

PERBANDINGAN TEKNOLOGI TERRESTRIAL LASER SCANNING (TLS) DENGAN PESAWAT TANPA PEMANDU (UAV) BAGI TUJUAN JURUUKUR BANGUNAN

*Comparison of Terrestrial Laser Scanning (TLS) and
Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technologies for Building Surveyor*

Sr. Ahmad Azmi bin Hashim, Sr. Faatihah binti Mohd Jani, Sr. Nor Fadzillah bt. Haron,
Sr. Hj. Md. Issa bin Hj. Abdul Hai, Mohd. Yusri bin Jono,
Noor Alifah binti Abdul Hamid, Sr. Fazili Anuar bin Md Yusuf dan Muhamad Husni bin Othman

Bahagian Ukur dan Pemetaan, Institut Tanah dan Ukur Negara (INSTUN)
Behrang Ulu, 35950 Tanjong Malim, Perak Darul Ridzuan

e-mel: fazili@instun.gov.my

Abstrak

Projek penyelidikan ini adalah bertujuan membuat perbandingan antara dua kaedah yang berbeza bagi pengukuran bangunan iaitu menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* dan *Terrestrial Laser Scanning (TLS)*. Proses untuk mendapatkan hasil perbandingan tersebut metodologi yang digunakan dalam kajian ini adalah bermula dengan rangka kerja perancangan ini termasuklah perancangan kawasan kerja, proses kutipan data dilapangan menggunakan aplikasi seperti Pix4D Capture serta pemprosesan data dengan menggunakan perisian *Faro Scene* dan *Pix4D Mapper*. Di peringkat perancangan kerja beberapa elemen penting seperti kaedah kutipan data dengan menggunakan peralatan yang bersesuaian seperti *receiver GNSS* dan UAV akan menghasilkan data yang boleh dibuat perbandingan secara data analisis. Bagi mendapatkan hasil perbandingan kaedah ini, analisis data dibuat di akhir kajian ini yang mana hasilnya dapat dilihat dengan perbezaan yang ketara daripada dua kaedah kutipan data yang berbeza. Penggunaan kaedah TLS ini dapat dilihat amat sesuai untuk di implikasikan kepada kaedah ukur bangunan.

Kata kunci: *Unmanned Aerial Vehicle, Terrestrial Laser Scanning, Perbandingan Dua Kaedah, Point Cloud, Ukur Bangunan*

Abstract

This research project aims to make a comparison between two different methods of measuring buildings: using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Terrestrial Laser Scanning (TLS). The process to obtain the comparison results in this study starts with the planning framework, including the design of the work area, data collection in the field using applications like Pix4D Capture, and data processing using software like Faro Scene and Pix4D Mapper. In the work planning stage, crucial elements such as data collection methods using appropriate equipment like GNSS receivers and UAV will produce comparable data for analysis. To obtain the comparison results, data analysis is conducted at the end of this study, revealing significant differences between the two data collection methods. The use of TLS method appears to be highly suitable for implementing building measurement techniques.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Terrestrial Laser Scanning, Comparison of Two Methods, Point Cloud, Building Measurement

PENGENALAN

Latar Belakang

Bangunan-bangunan di INSTUN telah melalui pelbagai penambahbaikan sepanjang penubuhannya. Kajian penyelidikan ini memberi fokus kepada merumuskan kaedah terbaik bagi pengukuran bangunan di INSTUN. INSTUN mempunyai dua(2) teknologi terkini yang boleh membantu dalam membuat pengukuran bangunan.

Teknologi tersebut adalah *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* dan *Terrestrial Laser Scanner(TLS)*. UAS yang dicadang akan digunakan adalah DJI Phantom 4 manakala TLS yang akan digunakan adalah *Faro Focus M70*. Kedua-dua alat ukur ini dapat memberikan data *point cloud*, ortofoto dan *Digital Terrain Model (DTM)*.

Melalui data yang diperoleh dari kedua-dua alat ini, ketepatan alat-alat tersebut dapat dibandingkan seterusnya kaedah terbaik bagi pengukuran bangunan dapat dirumuskan. Antara data analisa yang boleh dibuat perbandingan adalah ketepatan data *point cloud* dan ketepatan *Root Mean Square Error (RMSE)*.

Kawasan kajian adalah di sekitar kawasan Bangunan MyRTKNet (*Mass Station*) INSTUN, Behrang.

Objektif

Membuat perbandingan antara dua kaedah yang berbeza iaitu menggunakan *Unmanned Aircraft System (UAS)* dan *Terrestrial Laser Scanner (TLS)* bagi pengukuran bangunan dari aspek kejutuan.

Penyataan Masalah

- i. Ketepatan kaedah sedia ada agak tidak relevan lagi digunakan bagi memastikan proses reka bentuk sesebuah bangunan itu menepati standard perundangan sedia ada, fungsi bangunan dan pemantauan proses pembinaan berjalan seperti yang dirancang dan berpandukan kepada spesifikasi yang dipersetujui (Irwan, Harian Metro Mac 202).
- ii. Medium bagi mendapatkan satu nilai tentukur sesebuah bangunan yang telah disiapkan masih belum ada selain daripada penggunaan kaedah sedia ada iaitu penggunaan pembaris aras.

