

Intisari

Masjid Agung Al-Aqsha merupakan bangunan ikonik di Kabupaten Klaten yang memiliki menara setinggi sekitar 65 m. Menara masjid ini diberitakan mengalami kemiringan beberapa derajat ke arah timur, yang menimbulkan kekhawatiran terkait keamanan dan kestabilan struktur. Pengecekan kemiringan objek bangunan berperan penting dalam menjaga kestabilan bangunan, karena kemiringan dapat menyebabkan beban tidak merata dan potensi kegagalan struktur. Teknologi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) seperti Topcon GLS-2000 menawarkan metode survei yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional seperti *Total Station* (TS), khususnya untuk objek dengan permukaan yang halus dan kompleks, seperti bentuk tabung pada cerobong asap atau menara. Penelitian ini bertujuan untuk mengecek sudut kemiringan gedung menara Masjid Al-Aqsha menggunakan TLS Topcon GLS-2000 dan diharapkan dapat menjadi dasar pemanfaatan teknologi survei untuk pemantauan bangunan di masa mendatang.

Peneliti melakukan perencanaan dan akuisisi data dengan *Global Navigation Satellite System* (GNSS), TLS, dan TS terhadap objek menara Masjid Agung Al-Aqsha Klaten pada tahap awal penelitian. Akuisisi data lapangan meliputi pengukuran GNSS Statik untuk pendefinisian titik kontrol, pengukuran objek menara masjid dengan TLS, serta pengukuran sampel dimensi menara masjid dengan TS sebagai data acuan untuk validasi. Titik kontrol yang digunakan dalam pengukuran berjumlah empat titik yang tersebar di sekitar menara. Data TLS diolah dengan perangkat lunak MAGNET Collage dan Maptek Point Studio sehingga menghasilkan model 3D *point clouds* menara masjid dengan mempertimbangkan kualitas registrasi yang dilakukan. Hasilnya kemudian divalidasi terhadap data TS dengan perhitungan akurasi titik dengan RMSE dan pengujian jarak dengan uji statistik distribusi *student (t-test)*. Vertikalitas menara dihitung dengan Teorema Pythagoras serta dibandingkan terhadap data akuisisi TS.

Hasil pemrosesan data ukuran TLS menunjukkan bahwa sebagian besar *scanworld point clouds* memiliki kualitas registrasi $\geq 60\%$. Uji akurasi menunjukkan nilai RMSE horizontal sebesar 0,091 m dan vertikal sebesar 0,101 m. Uji statistik (*t-test*) terhadap jarak objek menyimpulkan bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antar data TLS dan TS sehingga data *point clouds* telah merepresentasikan bentuk menara dengan baik dan dapat digunakan untuk pengecekan vertikalitas. Perhitungan vertikalitas menunjukkan penyimpangan sebesar 31,9 cm pada akuisisi dengan TLS dan 30,4 cm dengan alat TS, dengan sudut kemiringan masing-masing diperoleh sebesar $0^{\circ}20'15,60''$ dan $0^{\circ}19'18,33''$. Selisih jarak penyimpangan menara antara TLS dan TS menunjukkan nilai sebesar 14 s.d 15 mm (rerata 15 mm), sedangkan selisih sudut kemiringan mencapai $0^{\circ}0'47,66''$ hingga $0^{\circ}4'4,98''$. Arah penyimpangan menara terdeteksi menuju arah Barat Daya, dengan selisih arah antar metode sebesar $10^{\circ}41'31''$. Hasil kedua metode tersebut tidak memenuhi batas toleransi vertikalitas yang berlaku.

Kata Kunci: Vertikalitas, Menara, *Point Clouds*, *Terrestrial Laser Scanner*, *Total Station*

Abstract

The Masjid Agung Al-Aqsha is an iconic building in Klaten Regency, featuring a tower approximately 65 m tall. Reports have indicated that the tower is tilting several degrees to the east, raising concerns about the safety and stability of the structure. Checking the inclination of a building is crucial to ensure structural stability, as tilting can cause uneven load distribution and potential structural failure. Terrestrial Laser Scanner (TLS) technology, such as the Topcon GLS-2000, offers a more efficient surveying method compared to conventional methods like the Total Station (TS), especially for objects with smooth and complex surfaces, such as cylindrical chimneys or towers. This study aims to examine the tilt angle of the Masjid Agung Al-Aqsha tower using the TLS Topcon GLS-2000 and is expected to support the future use of surveying technology for building monitoring.

The researcher conducted data planning and acquisition using the Global Navigation Satellite System (GNSS), TLS, and TS on the Al-Aqsha Mosque tower in the initial phase of the study. Field data acquisition included static GNSS measurements to define control points, TLS scanning of the mosque tower, and TS measurements of selected dimensions for validation purposes. Four control points were established around the tower. TLS data were processed using MAGNET Collage and Maptek Point Studio software to produce a 3D point clouds model of the tower, taking into account the quality of the registration. The results were validated against TS data through accuracy calculation using RMSE and distance testing with a Student's t-test. Tower verticality was calculated using the Pythagorean Theorem and compared with TS-acquired data.

The TLS measurement results showed that most scanworld point clouds had registration quality of $\geq 60\%$. Accuracy testing revealed horizontal and vertical RMSE values of 0,091 m and 0,101 m. Statistical (t-test) analysis on object distances indicated no significant difference between TLS and TS data, meaning the point cloud data accurately represented the shape of the tower and were suitable for verticality analysis. The verticality calculation showed a deviation of 31,9 cm using TLS and 30,4 cm using TS, with tilt angles of $0^{\circ}20'15,60''$ and $0^{\circ}19'18,33''$. The difference in deviation between TLS and TS ranged from 14 to 15 mm (average 15 mm), and the tilt angle difference ranged from $0^{\circ}0'47,66''$ to $0^{\circ}4'4,98''$. The tilt direction was detected toward the southwest, with a directional difference of $10^{\circ}41'31''$ between the two methods. The results from both methods did not meet the established verticality tolerance standards.

Keyword: Verticality, Tower, Point Clouds, Terrestrial Laser Scanner, Total Station