

INTEGRASI DATA TLS DAN DATA LIDAR SMARTPHONE UNTUK PEMODELAN 3D CANDI CANGKUANG

DERIL SANDI SUSANTO¹, GUSTI AYU JESSY KARTINI²

¹Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil &
Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Jl.
PHH. Hasan Mustapa No. 23 Bandung

Email : derilsandis@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Dokumentasi digital berbasis model 3D menjadi salah satu metode penting dalam pelestarian cagar budaya karena mampu merekam bentuk geometris secara presisi dan menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan efektivitas pemodelan 3D Candi Cangkuang menggunakan dua teknologi berbeda, yaitu Terrestrial Laser Scanner (TLS) Trimble X7 dan sensor LiDAR pada smartphone iPhone 13 Pro dengan aplikasi 3DScanner dan Polycam. Metode evaluasi dilakukan dengan menghitung nilai RMSE, serta melakukan analisis perbandingan menggunakan metode Cloud-to-Cloud (C2C), Mesh-to-Mesh, dan Multiscale Model to Model Comparison (M3C2) melalui perangkat lunak CloudCompare. Hasil menunjukkan bahwa TLS menghasilkan model dengan akurasi tertinggi (RMSE ± 1 mm), namun kurang fleksibel dalam akuisisi data. Sementara itu, LiDAR smartphone menunjukkan efisiensi waktu dan kemudahan penggunaan dengan tingkat deviasi rata-rata masih dalam batas wajar ($\pm 2-5$ cm). Di antara kedua aplikasi, Polycam memberikan hasil yang lebih stabil dan cakupan area yang lebih luas dibandingkan 3DScanner. Kesimpulannya, LiDAR smartphone memiliki potensi besar sebagai alternatif efisien untuk dokumentasi 3D, khususnya jika dikombinasikan dengan TLS untuk meningkatkan kualitas hasil akhir.

Kata Kunci : Terrestrial Laser Scanner, LiDAR Smartphone, Pemodelan 3D, Cagar Budaya, Candi Cangkuang.

ABSTRACT

3D digital documentation has become an essential method in cultural heritage preservation due to its ability to capture accurate and comprehensive geometric details. This study aims to evaluate the accuracy and effectiveness of 3D modeling of Candi Cangkuang using two different technologies: the Terrestrial Laser Scanner (TLS) Trimble X7 and the LiDAR sensor on the iPhone 13 Pro smartphone through 3D Scanner and Polycam applications. The evaluation method includes calculating RMSE values and conducting comparative analysis using Cloud-to-Cloud (C2C), Mesh-to-Mesh, and Multiscale Model to Model Comparison (M3C2) through the CloudCompare software. The results show that TLS produced the highest accuracy model (RMSE ± 1 mm) but was less flexible during data acquisition. On the other hand, the smartphone LiDAR demonstrated high time efficiency and ease of use, with average deviation values still within acceptable limits ($\pm 2-5$ cm). Among the two applications, Polycam provided more stable results and wider area coverage compared to 3DScanner. In conclusion, smartphone LiDAR holds great potential as an efficient alternative for 3D documentation, especially when combined with TLS to enhance final model quality.

Keyword : Terrestrial Laser Scanner, Smartphone LiDAR, 3D Modeling, Cultural Heritage, Candi Cangkuang.

1. PENDAHULUAN

Pelestarian cagar budaya merupakan salah satu upaya penting dalam menjaga identitas sejarah dan kebudayaan bangsa. Salah satu bentuk pelestarian modern adalah melalui dokumentasi digital berbasis model 3D yang dapat digunakan untuk konservasi, penelitian, maupun edukasi. (Remondino & Campana, 2014). Candi Cangkuang, sebagai salah satu peninggalan Hindu abad ke-8 di Jawa Barat, merupakan objek yang memiliki nilai historis tinggi dan memerlukan dokumentasi akurat serta efisien.

