Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21722 - 21729
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Evaluasi Akurasi Point Cloud SLAM RTK LiDAR (Hi-Target V700S) terhadap Hasil Pengukuran Terestris

Edeng Suryana*, Henri Kuncoro
Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung
***Koresponden email**: dengsuryana@gmail.com

Diterima: 19 Agustus 2026 Disetujui: 30 Agustus 2026

Abstract
The integration of Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) with Real-Time Kinematic (RTK) LiDAR, as implemented in the backpack Mobile Mapping System (MMS) Hi-Target V700S, offers high efficiency for 3D geospatial data acquisition. However, empirical accuracy verification under local Indonesian urban conditions remains limited. This study evaluates the 3D point cloud accuracy of the Hi-Target V700S against conventional terrestrial measurements (Total Station Sokkia iM52 and Waterpass) on a closed polygon network benchmarked to existing BMs at Sapna Taruna PU Complex, Bandung. Data were processed via Post-Processing Kinematic (PPK) in Hi-Lidar, followed by georeferencing and accuracy assessment using 50 purposively sampled Ground Control Points (GCPs). Evaluation parameters include Root Mean Square Error (RMSE), Circular Error 90% (CE90), and Linear Error 90% (LE90) in accordance with BIG Regulation No. 15/2014 for 1:1,000 scale base maps. Results indicate horizontal RMSE of 0.595 m (CE90 = 1.277 m) and vertical RMSE of 1.032 m (LE90 = 1.698 m), with a 3D RMSE of 1.191 m. Both horizontal and vertical accuracies do not satisfy Class 1 or Class 2 specifications for 1:1,000 scale mapping. Vertical accuracy shows higher vulnerability due to IMU drift, GNSS multipath in dense settlements, and coordinate transformation errors. The Hi-Target V700S is suitable for rapid 3D documentation and reconnaissance, but not recommended as a complete substitute for high-precision cadastral surveys.
Keywords: *slam lidar, hi-target v700s, point cloud accuracy, total station,*

Abstrak
Integrasi Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) dengan Real-Time Kinematic (RTK) LiDAR pada Mobile Mapping System (MMS) Hi-Target V700S menawarkan efisiensi tinggi dalam akuisisi data 3D geospasial. Namun, verifikasi akurasi empiris di lingkungan lokal Indonesia masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi akurasi data point cloud Hi-Target V700S terhadap pengukuran terestris konvensional (Total Station Sokkia iM52 dan Waterpass) dengan kerangka kontrol poligon tertutup yang berikat pada BM eksisting di Komplek Sapna Taruna PU, Bandung. Data diolah dengan metode Post-Processing Kinematic (PPK) pada software Hi-Lidar dan diuji pada 50 titik Ground Control Point (GCP). Evaluasi akurasi menggunakan parameter RMSE, Circular Error 90% (CE90), dan Linear Error 90% (LE90) berdasarkan Perka BIG No. 15 Tahun 2014 untuk peta skala 1:1.000. Hasil pengujian menunjukkan RMSE horizontal sebesar 0,595 m (CE90 = 1,277 m) dan RMSE vertikal sebesar 1,032 m (LE90 = 1,698 m), dengan RMSE 3D sebesar 1,191 m. Nilai tersebut belum memenuhi ketelitian Kelas 1 maupun Kelas 2 peta dasar skala 1:1.000. Komponen vertikal lebih rentan terhadap kesalahan akibat drift IMU, multipath GNSS pada kawasan permukiman, dan transformasi koordinat. Hi-Target V700S layak digunakan untuk dokumentasi cepat dan survei pendahuluan, namun belum disarankan menggantikan metode terestris pada pemetaan detail presisi tinggi.
Kata Kunci: *slam lidar, hi-target v700s, akurasi point cloud, total station*

