



ADJUSTMENT DATA POINT CLOUD UNMANNED AERIAL VEHICLE TERHADAP DATA TERRESTRIAL LASER SCANNER

ADJUSTMENT OF UNMANNED AERIAL VEHICLE POINT CLOUD DATA TO TERRESTRIAL LASER SCANNER DATA

Alliya Nur Azizah Purnomo Adi¹, Asep Rohman¹, Yudi Rahayudin¹, Wahyu Vito Sasongko²

¹Program Studi Teknologi Pertambangan, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung

²PT Mandala Karya Prima

Korespondensi: alliyapurnomoadi03@gmail.com

INFO ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci:

*Terrestrial Laser Scanner,
Unmanned Aerial Vehicle,
Metode Adjustment*

Analisis implementasi metode *adjustment* data *Unmanned Aerial Vehicle* terhadap *Terrestrial Laser Scanner* dilakukan di Pit B Rawa Selatan, PT Mandala Karya Prima, Kabupaten Nunukan, Provinsi Kalimantan Selatan. Berdasarkan kondisi aktual yang ada, pengambilan data situasi pit membutuhkan waktu 2-3 hari dengan hasil yang kurang maksimal. Hal ini didukung dengan data pada Bulan September hingga Oktober 2023 bahwa masih terdapat 16,17% area yang tidak terjangkau oleh TLS. Sehingga, penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis metode *adjustment* untuk melengkapi kekurangan data dan mempersingkat waktu pengolahan. Masalah berikutnya yaitu data UAV tidak dapat langsung digunakan untuk melengkapi kekurangan data karena adanya perbedaan elevasi terhadap TLS. Standar toleransi elevasi mengacu pada SOP PT MIP yaitu sebesar 30mm. Sebelum dilakukan metode *adjustment*, rata-rata perbedaan elevasi antara data UAV dengan TLS sebesar 0,621 m. Kemudian, dilakukan *adjustment* menggunakan fitur *Multi Station*

Adjustment (MSA) pada *software* Riscan Pro. Setelah dilakukan *adjustment*, didapatkan hasil rata-rata perbedaan elevasi sebesar 28mm berdasarkan hasil MSA dan *sampling*. Selain itu, dengan menggunakan kombinasi data UAV dan TLS terdapat peningkatan cakupan area *pit* dari sebelumnya hanya sebesar 83,3% menjadi 99,927%. Keuntungan lain dari penggunaan metode ini yaitu kemudahan dalam proses pengolahan data dan mempersingkat waktu pengambilan data menjadi hanya 1 hari.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

*Terrestrial Laser Scanner,
Unmanned Aerial Vehicle,
Adjustment Method*

The implementation of the UAV data adjustment method to the TLS was carried out in Pit B Rawa Selatan, PT Mandala Karya Prima, Nunukan District, North Kalimantan Province. Based on current conditions, the data collection of the pit situation takes 2-3 days with less-than-optimal results. It is supported by data from September to October 2023 that there is still 16,4% of the area not covered by TLS. Therefore, this research aims to analyze the adjustment method to address data deficiencies and shorten processing time. Another issue is that UAV data cannot be directly used to fill in the data gaps due to elevation differences with TLS. The elevation tolerance standard refers to the PT MIP SOP, which is 30mm. Before the adjustment method, the average elevation difference between UAV and TLS data was 0,621 m. Then, adjustment was performed using the Multi Station Adjustment (MSA) feature in Riscan Pro. After the adjustment, the average elevation difference was 28mm based on MSA and sampling results. Furthermore, using a combination of UAV and TLS data, there was an increase in pit area coverage from the previous 83,3% to 99,927%. Another advantage of this method is the ease of data processing and a reduction in data collection time to just 1 day.

1. PENDAHULUAN

PT Mandala Karya Prima (Mandiri Contractor) merupakan salah satu perusahaan penyedia jasa kontraktor untuk PT Mandiri Intiperkasa (Mandiri Coal) sejak tahun 2007. Sistem penambangan yang digunakan di perusahaan adalah sistem tambang terbuka dengan menggunakan metode *open pit*. Dalam menggunakan sistem penambangan *open pit*, metode konvensional survei dapat digunakan untuk melakukan pemantauan bukaan tambang.

Seiring berkembangnya zaman, teknologi survei dan pemetaan semakin berkembang salah satunya yaitu penggunaan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Keunggulan alat ini yaitu dapat memperoleh data dalam waktu singkat dengan keakurasian yang tinggi hingga milimeter (Sasak, et al, 2019). Keunggulan tersebut tentu sangat membantu proses pengambilan data dalam dunia tambang. PT Mandala Karya Prima menggunakan TLS untuk pengambilan data situasi tambang dengan *output* berupa kumpulan data *point cloud*. Namun seiring dengan kemajuan penambangan yang cepat maka dibutuhkan efisiensi waktu dalam pengambilan data situasi tambang.

Berdasarkan kondisi aktual, pengambilan data situasi *pit* menggunakan TLS membutuhkan waktu 2 hingga 3 hari dan belum mendapatkan hasil yang maksimal. Hasil yang belum maksimal disebabkan oleh keterbatasan jumlah dan kemampuan alat. Kondisi tambang yang

memiliki batubara dengan kemiringan landai menyebabkan terdapat banyak area yang sulit dilakukan pengambilan data. Tinggi maksimal alat dari tanah $\pm 1,5\text{m}$ sehingga apabila terdapat area yang memiliki ketinggian lebih dari tinggi tersebut akan sulit terjangkau oleh alat.

Hal ini didukung dengan data hasil pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* di PT Mandala Karya Prima pada Bulan September hingga Oktober 2023. Didapatkan bahwa rata-rata masih terdapat 16,17% area yang tidak terjangkau oleh TLS.