Teknologi pemindaian seperti Terrestrial Laser Scanner (TLS) telah terbukti mampu menghasilkan data spasial dengan akurasi tinggi, ke akurataannya sampai skala milimeter, sehingga cocok untuk pemodelan objek kompleks (Kędzierski dkk., 2015) namun memiliki keterbatasan dalam hal biaya dan fleksibilitas alat di lapangan. Di sisi lain, kemunculan sensor LiDAR pada smartphone modern seperti iPhone 13 Pro menawarkan alternatif dokumentasi 3D yang lebih cepat dan praktis, meskipun dengan akurasi yang lebih rendah (Catharia dkk., 2023). Perbedaan karakteristik ini memunculkan pertanyaan mengenai sejauh mana potensi dan efektivitas LiDAR smartphone dalam konteks dokumentasi cagar budaya.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membandingkan hasil pemindaian TLS dan LiDAR smartphone, namun sebagian besar masih terbatas pada objek indor atau ruang terbatas (Askar & Sternberg, 2023). Belum banyak studi yang secara langsung mengevaluasi akurasi dan efektivitas kedua teknologi tersebut dalam konteks situs cagar budaya terbuka seperti candi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang lebih mendalam untuk mengevaluasi serta mengintegrasikan data TLS dan LiDAR smartphone dalam satu model 3D yang utuh. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan efektivitas data TLS dan LiDAR smartphone dalam pemodelan 3D Candi Cangkuang, serta menganalisis potensi integrasi keduanya dalam menghasilkan model digital yang representatif untuk mendukung pelestarian budaya.

Pemodelan 3D telah menjadi metode penting dalam pelestarian dan penyajian informasi warisan budaya. Pemodelan 3D memberikan berbagai manfaat, di antaranya meningkatkan akurasi visualisasi untuk menampilkan informasi dari suatu objek termasuk cagar budaya. Teknologi ini juga memungkinkan simulasi kondisi nyata sebelum pembuatan fisik (Rahman & Siregar, 2021). Teknologi ini memungkinkan pembuatan replika digital yang dapat diakses publik, digunakan dalam riset, maupun sebagai alat edukasi (Remondino & Campana, 2014). Penelitian oleh Sari & Pratama (2023), menunjukan perbandingan hasil pemindaian ruang menggunakan TLS dan LiDAR smartphone, dengan hasil yang cukup menjanjikan dalam konteks integrasi data.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi serta mengintegrasikan data TLS dan LiDAR smartphone guna menghasilkan model 3D yang representatif dan dapat dimanfaatkan dalam pelestarian serta edukasi digital situs budaya. Oleh karena itu, integrasi antara TLS dan LiDAR smartphone menjadi penting dalam pemodelan 3D, karena mampu menggabungkan keunggulan presisi tinggi dari TLS dengan fleksibilitas dan kemudahan akses LiDAR smartphone. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi akuisisi data di lapangan, tetapi juga untuk menghasilkan model 3D yang lebih lengkap, detail, dan representatif. Dengan integrasi ini dokumentasi digital situs budaya seperti Candi Cangkuang dapat dilakukan secara lebih optimal, baik untuk kepentingan penelitian, pelestarian, maupun pengembangan media edukasi dan pariwisata berbasis teknologi.

2. DATA DAN METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di situs Candi Cangkuang yang terletak di Kampung Pulo, Desa Cangkuang, Kecamatan Leles, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Candi Cangkuang

2.2 Data

Dalam penelitian ini menggunakan data TLS dan data LiDAR iPhone. Dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Data Penelitian

No	Data	Akuisisi	Sumber
1.	TLS (Terrestrial Laser Scanner) PointCloud	2025	Survei Lapangan
2.	LiDAR Smartphone PointCloud	2025	Survei Lapangan

2.3 Peralatan

Dalam penelitian ini memerlukan peralatan penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Peralatan Penelitian

No.	Peralatan	Keterangan
1.	Laptop Lenovo Legion	Untuk melakukan pembuatan dan pengolahan data dalam Penelitian Tugas Akhir
2.	Smartphone Iphone 13 Pro	Dilengkapi sensor LiDAR, digunakan untuk pemindaian menggunakan aplikasi 3Dscanner & Polycam
3.	Trimble X7	Akurasi 2 mm pada 20 m, jarak maksimum 80 m, dilengkapi sistem auto-calibration & self leveling

No.	Peralatan	Keterangan
4.	Checkerboard Target	Digunakan untuk registrasi dan referensi spasial antara TLS
5.	CloudCompare	Perangkat Lunak open-source untuk pengolahan point cloud dan evaluasi akurasi model
6.	Aplikasi Polycam	Aplikasi pemodelan 3D berbasis LiDAR iPhone, ekspor file .Las , .ply/.obj .
7.	Aplikasi 3DScanner	Aplikasi alternatif untuk pemindaian berbasis LiDAR iPhone, dengan ekspor file .Las , .ply/.obj.

