

**KAJIAN PERBANDINGAN *DIGITAL TERRAIN MODEL*
DARI DATA *TERRESTRIAL LASER SCANNING*
DENGAN DATA FOTO UDARA UAV
DALAM PEKERJAAN TANAH
(Studi kasus: PT Freeport Indonesia, Papua)**

Romano Matius Danang E.S.W., A.Md.¹, Ir. Achmad Ruchlihadiana T., M.M.².

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

²Dosen pembimbing Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRAK

Pekerjaan tanah merupakan tahap awal dari sebuah pekerjaan konstruksi. Selama prosesnya, dibutuhkan pemantauan kemajuan dan penghitungan volume tanah eksisting secara berkala. Peran geodesi dibutuhkan dalam menentukan metode pengambilan data yang tepat dan akurat.

Hal ini tentu menyesuaikan keadaan topografi dan kondisi cuaca yang ada. Pada penelitian ini, perbandingan pemodelan *Digital Terrain Model* (DTM) menggunakan data *point cloud* dari *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) dan data *point cloud* foto udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Data TLS akan digunakan sebagai referensi perbandingan.

Berdasarkan uji statistik terhadap perbedaan nilai elevasi yang telah dilakukan, terdapat perbedaan signifikan antara elevasi pada pemodelan DTM data foto udara UAV dengan data TLS. Hal ini disebabkan hasil t-hitung berada di luar daerah penerimaan hipotesis nol. Hasil perbandingan penghitungan volume menunjukkan persentase dari selisih hitung senilai 11,2%, di mana toleransi berdasarkan ASTM adalah 2,78%. Dengan demikian, data foto udara UAV tidak memenuhi syarat toleransi. Jika dilihat dari sisi manajemen survei, pengambilan data dengan UAV memiliki waktu yang lebih singkat serta biaya dan sumber daya yang lebih rendah dibandingkan dengan TLS.

Kata kunci: *volume tanah, DTM, foto udara, TLS*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pekerjaan tanah merupakan sebuah bidang pekerjaan dalam teknik sipil yang berhubungan dengan pemindahan sejumlah besar massa tanah dan bebatuan dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Tanah yang dipindahkan dapat dibuang atau diletakkan di suatu lokasi untuk menjadi bentuk lanskap tertentu (Sain dan Quinby dalam *Standard Handbook for Civil Engineers*, 2004). Pekerjaan tanah dalam hal ini meliputi pekerjaan galian, timbunan, pengangkutan, dan pemadatan tanah.

PT Freeport Indonesia (PTFI) merupakan perusahaan tambang mineral afiliasi dari *Freeport-McMoRan* (FCX) dan *Mining Industry Indonesia* (MIND ID). PTFI menambang dan memproses bijih dan menghasilkan konsentrat yang mengandung tembaga, emas dan perak. Area operasi PTFI terbentang dari dataran rendah Timika hingga dataran tinggi Tembagapura.

Pada tahun 2021, pekerjaan tanah di MilePost 74 (MP74) mulai dilakukan sebagai fase awal pekerjaan konstruksi pembangunan gedung *Semi-autogenous Grinding Mill* (SAG Mill). SAG Mill merupakan pabrik untuk penghancuran dan penggilingan yang berfungsi untuk secara bertahap mengurangi ukuran material tertentu. Pekerjaan tanah ini dilakukan pada area dengan luas sekitar 5.000 meter persegi dan nilai elevasi sekitar 2.940 MSL hingga 2.954 MSL.

Selama proses pekerjaan tanah dilakukan, diperlukan pengambilan data topografi untuk pemantauan kemajuan pekerjaan. Kondisi topografi yang terjal serta kondisi cuaca yang cepat berubah membuat jeda waktu pengambilan data di lapangan menjadi terbatas. Selain itu, pekerjaan juga harus dilakukan dengan memperhatikan keselamatan dan kesehatan kerja. Terdapat dua metode yang dapat memenuhi kebutuhan

tersebut, yaitu akuisisi data menggunakan alat ukur TLS dan foto udara dengan UAV.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis untuk membandingkan pemodelan DTM dari data foto udara UAV dan data TLS. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil pemodelan DTM dari data foto udara UAV dan TLS serta efisiensi dan efektivitas manajemen survei yang dilakukan untuk mengakuisisi data tersebut. Analisa dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan metode pengambilan data dan perencanaan survei untuk pemantauan kemajuan pekerjaan dari proses pekerjaan tanah.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di area kerja PT Freeport Indonesia. Daerah operasi PTFI terbentang dari dataran rendah Timika hingga dataran tinggi Tembagapura, Papua. Data diambil pada area dataran tinggi di area Milepost 74. Secara geografis, lokasi penelitian terletak pada 137° 07' 11" BT dan 04° 05' 19" LS. Rentang ketinggian pada lokasi penelitian adalah 2.936 hingga 2.954 MSL.