Selain TLS, terdapat alat lain yang dapat menghasilkan *output* data berupa *point cloud* yaitu *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Sebelumnya, UAV hanya digunakan untuk pengambilan *orthophoto* saja. (Alshwabkeh & Baik, 2023; Blaszczyk, et al, 2022; Nan Jiang, et al, 2021; Tysiac, et al, 2023; Zhonglei Mao, et al, 2021). Maka, untuk melengkapi kekurangan data tersebut, diusulkan penggunaan data yang berasal dari *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Data yang berasal dari UAV tidak dapat langsung digabungkan begitu saja dengan data TLS karena terdapat perbedaan elevasi antara data UAV dan TLS. Oleh karena itu, tujuan penelitian secara umum adalah untuk menganalisis metode penggabungan data antara *Unmanned Aerial Vehicle* dan *Terrestrial Laser Scanner*, agar data aktual kondisi muka tambang tidak hanya dapat disajikan dengan cepat, tetapi juga dengan akurasi yang tinggi.

Berdasarkan permasalahan umum tersebut, tujuan penelitian secara lebih spesifik ini adalah: Menghitung perbedaan ketinggian data *point cloud Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS); Meningkatkan presisi dan akurasi data *point cloud Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) terhadap *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dengan metode *adjustment*; serta Menganalisis hasil implementasi penggunaan metode *adjustment point cloud Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) terhadap *Terrestrial Laser Scanner* (TLS).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif dikarenakan proses pengolahan data berbasis penggunaan angka dan perhitungan matematis. Secara umum, alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

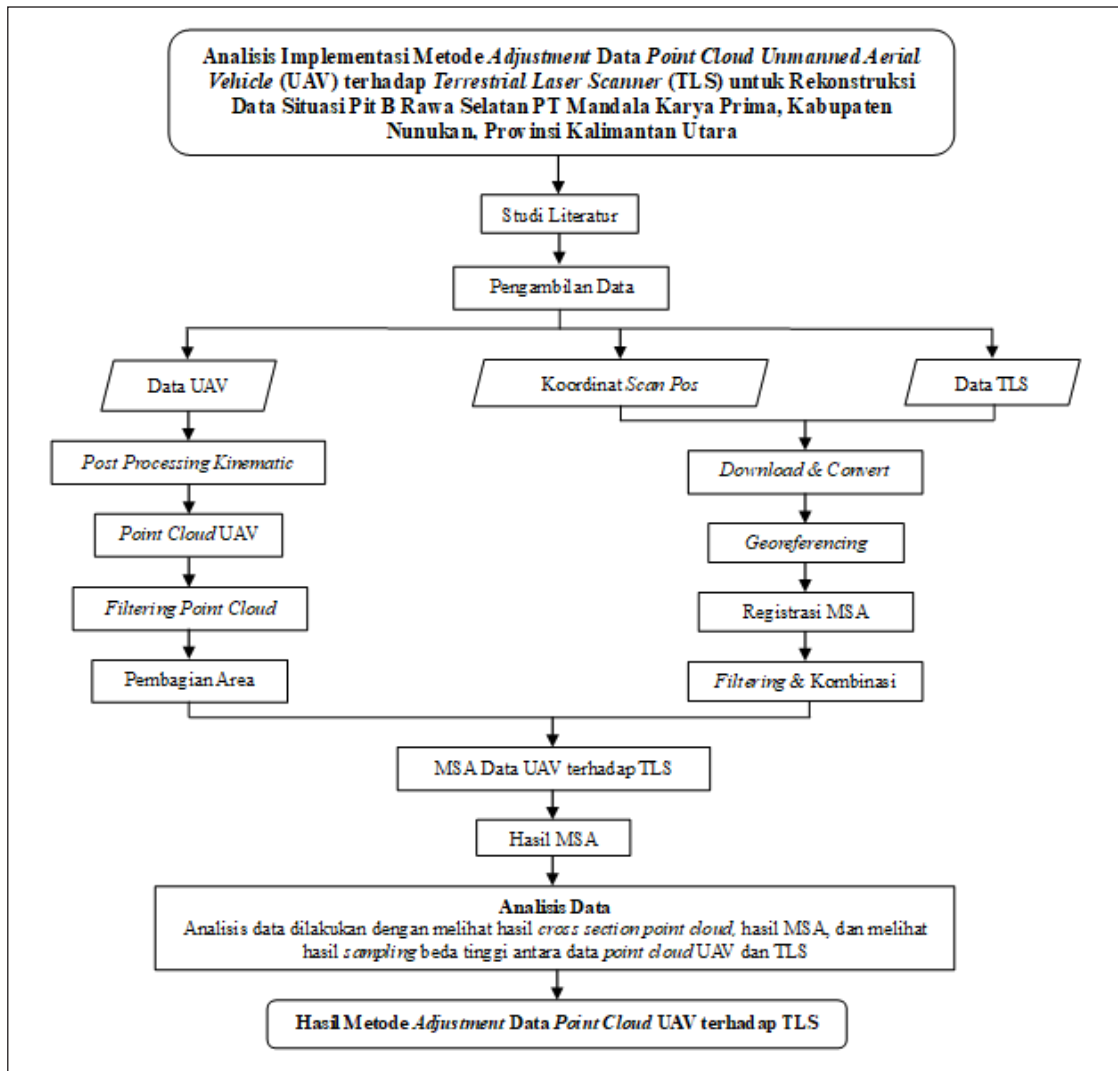
Pada tahapan pertama dilakukan pengumpulan data yang meliputi data UAV, koordinat *scan pos*, dan data TLS. Data UAV didapatkan menggunakan DJI Matrice 300 RTK di area *pit*. Umumnya, pengambilan data membutuhkan waktu ± 2 jam dengan tinggi terbang 300m. Sementara data koordinat *scan pos* didapatkan bersamaan dengan pengambilan data TLS. Pengambilan data ini dilakukan menggunakan GNSS RTK yang terpasang pada TLS. Adapun data TLS didapat menggunakan Laser Scanner Riegl VZ-2000i.