1. Pendahuluan

Dunia teknologi geospasial saat ini mengalami perkembangan metode akuisisi data yang semakin dinamis, efisien, dan cepat. Tren ini ditandai dengan pertumbuhan pesat dalam sektor pemetaan, penetrasi sistem waktu nyata (real-time), dan sistem survei bergerak (mobile mapping) [1]. Meskipun demikian, metode survei konvensional seperti Total Station atau GNSS statik masih dianggap sebagai standar emas karena kemampuannya memberikan akurasi yang sangat tinggi pada level milimeter hingga sentimeter [2]. Kelemahan utama dari metode konvensional terletak pada keterbatasan efisiensi waktu dan mobilitas, terutama untuk pemetaan area yang luas, koridor jalan, atau kawasan yang kompleks [3]. Untuk menjawab tantangan tersebut, teknologi Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) mulai diintegrasikan ke dalam instrumen pemetaan geospasial modern [4]. Kombinasi SLAM dengan Real-Time Kinematic (RTK) GNSS, yang dikenal sebagai RTK-SLAM, berpotensi menghasilkan data point cloud 3D yang cepat dengan georeferensi absolut tanpa memerlukan ketergantungan penuh pada titik kontrol terestris yang rapat [5].

Di Indonesia, metode survei terestris telah menjadi pendekatan standar dalam pemetaan skala besar dan pekerjaan detail rekayasa seperti survei jalan, jembatan, dan kadaster [6]. Metode ini dipilih karena reliabilitas geometriknya yang tinggi untuk area terbatas [6]. Namun, seiring dengan tuntutan produktivitas, teknologi Mobile Mapping System (MMS) berbasis LiDAR yang mengintegrasikan sensor laser scanner, Inertial Measurement Unit (IMU), GNSS receiver, dan algoritma SLAM mulai diadopsi sebagai alternatif [7], [8]. Salah satu produk backpack MMS komersial yang mengintegrasikan sensor LiDAR Livox Mid-360 dan sistem RTK-SLAM adalah Hi-Target V700S [9]. Meskipun efisiensi sistem ini sangat menjanjikan, tingkat akurasi dan reliabilitas data point cloud yang dihasilkannya belum banyak diverifikasi secara empiris terhadap data acuan terestris pada kondisi lingkungan fisik Indonesia yang spesifik [10], [11].

Studi evaluasi akurasi sistem RTK-SLAM sebelumnya sebagian besar dilakukan di luar negeri [2], [12], sedangkan publikasi ilmiah lokal mengenai validasi performa SLAM LiDAR komersial terhadap pengukuran terestris masih terbatas [10]. Evaluasi kinerja sistem ini perlu dilakukan melalui pendekatan kuantitatif komparatif dengan membandingkan koordinat hasil point cloud terhadap data referensi yang diukur menggunakan Total Station berorde tinggi [3]. Parameter evaluasi yang digunakan mencakup Root Mean Square Error (RMSE), Circular Error 90% (CE90) untuk komponen horizontal, dan Linear Error 90% (LE90) untuk komponen vertikal sesuai standar ketelitian peta Rupabumi Indonesia Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (Perka BIG) Nomor 15 Tahun 2014 [13]. Selain itu, kajian ini menelaah pengaruh faktor teknis seperti drift IMU, noise sensor, multipath GNSS, dan transformasi koordinat terhadap konsistensi data [2], [14].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi data point cloud SLAM RTK LiDAR Hi-Target V700S terhadap data referensi pengukuran terestris konvensional (Total Station), mengidentifikasi faktor kesalahan teknis (drift SLAM, noise, registrasi, dan transformasi koordinat) serta menilai kelayakan sistem tersebut sebagai alternatif atau pelengkap survei terestris berdasarkan standar ketelitian peta skala 1:1.000 Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014.

2. Metode Penelitian

Area Studi

Penelitian ini dilaksanakan di Komplek Sapna Taruna PU, Jalan Suhodo 3, Blok C No. 215, Kelurahan Kujangsari, Kecamatan Bandung Kidul, Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat. Kawasan ini merupakan permukiman perkotaan dengan karakteristik medan terbuka hingga semi-terbuka yang memiliki keragaman objek geometrik seperti bidang jalan aspal, dinding bangunan perumahan, pagar, tiang utilitas, dan vegetasi. Keberadaan Benchmark (BM) eksisting di lokasi memungkinkan pembangunan Kerangka Kontrol Horizontal (KKH) dan Vertikal (KKV) yang terikat secara presisi tanpa perlu pengukuran titik ikat baru.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data dan Peralatan Penelitian