Kawasan Kajian

Kawasan kajian adalah di sekitar Bangunan MyRTKNet (*Mass Station*) INSTUN, Behrang. Bangunan MyRTKNet (*Mass Station*) di INSTUN merupakan sebuah bangunan yang menempatkan peralatan MyRTKNet (*Mass Station*) bagi tujuan pengukuran GNSS secara masa hakiki (*real time*).



Gambar 1: MyRTKNet (*Mass Station*)
Sumber: Dokumen peribadi

1.5 PERALATAN UKUR DAN PERISIAN PEMROSESAN



Gambar 2: DJI Phantom 4Pro
Sumber: Dokumen peribadi



Gambar 3: Trimble R10 GNSS Receiver
Sumber: <https://allterracentral.com/>



Gambar 4: Faro Focus 3D M70
Sumber: <https://www.g2metric.co.il/product/faro-laser-scanner-focus-m70/>



Gambar 5: Sphere sebagai *target*

Sumber: Dokumen peribadi

Jadual 1: Peralatan yang digunakan untuk kutipan data di lapangan

Sumber: Dokumen peribadi

PERALATAN	KEGUNAAN
Unmanned Aerial Vehicle (UAV), DJI Phantom 4 Pro	Mampu mengambil data dengan pantas pada ketinggian maksimum 500m dari aras bumi
GNSS Trimble R10	Rujukan navigasi dan koordinat yang tepat.
Terrestrial Laser Scanning (FARO Focus 3D M70)	Mengimbas data bagi menghasilkan data 3D model dan data <i>point cloud</i>

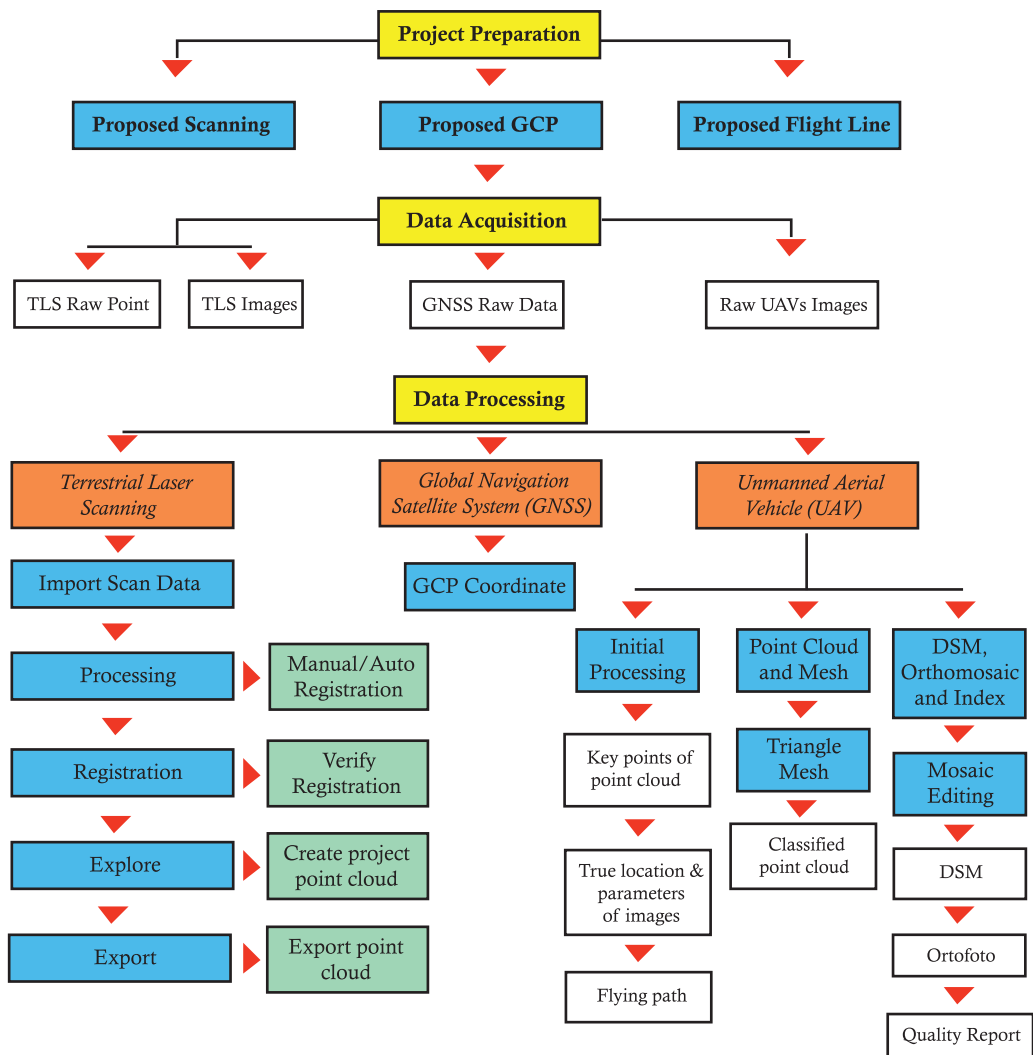
Jadual 2: Perisian/ aplikasi pengambilan dan pemprosesan data