Gambar 1. Lokasi di MP74 PTFI, Papua

Pengumpulan Data

Tahap awal penelitian ini merupakan pengumpulan data. Data yang dikumpulkan antara lain data *point cloud* permukaan tanah eksisting dengan alat ukur TLS, data *point*

cloud permukaan tanah eksisting dari hasil pengolahan data foto udara dengan UAV dan data desain permukaan tanah. Ketiga data tersebut digunakan untuk pemodelan TIN yang selanjutnya dapat dilakukan pengolahan data menyesuaikan kebutuhan penelitian. Pada penelitian ini, *filtering* dilakukan secara manual untuk mendapatkan DTM. *Filtering* dilakukan tanpa adanya proses sampling yang dapat mengurangi jumlah titik dan mengubah bentuk permukaan tanah eksisting.

Pengolahan Data

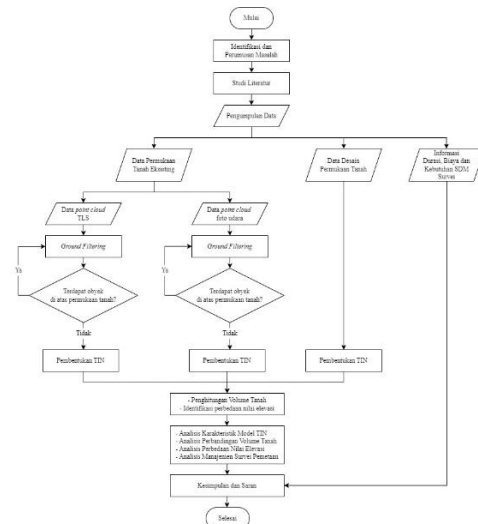
Tahap pengolahan data dilakukan setelah data berhasil dikumpulkan. Data *point cloud* selanjutnya perlu dilakukan beberapa pengolahan data untuk mendukung kebutuhan analisis penelitian. Tahap-tahap pengolahan data meliputi *filtering*, pemodelan TIN, penghitungan volume tanah, identifikasi nilai elevasi sampel dan uji statistik.

Analisis Hasil

Hasil dari pengolahan data selanjutnya dilakukan analisis sesuai rumusan masalah dan tujuan penelitian. Analisis hasil dilakukan terhadap hasil pengolahan data apa adanya. Analisis hasil meliputi analisis terhadap: perbandingan karakteristik TIN, perbandingan volume tanah, uji statistik perbedaan nilai elevasi dan manajemen survei pemetaan.

Kerangka Pemikiran

Pemantauan kemajuan pekerjaan dalam pekerjaan tanah dilakukan secara berkala. Karena itu, pekerjaan tersebut membutuhkan akuisisi data yang cepat dan akurat. Terdapat dua metode yang dianggap mampu memenuhi kebutuhan tersebut yaitu dengan alat ukur TLS dan UAV. Penelitian ini bermaksud membandingkan hasil kedua metode tersebut.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

1. Ground Filtering

Data *point cloud* dilakukan *filtering* terhadap obyek-obyek di atas permukaan tanah dan *noise*. Obyek di atas permukaan tanah dapat berupa bangunan, rak pipa, kendaraan, manusia, vegetasi dan fitur lainnya, sedangkan *noise* pada *point cloud* dapat berupa obyek yang bergerak, kabut, efek pantulan pada permukaan air dan *noise* lainnya.

Pada penelitian ini, *filtering* dilakukan secara manual untuk mendapatkan DTM. *Filtering* dilakukan tanpa adanya proses sampling yang dapat mengurangi jumlah titik dan mengubah bentuk permukaan tanah eksisting.