2.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur yang mendalam mengenai teknologi pemindaian 3D, khususnya Terrestrial Laser Scanner (TLS) dan LiDAR yang terintegrasi pada smartphone, serta berbagai metode evaluasi akurasi model 3D seperti RMSE, Cloud-to-Cloud (C2C), Mesh-to-Mesh dan M3C2. Studi ini bertujuan membangun pemahaman konseptual serta menelusuri penelitian-penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi celah (research gap) yang masih belum banyak dibahas, khususnya dalam konteks dokumentasi situs cagar budaya terbuka.

Tahapan selanjutnya adalah akuisisi data utama dilapangan, yaitu di situs Candi Cangkung, Garut. Pemindaian ini dilakukan menggunakan dua metode, yakni TLS Trimble X7 dan LiDAR iPhone 13 Pro. TLS digunakan untuk pemindaian utama dengan 17 titik berdiri alat, sedangkan LiDAR iPhone digunakan secara bergerak (mobile scanning) untuk menjangkau area sempit di sekitar candi. Data yang diperoleh dari kedua alat kemudian diekspor dalam format standar seperti .las, .e57, dan .ply untuk keperluan pengolahan.

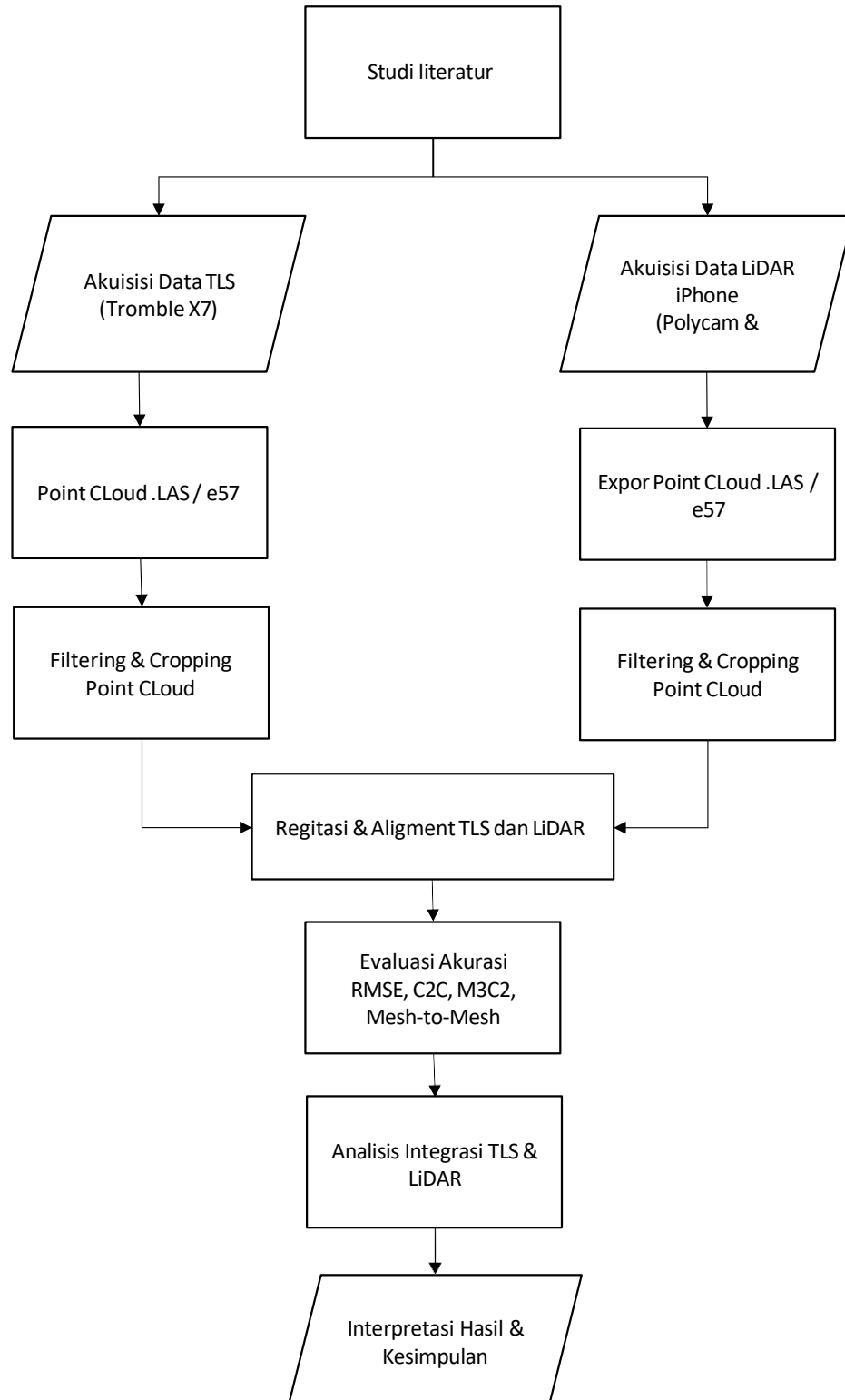
Setelah data terkumpul, proses pengolahan dilakukan menggunakan perangkat lunak CloudCompare. Tahapan ini meliputi import point cloud, pembersihan noise, pemotongan area tertentu (cropping), serta proses registrasi dengan penggabungan antara data TLS dan LiDAR. Registrasi dilakukan secara manual maupun otomatis untuk memastikan keselarasan geometris antara kedua dataset. Selain itu, mesh model juga dapat dibentuk untuk kebutuhan analisis bentuk permukaan.