Pada tahap kedua, dilakukan pengolahan

data UAV menggunakan aplikasi *Emlid Studio* dan *Agisoft Metashape*. Pengolahan data UAV diawali dengan melakukan koreksi data menggunakan metode *Post Processing Kinematic* (PPK) pada aplikasi *Emlid Studio*. Syarat utama metode PPK adalah waktu terbang UAV dengan waktu yang digunakan pada *base* harus sama sehingga menghasilkan data *fixed*. Setelah data terkoreksi, selanjutnya adalah melakukan proses *geotagging* yaitu memasukkan koordinat pada foto. Kemudian, pengolahan data dilanjutkan menggunakan aplikasi *Agisoft Metashape* untuk menghasilkan *dense cloud* atau *point cloud* dari data UAV dan dilanjutkan *filtering dense cloud*.

Pada tahapan selanjutnya, data koordinat *scan pos* dan TLS diolah menggunakan aplikasi *Riscan Pro*. Pengolahan data diawali dengan melakukan proses *georeferencing*. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan sistem koordinat data dengan sistem koordinat yang digunakan perusahaan. Sebelum melakukan registrasi data, terlebih dahulu dilakukan filter debu yang ada di sekitar *scan pos*. Registrasi data dilakukan menggunakan metode *cloud to cloud registration* dengan bantuan fitur *plane patch filter*.

Selanjutnya dilakukan perhitungan perbedaan tinggi (Δz) data *point cloud* UAV dengan TLS. Kemudian dilakukan peningkatan akurasi dan presisi data UAV dengan TLS menggunakan metode *adjustment*. Adapun pada



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

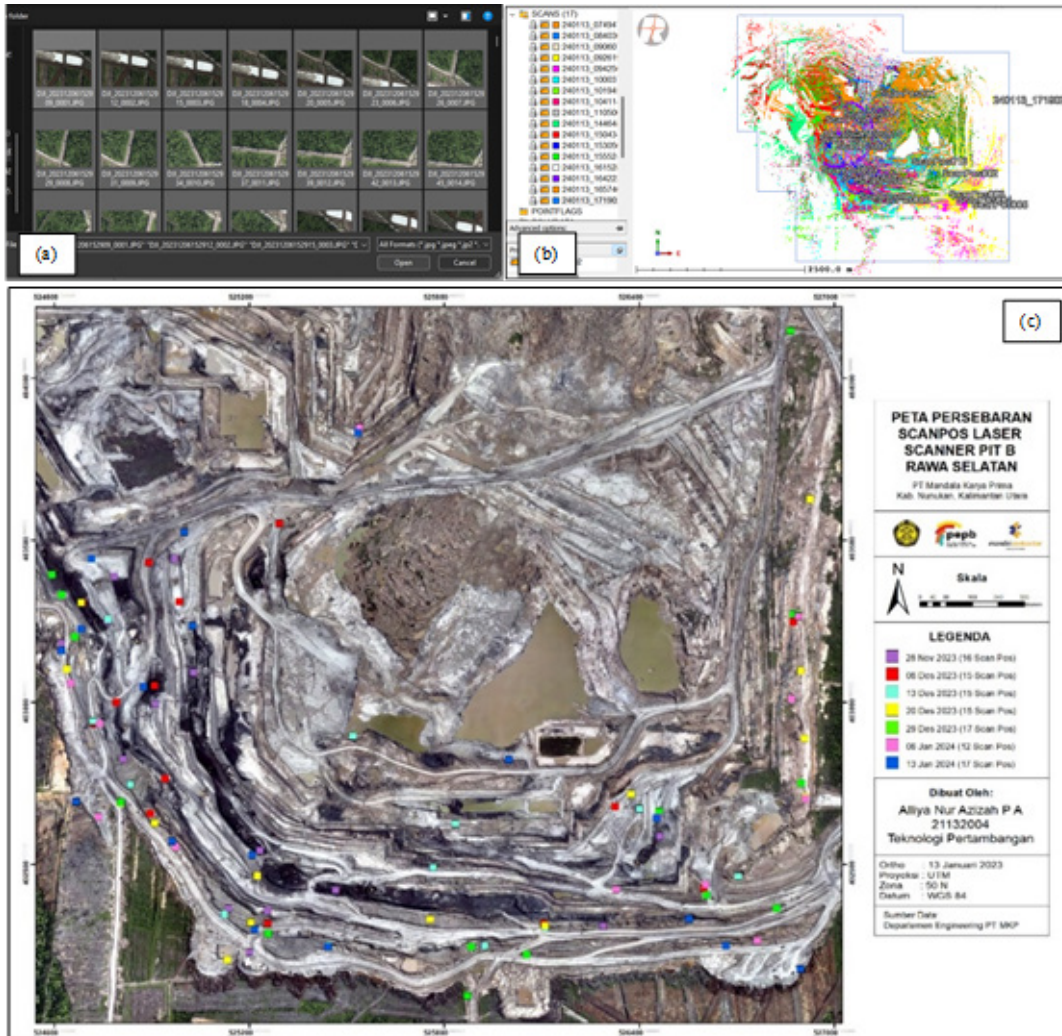
tahap terakhir dilakukan analisis implementasi hasil metode *adjustment* yang dilakukan pada data *point cloud* UAV dengan TLS.