2. Pemodelan TIN

Setelah data *point cloud* dari TLS dan foto udara melalui proses *filtering* maka data yang diperoleh sudah berupa DTM. Data *point cloud* ini kemudian dimodelkan menjadi *Triangulated Irregular Network* (TIN) di mana antartitik pada *point cloud* dihubungkan satu sama lain terhadap titik terdekat untuk membentuk permukaan tanah. Proses ini dilakukan secara otomatis oleh perangkat lunak Autodesk Civil 3D pada menu *surface*. Pada *surface* tidak diberikan

breakline karena *point cloud* sudah menggambarkan permukaan tanah yang detail.

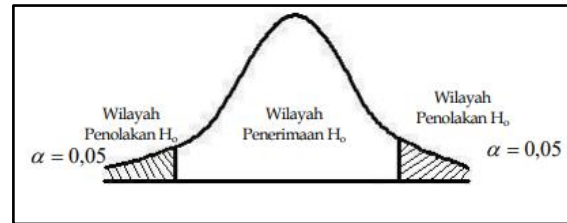
3. Penghitungan Volume Tanah

Penghitungan volume tanah dihitung secara komposit antara data permukaan tanah dengan data desain. Hasil pemodelan TIN data TLS dihitung terhadap data desain, demikian pula pada hasil pemodelan TIN data foto udara dihitung terhadap data desain.

4. Identifikasi Perbedaan Nilai Elevasi dan Uji Statistik

Sampel pada penelitian ini adalah nilai elevasi pada DTM data TLS dengan data foto udara pada posisi sama. Penentuan sampel untuk mengidentifikasi perbedaan nilai elevasi menggunakan *grid* dengan jarak X dan Y 5 meter. Uji statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah Uji t, untuk melihat suatu perbedaan pada suatu kelompok di mana uji ini menganalisis apakah dua kelompok tersebut memiliki perbedaan yang signifikan atau tidak. Sebelum dilakukan Uji t, data yang digunakan adalah data yang berdistribusi normal. Agar dapat mengetahui data tersebut memiliki data yang berdistribusi normal dilakukan uji normalitas. Penelitian ini menggunakan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov Test.

Uji t yang digunakan pada penelitian ini adalah Uji t berpasangan. Menurut Setiawan (2022), Uji t berpasangan merupakan salah satu metode pengujian hipotesis di mana data yang digunakan tidak bebas yang mempunyai karakter dengan adanya hubungan nilai pada setiap sampel yang sama (berpasangan). Karakteristik yang sering ditemui adalah satu individu (obyek penelitian) dikenai 2 buah perlakuan yang berbeda. Walaupun menggunakan individu yang sama, peneliti tetap memperoleh 2 macam data sampel.



Gambar 3. Wilayah Penerimaan H₀ (Bustomi dkk, 2014)

5. Analisis Perbandingan Karakteristik TIN

Hasil TIN dari data TLS dan foto udara memiliki karakteristik masing-masing, meliputi jumlah segitiga yang terbentuk, nilai elevasi tertinggi dan terendah dan luas permukaan TIN secara tiga dimensi (3D).

6. Analisis Perbandingan Volume Tanah

Nilai volume tanah hasil penghitungan data foto udara terhadap data desain (volume UAV) selanjutnya dibandingkan dengan nilai volume tanah hasil penghitungan data TLS terhadap data desain (volume TLS). Perbandingan akan dihitung dengan persentase seperti pada persamaan berikut:

$$\text{Persentase Perbedaan (\%)} = \frac{(\text{Volume UAV} - \text{Volume TLS})}{\text{Volume TLS}} \times 100\% \quad \dots(1)$$

Keterangan:

Persentase Perbedaan (%): nilai perbedaan hasil penghitungan dalam %

Volume UAV: volume dari data *point cloud* foto udara UAV

Volume TLS: volume dari data *point cloud* TLS

Nilai persentase yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan persentase toleransi yang mengacu pada spesifikasi ASTM yaitu sebesar 2,78% sehingga diketahui apakah perbedaan hasil penghitungan volume antara kedua data tersebut berada dalam toleransi ASTM atau tidak.

