

PENILAIAN KETETAPAN NILAI KETINGGIAN DENGAN MENGGUNAKAN IMEJ UNMANNED AERIAL VEHICLE

Helmi Abd Kadir¹, Mohd Fadli Che Adenan² dan Che Ku Ahmad Fuad Che Ku Abdullah³

^{1,2,3}Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Kuching Sarawak, Kuching, Sarawak

¹helmi_kadir@poliku.edu.my

²mohd_fadzli@poliku.edu.my

³ahmad_fuad@poliku.edu.my

MAKLUMAT ARTIKEL

Sejarah artikel:

Diterima

21 Mac 2025

Diterima dalam bentuk yang disemak

11 Mei 2025

Diterima

14 Mei 2025

Diterbitkan dalam talian
01 Jun 2025

Kata Kunci:

Unmanned Aerial Vehicle; Digital

Elevation Model (DEM);

Root Mean Square Error

(RMSE); Titik Kawalan

Bumi (GCP)

ABSTRAK

Kebanyakan kajian imej Unmanned Aerial Vehicle (UAV) memfokuskan pada nilai koordinat mendatar iaitu X dan Y sahaja. Kajian ini telah mengkaji tentang penilaian ketepatan dalam koordinat ketinggian (Z) dengan menggunakan imej UAV berdasarkan data cerapan ketinggian ortometrik. Titik kawalan (GCP) dan titik semakan (CP) telah dihasilkan dengan menggunakan kaedah Jaringan Kinematik Masa Hakiki (RTK) dan ukur aras. Analisis telah dilaksanakan berdasarkan perbandingan titik koordinat ketinggian (Z) diantara digital ortofoto dan ukur aras. Nilai Root Mean Square Error (RMSE) bagi koordinat ketinggian (Z) berdasarkan 12 titik-titik semakan adalah <0.500 meter. Kesimpulannya, imej UAV boleh digunakan untuk menghasilkan Digital Elevation Model (DEM) yang memberikan nilai koordinat ketinggian dengan ketepatan sub-meter.

1. Pengenalan

Ketepatan koordinat ketinggian yang diperoleh daripada imej *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) adalah penting untuk memastikan kebolehpercayaan dan ketepatan analisis. Ia dinilai sama ada dalam rupa bentuk topografi, ketinggian kanopi, ataupun elemen infrastruktur pemetaan. Maklumat ketinggian yang lebih tepat berfungsi sebagai asas untuk pelbagai aplikasi geospasial.

Dalam konteks penilaian ketepatan, kaedah konvensional seperti ukur aras berfungsi sebagai penanda aras untuk menilai koordinat ketinggian (Z) yang diperoleh daripada imej UAV. Selain itu, kaedah ini dapat menghasilkan data ukur yang berketepatan tinggi dengan merujuk secara langsung kepada datum menegak yang diketahui. Di samping itu, ia juga memudahkan pemerolehan data ketinggian beresolusi tinggi dalam pelbagai bidang, termasuk pemodelan permukaan tanah, perancangan bandar, dan pengurusan alam sekitar. Walau bagaimanapun, kepentingan penilaian ketepatan terhadap nilai ketinggian (Z) yang diperoleh daripada imej UAV masih belum difahami sepenuhnya.

Penilaian ketepatan terhadap nilai ketinggian menggunakan imej UAV adalah langkah penting dalam memahami kebolehpercayaan serta kesesuaian penggunaan UAV untuk menghasilkan kontur. Dengan menganalisis perbezaan antara data ketinggian UAV dan data rujukan, kita dapat mengenal pasti faktor-faktor yang mempengaruhi ketepatan, menyokong peningkatan pemprosesan data, dan memperkukuhkan keyakinan dalam penggunaan imej UAV bagi aplikasi pemetaan serta pemantauan.

Kajian oleh Ahmad (2020) menilai ketepatan kamera digital berdasarkan ketinggian penerbangan menggunakan UAV untuk tujuan pemetaan. Hasil kajian menunjukkan bahawa ketepatan planimetri dan ketinggian bertambah baik apabila resolusi kamera meningkat. Selain itu, kajian oleh Hashim (2020) mendapati bahawa perancangan penerbangan, kalibrasi kamera, dan pengedaran Titik Kawalan Bumi (TKB) adalah faktor utama yang mempengaruhi ketepatan produk pemetaan menggunakan UAV. Dalam kajian lain, Qin et al. (2021) membandingkan lima perisian pepadanan imej untuk penjaan Model Permukaan Digital (DSM) berdasarkan imej UAV dan menekankan kepentingan pemilihan algoritma yang sesuai untuk meningkatkan ketepatan data ketinggian.