Data penelitian terdiri atas data primer hasil akuisisi SLAM LiDAR Hi-Target V700S dan data pengukuran terestris konvensional sebagai ground truth, sebagaimana dirinci pada **Tabel 1**. Peralatan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Data Penelitian

No	Jenis Data	Keterangan dan Sumber Data
1	Point Cloud SLAM LiDAR V700S	Data point cloud 3D kontinu hasil akuisisi mobile backpack LiDAR Hi-Target V700S pada jalur survei terencana.
2	Data KKH (Poligon Tertutup)	Koordinat definitif titik kontrol P1–P11 hasil ukuran Total Station Sokkia iM52 berikat pada BM eksisting.
3	Data KKV (Waterpass)	Data beda tinggi dan elevasi teliti titik kontrol hasil pengukuran sipat datar metode stand ganda.
4	Koordinat 50 Titik GCP (Ground Truth)	Koordinat 3D 50 target/sticker GCP yang ditempel pada objek permanen hasil penembakan Total Station.
5	Data Benchmark (BM) Eksisting	Koordinat dan elevasi acuan BM awal di lokasi penelitian sebagai datum lokal pengukuran.

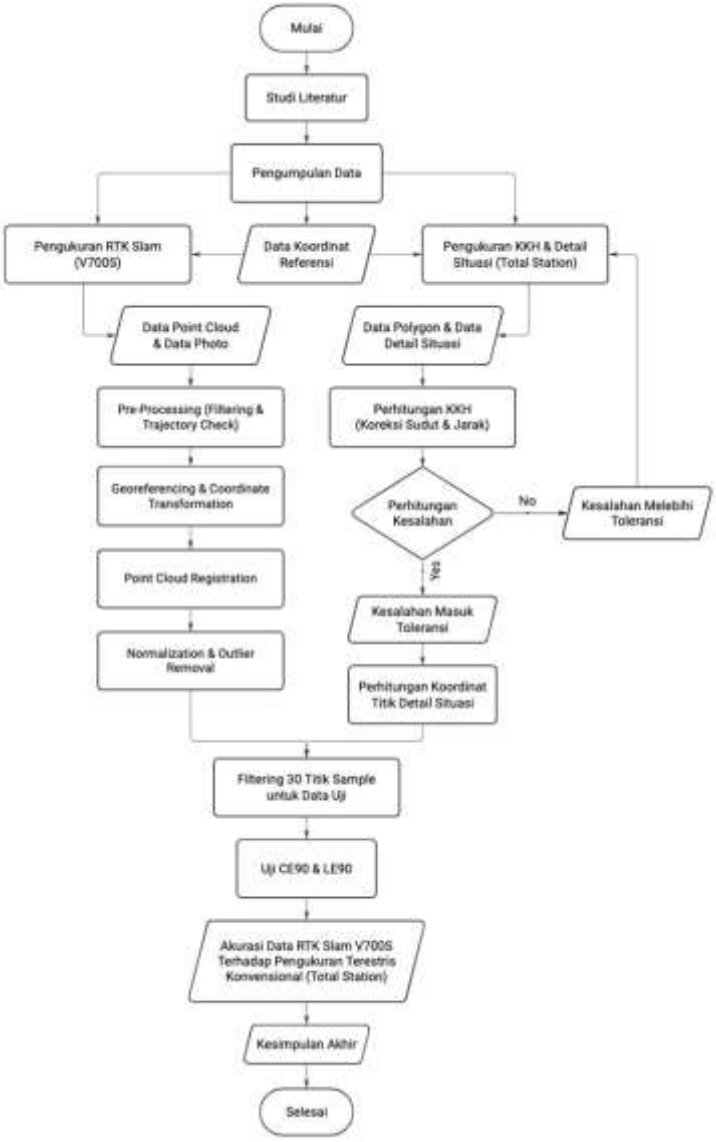
Tabel 2. Peralatan Penelitian

Kategori	Nama Peralatan	Fungsi / Spesifikasi Utama
Hardware	Hi-Target V700S SLAM LiDAR	Sensor Livox Mid-360, receiver GNSS multi-konstelasi, IMU terintegrasi untuk akuisisi point cloud 3D.
Hardware	Total Station Sokkia iM52	Ketelitian sudut 2", EDM 500 m untuk pengukuran KKH poligon dan 50 titik GCP.
Hardware	Waterpass Otomatis & Rambu Ukur	Ketelitian 1 mm/km untuk pengukuran KKV sipat datar loop tertutup.
Hardware	Target / Sticker GCP	Sticker kontras tinggi untuk identifikasi titik uji pada point cloud dan bidikan Total Station.
Software	Hi-Lidar (Hi-Target)	Pre-processing PPK, trajectory check, georeferencing, registrasi, dan outlier removal point cloud.
Software	Global Mapper v25	Visualisasi point cloud, overlay spasial, dan konversi format data koordinat geospasial.
Software	Microsoft Excel 365	Tabulasi data, hitungan kuadrat terkecil, analisis statistik RMSE, CE90, dan LE90.

Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Alur kerja penelitian dilaksanakan melalui tahapan sistematis berikut:

1. **Pembangunan KKH dan KKV:** Pengukuran poligon tertutup 9 titik sudut (P1–P9) dan 2 titik tambahan (P10–P11) sepanjang 439,037 m menggunakan Total Station Sokkia iM52 dengan toleransi penutup sudut $10\sqrt{n}$ detik. Pengukuran KKV sipat datar stand ganda sepanjang 489,600 m dengan toleransi penutup beda tinggi $5\sqrt{D}$ mm.
2. **Pengukuran Detail Situasi & GCP:** Pengukuran terestris tachymetri untuk lebih dari 90 detail serta penembakan koordinat definitif 50 titik target GCP yang tersebar di area penelitian.
3. **Akuisisi Data SLAM LiDAR:** Perekaman lintasan kontinu menggunakan Hi-Target V700S pada kondisi open-sky hingga semi-terbuka dengan kecepatan jalan konstan.
4. **Pengolahan Data Point Cloud:** Pengolahan lintasan menggunakan metode Post-Processing Kinematic (PPK) pada software Hi-Lidar, filtering noise (Statistical Outlier Removal), registrasi point cloud, dan georeferencing ke sistem koordinat KKH/KKV.
5. **Ekstraksi Koordinat & Analisis Akurasi:** Ekstraksi koordinat 3D dari 50 titik target GCP pada data point cloud, dilanjutkan dengan hitungan selisih posisi terhadap ground truth Total Station.



Gambar 2. Metodologi Penelitian

Analisis Data dan Parameter Akurasi

Selisih koordinat per komponen dihitung melalui rumus:

$$\Delta X = X_{LiDAR} - X_{TS}, \quad \Delta Y = Y_{LiDAR} - Y_{TS}, \quad \Delta Z = Z_{LiDAR} - Z_{TS}$$

Residual horizontal (Hz) dan tiga dimensi (3D) dihitung melalui:

$$\text{Residual Hz} = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)}, \quad \text{Residual 3D} = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)}$$

Evaluasi akurasi posisi kuantitatif menggunakan parameter Root Mean Square Error (RMSE):

$$RMSE_x = \sqrt{[\ \Sigma(\Delta X)^2 / n\ ]}, \quad RMSE_y = \sqrt{[\ \Sigma(\Delta Y)^2 / n\ ]}, \quad RMSE_z = \sqrt{[\ \Sigma(\Delta Z)^2 / n\ ]}$$

$$RMSE_{Hz} = \sqrt{(RMSE_x^2 + RMSE_y^2)}$$

di mana n adalah jumlah titik uji (n = 50) [15].

