

ANALISIS PERUBAHAN GEOMETRIK CANDI CANGKUANG BERDASARKAN PERBANDINGAN DATA TAHUN 2006 DAN 2025

MUHAMMAD RAFLI RACHMANSYAH¹, GUSTI AYU JESSY KARTINI²

¹Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional

Bandung, Jl. PHH. Hasan Mustapa No. 23 Bandung

Email : raflirach4@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Candi Cangkuang merupakan salah satu situs cagar budaya penting yang merepresentasikan warisan sejarah dan kebudayaan di wilayah Tatar Sunda. Seiring berjalannya waktu, struktur geometrik candi berpotensi mengalami perubahan akibat faktor alami seperti pelapukan dan cuaca, serta faktor manusia. Oleh karena itu, pemantauan kondisi geometrik secara berkala sangat penting untuk menjaga kelestarian cagar budaya tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan geometrik Candi Cangkuang dengan memanfaatkan teknologi Terrestrial Laser Scanner (TLS) berdasarkan data hasil pemindaian tahun 2006 dan 2025. Metode ini memungkinkan akuisisi data point cloud resolusi tinggi dan pembuatan model 3D secara akurat, sehingga perubahan bentuk dan dimensi candi dapat terdeteksi secara detail. Hasil analisis menunjukkan adanya perubahan pada beberapa bagian struktur candi yang kemungkinan disebabkan oleh proses pelapukan material dan pengaruh lingkungan sekitar. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam perencanaan konservasi dan pelestarian cagar budaya secara berkelanjutan, serta memperkuat pemanfaatan teknologi digital dalam bidang pelestarian warisan budaya Indonesia.

.Kata Kunci: Candi Cangkuang, Terrestrial Laser Scanner, Perubahan Geometrik, Point Cloud.

ABSTRACT

Cangkuang Temple is an important cultural heritage site that represents the historical and cultural heritage of the Sunda Tatar region. Over time, the geometric structure of the temple has the potential to change due to natural factors such as weathering and weather, as well as human factors. Therefore, regular monitoring of geometric conditions is very important to maintain the preservation of cultural heritage. This research aims to analyze the geometric changes of Cangkuang Temple by utilizing Terrestrial Laser Scanner (TLS) technology based on data from scans from 2006 and 2025. This method allows the acquisition of high resolution point cloud data and the creation of 3D models accurately, so that changes in the shape and dimensions of the temple can be detected in detail. The results of the analysis show changes in several parts of the temple structure which may be caused by the weathering process of the material and the influence of the surrounding environment. These findings provide an important contribution to planning for sustainable conservation and preservation of cultural heritage, as well as strengthening the use of digital technology in the field of preserving Indonesia's cultural heritage.

Keyword: Cangkuang Temple, Terrestrial Laser Scanner, Geometric Changes, Point Cloud.

1. PENDAHULUAN

Cagar budaya merupakan aset penting bersama yang mencerminkan identitas, sejarah, dan kebudayaan masa lampau. Salah satu warisan budaya yang memiliki nilai sejarah tinggi adalah Candi Cangkuang. Candi Cangkuang merupakan salah satu situs cagar budaya penting yang berada di Desa Cangkuang, Kecamatan Leles, Kabupaten Garut, Jawa Barat. Candi ini menjadi satu-satunya candi bercorak Hindu yang ditemukan di wilayah Tatar Sunda dan menjadi simbol penting dalam kajian sejarah dan arkeologi lokal.

Seiring berjalannya waktu, kondisi fisik candi berpotensi mengalami perubahan baik secara alami maupun akibat aktivitas manusia (Sedyawati, 1993). Perubahan geometrik pada bangunan cagar budaya seperti candi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain pelapukan batu, perubahan cuaca, pertumbuhan vegetasi di sekitar struktur, dan aktivitas manusia (Feilden, 2003). Oleh karena itu, pemantauan kondisi geometrik secara berkala sangat penting dilakukan sebagai bentuk perlindungan dan pelestarian warisan budaya. Salah satu metode yang relevan dalam konteks ini adalah dengan membandingkan data spasial dari dua periode waktu yang berbeda.