3. HASIL PENELITIAN

3.1 Hasil Pengumpulan Data

Hasil pengambilan data UAV berupa kumpulan foto udara dari area *pit*, dalam 1 kali pengambilan data bisa mendapatkan hingga 1000 foto. Kemudian, hasil data *scan*

pos merupakan koordinat titik berdiri alat TLS yang sudah digambarkan dalam bentuk peta persebaran titik *scan pos*. Jumlah dan sebaran titik *scan pos* setiap minggunya bersifat dinamis bergantung pada kondisi lapangan. Sehingga, tidak dapat ditetapkan minimal jumlah dan posisi *scan pos*. Jumlah *scan pos* selama proses pengambilan data berjumlah 107 *scan pos*. Selanjutnya, hasil pengukuran TLS berupa *point cloud* yang memiliki warna berbeda di



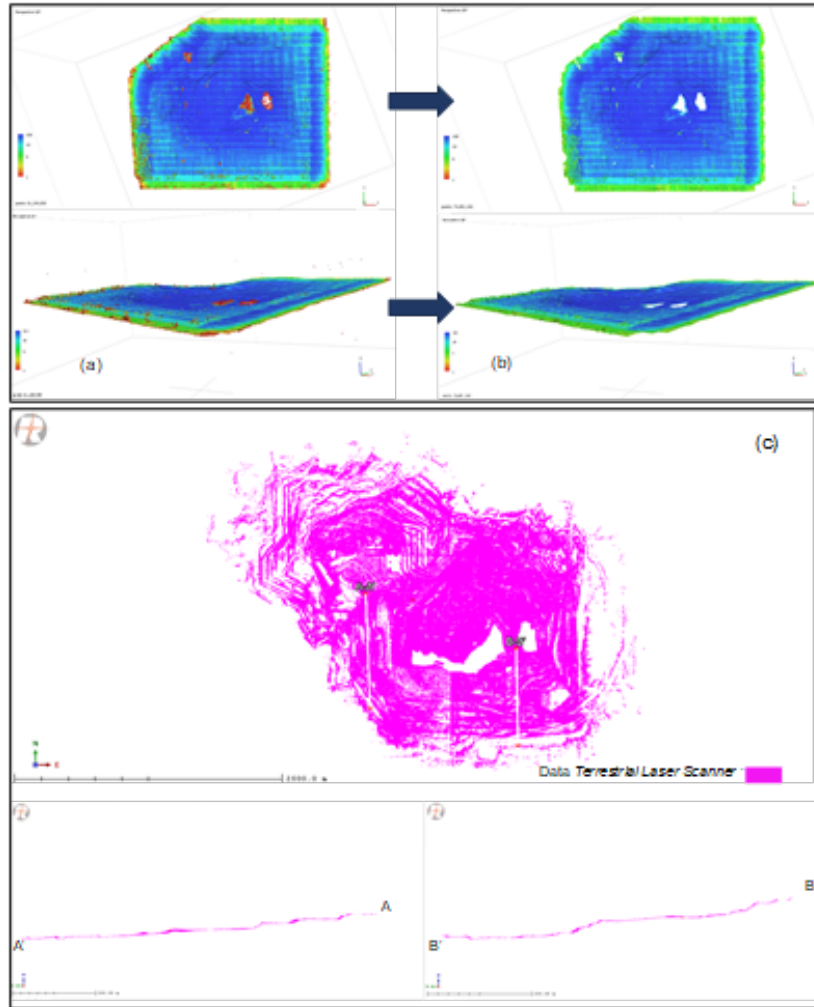
Gambar 2 (a) Hasil pengumpulan data UAV berupa foto udara; (b) Point Cloud Hasil Scanning TLS, Perbedaan Warna Menunjukkan Data Point Cloud yang Dihasilkan Setiap Scan Pos. Area Berwarna Putih menunjukkan Daerah yang tidak terjangkau oleh pengukuran TLS; (c) Peta persebaran scan pos

setiap *scan pos*. Adapun hasil pengumpulan seluruh data dapat terlihat pada Gambar 2.

3.2 Hasil Pengolahan Data UAV dan TLS

Hasil pengolahan data UAV dan TLS berupa *point cloud* yang sudah dilakukan proses *filtering* sebelum selanjutnya dikombinasikan. Kemudian, kedua data di-*export* dalam bentuk *.las menggunakan sistem koordinat yang

digunakan perusahaan dengan Datum Geodesi *World Geodetic System* (WGS) 1984 dengan Sistem koordinat Proyeksi Peta *Universal Transverse Mercator* (UTM) di Zona 50 N. Adapun hasil pengolahan data UAV dan TLS dapat dilihat pada Gambar 3. Pada hasil pengolahan data TLS, dapat terlihat masih terdapat area yang tidak terjangkau oleh TLS dengan rata-rata sebesar 16,17%. Sehingga,



Gambar 3 (a) Point Cloud UAV sebelum dilakukan proses filtering. Terlihat pada gambar masih terlihat noise berupa point cloud anomali yang terbang; (b) Point Cloud UAV cloud setelah dilakukan proses filtering. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa sudah tidak terdapat point cloud yang anomali ataupun terbang; (c) Hasil filtering point cloud tls terhadap objek yang tidak digunakan meliputi excavator, dump truck, tower lamp, pompa, dan pohon

dapat dikatakan jangkauan TLS hanya dapat mencakup area *pit* sebesar 83,83%.

4. PEMBAHASAN

4.1 Perbedaan Tinggi *Point Cloud* UAV terhadap TLS

Sebelum dilakukan *adjustment* data, *point cloud* UAV memiliki selisih atau perbedaan

tinggi elevasi terhadap TLS. Analisis perbedaan tinggi data dilakukan dengan membagi volume terhadap luas area sehingga didapatkan selisih tinggi antara data *point cloud* UAV terhadap TLS. Pemilihan area untuk dilakukan analisis beda tinggi adalah area yang tidak mengalami perubahan karena pengambilan data UAV dan TLS tidak dilakukan diwaktu yang bersamaan.