Penilaian kesesuaian terhadap standar ketelitian peta dasar Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014 dihitung pada tingkat kepercayaan 90% (confidence level 90%) menggunakan *Circular Error* 90% (CE90) untuk horizontal dan Linear Error 90% (LE90) untuk vertikal [13], [16]:

$$CE90 = 2{,}1460 \times RMSE_{Hz}$$

$$LE90 = 1{,}6449 \times RMSE_z$$

Tabel 3. Standar Ketelitian Peta Rupabumi Skala 1:1.000 (Perka BIG No. 15/2014)

Parameter Ketelitian	Kelas 1 (Maksimum)	Kelas 2 (Maksimum)
Ketelitian Horizontal (CE90)	≤ 0,300 m	≤ 0,900 m
Ketelitian Vertikal (LE90)	≤ 0,300 m	≤ 0,900 m

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengukuran Kerangka Kontrol Horizontal (Poligon) dan Vertikal (Waterpass)

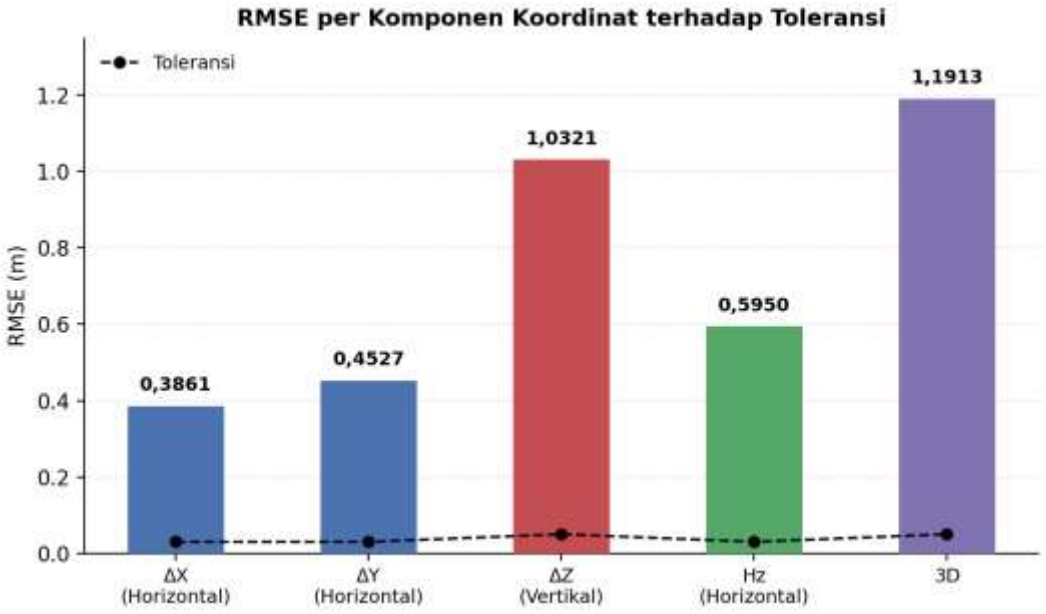
Pengukuran KKH poligon tertutup 9 titik menghasilkan salah penutup sudut sebesar 20,5 detik. Nilai ini berada di bawah batas toleransi maksimum yang diizinkan ($10\sqrt{9} = 30$ detik). Total jarak perimeter poligon adalah 439,037 m dengan kesalahan penutup koordinat kX = 0,0163 m dan kY = 0,0120 m. Rasio kesalahan linear yang diperoleh adalah 1:21.723, yang jauh melampaui syarat ketelitian poligon rekayasa (minimal 1:5.000 hingga 1:10.000). Pengukuran KKV sipat datar loop tertutup sepanjang 489,600 m (11 seksi) menghasilkan kesalahan penutup beda tinggi sebesar 2,0 mm, memenuhi batas toleransi $5\sqrt{D} = 3,5$ mm. Elevasi definitif titik kontrol berada pada rentang 667,544 m hingga 668,079 m. Dengan demikian, KKH dan KKV terbukti memiliki ketelitian geodetik yang sangat tinggi dan valid dijadikan ground truth.