Secara keseluruhan, penilaian ketepatan ketinggian menggunakan imej UAV memerlukan pertimbangan terhadap pelbagai faktor seperti ketinggian penerbangan, resolusi kamera, perancangan penerbangan, dan pemilihan perisian pemprosesan imej yang sesuai. Memahami dan mengawal faktor-faktor ini adalah penting untuk memastikan data ketinggian yang diperoleh adalah tepat dan boleh dipercayai bagi pelbagai aplikasi geospasial.

2. Metodologi

2.1 Pengumpulan Data

Terdapat dua jenis peralatan yang berbeza digunakan kerana menerapkan dua kaedah yang berlainan bagi membandingkan perbezaan antara kedua-dua kaedah tersebut. Kaedah pertama adalah kaedah ukur aras (*levelling*), yang menggunakan peralatan Digital Levelling untuk mendapatkan data ketinggian dengan ketepatan yang tinggi. Manakala kaedah kedua adalah dengan menggunakan imej drone (Mavic Air 2S). Pemilihan drone ini adalah berdasarkan spesifikasi sensor kameranya yang efektif, iaitu resolusi 20 mp (megapiksel) dan saiz piksel 2.4 μm (mikrometer), yang dapat memperoleh data ketinggian yang lebih terperinci dan berkualiti tinggi.

Penggunaan teknologi Sistem Satelit Navigasi Global (Global Navigation Satellite System, *GNSS*) memainkan peranan penting dalam pemerolehan Titik Kawalan Bumi (*Ground Control Points*, *GCPs*). Ini digunakan sebagai rujukan geospasial untuk meningkatkan ketepatan data yang diperoleh daripada imej UAV. Setelah dikumpulkan, *GCPs* akan dimasukkan ke dalam perisian pemprosesan imej UAV untuk menjalani proses georeferensi dan pemodelan, sekali gus menghasilkan imej yang lebih tepat dan berkualiti tinggi.



Rajah 1. Mavic Air 2S

Rajah 1 menunjukkan peralatan yang digunakan untuk mengutip data (imej) di kawasan kajian. Kamera yang digunakan adalah kamera yang bersolusi 20 MP dan saiz piksel 2.4 μm dimana kamera yang mempunyai keupayaan dalam pemetaan.



Rajah 2. Digital Levelling

Rajah 2 menunjukkan alat ukur aras jitu secara digital. Data-data pengukuran boleh direkod terus ke dalam memori alat. Ketepatan alat ini ± 0.3 mm hingga ± 1.0 mm per kilometer bagi pengukuran aras jitu manakala bagi pengukuran biasa adalah ± 1.5 mm hingga ± 2.0 mm per kilometer.