Langkah berikutnya adalah evaluasi akurasi model. Parameter yang digunakan mencakup RMSE, jumlah titik point cloud, dan waktu akuisisi. Evaluasi dilakukan dengan fitur analisis Cloud-to-Cloud, Mesh-to-Mesh dan M3C2 pada CloudCompare untuk membandingkan ketelitian dan ketepatan antara hasil model dari TLS, Lidar Smartphone, dan hasil integrasi keduanya. Hasil perbandingan ini dianalisis secara kuantitatif visual menggunakan heatmap deviasi.

Tahapan akhir dari penelitian ini adalah analisis hasil dan penyusunan kesimpulan. Hasil dari setiap metode dievaluasi dari segi akurasi, efisiensi waktu, dan kelengkapan model. Berdasarkan analisis tersebut, ditarik kesimpulan mengenai keunggulan dan keterbatasan masing-masing metode, serta potensi integrasi TLS dan LiDAR smartphone sebagai solusi alternatif dalam dokumentasi digital cagar budaya.

2.5 Diagram Alir

Diagram alir dalam penelitian ini pada Gambar 2.

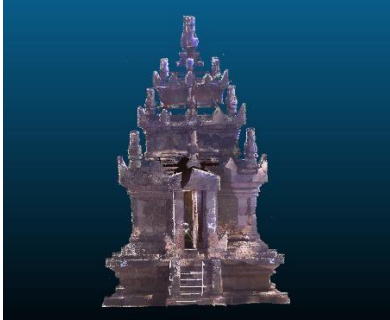
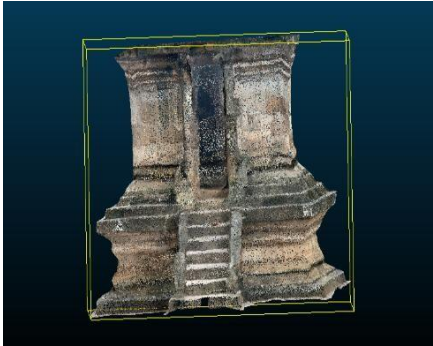
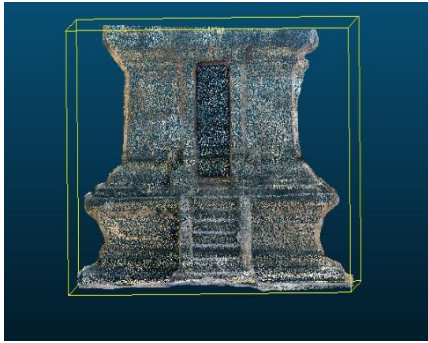