7. Analisis Uji Statistik Perbedaan Nilai Elevasi

Uji t berpasangan menggunakan rumusan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : tidak adanya perbedaan nilai elevasi antara model DTM data TLS dan DTM data foto udara

H_a : terdapat perbedaan nilai elevasi antara model DTM data TLS dan DTM data foto udara

8. Analisis Manajemen Survei Pemetaan

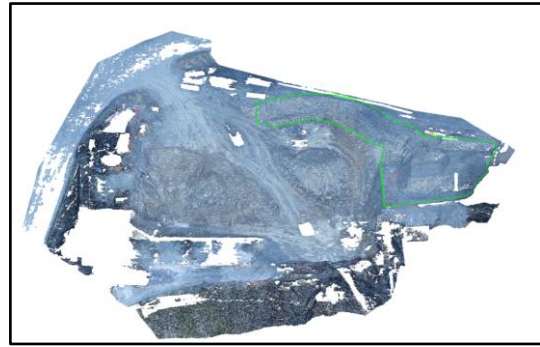
Pembahasan analisis manajemen perbandingan kedua metode pengambilan data bertujuan sebagai dasar pertimbangan dalam pengambilan data dengan menyesuaikan keadaan di lapangan. Informasi pengambilan data meliputi durasi, biaya dan kebutuhan sumber daya yang dibutuhkan. Sumber daya yang dibutuhkan meliputi sumber daya manusia, perangkat keras dan perangkat lunak. Keputusan dalam memilih metode pengambilan data yang tepat bermanfaat untuk mencapai pekerjaan yang efektif dan efisien.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil

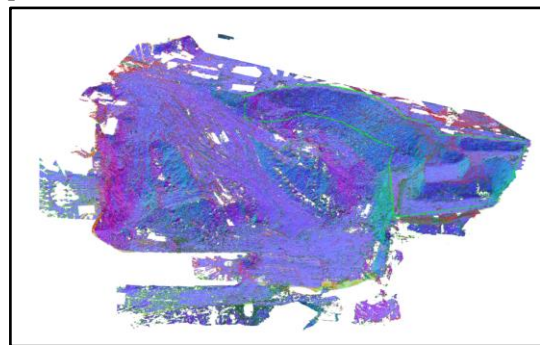
1. Filtering

Data *point cloud* yang dilakukan *filtering* adalah data dari foto udara. Terlihat pada Gambar 4, obyek-obyek seperti bangunan, kendaraan, rak pipa, pagar, *noise* dan obyek yang berada di atas permukaan tanah lainnya sudah dihapus setelah proses *filtering*. Proses *filtering* dilakukan dengan manual untuk mempertahankan bentuk dari permukaan tanah apa adanya dari akuisisi data foto udara.



Gambar 4. Hasil *filtering* data *point cloud* data foto udara

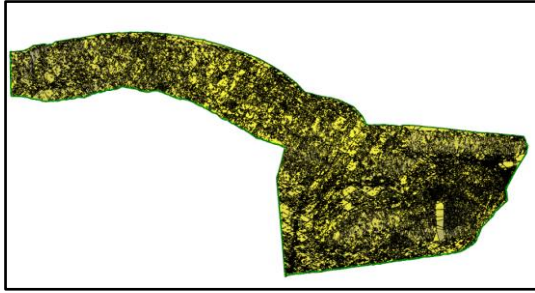
Pada data *point cloud* dari data TLS, tidak dilakukan *filtering* karena data yang diperoleh sudah merupakan hasil *filtering*. DTM *checking* tetap dilakukan untuk mengontrol kualitas data. Proses *filtering* dilakukan jika pada saat kontrol kualitas masih terdapat obyek-obyek di atas permukaan tanah.



Gambar 5. Hasil *filtering* data *point cloud* data TLS

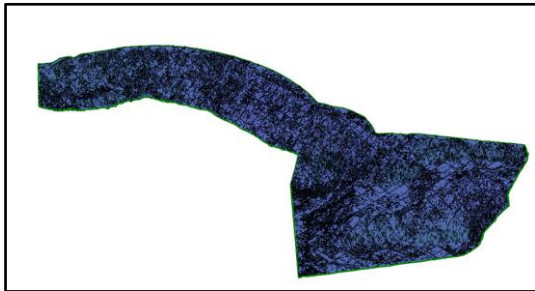
2. Pembentukan model TIN

TIN DTM dari data foto udara memiliki luas *boundary* 759,10 m². *Surface* pada data foto udara menggunakan *point cloud* sebanyak 182.449 titik dan membentuk 359.666 segitiga. Elevasi terendah adalah 2.943,843 meter, elevasi tertinggi adalah 2.952,055 meter dan rata-rata elevasi adalah 2.948,223 meter. Dengan terbentuknya TIN, maka luas permukaan tiga dimensi diketahui seluas 1.082,18 m². Hasil TIN DTM dari data foto udara dapat dilihat pada Gambar 6.