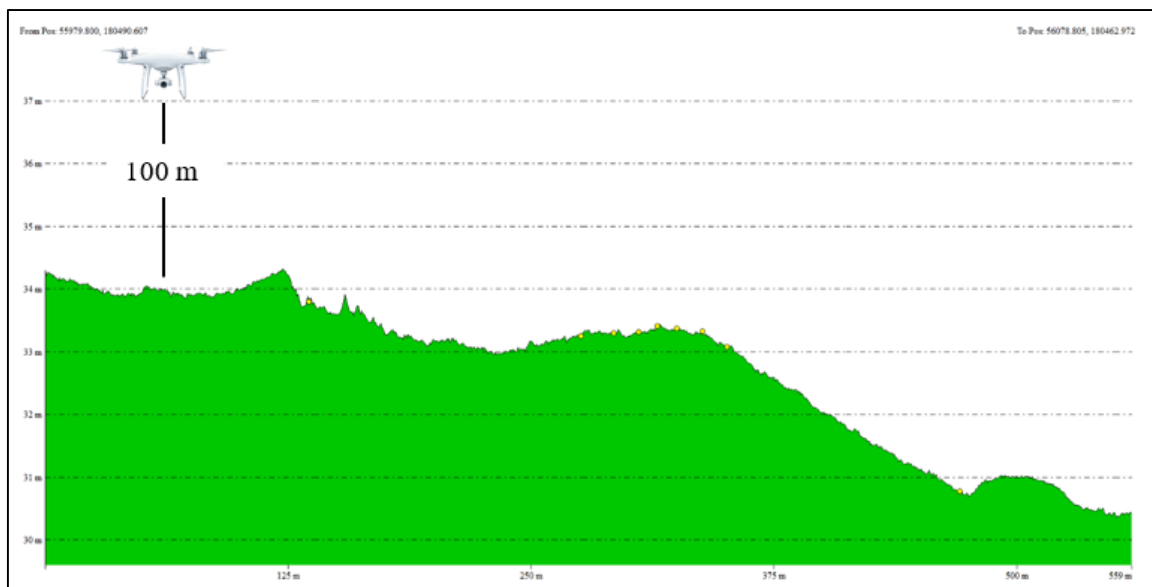


Rajah 3. GNSS

Rajah 3 menunjukkan alat berkejituan tinggi bagi pengukuran koordinat. Model yang digunakan dalam kajian ini adalah Topcon Hyper VR. Keupayaan alat ini boleh digunakan secara RTK (*Real Time Kinematic*) dimana ketepatannya adalah ± 0.3 mm.

2.2 Perancangan Penerbangan

Dalam kajian ini, kami menggunakan perisian *Drone Harmony* (DH) yang telah dimuat turun ke dalam telefon pintar. Parameter perancangan penerbangan telah dibuat dengan menggunakan perisian ini. Berdasarkan tetapan yang telah ditentukan, ketinggian penerbangan (*flight altitude*) yang digunakan adalah 100 meter (Rajah 4). Pemilihan ketinggian ini dibuat bagi memastikan keselamatan penerbangan serta mengurangkan risiko yang tidak diingini. Kajian oleh Muhammad (2024), menganalisis parameter penerbangan UAV mikro dalam menghasilkan peta topografi berskala besar yang tepat, dan termasuk juga ketinggian penerbangan. Selain itu, bagi memastikan liputan kawasan kajian yang mencukupi dan memperoleh imej yang berkualiti tinggi, tetapan *overlap* dan *sidelap* masing-masing ditetapkan pada 60%.



Rajah 4. Ketinggian penerbangan dari aras permukaan topografi

2.3 Perisian

Perisian *Drone Harmony* (Rajah 5) digunakan untuk merancang penerbangan mengikut spesifikasi yang telah ditetapkan. Manakala, pemrosan imej bagi menghasilkan imej ortofoto dan Model Ketinggian Digital (DEM) adalah perisian *Agisoft Metashape Professional* (Rajah 6). Seterusnya adalah perisian *Global Mapper* (Rajah 7) adalah untuk mendapatkan *path profil* bagi setiap titik-titik ketinggian.



Rajah 5. *Drone Harmony*



Rajah 6. *Agisoft Metashape Professional*.



Rajah 7. *Global Mapper Professional*

Rajah 5 adalah perisian yang digunakan semasa penerbangan dron iaitu penentuan bagi ketinggian penerbangan dan peratus penindihan yang sesuai dalam menghasilkan peta. Rajah 6 dan 7 pula adalah perisian untuk memproses imej UAV dan menganalisis data pengukuran.

3. Keputusan dan Perbincangan

Dalam bab ini, hasil kajian dibahagi mengikut 3 objektif iaitu untuk menghasilkan imej ortofoto, untuk menghasilkan Model Ketinggian Digital (DEM) dan untuk menilai ketepatan ketinggian (z) terhadap titik-titik semakan (CP) berbanding kaedah konvensional.