Sumber: Dokumen peribadi

Perisian/ Aplikasi	Keterangan	Gambar
DJI Go 4	Perisian untuk merekod imej dan merakam video semasa penerbangan UAV.	
Pix4Dcapture	Perisian perancangan misi penerbangan UAV untuk mengambil imej udara secara automasi.	
Pix4Dmapper	Perisian fotogrametri yang berupaya mencantum imej dan menghasilkan produk seperti ortofoto, 3D mesh model, Digital Terrain Model(DTM), Digital Surface Model(DSM).	
SCENE	Perisian bagi memproses data terrestrial yang berupaya memproses point cloud dan imej	

METODOLOGI

Rajah 2



Peringkat Metodologi

Dalam menjalankan kajian ini, satu carta alir bagi merangka pelaksanaan gerak kerja kajian yang dilakukan. Rajah 2 memaparkan carta alir kajian dijalankan. Di peringkat permulaan beberapa elemen penting telah dikenal pasti bagi melancarkan proses kajian yang dijalankan. Proses tersebut terbahagi kepada tiga bahagian iaitu *Project Preparation*, *Data Acquisition* dan *Data Processing*, untuk itu ketiga-tiga peringkat akan diterangkan dengan lebih lanjut.

i. *Project Preparation*

Di peringkat ini, beberapa perkara tugas perlu dilakukan terlebih dahulu ini adalah seperti membuat perancangan *proposed scanning*, *ground control point* dan *proposed flight line*. Bagi perancangan scanning, lokasi untuk penentuan *reference object* di kenalpasti supaya hasil kutipan data mencukupi. Ini terpakai kepada perancangan *ground control point* dan juga *flight line*. Beza pada *flight line* menggunakan perisian Pix4D Capture.

ii. *Data Acquisition*

Bagi peringkat kutipan data ianya terbahagi kepada tiga kerja lapangan yang berbeza. Bagi kerja lapangan yang pertama iaitu *GNSS Raw Data*, penggunaan alat *receiver GNSS* bagi mendapatkan nilai koordinat dengan cerapan kaedah *real time kinematic* untuk beberapa *ground control point* yang akan digunakan untuk tujuan pemprosesan data.

Kerja lapangan yang kedua adalah kutipan data bagi *TLS RAW point* dan *TLS image*. Kutipan data menggunakan alat *Faro M70* adalah bagi mewujudkan *point cloud* terhadap objek kajian yang dijalankan. Setiap stesen kutipan data memerlukan masa sekurang-kurangnya lapan (8) hingga empat belas (14) minit. Bagi peralatan *Faro M70* ini, *image panoramic* akan diambil dan ini secara tidak langsung akan membantu dalam penghasilan model 3 dimensi.

Kerja lapangan yang ketiga adalah kutipan data *aerial photo* menggunakan *flight line* yang telah dirancang. Di peringkat ini perlu dititik beratkan pertindihan *image* yang dikenali sebagai konsep *front overlap* dan *side overlap* ini bagi menjamin kualiti data yang akan terhasil. Semasa penerbangan GCP perlulah kelihatan ini secara tidak langsung bagi menjaga hasil *orthophoto*.

iii. Data Processing

Pada peringkat terakhir bagi penghasilan data adalah memproses ketiga-tiga hasil kutipan data di lapangan. Disini penggunaan perisian-perisian adalah menjadi satu perkara penting bagi menghasilkan data yang berkualiti. Ketiga-tiga data akan digabungkan bagi membuat analisis kajian ini.

PENGUMPULAN DATA DI LAPANGAN

Titik Kawal Bumi

GNSS Trimble R10 telah digunakan untuk mencerap titik kawal bumi (GCP). Sebanyak 3 titik kawal bumi telah dicerap bagi rujukan koordinat yang tetap.



Gambar 6: Penggunaan peralatan GNSS di lapangan bagi penyediaan titik kawalan bumi (GCP)

Sumber: Dokumen peribadi

Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Dalam kajian ini, data UAV diambil dengan menggunakan aplikasi DJI GO 4 dan *Pix4D Capture*. Aplikasi DJI GO 4 digunakan untuk menyemak ketinggian sebenar objek yang berdekatan seperti pokok, tiang lampu supaya objek tersebut tidak menjadi halangan kepada UAV ketika pengambilan data dijalankan. Aplikasi *Pix4D Capture* digunakan untuk mengambil imej secara automasi.

Tiga (3) titik kawal bumi telah didirikan di sekitar bangunan MyRTKNet (*Mass Station*) INSTUN, Behrang dan koordinatnya dicerap dengan menggunakan Alat GPS trimble R10. Membuat perancangan misi penerbangan mengikut kawasan yang dirancang iaitu di sekitar bangunan MyRTKNet (*Mass Station*) dengan menggunakan perisian DJI Go dan *Pix4D Capture*. Alat UAV yang digunakan adalah DJI Phantom 4.