Terrestrial Laser Scanner (TLS) adalah teknologi survei dan pemetaan dengan prinsip kerja laser yang ditembakkan dari alat ke objek kemudian akan dipantulkan kembali oleh permukaan maupun objek ke alat. Selain itu, TLS juga memungkinkan pembuatan model 3D yang akurat, sehingga memudahkan pemantauan kondisi serta perencanaan konservasi cagar budaya (Revianur, 2020). Dengan penerapan teknologi ini, perubahan yang terjadi pada Candi Cangkuang dapat dianalisis lebih sistematis, sehingga langkah pelestarian dapat dilakukan secara efektif dan berbasis data yang akurat. *Terrestrial Laser Scanner* memungkinkan pengumpulan data permukaan objek dalam bentuk *point cloud* dengan resolusi tinggi dan akurasi milimeter, serta mampu merekam bentuk geometrik secara tiga dimensi secara detil (Boehler & Marbs, 2002). Teknologi ini telah banyak digunakan dalam kajian arsitektur, konservasi cagar budaya, serta analisis perubahan bentuk bangunan (Guidi dkk., 2009). Kekurangan dari teknologi ini adalah adanya refleksi ganda pada material yang bersifat semi transparan sehingga terdapat penambahan jarak yang diperoleh, bergantung kepada kondisi lingkungan, seperti temperatur, atmosfer, gangguan radiasi, dan distorsi gerakan, serta TLS tidak dapat memindai pada bagian bangunan tinggi (Boehler & Marbs, 2002).

Sebuah riset studi internasional 3D *Laser Scanning* untuk bangunan cagar budaya dilakukan oleh Barber dan Mills (2006) dengan objek riset yang dimodelkan adalah objek arkeologi industri di Lion Salt Works, Inggris. Objek ini merupakan bekas kompleks pabrik pembuatan garam yang dijadikan museum dan sudah dibangun sejak abad ke-19. Riset dalam penggunaan *Terrestrial Laser Scanner* untuk bangunan cagar budaya juga dilakukan oleh Riawan (2013) dengan memodelkan Monumen Bandung Lautan Api secara 3D. *Terrestrial Laser Scanner* memungkinkan pengukuran detail dalam bentuk data *point cloud* yang dapat digunakan untuk menganalisis perubahan geometrik akibat faktor lingkungan (Riawan, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan geometrik Candi Cangkuang melalui perbandingan data pemindaian TLS dari tahun 2006 dan 2025. Dengan membandingkan kedua data tersebut, penelitian ini akan mengidentifikasi perubahan bentuk, atau indikasi kerusakan yang mungkin terjadi dalam kurun waktu yang cukup lama. Hasil penelitian ini akan memberikan wawasan berharga bagi upaya restorasi dan pelestarian Candi Cangkuang, serta menjadi contoh penerapan teknologi digital dalam pemantauan cagar budaya di Indonesia.

2. DATA DAN METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk Tugas Akhir ini adalah bangunan Candi Cangkuang yang berlokasi di Kampung Pulo, Desa Cangkuang, Kecamatan Leles, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat dengan korrdinat geografis terletak pada 106°54'36,79" Bujur Timur dan 7°06'09" Lintang Selatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

2.2 Data dan Peralatan

Dalam penelitian ini menggunakan data TLS Tahun 2006 dan 2025 dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Data Penelitian

No	Data	Tahun	Sumber
1	<i>Point Cloud</i>	2006	PT. Duta Basis Dataprima
2	<i>Point Cloud</i>	2025	Survei Lapangan

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

Tabel 2. Peralatan Penelitian

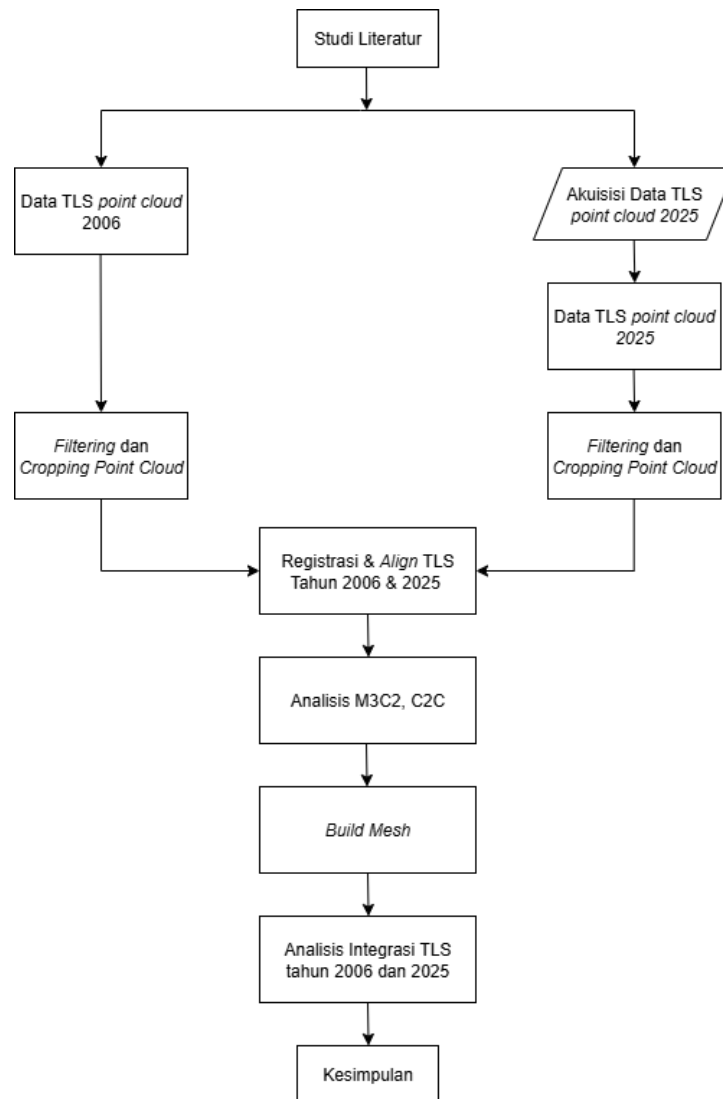
No	Peralatan	Keterangan
1	Leica RTC360	Pengambilan data <i>point cloud</i> Tahun 2025
2	Komputer dan Laptop	Untuk melakukan pengolahan data dan pembuatan laporan penelitian.
3	<i>CloudCompare</i>	Untuk pengolahan data TLS