Gambar 2 Diagram Alir

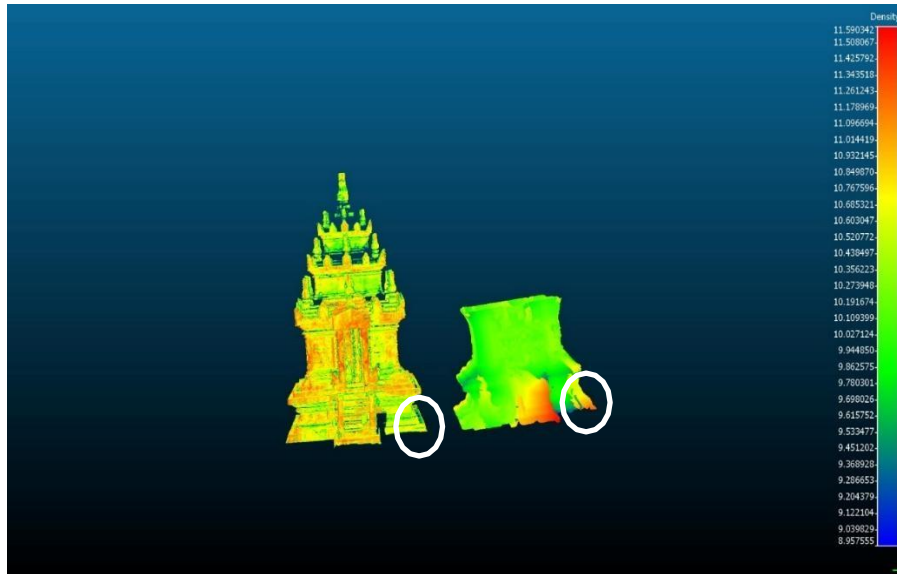
3. HASIL DAN ANALISIS

Bagian ini menyajikan hasil pemindaian objek Candi Cangkuang menggunakan dua metode, yaitu Terrestrial Laser Scanner (TLS) Trimble X7 dan LiDAR smartphone (iPhone 13 Pro) melalui aplikasi 3DScanner dan Polycam. Setiap hasil dianalisis berdasarkan jumlah titik point cloud, tingkat akurasi, serta efektivitas dalam menghasilkan model 3D.

Tabel 3 Hasil RMS Data TLS dan LiDAR

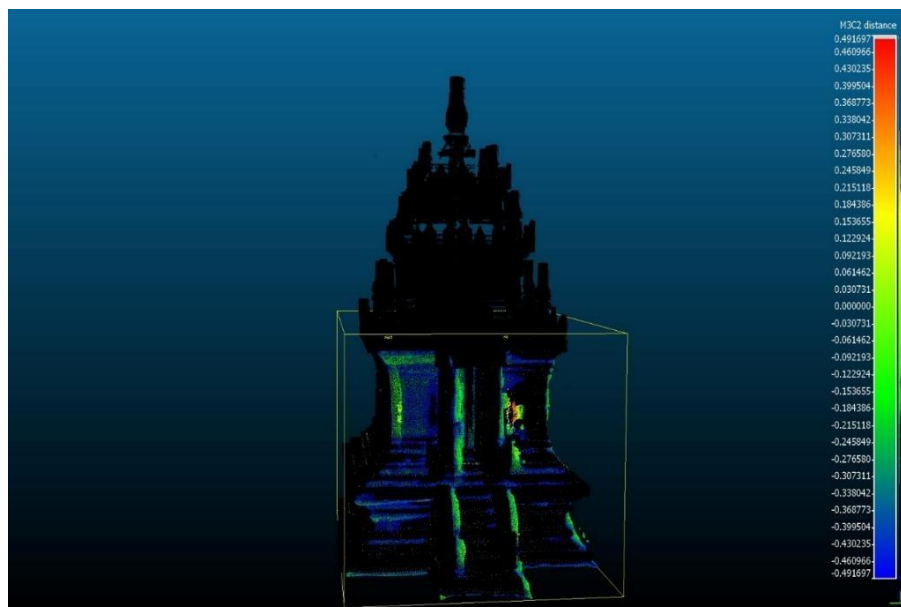
No	Alat	Visual	RMS
1.	Trimble X7		1,093
2.	LiDAR Smartphone 3D Scanner		1,047
3.	LiDAR Smartphone Polycam		1,403