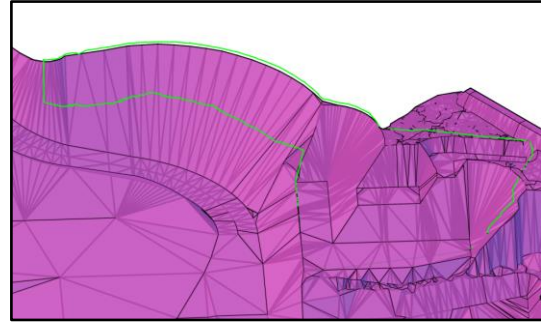
Gambar 6. Hasil TIN DTM foto udara

Batasan area pada TIN DTM data TLS memiliki posisi dan luas yang sama yaitu 759,10 m². *Point cloud* yang digunakan untuk membentuk *surface* sebanyak 160.121 titik dan menghasilkan 315.427 segitiga. Elevasi terendah adalah 2.943,868 meter, elevasi tertinggi adalah 2.952,297 meter dan rata-rata elevasi adalah 2.948,275 meter. Luas permukaan tiga dimensi yang dibentuk adalah 1.077,92 m². Hasil TIN DTM dari data TLS ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil TIN DTM TLS

Desain permukaan tanah dimodelkan menjadi *surface*. *Boundary* pada desain lebih besar dari daerah yang akan dilakukan penghitungan kajian perbandingan penghitungan volume, luas wilayah desain adalah 9.196,50 m². TIN DTM pada desain memiliki 20.148 segitiga. Berikut merupakan desain yang sudah berbentuk TIN ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. TIN Desain Pekerjaan Tanah

3. Penghitungan Volume Tanah

Lokasi penelitian merupakan area pekerjaan tanah seperti pada penghitungan sebelumnya dengan total luas area sebesar 759,10 m². Hasil penghitungan volume tanah dari keseluruhan area dapat dilihat pada Tabel 1.

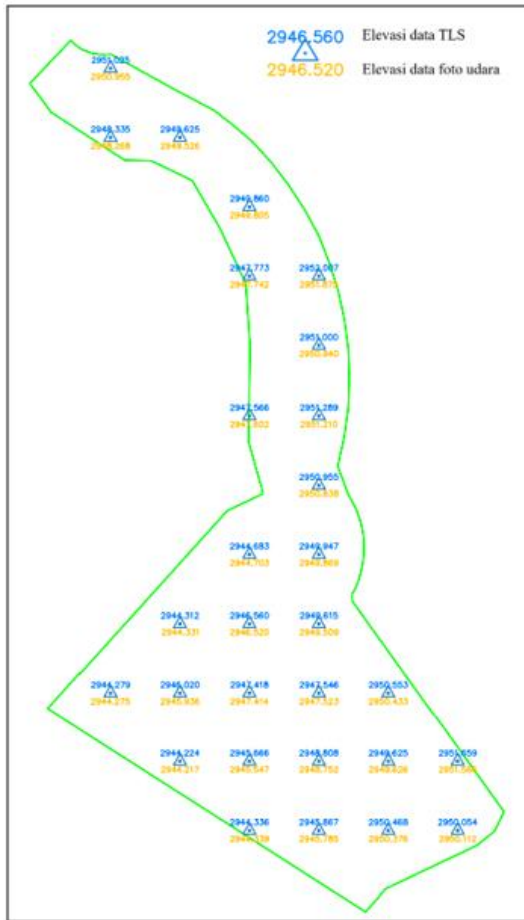
Tabel 1. Hasil Penghitungan Volume

Metode	Luas (m ²)	Hasil Penghitungan Volume Tanah			
		Volume (m ³)			
		Galian	Timbunan	Net (Galian)	Selisih
TLS	759,09	498,48	148,14	350,34	
Foto Udara	759,09	468,54	157,46	311,08	39,26

Volume tanah pada data TLS terhadap desain adalah galian sebanyak 350,34 m³, sedangkan volume tanah pada data foto udara terhadap desain adalah galian sebanyak 311,08 m³. Perbedaan volume antara data TLS dan data foto udara pada area ini adalah 39,26 m³.