Hasil Uji Akurasi Point Cloud pada 50 Titik GCP

Perbandingan koordinat 3D antara data point cloud SLAM V700S hasil olahan PPK dengan koordinat penembakan Total Station pada 50 titik GCP menghasilkan distribusi selisih koordinat dengan variasi deviasi tertentu. Nilai selisih maksimum pada komponen X adalah 0,606 m, komponen Y sebesar 1,101 m, dan komponen Z sebesar 1,224 m. Rekapitulasi statistik RMSE, deviasi maksimum, deviasi minimum, dan standar deviasi disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai RMSE dan Statistik Deviasi Hasil Uji 50 Titik

Parameter Koordinat	RMSE (m)	Maks |Δ| (m)	Min |Δ| (m)	Std Dev (m)	Toleransi
Komponen ΔX (Horizontal)	0,3861	0,6060	0,0000	0,1778	± 0,030 m
Komponen ΔY (Horizontal)	0,4527	1,1010	0,0000	0,2088	± 0,030 m
Komponen ΔZ (Vertikal)	1,0321	1,2242	0,0000	0,4620	± 0,050 m
Residual Horizontal (Hz)	0,5950	1,1016	0,0000	0,2303	± 0,030 m
Residual Tiga Dimensi (3D)	1,1913	1,2270	0,0000	0,3612	± 0,050 m



Gambar 3. RMSE per Komponen Koordinat terhadap Toleransi

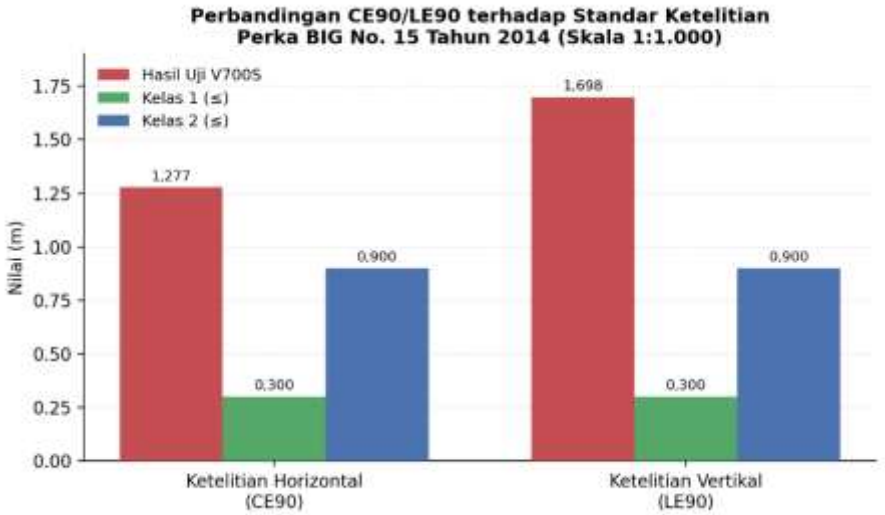
Evaluasi CE90, LE90, dan Klasifikasi Ketelitian BIG

Berdasarkan formulasi standar, diperoleh nilai ketelitian horizontal Circular Error 90% (CE90) sebesar 1,277 m dari RMSE Hz = 0,595 m, serta nilai ketelitian vertikal Linear Error 90% (LE90) sebesar

1,698 m dari RMSEz = 1,032 m. Hasil komparasi dengan regulasi Perka BIG No. 15 Tahun 2014 disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Klasifikasi Ketelitian Peta Skala 1:1.000 (Perka BIG No. 15 Tahun 2014)

Parameter	Hasil Uji V700S	Kelas 1 (≤)	Kelas 2 (≤)	Status Kepatuhan
Ketelitian Horizontal (CE90)	1,277 m	0,300 m	0,900 m	Tidak Memenuhi
Ketelitian Vertikal (LE90)	1,698 m	0,300 m	0,900 m	Tidak Memenuhi



Gambar 4. Perbandingan CE90/LE90 terhadap Standar Ketelitian Perka BIG No. 15 Tahun 2014

Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai CE90 (1,277 m) dan LE90 (1,698 m) dari data point cloud SLAM RTK LiDAR Hi-Target V700S melebihi ambang batas toleransi Kelas 1 maupun Kelas 2 untuk peta dasar skala 1:1.000. Tingkat kesalahan komponen vertikal (RMSEz = 1,032 m) tercatat hampir dua kali lebih besar dibanding komponen horizontal (RMSE Hz = 0,595 m). Pola ini konsisten dengan karakteristik umum sistem SLAM bergerak di mana sumbu vertikal sangat rentan terhadap akumulasi drift IMU dan ketidaksempurnaan estimasi vektor gravitasi lokal [2], [14].