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan perbedaan tinggi paling kecil terjadi pada tanggal 13 Desember 2023 yaitu sebesar 0,345 m. Sementara perbedaan tinggi paling besar terdapat pada tanggal 13 Januari 2024 sebesar 0,998 m dengan rata-rata beda tinggi keseluruhan antara data UAV terhadap TLS sebesar 0,621 m seperti terlihat pada Tabel 1. Hal ini terjadi karena dalam melakukan pemetaan, UAV tidak menggunakan *ground control point* (GCP) sebagai titik ikat. Sehingga, terjadi perbedaan ketinggian (Δz) yang cukup besar antara data *point cloud* UAV terhadap TLS karena tidak ada koreksi terhadap *ground* atau permukaan.

Tabel 1 Data perbedaan ketinggian antara point cloud UAV dan TLS

Tanggal	Perbedaan ketinggian antara data UAV dan TLS [cm]
28/11/2023	59,8
6/12/2023	73,9
13/12/2023	34,5
20/12/2023	38,7
29/12/2023	69,4
6/1/2024	60,5
13/1/2024	99,8

4.2 Metode *Adjustment Data Point Cloud* UAV terhadap TLS

Melalui penelitian ini, peneliti menggunakan metode *adjustment* dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pembuatan *boundary* area pit

Tahapan awal dalam melakukan *adjustment* data *point cloud* UAV terhadap TLS adalah pembuatan *boundary* pada aplikasi Agisoft Metashape Professional menggunakan menu *draw polyline*. *Boundary* harus dibuat pada 3D model agar saat di *export boundary* sudah berformat 3D. Apabila pembuatan *boundary* dilakukan pada *orthomosaic*, maka *boundary* akan memiliki format 2D sehingga tidak dapat langsung di *input* pada aplikasi *Riscan Pro*. Hal penting lainnya yang harus diperhatikan adalah memastikan antar *boundary* saling beririsan. Adapun hasil pembuatan *boundary* dapat terlihat pada Gambar 11. Setelah dilakukan pembuatan *boundary*, tahapan selanjutnya adalah melakukan *export* data *boundary* dalam format *.dxf dan *dense cloud* dalam format *.las. Poin yang harus diperhatikan dalam melakukan *export* data adalah mengatur sistem koordinat menyesuaikan sistem yang digunakan yaitu WGS 84 zona 50 N.

2. Pembuatan *polydata* dan *scan pos* per area

Tahapan ini bertujuan meminimalisir eror yang terjadi saat proses *adjustment* dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Melakukan *import* data *pointcloud* UAV dan *boundary* area ke dalam aplikasi *Riscan Pro*.
- b. Membuat *polydata* baru berdasarkan

boundary area yang sudah dibuat menggunakan tools '*copy selection into new polydata*'. Untuk memilih area yang terdapat di dalam *boundary*, dapat dengan cara memilih salah satu dari *list boundary* atau *polygon* yang berada di kolom *object inspector*. Kemudian klik kanan *mouse* dan pilih *select data*. Adapun poin penting yang perlu diperhatikan dari tahapan ini adalah semua area yang akan dipilih menjadi *polydata* baru harus terlihat semua saat melakukan *select data* seperti terlihat pada Gambar 13.

c. Membuat *scanpos* baru sesuai dengan jumlah area yang ada. Kemudian, data yang sudah dibagi berdasarkan *boundary* dapat diimport sesuai dengan urutan *scanpos*. Maka dari itu, penamaan yang sama antara *polydata* dan *scanpos* menjadi penting dengan tujuan memudahkan penginputan data.

3. Melakukan *Adjustment*

Tahapan *adjustment* data *point cloud* terbagi menjadi 2 tahapan yaitu *prepare polydata* dan *adjustment*. Adapun rincian tahapan ini adalah sebagai berikut.

a. Prepare polydata

Tahapan *prepare polydata* bertujuan untuk registrasi *point cloud* sebelum dilakukan *adjustment* dengan bantuan fitur *Plane Patch Filter* (PPF). Pada

prinsipnya, PPF memiliki kesamaan dengan *Iterative Closest Point* (ICP) yaitu dengan mencari jarak terdekat dari kedua titik secara berulang dalam kumpulan *point cloud*.

Perbedaannya adalah, PPF akan membagi *point cloud* menjadi kubus-kubus kecil untuk mencari jarak terdekat antar titik dan mengeliminasi titik yang bertampalan. Sehingga, proses *adjustment* dapat dilaksanakan dengan lebih cepat. Adapun parameter PPF yang digunakan dapat terlihat pada Gambar 15.

b. Adjustment

Adjustment dilakukan menggunakan fitur *Multi Station Adjustment* (MSA) pada *Riscan Pro* 2.14.1. Fitur MSA berfungsi untuk memperbaiki registrasi dari setiap *scan pos*. Prinsip kerjanya adalah dengan melakukan modifikasi orientasi dan posisi secara berulang dengan parameter yang sudah ditentukan dari setiap *scan pos* hingga mencapai nilai eror minimum. Karena MSA bekerja pada setiap *scan pos*, maka *scan pos* TLS yang bertindak sebagai acuan harus diatur menjadi *lock position* seperti terlihat pada Gambar 16. Hal ini berfungsi agar orientasi dan posisi *scan pos* tersebut tidak berubah.