4. Uji Statistik

Sampel pada penelitian ini adalah nilai elevasi pada DTM hasil dari data TLS dan data foto udara pada posisi sama. Penentuan titik sampel menggunakan *grid* dengan jarak X dan Y masing-masing 5 meter. Terdapat 29 titik sampel yang dihasilkan di dalam *boundary* penelitian ini. Cuplikan persebaran titik sampel dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Sebaran Titik Sampel

Setelah data diketahui terdistribusi normal, maka uji statistik dapat dilakukan. Uji statistik yang dilakukan adalah Uji t pada perbedaan nilai elevasi antara data TLS dan data foto udara. Pada posisi yang sama, nilai elevasi dari kedua metode akuisisi memiliki perbedaan. H_0 pada penelitian ini adalah tidak adanya perbedaan nilai elevasi antara model DTM data TLS dan DTM data foto udara. Uji t dilakukan dengan tingkat kepercayaan 95% atau $\alpha = 0,05$ dan derajat kebebasan (f) = 28. Pada tabel t dapat diperoleh daerah kritis atau nilai $t_{f,\alpha/2}$ adalah 2,048. Berdasarkan persamaan t-hitung maka diperoleh nilai t-hitung untuk nilai perbedaan elevasi adalah 5,277.

Analisis

1. Perbandingan Karakteristik TIN

TIN merupakan bentuk dari model tiga dimensi yang dihasilkan dari *filtering* terhadap DTM *point cloud*. Pembahasan mengenai karakteristik TIN akan berkaitan dengan membandingkan TIN yang terbentuk oleh data TLS dan TIN yang terbentuk oleh data foto udara. Secara lebih rinci, perbandingan antara kedua TIN dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil TIN

	TLS	Foto Udara	Perbedaan
Jumlah titik	160.121	182.449	-22.328
Elevasi minimum (m)	2.943,868	2.943,843	0,025
Elevasi maksimum (m)	2.952,297	2.952,055	0,242
Rata-rata elevasi (m)	2.948,275	2.948,223	0,052
Luas dua dimensi (m ²)	759,100	759,100	0
Luas tiga dimensi (m ²)	1077,920	1082,180	-4,260
Jumlah segitiga	315.427	359.666	-44.239
Luas segitiga maksimal (m ²)	0,090	0,330	-0,240
Panjang segitiga maksimal (m)	0,593	1,135	-0,542

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa jumlah titik dan segitiga data foto udara lebih banyak dari data TLS. Kedua TIN mempunyai luas permukaan dua dimensi yang sama yaitu sebesar 759,10 m² karena menggunakan batas yang sama. Perbedaan rata-rata elevasi adalah 0,052 meter lebih tinggi data TLS dibandingkan dengan data foto udara. Meskipun jumlah titik dan segitiga pada data foto udara lebih banyak dibandingkan data TLS, namun dilihat dari luasan dan panjang segitiga yang terbentuk, segitiga pada data TLS lebih kecil dan pendek dibandingkan dengan data foto udara.

2. Perbandingan Volume Tanah

Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh ASTM dalam perhitungan volume, persentase perbedaan antara data referensi dan data terukur tidak diperbolehkan lebih dari 2,78%. Hasil perbandingan penghitungan volume tanah pada penelitian ini adalah 11,2% sehingga memiliki nilai lebih besar dari toleransi yang ditetapkan.

3. Uji Statistik Perbedaan Nilai Elevasi

Pengambilan keputusan pada Uji t berpasangan yang dilakukan pada perbedaan nilai elevasi dari kedua metode akuisisi data, adalah sebagai berikut:

1. Jika $t\text{-hitung} > \pm t\text{-table}$, maka H_0 ditolak
2. Jika $t\text{-hitung} < \pm t\text{-table}$, maka H_0 diterima

Pada penelitian ini, diperoleh hasil $t\text{-hitung}$ (5,277) $> t\text{-table}$ (2,048). Dengan demikian, $t\text{-hitung}$ berada di luar titik kritis atau daerah penerimaan.

4. Manajemen Survei Pemetaan

Analisis manajemen survei pemetaan berisi tentang informasi dan pembahasan mengenai kedua metode pengambilan data pada pekerjaan tanah. Perbandingan ini meliputi sumber daya yang dibutuhkan seperti, harga unit, durasi pengambilan data, sumber daya manusia, perangkat lunak, perangkat keras dan durasi pengolahan data. Pemilihan metode kerja yang tepat untuk kebutuhan pengambilan data pada pekerjaan tanah dibutuhkan untuk mencapai target pekerjaan yang optimal.

