

INTISARI

Kebutuhan pemodelan bangunan terus meningkat untuk berbagai keperluan, termasuk dokumentasi dan analisis spasial. Pemodelan bangunan kini sangat penting untuk pengambilan keputusan di berbagai bidang. Pemodelan tersebut mampu memberikan data ukuran yang lebih lengkap, meliputi koordinat, jarak, luas bidang, dan volume. Seiring perkembangan teknologi, diperlukan pemetaan yang cepat dan akurat untuk pemodelan. Inovasi terbaru dalam teknologi pemodelan adalah perangkat portabel *Handheld Mobile Laser Scanner* (HMLS) berbasis LiDAR-SLAM. HMLS mampu melakukan pemindaian bergerak secara *real-time* dan menghasilkan data berupa *point cloud*. Namun demikian, tingkat akurasi yang dihasilkan masih memerlukan kajian lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji akurasi HMLS dalam memodelkan bangunan.

Objek penelitian yaitu Kompleks Fasilitas Kerohanian Universitas Gadjah Mada yang terletak di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi ini memiliki variasi wilayah, seperti ruang yang sangat terbuka, vegetasi tinggi, koridor sempit, hingga perbedaan ketinggian bangunan. Peralatan yang digunakan meliputi *receiver* GNSS, HMLS, dan *Total Station* (TS). Pengukuran diawali dengan penentuan koordinat lima titik *benchmark* (BM) melalui pengukuran GNSS yang diikatkan pada Titik Kontrol Geodesi (TKG) N.0005. TS digunakan untuk mengukur 30 titik sampel sebagai data uji statistik serta delapan *Independent Check Point* (ICP) untuk mengevaluasi akurasi geometri hasil pemindaian HMLS. Akuisisi data HMLS dilakukan sebanyak 12 kali pemindaian di seluruh area penelitian, menjangkau seluruh titik sampel dan ICP. Data yang diperoleh kemudian diregistrasi dengan metode *cloud-to-cloud* dengan perangkat lunak *Leica Cyclone 360 Register*. *Cleaning point clouds* dilakukan secara manual dan otomatis dengan fitur *smooth surface* dan *limit box*. Georeferensi dilakukan dengan memanfaatkan lima titik BM yang telah ditentukan. Evaluasi akurasi geometri dilakukan dengan membandingkan koordinat XYZ HMLS dengan TS. Pengujian statistik digunakan untuk menentukan apakah hasil sampel yang diamati berbeda secara signifikan.

Hasil registrasi pemindaian HMLS menunjukkan nilai *absolute mean error* sebesar 0,006 m, dengan ketelitian horizontal sebesar 0,009 m dan vertikal sebesar 0,010 m, yang memenuhi toleransi ketelitian skala peta 1:100 kelas 1. Hasil uji akurasi geometrik menunjukkan nilai RMSEr sebesar 0,025 m dan RMSEz sebesar 0,028 m. Batas aman nilai RMSE berdasarkan penelitian sebelumnya adalah 6 cm, sehingga hasil yang diperoleh dalam penelitian ini masih berada dalam rentang toleransi yang dapat diterima. Hasil uji statistik menunjukkan nilai t_{hitung} sebesar 1,644 pada komponen X, 1,667 pada komponen Y, 1,688 pada komponen Z, 1,301 pada ukuran jarak, dan 1,653 pada ukuran luas. Dengan nilai t_{tabel} sebesar 1,699 pada tingkat signifikansi 5%, nilai t_{hitung} komponen X, Y, dan Z serta ukuran jarak dan luas lebih kecil dari t_{tabel} . Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara data ukuran hasil HMLS dan TS. Hasil pemodelan berbasis *mesh* menunjukkan bahwa pemindaian HMLS mampu merepresentasikan seluruh objek di area yang kompleks.

Kata kunci: HMLS, pemodelan, akurasi, uji statistik

ABSTRACT

The demand for building modeling continues to increase for various purposes, including documentation and spatial analysis. Building modeling has become essential for supporting decision-making across multiple fields. Such modeling provides more comprehensive measurement data, including coordinates, distances, areas, and volumes. Along with technological advancements, fast and accurate mapping methods are increasingly required for building modeling applications. One of the latest innovations in modeling technology is the portable Handheld Mobile Laser Scanner (HMLS) based on LiDAR-SLAM technology. HMLS enables real-time mobile scanning and produces point clouds data. However, the accuracy level of the generated data still requires further investigation. Therefore, this study aims to evaluate the accuracy of HMLS in building modeling.

The study object is the Spiritual Facilities Complex of Universitas Gadjah Mada, located in Sleman Regency, Special Region of Yogyakarta, Indonesia. This area encompasses diverse environmental conditions, including very open spaces, dense vegetation, narrow corridors, and varying building heights. The instruments used in this study include a GNSS receiver, HMLS, and a Total Station (TS). The measurement process began with the determination of coordinates for five benchmark (BM) points using GNSS observations referenced to Geodetic Control Point (TKG) N.0005. The research uses TS to measure 30 sample points as statistical test data and eight Independent Check Points (ICP) to evaluate the geometric accuracy of the HMLS scanning results. The observation acquired HMLS data through 12 scanning sessions covering the entire study area, including all sample points and ICPs. The acquired data were registered using the cloud-to-cloud method in Leica Cyclone 360 Register. Point clouds cleaning was performed both manually and automatically using the *smooth surface* and *limit box* features. Georeferencing was carried out using the five previously established BM points. The analysis conducted a geometric accuracy evaluation by comparing the XYZ coordinates obtained from HMLS with those measured by TS. The analysis performed statistical testing to determine whether the observed measurement results differed significantly.

The HMLS registration results show an absolute mean error of 0.006 m, with horizontal accuracy of 0.009 m and vertical accuracy of 0.010 m, which satisfy the tolerance requirements for Class 1 map accuracy at a scale of 1:100. The geometric accuracy assessment results indicate an RMSE_r value of 0.025 m and an RMSE_z value of 0.028 m. Based on previous studies, the acceptable RMSE threshold is 6 cm; therefore, the results obtained in this study remain within the acceptable tolerance range. The statistical test results show *t*-values of 1.644 for the X component, 1.667 for the Y component, 1.688 for the Z component, 1.301 for distance measurements, and 1.653 for area measurements. With a *t*-table value of 1.699 at a 5% significance level, all calculated *t*-values for the X, Y, and Z components, as well as distance and area measurements, are smaller than the *t*-table value. These results indicate that there are no significant differences between the measurement data obtained from HMLS and TS. The mesh-based modeling results further demonstrate that HMLS scanning can successfully represent all objects within the complex study area.

Keywords: HMLS, modeling, accuracy, statistical test