Gambar 7: 7 Misi penerbangan UAV dengan menggunakan aplikasi Pix4Dcapture menggunakan double grid Petak merah adalah kawasan kerja, manakala garisan grid adalah laluan penerbangan UAV.

Sumber: Aplikasi *Pix4D Capture*

Terrestrial Laser Scanner (TLS)

Alat Faro Focus M70 telah digunakan bagi tujuan pengambilan data *point cloud*. Terdapat 9 stesen telah digunakan bagi tujuan pengimbasan di luar bangunan manakala 1 stesen bagi pengimbasan di dalam bangunan.



Gambar 8: Diri siap Faro Focus M70 di lapangan
Sumber: Dokumen pribadi



Gambar 9: TLS dan target sphere diri siap di lapangan
Sumber: Perisian Scene

ANALISIS

Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Data UAV diproses menggunakan perisian Pix4D Mapper dan memperoleh hasil akhir iaitu *point cloud* dan koordinat *check point* (*cp*) yang sama akan ditanda hasil pemprosesan *data terrestrial laser scanner* (*TLS*) di dalam perisian *SCENE*. Analisa kejituan kajian ini adalah merujuk kepada laporan kualiti (*Quality Report*) yang dijana oleh perisian Pix4D.

Kualiti

Kualiti hasil dapat dijamin dengan kejutuan data yang tinggi. Analisis telah dijalankan untuk memastikan data yang diambil adalah berkejutuan tinggi.

Summary

Project	Mapping Kajian IKA2021_Final	
Processed	2022-01-07 05:31:11	
Camera Model Name(s)	FC300_3.6_4000x3000 (RGB)	
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.26 cm / 0.89 in	
Area Covered	0.071 km ² / 7.0871 ha / 0.03 sq. mi. / 17.5218 acres	

Quality Check

Images	median of 35532 keypoints per image	✓
Dataset	117 out of 117 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	2.94% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 15703.4 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 3 GCPs (3/30), mean RMS error = 0.038 m	✓

Gambar 10: Ringkasan dan semakan kualiti untuk data UAV yang diproses.
Sumber: Perisian *Pix4 Dmapper*.

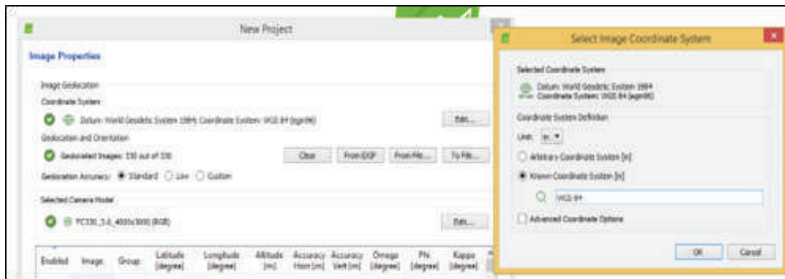
Gambar 10 menunjukkan bahawa *Ground Sampling Distance (GSD)* kajian ini secara puratanya adalah 2.26 cm. Ini bermakna 1 pixel pada imej udara adalah bersamaan dengan 2.26 cm di atas bumi. Kawasan yang diliputi dalam data set UAV ini adalah 7.0871 hektar. Selain itu, rajah di atas juga menunjukkan bahawa titik kawalan tanah (GCP) mempunyai kejutuan yang tinggi (RMS error = 38mm). Untuk kajian ini, 3 GCP telah didirikan di sekeliling bangunan.

Kaedah Pemprosesan Data

Data UAV yang diambil telah diproses dengan menggunakan Pix4D Capture dan boleh diringkaskan kepada 2 langkah utama, iaitu Pemprosesan Awal (*Initial Processing*) dan Awan Titik & Mesh (*Point Cloud & Mesh*).

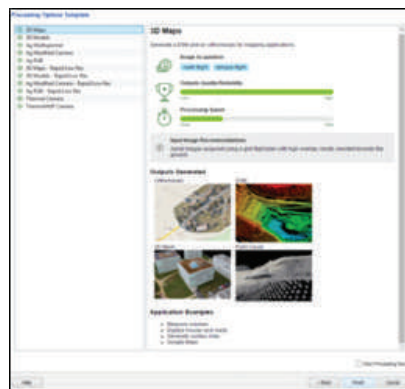
Sebelum langkah pemprosesan awal di mulakan, data UAV yang dalam format *jpeg telah dimasukkan ke dalam perisian dengan tetapan seperti berikut:

- Datum: World Geodetic System 1984; Sistem Koordinat : WGS84(egm96); unit : meter (m).*
- Processing Option: 3D Maps.*