Untuk menggambarkan selisih antara model TLS dan hasil pemindaian LiDAR Smartphone menggunakan aplikasi 3Dscanner dan Polycam, Dilakukan analisis menggunakan metode Mesh-to-Mesh, M3C2, dan Cloud-to-Cloud visualisasinya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 3Dscanner App dan TLS Mesh-to-Mesh

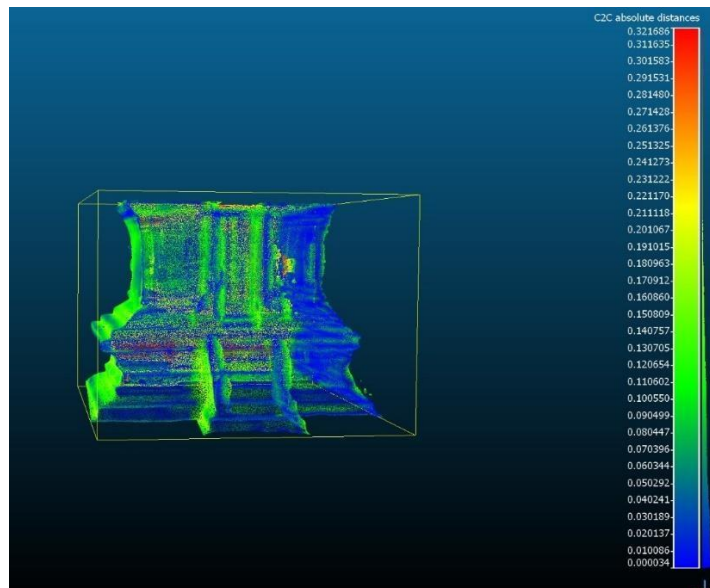
Gambar 3 menunjukkan hasil evaluasi Mesh-to-Mesh antara model 3D TLS dan LiDAR 3DScanner App. Perbedaan bentuk permukaan terlihat beberapa area, terutama pada sisi bagian bawah dan bagian relief yang dilingkari putih.



Gambar 4 3DScanner App dan TLS M3C2

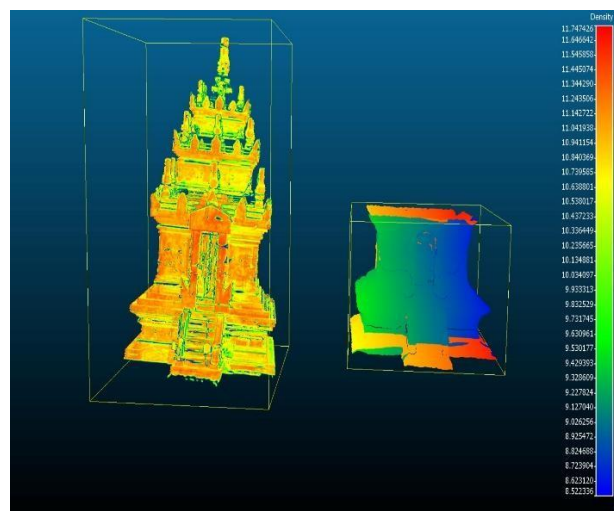
Evaluasi deviasi yang ditunjukkan pada Gambar 4 permukaan menggunakan metode M3C2 menunjukkan bahwa mayoritas area permukaan model LiDAR memiliki deviasi spasial yang relatif kecil terhadap model TLS. Nilai deviasi berkisar dari $-0,49$ meter hingga $+0,49$ meter, yang ditampilkan dalam bentuk heatmap warna. Warna hijau mendominasi sebagian besar permukaan candi, menandakan kesesuaian bentuk antar model. Area dengan warna merah dan biru menunjukkan deviasi signifikan di bagian sudut dan detail relief, yang kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan jangkauan dan ketelitian sensor LiDAR smartphone. Distribusi simetris pada skala deviasi menandakan bahwa penyimpangan tidak mengarah secara

dominan ke dalam atau ke luar permukaan, sehingga model LiDAR tetap dapat dikatakan representatif secara bentuk global.