Beberapa faktor utama yang memengaruhi ketelitian sistem RTK-SLAM pada penelitian ini meliputi:

1. **Drift Algoritma SLAM & Integrasi IMU:** Akumulasi kesalahan integrasi sensor inersial seiring panjangnya lintasan akuisisi menyebabkan pergeseran koordinat (trajectory drift), terutama pada loop lintasan yang panjang tanpa penutupan loop (loop closure) yang rapat [4], [17].
2. **Obstruksi dan Multipath Sinyal GNSS:** Koridor permukiman padat dengan dinding bangunan tinggi memicu fenomena Non-Line-of-Sight (NLOS) dan multipath pada antena GNSS rover, yang menurunkan kualitas koreksi RTK/PPK secara real-time [18].
3. **Kualitas Registrasi & Transformasi Koordinat:** Penyelarasan point cloud lokal ke sistem koordinat global memperkenalkan residu translasi dan rotasi, khususnya bila sebaran titik kontrol pengikat memiliki geometri terbatas [12], [19].

Meskipun belum memenuhi standar ketelitian peta skala 1:1.000, teknologi Hi-Target V700S menawarkan keunggulan signifikan dalam kecepatan akuisisi dan densitas data 3D. Oleh karena itu, instrumen ini sangat relevan untuk aplikasi survei pendahuluan, dokumentasi as-built kondisi eksisting, pemodelan kota 3D, atau pemetaan skala menengah hingga kecil yang mentoleransi ketelitian pada level meter.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, kerangka kontrol terestris (KKH dan KKV) terbukti memiliki presisi tinggi dengan kesalahan linear 1:21.723 dan penutup vertikal 2,0 mm sehingga valid digunakan sebagai ground truth evaluasi. Pengujian akurasi terhadap 50 titik GCP menghasilkan nilai RMSE horizontal sebesar 0,595 m, RMSE vertikal sebesar 1,032 m, dan RMSE 3D sebesar 1,191 m, yang mengindikasikan bahwa komponen vertikal memiliki tingkat kesalahan yang lebih tinggi. Dengan perolehan nilai CE90 sebesar 1,277 m dan LE90 sebesar 1,698 m, hasil tersebut belum memenuhi standar ketelitian peta

Rupabumi Indonesia skala 1:1.000 menurut Perka BIG No. 15 Tahun 2014, baik untuk Kelas 1 maupun Kelas 2.

Dengan demikian, teknologi RTK SLAM LiDAR Hi-Target V700S belum dapat menggantikan metode Total Station untuk pemetaan kadaster atau detail presisi tinggi, namun tetap efektif dimanfaatkan sebagai metode cepat untuk dokumentasi 3D dan survei skala menengah. Untuk penelitian lanjutan, disarankan agar dilakukan kalibrasi boresight dan IMU secara berkala, pengujian pada variasi tutupan lingkungan yang berbeda, penambahan titik kontrol dengan sebaran yang merata, serta pengoptimalan skema pembobotan integrasi GNSS/LiDAR..

5. Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional (Itenas). Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada pengelola Komplek Sapna Taruna PU Bandung Kidul atas izin dan dukungan fasilitas selama pelaksanaan survei lapangan.

6. Singkatan

SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
RTK	Real-Time Kinematic
LiDAR	Light Detection and Ranging
MMS	Mobile Mapping System
IMU	Inertial Measurement Unit
GNSS	Global Navigation Satellite System
KKH	Kerangka Kontrol Horizontal
KKV	Kerangka Kontrol Vertikal
GCP	Ground Control Point
BM	Benchmark
RMSE	Root Mean Square Error
CE90	Circular Error 90%
LE90	Linear Error 90%
BIG	Badan Informasi Geospasial
PPK	Post-Processing Kinematic
EDM	Electronic Distance Measurement
NLOS	Non-Line-of-Sight

7. Referensi

[1] I. Puente, H. González-Jorge, J. Martínez-Sánchez, and P. Arias, "Review of mobile mapping and surveying technologies," Measurement, vol. 46, no. 7, pp. 2127–2145, 2013. doi: 10.1016/j.measurement.2013.03.006.