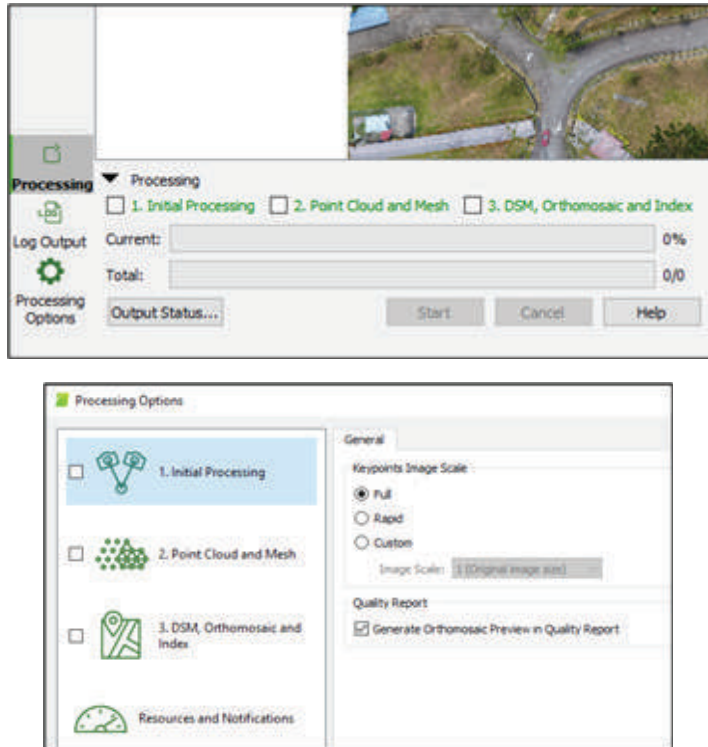
Gambar 11: Pemilihan sistem koordinat imej.

Sumber: Perisian *Pix4Dmapper*.



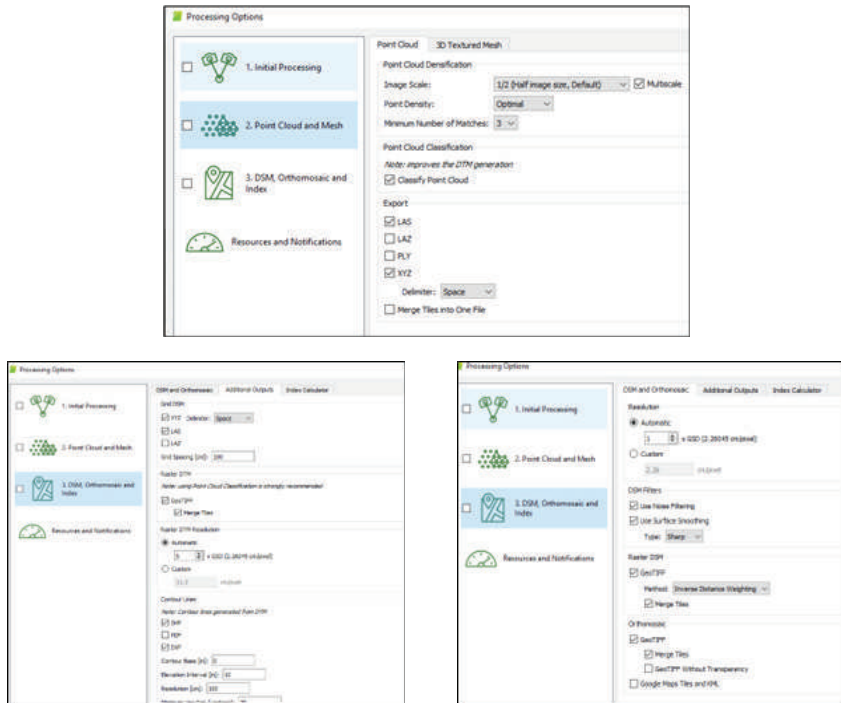
Gambar 12: Tetapan untuk Pemprosesan Data dalam Perisian *Pix4Dmapper*
di mana 3D Maps telah dipilih untuk tujuan penghasilan data *point cloud* dan *ortofoto*

Sumber: Perisian *Pix4Dmapper*



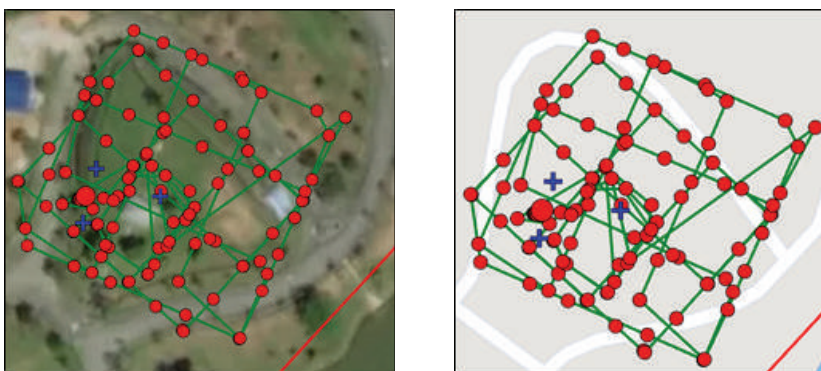
Gambar 10: Tiga (3) langkah pemrosesan yang dilengkapkan
iaitu *initial processing*, *point cloud and mesh* serta output: *DSM*, *orthomosaic*
Sumber: Perisian *Pix4Dmapper*.