Adapun parameter yang digunakan dalam

Tabel 2 Parameter MSA

PARAMETER	Analyse	Calculate 1	Calculate 2	Calculate 3
Search Radius [m]	10-50	2x analyse	1-2	0,5-1
Max. tilt angle [deg]	5	5	5	5
Min. change of error 1 [m]	0,1	0,1	0,02	0,01
Min. change of error 2 [m]	0,02	0,02	0,01	0,005
Outlier Threshold	2	2	1	1

melakukan *adjustment* dapat terlihat pada Tabel 2. Tahapan MSA dibedakan menjadi 2 jenis yaitu *analyse* dan *calculate*. Tahapan *analyse* dilakukan untuk mencari jumlah *point cloud* yang berpasangan dan akumulasi kesalahan dari setiap *scan pos*. Sementara tahapan *calculate* merupakan tahapan penyesuaian posisi dan orientasi antar *scan pos*.

4.3 Hasil MSA Data Point Cloud UAV terhadap TLS

Dilakukan MSA sebanyak 7 percobaan dengan hasil berupa histogram residu dan nilai standar deviasi yang dapat diunduh dalam bentuk *.csv. Histogram residu menunjukkan jumlah observasi yang dilakukan dalam jarak tertentu.

Kemudian, standar deviasi menunjukkan nilai keseluruhan jarak antar *point cloud*. Dalam hal ini yaitu jarak *point cloud* UAV terhadap TLS. Adapun nilai standar deviasi dari MSA yang telah dilakukan dapat terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil MSA, data yang berwarna menunjukkan hasil yang melebihi standar perusahaan yaitu batas toleransi elevasi sebesar 3 cm

Tanggal	Hasil Msa [cm]
28/11/2023	3,75
6/12/2023	4,44
13/12/2023	2,93
20/12/2023	1,78
29/12/2023	1,99
6/1/2024	2,16
13/1/2024	2,62

Mengacu kepada SOP PT Mandiri Intiperkasa No. MIP/SOP/ENG/004 bahwa pada pengukuran situasi kemajuan tambang, batas toleransi elevasi adalah 30 mm. Maka, didapatkan grafik hubungan hasil MSA terhadap batas toleransi elevasi seperti ditunjukkan pada Gambar 18. Berdasarkan grafik tersebut, didapatkan bahwa secara keseluruhan sebanyak 71,43% data berada di bawah batas toleransi elevasi. Terdapat 2 data yang berada di atas batas toleransi elevasi, yaitu data tanggal 28 November dan 6 Desember 2023. Hal ini dapat terjadi disebabkan pada tanggal tersebut

dilakukan *adjustment* data UAV secara langsung atau *general* tanpa dilakukan pembagian area. Sehingga, kemungkinan terjadi eror lebih besar. Sementara, setelah dilakukan pembagian area, didapatkan hasil sebesar **100% data memenuhi syarat**.

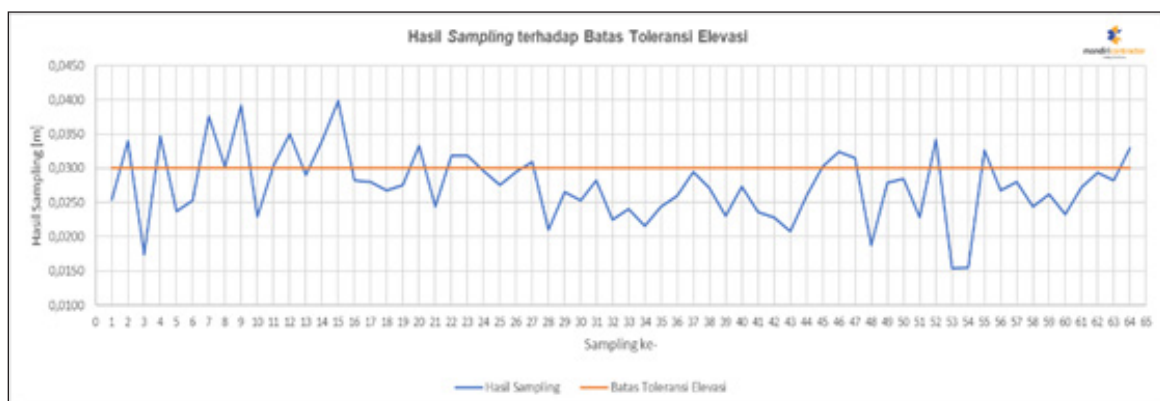
4.4 Hasil *Sampling*

Nilai standar deviasi yang ada pada hasil MSA menunjukkan jarak antar poin secara keseluruhan. Maka dari itu, dilakukan perkuatan data dengan melakukan *sampling* jarak antar poin UAV dan TLS. *Sampling* dilakukan pada area yang tidak berubah dan sama-sama memiliki data yang lengkap antara *point cloud* UAV maupun TLS dengan total jumlah *sampling* yang dilakukan sebanyak 64 area. Sebelum dilakukan analisis, terlebih dahulu dilakukan uji *outlier* untuk melihat persebaran data dan mendeteksi apakah terdapat data anomali. Didapatkan bahwa persebaran data dari ke-64 sampel normal dan tidak ada data