Tabel 3. Perbandingan Sumber Daya yang Dibutuhkan

	TLS	Foto Udara
Merk	FARO Focus S350	DJI Phantom 4 Pro RTK
Harga Unit	Rp 1.000.000.000 - Rp 1.300.000.000	Rp 90.000.000 - Rp 110.000.000
Durasi Pengambilan Data	2 jam	20 menit
Surveyor	3 orang	2 orang
Software	Berbayar dan berlisensi	Berbayar dan berlisensi
Standar CPU Pengolah Data	RAM 32-64 GB Processor Core i7	RAM 16-32 GB Processor Core i7
Durasi Pengolahan Data	4 jam	4 jam

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan kajian perbandingan yang telah dilakukan pada penelitian ini, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Proses *filtering* untuk mendapatkan data DTM dilakukan secara manual dan tanpa *sampling* mempertahankan bentuk permukaan tanah yang kompleks. Terdapat perbedaan sebesar 5,2 sentimeter lebih tinggi rata-rata elevasi data TLS dibandingkan dengan rata-rata elevasi data foto udara.
2. Berdasarkan toleransi pengukuran volume oleh ASTM, persentase perbedaan antara data referensi dan data terukur tidak diperbolehkan lebih dari 2,78%. Nilai perbandingan volume tanah dalam persentase antara data TLS dan data foto udara adalah sebesar 11,2%. Hal ini menunjukkan bahwa data foto udara pada penelitian ini tidak masuk toleransi dari ASTM.
3. Pada uji statistik, Uji t berpasangan yang telah dilakukan pada perbandingan nilai elevasi pada sampel DTM dari data TLS dan foto udara berada di luar titik kritis, di mana $t\text{-hitung}$ (5,277) $> t\text{-table}$ (2,048). Hal ini menunjukkan elevasi pada pemodelan DTM data foto udara memiliki perbedaan yang signifikan terhadap DTM data TLS. Berdasarkan hasil tersebut, maka data foto udara pada penelitian ini untuk pemodelan TIN ditolak.
4. Akuisisi data dengan UAV memiliki biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan TLS. Sumber daya manusia dan waktu pekerjaan untuk akuisisi data dengan UAV juga lebih sedikit dan singkat.

Saran

Berdasarkan kajian perbandingan yang telah dilaksanakan, terdapat beberapa saran terkait kajian perbandingan volume tanah antara data TLS dan data foto udara, di antaranya:

1. Diperlukan studi lebih lanjut mengenai pengambilan data foto udara dengan metode yang berbeda dengan memperhatikan faktor seperti ketinggian, arah terbang dan resolusi kamera.