- a) *Keypoints extraction*: Ciri-ciri khusus dalam imej dikenalpasti dan diekstraknya sebagai *keypoints*.
- b) *Keypoints matching*: Padankan imej yang mempunyai *keypoint* yang sama.
- c) *Camera model optimization*: Kalibrasi dijalankan untuk parameter kamera (dalaman & luaran).



Gambar 14: Setting di dalam pemrosesan kedua iaitu *point cloud* and *mesh* di mana terdapat *option* untuk *classify point cloud* dan format yang boleh di *export*.

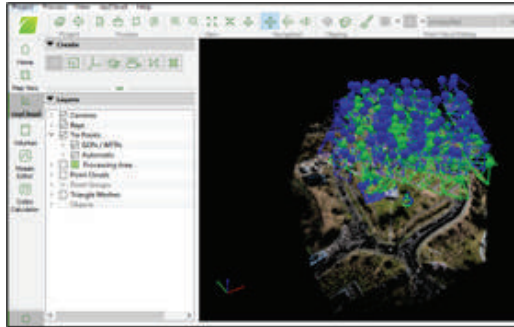
Sumber: Perisian *Pix4Dmapper*



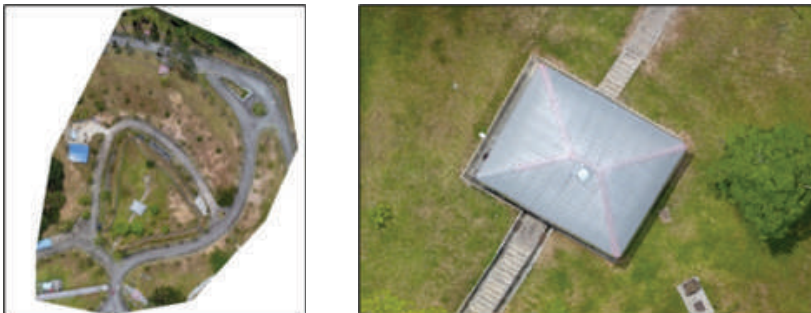
Gambar 15: Posisi gambar udara diambil.

Sumber: Perisian *Pix4Dmapper*

Geolocation GPS/GCP: Geolokasi model dengan berdasarkan maklumat geospasial yang diberi. *Automatic Tie Points* akan dijanakan oleh langkah pemprosesan awal dan ini adalah asas kepada langkah seterusnya. GCP akan di masukkan apabila langkah pemprosesan pertama iaitu initial processing selesai dijalankan.



Gambar 16: Imej yang telah diperoleh melalui UAV dan *point cloud* yang telah diekstrak melalui imej.
Sumber: Perisian *Pix4Dmapper*



Gambar 17: Imej ortofoto yang telah melalui proses mosaik.
Sumber: Perisian *Pix4Dmapper*



Gambar 18: Integrasi mesh dan *point cloud* menghasilkan *colorize* imej.
Sumber: Perisian *Pix4Dmapper*

Terrestrial Laser Scanner (TLS)

Pemrosesan data TLS melibatkan beberapa langkah iaitu *create project*, *import scans*, *processing*, *registration*, *explore* dan *export*. Data diproses di dalam perisian *SCENE*.



Gambar 19: Hasil akhir *registration* yang dilakukan iaitu 5.2mm dan jumlah *point cloud* iaitu jutaan *point cloud*.