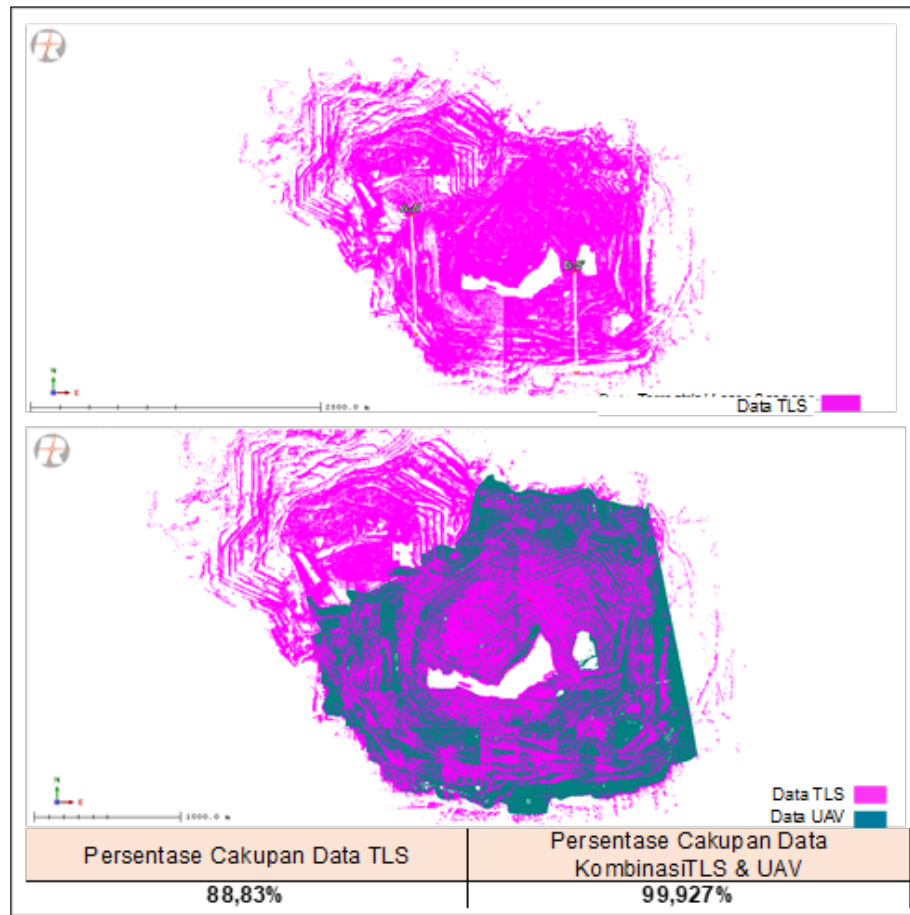
anomali.

Sampling dilakukan dengan membagi volume terhadap luasan area sehingga didapatkan perbedaan ketinggian. Secara keseluruhan, dari 64 area terdapat 16 area yang berada di atas batas toleransi elevasi dengan persentase yang memenuhi standar sebesar 75% seperti terlihat pada Gambar 4. Hal tersebut dapat terjadi karena keseluruhan hasil *sampling* termasuk data hasil pengolahan secara *general* dimasukkan semua dalam perhitungan. Namun, apabila hanya menghitung data dengan pengolahan menggunakan pembagian area, didapatkan hasil sebesar **81% data memenuhi standar**. Adapun rata-rata hasil *sampling* secara keseluruhan sebesar 0,028 m atau 2,8 cm. Meskipun demikian, 19% data yang tidak sesuai dengan standar hanya memiliki rentang jarak ketidaksesuaian sebesar 1-4 mm dengan rata-rata jarak 2,4mm.

Sebelum menggunakan metode *adjustment*, area *pit* yang terjangkau oleh TLS hanya



Gambar 4 Grafik Hasil Sampling terhadap Batas Toleransi Elevasi

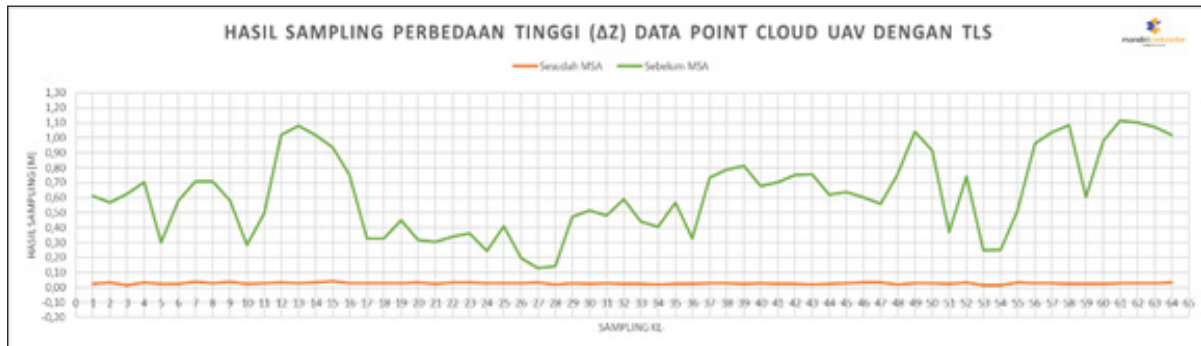


Gambar 5 Data Point Cloud TLS Sebelum dan Sesudah Dilakukan Dikombinasikan dengan Menggunakan Data UAV

sebesar 83,83%. Setelah menggunakan metode *adjustment* untuk melengkapi data situasi *pit*, didapatkan hasil rata-rata bahwa sebanyak 99,927% area dapat tercakup oleh gabungan data TLS dan UAV seperti terlihat pada Gambar 5. Maka, terdapat kenaikan sebesar 16,627% dari sebelumnya hanya menggunakan TLS. Sedangkan, 0,073% area yang tidak tercakup dapat diperkirakan berupa unit yang berada di dalam *pit* seperti *dump truck*, *excavator*, *tower lamp*, bangunan, dan sebagainya. Hal ini disebabkan karena pengambilan data UAV

berasal dari atas sehingga area bawah unit yang bergerak maupun diam di tempat akan tertutupi.