Gambar 5 3DScanner App dan TLS Cloud-to-Cloud

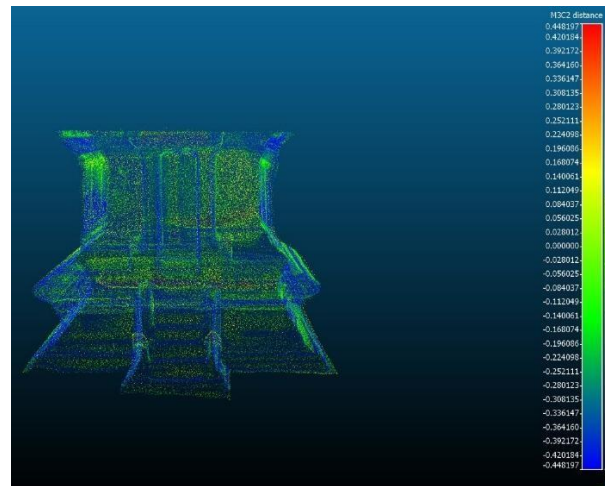
Evaluasi spasial antara model TLS dan model hasil LiDAR smartphone dilakukan menggunakan metode Cloud-to-Cloud (C2C) pada perangkat lunak CloudCompare seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa rata-rata deviasi antar titik sebesar 0,049 meter, dengan standar deviasi sebesar 0,044 meter. Peta warna (heatmap) menunjukkan bahwa sebagian besar area candi memiliki deviasi dalam rentang $\pm 2-5$ cm (warna biru-hijau), sementara deviasi maksimum tercatat sebesar $\pm 0,321$ meter, yang terdeteksi pada area relief kecil dan sisi-sisi objek yang sulit terjangkau oleh sensor. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk tujuan dokumentasi digital dan representasi visual non-struktural.



Gambar 6 Polycam App LiDAR iPhone dan TLS Mesh-to-Mesh

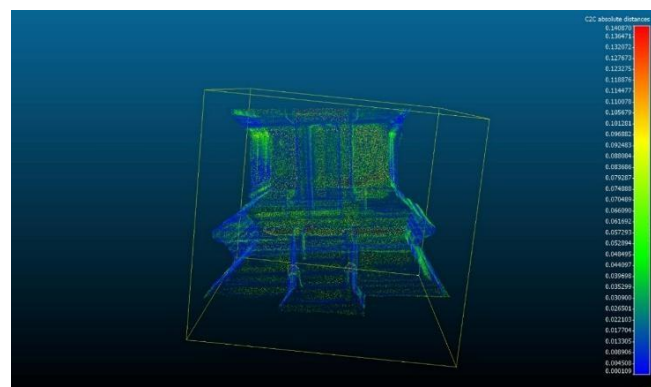
Gambar 6 menunjukkan hasil evaluasi bentuk permukaan menggunakan metode Mesh-to-Mesh antara model TLS dan model hasil Polycam. Warna pada heatmap merepresentasikan

nilai deviasi antar permukaan, di mana warna merah dan biru menunjukkan deviasi tinggi, sedangkan warna hijau–kuning menunjukkan permukaan yang relatif serupa. Terlihat bahwa model TLS memiliki bentuk yang jauh lebih detail dan padat, sementara model dari Polycam mengalami distorsi terutama di bagian pinggir objek. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan sensor LiDAR pada smartphone yang memiliki resolusi lebih rendah serta sudut pemindaian yang terbatas. Distorsi juga dapat muncul akibat pergerakan tangan saat akuisisi dan kurang optimalnya pencahayaan. Meskipun demikian, bentuk umum dari objek tetap dapat ditangkap dengan cukup baik oleh Polycam.