2. Pengambilan data pada pekerjaan tanah disarankan memiliki luas wilayah yang lebih besar. Hal ini bertujuan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai efisiensi dan efektivitas manajemen akuisisi data dengan foto udara UAV terhadap akuisisi data dengan TLS.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A. F. (2018). *Studi Pengukuran Volumetrik Timbunan dengan Menggunakan Instrumen Terrestrial Laser Scanner, Total Station, dan GPS RTK*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- ASTM. (2002). *Standard Practice for Tonnage Calculation of Coal in a Stockpile*, D 6542, <http://www.astm.org/> (Akses 25 November 2022).
- Barus, B. R., Prasetyo, Y., dan Hani'ah. (2017). *Analisis Akurasi Pemodelan 3D Menggunakan Metode Close Range Photogrammetry (CRP), Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan Terrestrial Laser Scanner (TLS)*. Jurnal Geodesi UNDIP, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Bustami dan Abdullah, D. (2014). *Statistika; Terapannya pada Bidang Informatika*. Graha Ilmu, Yogyakarta
- Faig, W. (1976) , Independent Model Triangulation with Auxiliary Vertical Control , Presented Paper, 13th ISP Congress, Hebsinki. Int. Archives, Vol . 3(21) 025
- Fan, L., and Atkinson, P. M., (2015). *Accuracy of Digital Elevation Models Derived From Terrestrial Laser Scanning Data*. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE. 12. 1923-1927. 10.1109/LGRS.2015.2438394.
- Figuerido, L.D.S.E.S., and Reolon, P. F. (2016). *Phototriangulation*. The Rio de Janeiro State University – UERJ, Laboratory of Photogrammetry and Remote Sensing, Rio de Janeiro.
- Ghilani, C.D. and Wolf, P.R. (2006) *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*. 4th Edition, John Wiley & Sons, Hoboken.
- Gultom, R. I., Rassarandi, F. D., dan Siagian, G. P. (2020). *Perhitungan Volume Galian dan Timbunan Dengan Metode Cut & Fill Pada Pembangunan Jalan dan Area Parkir Rusun 2 Kawasan Industrial Panbil Muka Kuning*. Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV), 6(1), 702-709, Banyuwangi.
- Jacobs, G. (2005). *High-Definition Surveying : 3D Laser Scanning Use in Building and Architectural*. Professional Surveyor Magazine.
- Kementerian PUPR. (2016). *Diklat Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan dan Jembatan: Spesifikasi Pekerjaan Tanah 2016*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung.
- Maharsayanto, P. Y., Kahar, S. dan Sasmito, B. (2013). *Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Permodelan Tampak Muka Bangunan (Studi Kasus: Gedung PT. Almega Geosystems Kelapa Gading-Jakarta)*, 1-13. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Marinov, B. (2003). Lecture 10 : *Picture Triangulation*. The University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Bulgaria
- Maulidin, R.F. (2016). *Studi Penentuan Volume dengan Total Station dan Terrestrial Laser Scanner*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Merrit, F. S., Loftin, M. K., and Ricketts, J. T. (2004). *Standard Handbook for Civil Engineers, Fifth Edition*. McGraw-Hill Book Company, United States of America
- Mohd, W., Naim, W. M., Abdullah, M. A., Hashim. S. (2014). *Evaluation of Vertical Accuracy of Digital Elevation Models Generated from Different Sources: Case Study of Ampang and Hulu Langat, Malaysia*. FIG Congress, Malaysia.
- Paine, D. P. (1981). *Aerial Photography and Image Interpretation for Resource Management*. Wiley and Sons, New York.
- Purwanto, T.H. (tanpa tahun) *Digital Terrain Modeling*. [Presentasi PowerPoint]. Diakses dari <https://adoc.pub/oleh-dr-taufik-hery-purwanto-msi.html>
- Quintero, M. S., van Genechten, B., de Bruyne, M., Poelman, R., Hankar, M., Barnes, S., Caner, H., Budei, L., Heine, E., Reiner, H., Garcia, J. L. L., and Taronger, J. M. B. (2008). *3D Risk Mapping – Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning*. Vlaams Leonardo da Vinci Agentschap, Europe.
- Reshetyuk, Y. (2009). *Terrestrial Laser Scanning, Error Source, Self - calibration, and Direct Georeferencing*. VDM Verlag Dr. Muller, Germany.
- Robby, F.R., Sukmono, A., dan Bashit, N. (2020). *Pengaruh Kelas Kelerengan Tanah Terhadap Persentase Selisih Perhitungan Volume Data Terrestrial Laser Scanner Dan Foto Udara Unmanned Aerial Vehicle*. Jurnal Geodesi Undip, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Rosida, A., Kahar, S., dan Awaluddin, M. (2013). *Perbandingan Ketelitian Perhitungan Volume Galian Menggunakan Metode Cross Section dan Aplikasi Lain (Studi Kasus: Bendungan Pandanduri Lotim)*. Jurnal Geodesi UNDIP, 2(3). Universitas Diponegoro, Semarang.
- Salsabila, R., Rahardjo, U., dan Andaru, R. (2017). *Perbandingan Perhitungan Volume Stockpile Batu Bara Menggunakan Data Terrestrial Laser Scanner (TLS) dan Data Foto Udara Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Setiawan, A. (2022). *Uji t untuk Sampel Berpasangan*. Diakses dari <https://www.smartstat.info/materi/statistika/uji-t-student/uji-t-berpasangan.html>
- Staiger, R. (2003). *Terrestrial Laser Scanning–Technology, System and Application*, FIG Regional Conference Proceedings, Morocco.
- Teguh, R. dan Sudiadi. (2015). *Manajemen Proyek*. Palembang. Program Studi Sistem Informasi Sekolah Tinggi Manajemen Informatika GI MDP.
- Tempfli, K. (1991). *DTM and Differential Modeling. Prociding ISPRS and OEEPE Joint Workshop “Updating Digital Data by Photogrammetric Methods”*. Oxfords; OEEPE Publication No 17.
- Soeta’at. (2005). *Fotogrametri Analitik*. Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wahyono, E. B., dan Suyudi, B. (2017). *Fotogrametri Terapan*. Kementerian ATR/BPN, Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional, Yogyakarta.