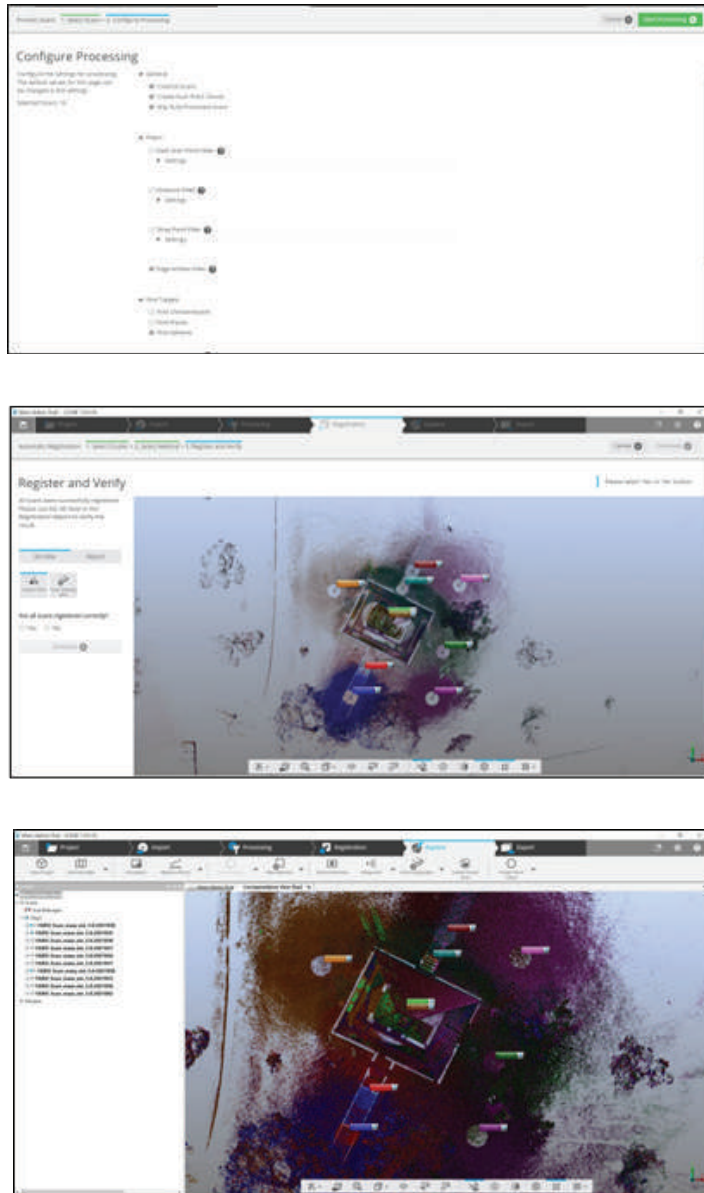
Sumber: Perisian *Scene*



Gambar 20: Hasil keseluruhan data TLS yang telah diproses menunjukkan ia masih di bawah tolerance yang dibenarkan.

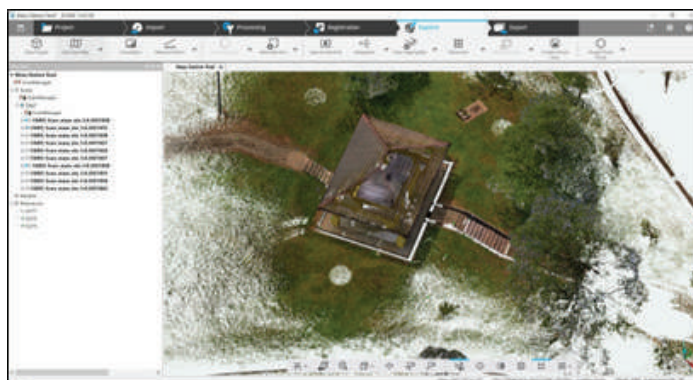
Sumber: Perisian *Scene*

Kaedah Pemprosesan Data



Gambar 21: Tetap bahagian processing yang terdiri daripada pemilihan *target*, *colorization* data dan proses pemilihan *registration* sama ada automasi ataupun manual.

Sumber: Perisian *Scene*



Gambar 22: Hasil selepas proses *processing* dan *registration*
Sumber: Perisian *Scene*

Point CP	Koordinat GPS			Koordinat UAV			Residual			Residual Squared		
	X	Y	Z	X	Y	Z	Residual X	Residual Y	Residual Z	RX Squared	RY Squared	RZ Squared
1	779575.070	416576.305	68.347	779575.062	416576.382	68.367	0.008	-0.077	-0.020	0.0000640	0.00593	0.000400
2	779578.900	416592.240	69.341	779578.852	416592.166	69.341	0.048	0.074	0.000	0.0023040	0.00548	0.000000
3	779597.900	416584.210	67.293	779597.958	416584.209	67.288	-0.058	0.001	0.005	0.0033640	0.00000	0.000025
RMSE										0.02524	0.03560	0.00687
Mean RMSE (m)										0.044175156		

Jadual 4: Root Mean Square Koordinat UAV
Sumber: Hasil pengiraan dari data cerapan koordinat UAV

Jadual 4 adalah menunjukkan nilai koordinat yang terhasil bagi data UAV setelah ianya diperbetulkan menggunakan nilai GCP yang terhasil daripada koordinat GPS. Nilai mean RMSE yang terhasil adalah 0.044175156 dan nilai ini akan digunakan bagi tujuan perbandingan bersama nilai mean RMSE koordinat TLS.

Point CP	Koordinat GPS			Koordinat TLS			Residual			Residual Squared		
	X	Y	Z	X	Y	Z	Residual X	Residual Y	Residual Z	RX Squared	RY Squared	RZ Squared
1	779575.070	416576.305	68.347	779575.060	416576.310	68.347	0.010	-0.005	0.000	0.0001000	0.00003	0.000000
2	779578.900	416592.240	69.341	779578.880	416592.250	69.341	0.020	-0.010	0.000	0.0004000	0.00010	0.000000
3	779597.900	416584.210	67.293	779597.880	416584.220	67.293	0.020	-0.010	0.000	0.0004000	0.00010	0.000000
RMSE												
Mean RMSE (m)												
											0.01118034	

Jadual 5: Root Mean Square Koordinat TLS
Sumber: Hasil pengiraan dari data cerapan koordinat TLS

Jadual 5 adalah menunjukkan nilai koordinat yang terhasil bagi data TLS setelah ianya diperbetulkan menggunakan nilai GCP yang terhasil daripada koordinat GPS. Nilai *mean RMSE* yang terhasil adalah **0.01118034** dan nilai ini akan digunakan bagi tujuan perbandingan bersama nilai *mean RMSE* koordinat *UAV*.