Gambar 7 Polycam App LiDAR iPhone dan TLS M3C2

Berdasarkan hasil evaluasi M3C2 yang ditunjukkan pada Gambar 7, nilai mean distance sebesar $\pm 0,049$ meter dan standar deviasi sebesar $\pm 0,044$ meter menunjukkan bahwa model hasil LiDAR smartphone dengan aplikasi Polycam masih berada dalam batas deviasi yang dapat diterima untuk keperluan dokumentasi 3D non-struktural. Nilai tersebut memenuhi standar toleransi spasial untuk digitalisasi objek budaya dengan tujuan visualisasi dan pelestarian berbasis teknologi. Meski demikian, penggunaan LiDAR smartphone untuk keperluan teknis struktural atau restorasi presisi masih memerlukan peningkatan akurasi melalui metode pemindaian profesional seperti TLS.



Gambar 8 Polycam App LiDAR iPhone dan Cloud-to-Cloud

Analisis C2C antara TLS dan Polycam tampak pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa LiDAR iPhone mampu merekam bentuk global objek dengan baik, namun masih terdapat selisih pada detail halus. Peta deviasi menunjukkan dominasi warna biru-hijau, menandakan deviasi rata-rata yang rendah.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi Terrestrial Laser Scanner (TLS) memberikan tingkat akurasi tinggi dalam dokumentasi cagar budaya berbasis model 3D, dengan nilai RMSE sekitar ± 1 mm. Meskipun demikian, keterbatasan TLS dalam hal biaya, ukuran alat, dan kebutuhan operasional lapangan menjadikan kurang fleksibel untuk kondisi tertentu. Meskipun akurasinya lebih rendah LiDAR smartphone yakni berkisar antara ± 2 hingga ± 5 cm, tingkat akurasi tersebut masih dapat diterima untuk kebutuhan dokumentasi umum, edukasi, serta pelestarian digital. Aplikasi 3DScanner App mampu menghasilkan ± 550 ribu titik, tetapi cenderung menghasilkan model yang kurang stabil dan memiliki deviasi permukaan yang lebih tinggi, khususnya di area relief dan sudut. Sementara itu, Polycam menghasilkan ± 220 ribu titik, namun menunjukkan performa yang lebih stabil dan hasil evaluasi akurasi yang lebih mendekati TLS, baik dari sisi nilai RMSE, C2C, maupun M3C2. Aplikasi Polycam mampu menghasilkan model yang lebih representatif secara bentuk dan memiliki kedekatan spasial yang lebih baik terhadap hasil TLS dibandingkan 3DScanner App. Berdasarkan hasil penelitian, LiDAR smartphone dapat menjadi alternatif pada area sempit atau sulit dijangkau. Penggunaan Polycam lebih disarankan dibanding 3DScanner App karena menghasilkan model yang lebih stabil dan akurat. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada optimalisasi metode integrasi TLS dan LiDAR smartphone dengan beragam skenario untuk memperoleh hasil yang lebih baik.

DAFTAR RUJUKAN

- Askar, C., & Sternberg, H. (2023). Use of smartphone LiDAR technology for low-cost 3D building documentation. *Geomatics*, 3(4), 563–579.
- G. A. J. Kartini, A. Rizky, and F. A. Rafiq, "Utilization of Terrestrial Laser Scanner Technology for Analyzing Shape of Dutch Cave (Bandung, West Java),"
- G. A. J. Kartini, A. Rizky, and M. A. Fikri, "3D Documentation of Cultural Heritage using Smartphone LiDAR Sensor and Terrestrial Laser Scanner: Comparative Study in Cikapundung Park, Bandung,"
- Kędziński, M., et al. (2015). Impact of Registering TLS Data on Cultural Heritage. *ISPRS Archives*, XL-5/W7, 135–142.
- Llabani, A., & Abazaj, F. (2024). A comparative analysis between personal and terrestrial laser scanning for the documentation of heritage sites. *Stavební Obzor – Civil Engineering Journal*, 33(2), 199–214. <https://doi.org/10.14311/CEJ.2024.02.0014>