[2] G. Sammartano and A. Spanò, "Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: Accuracy and geometric content validation in multiscale reference scenarios," Applied Geomatics, vol. 10, no. 4, pp. 317–339, 2018. doi: 10.1007/s12518-018-0226-0.

[3] S. K. Hussein and K. Y. Abdulla, "Surveying with GNSS and Total Station," Eurasian Journal of Science & Engineering, vol. 7, no. 1, pp. 59–73, 2021. doi: 10.23918/eajse.v7i1p59.

[4] C. Cadena, L. Carlone, H. Carrillo, Y. Latif, D. Scaramuzza, J. Neira, I. Reid, and J. J. Leonard, "Past, present, and future of simultaneous localization and mapping," IEEE Transactions on Robotics, vol. 32, no. 6, pp. 1309–1332, 2016. doi: 10.1109/TRO.2016.2624754.

[5] E. Rogca, G. Badea, C. Badea, and A. Badea, "The accuracy assessment of mobile LiDAR data for road infrastructure," in Proc. Int. Sci. Conf. CIBv, 2018.

[6] H. Saputra, R. Rizki, and M. Sastra, "Comparison of the accuracy of contour data in photogrammetric and terrestrial surveys," CSID Journal of Infrastructure Development, vol. 7, no. 2, pp. 120–133, 2024.

[7] H. Guan, J. Li, S. Cao, and Y. Yu, "Use of mobile LiDAR in road information inventory: A review," International Journal of Image and Data Fusion, vol. 7, no. 3, pp. 219–242, 2016. doi: 10.1080/19479832.2016.1188860.

[8] I. Hermawan, I. Suhendra, R. W. T. Karim, D. E. Wicaksono, and H. Wiranata, "Evaluation of precision and accuracy of Mobile Mapping System (MMS) Leica Pegasus Two Ultimate for road monitoring," in FIG Working Week 2023, Orlando, USA, 2023.

[9] Hi-Target, Hi-Target V700S Technical Specifications. Guangzhou: Hi-Target Surveying Instrument Co., Ltd., 2024.
[10] D. Perkasa, T. Nugroho, and S. Widiyantoro, "Akurasi dan efektivitas block adjustment menggunakan titik kontrol peta foto," Kadaster: Journal of Land Information Technology, vol. 3, no. 1, pp. 45–58, 2025.
[11] G. Moningkey, F. Rasyid, and D. Pratama, "Analisis perbandingan ketelitian Terrestrial Laser Scanner (TLS) dan UAS LiDAR," Jurnal Geodesi dan Geomatika, vol. 4, no. 1, pp. 12–24, 2025.
[12] G. Patrucco, G. Sammartano, C. Bonfanti, and A. Spanò, "Assessing terrestrial MMS 3D data for outdoor multi-scale modelling," Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., vol. 48, pp. 371–378, 2023. doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W1-2023-371-2023.
[13] Badan Informasi Geospasial, Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Cibinong: Badan Informasi Geospasial, 2014.
[14] J. Zhang and S. Singh, "LOAM: Lidar odometry and mapping in real-time," in Robotics: Science and Systems, vol. 2, no. 9, pp. 109–111, 2014.
[15] C. D. Ghilani and P. R. Wolf, Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics, 13th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012.
[16] ASPRS, "ASPRS accuracy standards for digital geospatial data," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 81, no. 3, pp. A1–A26, 2015.
[17] M. Bosse and R. Zlot, "Efficient large-scale 3D mobile mapping and surface reconstruction of an underground mine," in Field and Service Robotics. Berlin: Springer, 2013, pp. 479–493.
[18] N. Zhu, J. Marais, D. Bétaille, and M. Berbineau, "GNSS position integrity in urban environments: A review of literature," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 19, no. 9, pp. 2762–2778, 2018. doi: 10.1109/TITS.2017.2766458.
[19] P. Glira, N. Pfeifer, C. Briese, and C. Ressl, "A correspondence framework for ALS strip adjustments based on variants of the ICP algorithm," Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation, vol. 2015, no. 4, pp. 275–289, 2015. doi: 10.1127/pfg/2015/0275.