<i>Mean RMSE</i> Koordinat UAV (m)	0.044175156
<i>Mean RMSE</i> Koordinat TLS (m)	0.01118034

Jadual 6: Nilai Perbandingan *Mean RMSE* Koordinat UAV dan TLS.

Sumber: Hasil data *mean RMSE* Koordinat UAV dan TLS.

Jadual 6 adalah merujuk kepada hasil nilai *mean RMSE* bagi data koordinat UAV dan juga TLS. Perbandingan RMSE bagi setiap point yang saling nampak apabila data diambil menggunakan UAV dan TLS menunjukkan kejitian TLS lebih tinggi berbanding kaedah UAV dalam pengukuran bangunan.

Koordinat UAV (m) 0.044175156 > Koordinat TLS (m) 0.01118034 hal yang demikian nilai hasil cerapan koordinat UAV adalah menghampiri 0.1m.

KESIMPULAN

Hasil dari kajian ini menunjukkan kejitian penggunaan TLS adalah lebih tinggi berbanding kaedah UAV berdasarkan perkiraan *root mean square error*. Juruukur professional boleh menjalankan kerja-kerja pengukuran tanpa mengganggu aktiviti di sekitar bangunan tersebut di samping membekalkan data yang berketepatan tinggi dan menjimatkan masa.

Dari segi keselamatan, kedua-dua alat boleh digunakan untuk mengakses kawasan yang bahaya atau sukar diakses dengan adanya kebolehan untuk mengambil data dalam jarak jauh dan tidak perlu bersentuhan dengan objek yang dicerap. Data *point cloud* 3 dimensi boleh disimpan dan diakses dengan mudah oleh semua pihak yang berkaitan dengan sesuatu projek. Ini memudahkan jika berlaku permasalahan di masa hadapan.

CADANGAN PENAMBAHBAIKAN KAJIAN

- Penggunaan aplikasi Pix4D jenis *Circular* boleh digunakan semasa pengambilan data menggunakan UAV. Dengan integrasi antara jenis *double grid* yang digunakan di dalam kajian, ia akan menghasilkan data UAV yang lebih baik.
- Bagi penggunaan TLS, *target checkerboard* perlu digunakan bersekali dengan *target sphere* kerana *target checkerboard* boleh ditampal di dinding bangunan dan pemprosesan data lebih mudah dan jitu kerana *checkerboard* mempunyai titik tengah berbanding *sphere* yang berbentuk bulat.

PENUTUP

Projek kajian penyelidikan ini telah sampai di penghujungnya, berkat usaha sama semua ahli dalam menjadikan kertas kajian ini sebagai sumber ilmiah dan rujukan di kemudian hari. Harapan daripada Seksyen Pemetaan agar kajian seperti ini dapat diteruskan dari masa ke semasa agar kompetensi setiap tenaga pengajar dan fasilitator akan sentiasa kekal cemerlang. Projek kajian penyelidikan seperti ini secara tidak langsungnya akan menjadikan INSTUN sebuah ILA yang mempunyai bakat penulisan yang terdiri dari kalangan pengurusan dan profesional malah hasil penulisan ini juga akan dijadikan sebuah artikel dan dibukukan oleh Bahagian Penyelidikan dan Pembangunan (RnD) INSTUN. Akhir kalam penutup dari Seksyen Pemetaan, “Usaha yang berterusan akan membuahkan hasil yang lumayan sekiranya kerjasama berpasukan terjalin ibarat “bulat air kerana pemetung bulat manusia kerana muafakat”.

RUJUKAN

- A. Costa-Jover, J. Lluís i Ginovart, S. Coll-Pla, and M. López Piquer, (2019). Using the terrestrial laser scanner and simple methodologies for geometrically assessing complex masonry vaults. *Journal of Cultural Heritage*, vol. 36, pp. 247–254
- Alba M., Giussani A., Roncoroni F., Scaioni M., & Valgoi P. (2006, October 8-13). Geometric Modelling of a Large Dam by Terrestrial Laser Scanning. 23rd FIG Congress, Munich, Germany.
- N. M. Noor, Z. Kamaruddin, A. Abdullah, M. A. Abdullah, S. S. Eusoff, and M. H. Mustafa, (2018) “Using terrestrial laser scanner for malay heritage documentation: preliminary approach to Istana Balai Besar, Kelantan,” *International Journal of Development and Sustainability*, vol. 6, no. 6, pp. 1886–1897
- Sumana Biswas, ... Matthew A. Garratt, (2021) in *Unmanned Aerial Systems* <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/unmanned-aerial-vehicle>
- Xingbang Yang, Xuan Pei, (2022). Hybrid system for powering unmanned aerial vehicles: Demonstration and study cases, Pages 439-473. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823793-9.00014-0>
- Irwan. (2021, Mac 8). Peranan Juruukur Bangunan. *Harian Metro Online*. <https://www.hmetro.com.my/akademia/2021/03/681720/peranan-juruukur-bangunan>

