

## Intisari

Pemetaan dalam ruangan menghadapi tantangan terkait kebutuhan akurasi tinggi dan efisiensi waktu dalam pekerjaan. Tantangan ini muncul karena keterbatasan ruang, variasi objek, serta kebutuhan detail yang variatif. Metode *laser scanner*, baik statis maupun dinamis memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing dalam menjawab tantangan tersebut. *Laser scanner* dinamis seperti *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) memiliki mobilitas lebih fleksibel dan durasi pengukuran lebih singkat dibandingkan metode statis. Keunggulan ini menjadikan metode dinamis sebagai alternatif yang berpotensi menggantikan penggunaan metode statis, seperti *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) yang telah banyak diterapkan untuk pemetaan dalam ruangan. Di sisi lain, *Cavity Monitoring System* (CMS) yang juga termasuk dalam metode statis, baru diterapkan di pertambangan bawah tanah dan belum banyak dieksplorasi untuk penerapan lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa dari ketiga alat *laser scanner* untuk pemetaan dalam ruangan, sehingga dapat diketahui tingkat akurasi dan efisiensi tiap-tiap metode *laser scanner*.

Penelitian ini menggunakan objek berupa interior lantai satu bagian timur Gedung Departemen Teknik Geodesi UGM seluas 1.430 m<sup>2</sup>. Penelitian diawali dengan pemasangan 19 *Independent Control Point* (ICP) di dalam bangunan, dan pengukuran empat *Ground Control Point* (GCP) menggunakan poligon tertutup dengan *Total Station*. Koordinat GCP dijadikan acuan dari TLS, CMS, dan SLAM dalam proses akuisisi sehingga data mengacu referensi global. Pada metode statis, TLS dan CMS melakukan pemindaian sejumlah delapan kali *scan station*, sedangkan SLAM sebagai metode dinamis menggunakan prinsip *loop closure* dengan lima kali *looping* selama proses pemindaian. Proses registrasi pada metode statis menggunakan algoritma *Iterative Closest Point* untuk menyatukan hasil antar pemindaian, sedangkan metode dinamis menggunakan teknik *Point Cloud Mapping* berdasarkan trayek atau rute pemindaian. Data *point clouds* hasil ketiga *laser scanner* dibandingkan satu sama lain untuk menghitung nilai akurasi melalui perbandingan koordinat ICP dan dimensi objek terhadap data *Total Station*. Saat melakukan pekerjaan, dilakukan pencatatan durasi dan detak jantung pengguna. Durasi pekerjaan diformulasikan menjadi parameter rasio durasi produktif (RDP), sedangkan catatan detak jantung dikonversi menjadi parameter efek kelelahan (EL). Kombinasi kedua parameter tersebut digunakan untuk menentukan nilai efisiensi dari tiap metode untuk melakukan pemetaan dalam ruangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa TLS memiliki akurasi paling mendekati *Total Station* (RMSE<sub>r</sub> ICP 22,51 mm; RMSE<sub>z</sub> ICP 4,5 mm; RMSE dimensi objek 2,5 mm), namun kurang efisien karena lambatnya durasi pengukuran dan pengolahan, RDP yang rendah (0,415) dan EL tertinggi (0,24). SLAM terbukti sebagai metode paling efisien dengan durasi pengukuran tercepat, RDP tertinggi (0,829), dan EL paling rendah (0,16), meskipun akurasinya lebih rendah (75,15 mm; 42,97 mm; 15,22 mm). Di sisi lain, meskipun CMS memiliki durasi pengolahan tercepat, alat ini memiliki nilai akurasi paling rendah (RMSE dimensi objek 43,17 mm), RDP paling rendah (0,384), durasi pengukuran paling lambat, serta EL menengah (0,19). Hasil menunjukkan bahwa TLS unggul dalam aspek akurasi, namun kurang efisien, sedangkan CMS memiliki keterbatasan dalam akurasi dan efisiensi. Kondisi tersebut menempatkan SLAM sebagai metode terbaik untuk pemetaan dalam ruangan karena memberikan keseimbangan antara akurasi memadai dan efisiensi tinggi.

Kata kunci: pemetaan dalam ruangan, *laser scanner* statis, *laser scanner* dinamis, evaluasi, kinerja, TLS, CMS, SLAM, akurasi, efisiensi

## Abstract

Indoor mapping faces challenges related to the demand for high accuracy and time efficiency in surveying tasks. These challenges arise due to spatial constraints, object variability, and differing levels of required detail. Laser scanning methods, both static and dynamic, have their respective advantages and limitations in addressing these challenges. Dynamic laser scanners such as Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) offer greater mobility and shorter measurement durations compared to static methods. This advantage positions dynamic methods as potential alternatives to replace static techniques, such as Terrestrial Laser Scanner (TLS), which has been widely applied for indoor mapping. On the other hand, Cavity Monitoring System (CMS), which also belongs to the static method, has so far only been applied in underground mining and remains underexplored for other applications. This potential necessitates a performance evaluation of the three laser scanners for indoor mapping to determine the accuracy and efficiency levels of each method.

This study used the interior of the eastern section of the first floor of the Department of Geodetic Engineering Building, Universitas Gadjah Mada, covering an area of 1,430 m<sup>2</sup>. The research began with the installation of 19 Independent Control Points (ICP) inside the building and the measurement of four Ground Control Points (GCP) using a closed traverse measured by a Total Station. The GCP coordinates served as reference for TLS, CMS, and SLAM during data acquisition, ensuring consistent global referencing. For static methods, TLS and CMS each performed eight scan stations, while SLAM, as a dynamic method, employed the loop closure principle with five loops during scanning. The registration process for static methods used the Iterative Closest Point algorithm to merge scan data, whereas the dynamic method utilized Point Cloud Mapping based on scanning trajectories or paths. The resulting point clouds from the three scanners were compared to assess accuracy by analyzing ICP coordinates and object dimensions against Total Station data. During fieldwork, the duration and heart rate of the operator were recorded. The measurement duration was formulated into a Productive Time Ratio (PTR) parameter, while heart rate data were converted into a Fatigue Effect (FE) parameter. The combination of these parameters was used to determine the efficiency of each method for indoor mapping.

The results show that TLS achieved the highest accuracy closest to the Total Station (RMSE<sub>r</sub> ICP 22.51 mm; RMSE<sub>z</sub> ICP 4.5 mm; object dimension RMSE 2.5 mm) but was less efficient due to longer measurement and processing durations, a low PTR (0.415), and the highest FE (0.24). SLAM proved to be the most efficient method, with the fastest measurement duration, highest PTR (0.829), and lowest FE (0.16), despite having lower accuracy (75.15 mm; 42.97 mm; 15.22 mm). Meanwhile, although CMS provided the fastest processing time, it showed the lowest accuracy (object dimension RMSE 43.17 mm), the lowest PTR (0.384), the slowest measurement duration, and a moderate FE (0.19). The findings indicate that TLS excels in accuracy but lacks efficiency, while CMS shows limitations in both aspects. Consequently, SLAM is identified as the most optimal method for indoor mapping, offering a balance between sufficient accuracy and high efficiency.

**Keywords:** indoor mapping, static laser scanner, dynamic/mobile laser scanner, evaluation, performance, TLS, CMS, SLAM, accuracy, efficiency