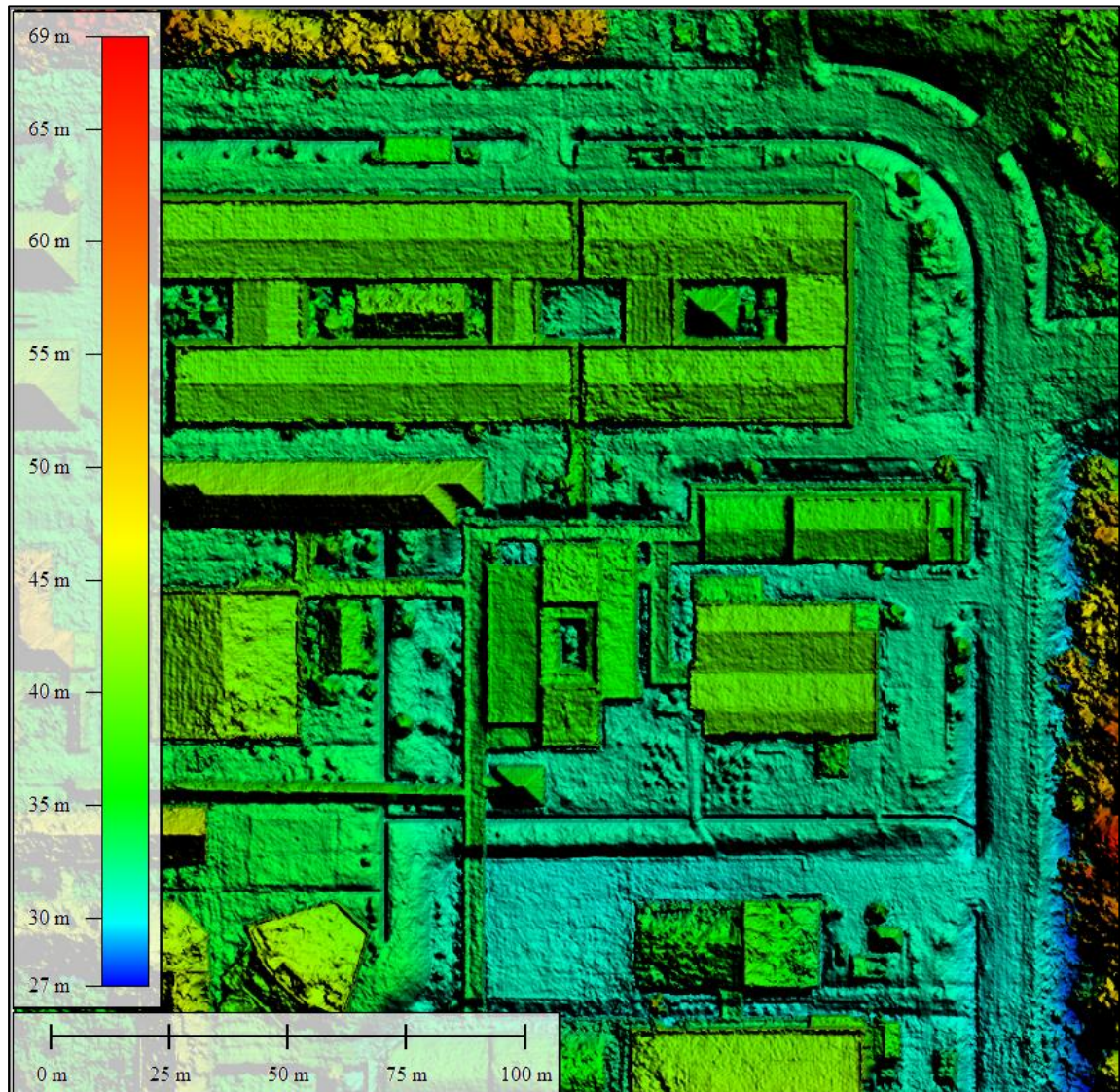
Objektif 1: Untuk menghasilkan imej ortofoto



Rajah 8. Hasil imej ortofoto

Rajah 8 di atas menunjukkan imej ortofoto yang terhasil daripada pemprosesan imej menggunakan perisian *Agisoft Metashape Professional*. Terdapat 4 titik kawalan (GCP) yang telah dibina dengan menggunakan kaedah GNSS. Nilai GCP akan diproses bagi meningkatkan kejutuan pemetaan imej UAV.

3.1 Model Ketinggian Digital (DEM)



Rajah 9. Model Ketinggian Digital (DEM)

Rajah 9 menunjukkan Model Ketinggian Digital (Digital Elevation Model, DEM) yang dihasilkan daripada data imej UAV. DEM ialah mempersembahkan digital permukaan bumi yang menggambarkan pelbagai ketinggian sesuatu kawasan dalam bentuk data raster ataupun vektor. Skala warna di sebelah kiri menunjukkan nilai ketinggian dalam meter, dengan warna biru mewakili kawasan rendah (~27 m) dan warna merah menunjukkan kawasan lebih tinggi (~69 m).

DEM ini boleh digunakan untuk analisis topografi, perancangan bandar, pemodelan banjir, dan analisis kejuruteraan lain yang memerlukan pemetaan ketinggian secara tepat.