Kemudian, dengan menggunakan metode *adjustment* dapat mengurangi selisih tinggi (Δz) rata-rata secara keseluruhan sebanyak 0,593 m atau 95,49%. Dari semula data *point cloud* UAV dengan TLS memiliki perbedaan tinggi sebesar 0,621 m menjadi 0,028 m. Adapun perbedaan Δz sebelum dan sesudah dilakukan metode *adjustment* dapat terlihat pada Gambar 6. Selain itu, metode *adjustment* juga berhasil memangkas waktu pengambilan data yang



Gambar 6 Grafik Hasil Sampling Perbedaan Tinggi Data Point Cloud UAV dengan TLS

semula dapat memakan waktu 2 hingga 3 hari menjadi hanya 1 hari untuk TLS dan UAV. Selanjutnya, dengan menggunakan metode ini juga dapat memudahkan pengolahan data pada data TLS yang tidak dapat terjangkau. Apabila sebelumnya harus dilengkapi menggunakan data dari sebelumnya, maka sekarang dapat langsung dilengkapi menggunakan data *point cloud* UAV. Hasil penelitian yang didapatkan sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Fotheringham dan Paudyal (2021) pada area *stockpile* tambang di Australia. Penelitian tersebut menghasilkan ketelitian sebesar ± 5 cm. Sementara pada penelitian ini dapat dihasilkan ketelitian vertikal sebesar $\pm 2,8$ cm.

5. KESIMPULAN

Sebelum diterapkan metode *adjustment*, terdapat perbedaan ketinggian (ΔZ) antara data *point cloud Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) terhadap *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) 0,621 meter. Hal ini disebabkan karena dalam proses pengambilan data UAV tidak menggunakan

GCP sebagai titik ikat.

Melalui penelitian ini, didapatkan cara meningkatkan presisi dan akurasi data *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) terhadap *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dengan menggunakan *Multi Station Adjustment* (MSA). Adapun hasil dari metode *adjustment* yaitu dapat meningkatkan cakupan area situasi *pit* sebesar 16,627%. Dari semula cakupan area hanya sebesar 83,3% dapat meningkat menjadi 99,927%. Rata-rata ΔZ berdasarkan hasil MSA sebesar 28,1mm sedangkan berdasarkan hasil *sampling* adalah 28mm. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa metode ini dapat digunakan dan berhasil mengurangi perbedaan tinggi *point cloud* UAV dengan TLS sebesar 95,45% atau sebanyak 0,593 m.

Adanya keterbatasan penelitian yakni tinggi terbang UAV yang dilakukan pada saat pengambilan data menggunakan ketentuan perusahaan yaitu 300 meter. Pada penelitian selanjutnya, dapat ditambahkan pengaruh variasi tinggi terbang UAV terhadap hasil beda

ketinggian antara *point cloud* UAV terhadap TLS.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alshawabkeh, Y., & Baik, A. (2023). Integration of Photogrammetry and Laser Scanning for Enhancing Scan-to-HBIM Modeling of Al Ula Heritage Site. *Heritage Science*, 1-17. doi:10.1186/s40494-023-00997-2
- AtıncıPirt. (2022). Evaluating Repeatability of RTK(GPS and Galileo/GPS) Performance in the Analysis of Points Located in Areas with and without Obstructions. *Sciendo*, 11-22. doi:10.2478/rgg-2022-0002
- Błaszczuk, et al. (2022). Combined Use of Aerial Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for Detecting Geomorphological Changes in Hornsund, Svalbard. *Remote Sens*, 1-17. doi:10.3390/rs14030601
- Budaya, I. (2020). *Assesmen Kontribusi GNSS pada Pengukuran Metode Penelitian Post Processing Kinematic (PPK) dalam UAV Fotogrametri*. Bandung: ITB.
- Diodemus, P. (2021). Analisis Pemanfaatan Foto Udara Hasil Pemotretan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Tipe Post Processing Kinematic (PPK) untuk Pemetaan Topografi. *Seminar Nasional Geomatika*, 885-901. doi:10.24895/SNG.2020.0-0.1204
- Fotheringham, M., & Paudyal, D. (2021). Combining Terrestrial Scanned Datasets with Uav Point Clouds for Mining Operations. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V-4-2021, 129-138. doi:10.5194/isprs-annals-V-4-2021-129-2021
- Hidayat, R. (2022). *Analisis Ketelitian Model 3 Dimensi Hasil Kombinasi Terrestrial Laser Scanner dan Unmanned Aerial Vehicle*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Kafiar, M. (2020). *Visualisai Model 3D Modelling dari Hasil Kombinasi Kamera DSLR dan UAV dengan Metode Close Range Photogrammetry*. Malang: Institut Teknologi Nasional Malang.
- Nan Jiang, et al. (2021). A Monitoring Method Integrating Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicles for Different Landslide Deformation Patterns. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 10242-10255.
- Quintero. (2008). Theory And Practice On Terrestrial Laser Scanning. *The Learning Tools for Advanced Three-dimensional Surveying In Risk Awareness Project (3D Risk Mapping)*.
- Sasak, et al. (2019). Combined Use of

- Terrestrial Laser Scanning and UAV Photogrammetry in Mapping Alpine Terrain. *Remote Sens*, 1-25. doi:10.3390/rs11182154
- Setiawan, A. (2018). *Analisa Hasil Pengukuran Koordinat Terrestrial Laser Scanner GLS-2000*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sobatnu, F. (2018). *Survei Terrestri*. Sleman: POLIBAN PRESS.
- Tysiac, et al. (2023). Combination of Terrestrial Laser Scanning and UAV Photogrammetry for 3D Modelling and Degradation Assessment of Heritage Building Based on a Lighting Analysis: Case Study - St. Adalbert Church in Gdansk, Poland. *Heritage Science*, 1-14. doi:10.1186/s40494-023-00897-5
- Uguy, R., & Pangalila, L. (2022). Evaluasi Pengukuran Topografi pada Proyek Jalan Manado Outer Ringroad III. *Jurnal Ilmiah Realtech*, 25-31.
- Zhonglei Mao, et al. (2021). Precision Evaluation and Fusion of Topographic Data Based on UAVs and TLS Surveys of a Loess Landslide. *Frontiers in Earth Science*, 1-15. doi:10.3389/feart.2021.801293