouse, D., Piano, S., & Leach, R. (2020). Volumetric Error Modelling Of A Stereo Vision System For Error Correction In Photogrammetric Three-Dimensional Coordinate Metrology. *Precision Engineering*, 64. <https://doi.org/10.1016/J.precisioneng.2020.04.010>
- James, M. R., Robson, S., D’oleire-Oltmanns, S., & Niethammer, U. (2017). Optimising Uav Topographic Surveys Processed With Structure-From-Motion: Ground Control Quality,

- Quantity And Bundle Adjustment. *Geomorphology*, 280.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.021>
- Jia, C. C., Wang, C. J., Yang, T., Fan, B. H., & He, F. G. (2018). A 3d Point Cloud Filtering Algorithm Based On Surface Variation Factor Classification. *Procedia Computer Science*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.06.010>
- Kabadayi, A. (2022). Mapping Of The Mine Site By Photogrammetric Method With The Help Of Unmanned Aerial Vehicle. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*. <https://doi.org/10.51534/tiha.1130929>
- Kasprak, A., Bransky, N. D., Sankey, J. B., Caster, J., & Sankey, T. T. (2019). The Effects Of Topographic Surveying Technique And Data Resolution On The Detection And Interpretation Of Geomorphic Change. *Geomorphology*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.020>
- Kim, K. D., Lee, D. G., Yu, Y. G., & Lee, H. J. (2017). Processing Of Aerial Photographic Image Using Unmanned Aerial Photogrammetry Process And Revision/Update Method Of Digital Map Of Small Change Area. *Journal Of Korean Society For Geospatial Information System*, 25(4). <https://doi.org/10.7319/kogsis.2017.25.4.015>
- Kostic, S., & Trivan, J. (2022). Optimization Of Coal Overburden Excavation Considering Variable Geomechanical Properties And States Of Excavator Teeth. *Archives Of Mining Sciences*, 67(1). <https://doi.org/10.24425/ams.2022.140706>
- Lailissaum, A. (2018). Peran Informasi Geospasial Untuk Mendukung Pembentukan Desa. *Geomatika*, 24(2). <https://doi.org/10.24895/jig.2018.24-2.792>
- Maharfi, E. D., Arief, T., & Purbasari, D. (2019). Studi Pemanfaatan Teknologi Terrestrial Laser Scanner Untuk Menghitung Volume Pengupasan Overburden Di Pit 2 Elektrifikasi Banko Barat Pt. Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Prosiding Temu Profesi Tahunan Perhapi*, 1(1). <https://doi.org/10.36986/ptptp.v0i0.5>
- Nikolakopoulos, K., Kyriou, A., Koukouvelas, I., Zygouri, V., & Apostolopoulos, D. (2019). Combination Of Aerial, Satellite, And Uav Photogrammetry For Mapping The Diachronic Coastline Evolution: The Case Of Lefkada Island. *Isprs International Journal Of Geo-Information*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/ijgi8110489>
- Pagounis, V., Merlemis, N., Anastasiou, D., Arabatzi, O., Zacharis, V., & Tsakiri, M. (2022). Compact Testing Of Total Station Instruments Using Folded Optics. *Journal Of Applied Engineering Sciences*, 12(1). <https://doi.org/10.2478/jaes-2022-0011>
- Prokop, A., Schön, P., Singer, F., Pulfer, G., Naaim, M., Thibert, E., & Soruco, A. (2015). Merging Terrestrial Laser Scanning Technology With Photogrammetric And Total Station Data For The Determination Of Avalanche Modeling Parameters. *Cold Regions Science And Technology*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2014.11.009>
- Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J. H., Rodríguez-Pérez, J. R., & Ordóñez, C. (2018). Accuracy Of Unmanned Aerial Vehicle (Uav) And Sfm Photogrammetry Survey As A Function Of The Number And Location Of Ground Control Points Used. *Remote Sensing*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/rs10101606>
- Wang, B., Wang, H., & Song, D. (2022). A Filtering Method For Lidar Point Cloud Based On Multi-Scale Cnn With Attention Mechanism. *Remote Sensing*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/rs14236170>
- Wang, R., Wu, N. C., & Yu, X. L. (2020). Design Of Digital Aerial Photography System For Unmanned Aerial Vehicle Based On Wireless Sensor Network. *Jordan Journal Of Mechanical And Industrial Engineering*, 14(1).
- Zenkov, I. V., Hung, T. Le, Anischenko, Y. A., Loginova, E. V., Maglinets, Y. A., Raevich, K. V., Latyntsev, A. A., Veretenova, T. A., Kondrashov, P. M., Pavlova, P. L., & Konov, V. N. (2022). A Study Of Mining Operations And Environmental Rehabilitation Processes In Vietnamese Coal Fields Based On Remote Sensing Data. *Ugol*, (7). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-7-21-24>
- Zeybek, M., & Şanlıoğlu, İ. (2019). Point Cloud Filtering On Uav Based Point Cloud. *Measurement: Journal Of The International Measurement Confederation*, 133, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.013>
- Zhang, K., Okazawa, H., Hayashi, K., Hayashi, T., Fiwa, L., & Maskey, S. (2022). Optimization Of Ground Control Point Distribution For Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry For Inaccessible Fields. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/su14159505>