3.2 Menilai Ketepatan Ketinggian (Z) Terhadap Titik-Titik Semakan (CP) Berbanding Kaedah Konvensional

Jadual 1 menunjukkan perbandingan nilai aras daripada imej ortofoto dan ukur aras pada titik-titik semakan. Perbezaan antara kedua-dua nilai dikira bagi setiap titik dan *Root Mean Square Error* (RMSE) digunakan untuk menilai ketepatan keseluruhan. Perbezaan antara imej ortofoto dan ukur aras adalah diantara 0.140 m hingga 0.600 m. Ini menunjukkan bahawa terdapat sedikit perbezaan antara kedua-dua sumber data dimana CP 4 mempunyai perbezaan yang tinggi. Walaubagaimanapun nilai RMSE yang dikira adalah ± 0.437 m.

Jadual 1. Perbandingan Titik-Titik Semakan

Titik Semakan (Check Point)	Imej Ortofoto (m)	Ukur Aras (m)	Perbezaan (m)
CP 1	31.921	32.373	0.452
CP 2	31.345	31.580	0.235
CP 3	30.781	30.928	0.147
CP 4	30.509	31.109	0.600
CP 5	30.319	30.889	0.570
CP 6	33.054	33.594	0.540
CP 7	33.208	33.702	0.494
CP 8	33.120	33.502	0.382
CP 9	33.368	33.869	0.501
CP 10	34.135	34.482	0.347
CP 11	33.939	34.438	0.499
CP 12	34.163	34.303	0.140
RMSE $\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$			± 0.437

4. Kesimpulan

Analisis menunjukkan bahawa ketepatan imej ortofo adalah lebih baik, dengan RMSE kurang daripada 0.500 m. Ini menunjukkan bahawa imej ortofo boleh digunakan untuk analisis topografi dengan ketepatan sederhana. Walaupun terdapat sedikit perbezaan dalam nilai aras, ralat ini masih dalam julat yang boleh diterima untuk aplikasi pemetaan terutama dalam bidang kejuruteraan.

Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Kuching Sarawak kerana memberikan akses kepada kemudahan dan lokasi pengumpulan data. Ucapan terima kasih yang istimewa kepada pelajar dan fakulti yang mengambil bahagian dalam fasa kajian ini.

Rujukan

- Ahmad, M. J. (2020). *Penilaian ketepatan kamera digital berdasarkan ketinggian penerbangan menggunakan UAV untuk tujuan pemetaan*. Universiti Teknologi Malaysia. Retrieved from <https://eprints.utm.my/98291>
- Hashim, M. (2020). *Pengaruh perancangan penerbangan, kalibrasi kamera, dan pengedaran Titik Kawalan Bumi (TKB) terhadap ketepatan pemetaan UAV*. Universiti Teknologi Malaysia. Retrieved from <https://eprints.utm.my/96266>
- Qin, Y., Li, J., & Wang, Z. (2021). *Evaluation of five image matching software for DSM generation from UAV images*. *Remote Sensing Letters*, 12(3), 251-265. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2021.1882517>
- Muhammad, R. (2024). *Analisis parameter penerbangan UAV mikro dalam menghasilkan peta topografi berskala besar yang tepat*. Universiti Teknologi MARA. Retrieved from <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/107129>
- Mohd Room, S., & Ahmad, T. (2024). *Penilaian ketepatan model fotogrametri 3D daripada sistem UAV*. *Journal of Information Science & Technology Management*, 11(1), 35-50. Retrieved from <https://gaexcellence.com/jistm/article/view/2627>
- Panjaitan, R., & Supit, R. (2021). *Ketelitian geometri peta dasar hasil pemrosesan data UAV untuk pemetaan pertambangan*. *Jurnal Geomatika Indonesia*, 5(2), 112-125. <https://doi.org/10.xxxx/jgi.v5i2.2021>
- Othman, M. (2019). *Analisis keupayaan UAV dalam pemetaan topografi berskala besar*. Universiti Teknologi MARA. Retrieved from <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/22693>
- Symphony Geo. (2017). *Meningkatkan ketelitian peta melalui UAV fotogrametri*. Retrieved from <https://www.symphonygeo.com/blog/21-meningkatkan-ketelitian-peta>
- Hongfei Drone. (2022). *Three major factors affecting the accuracy of aerial survey by drones*. Retrieved from <https://ms.hongfeidrone.com/news/three-major-factors-affecting-the-accuracy-of-aerial-survey-by-drones>
- ResearchGate. (2023). *Analisis pemanfaatan foto udara hasil pemotretan UAV PPK untuk pemetaan topografi*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/351314474>