2.3 Tahapan Penelitian

Metodologi Penelitian yang dimulai dengan mengumpulkan studi literatur yang terkait dengan topik penelitian yang akan dilakukan, selanjutnya dilakukan proses pengumpulan data. Proses pengumpulan data dilakukan dengan terlebih dahulu meminta izin kepada pemilik data sebelumnya. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data TLS *point cloud* tahun 2006 yang didapatkan dari PT.Duta Basis Dataprima dengan jumlah 2.561.606 *points* dengan format data e.57, untuk data TLS *point cloud* tahun 2025 dilakukan dengan akuisisi data secara langsung dengan jumlah 727,893,589 *points* dengan format data e.57. Selanjutnya dilakukan proses *crop* dan *filtering*, *crop* dilakukan untuk menghilangkan struktur bangunan selain objek yang diteliti, sedangkan *filtering* untuk menghilangkan data *noise* pada objek bangunan yang tidak diperlukan sehingga lebih fokus pada wilayah yang dibutuhkan. Setelah melakukan proses *crop* dan *filtering* dilakukan registrasi dan *alignment* antara *point cloud* TLS tahun 2006 dan 2025 menggunakan metode *Iteratice Closest Point* (ICP) pada *software* CloudCompare untuk memastikan keduanya berada dalam sistem koordinat yang sama. Analisis Perubahan Geometrik dilakukan dengan tiga metode pendekatan, yaitu :

1. *Cloud to Cloud Distance* (C2C) untuk mengetahui deviasi spasial
2. *Multiscale Model to Model Cloud Comparison* (M3C2) untuk melihat deviasi permukaan secara lokal.
3. Perbandingan bentuk melalui metode *Mesh to Mesh Comparison*.

Setelah itu dilakukan analisis integrasi antara data TLS tahun 2006 dan 2025 untuk melihat perubahan geometrik pada struktur bangunan. Terakhir memberikan kesimpulan dari hasil integrasi antara data TLS tersebut mengenai perubahan dari struktur tersebut. Metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir

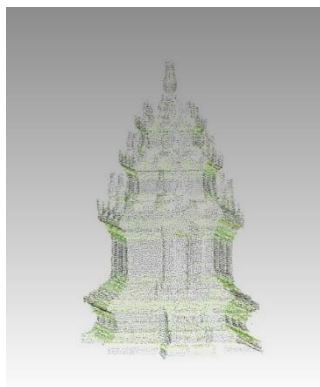
3. HASIL DAN ANALISIS

Hasil dari pengolahan data TLS *point cloud* Tahun 2006 dan 2025 yaitu data TLS *point cloud* Tahun 2006 memiliki jumlah 1,449,650 *points*, sedangkan untuk data TLS *point cloud* Tahun 2025 memiliki jumlah 67,589,234 *points*. Dengan perbedaan jumlah *point cloud* pada kedua data tersebut dapat diperengaruhi pada saat akuisisi data dan juga perbedaan alat, maka dari itu jumlah *point cloud* dari kedua data tersebut terdapat perbedaan cukup banyak pada jumlah data *point cloud* tersebut. Untuk mengetahui ukuran validasi model 3D dan validasi lapangan dapat dilihat pada Tabel 3.

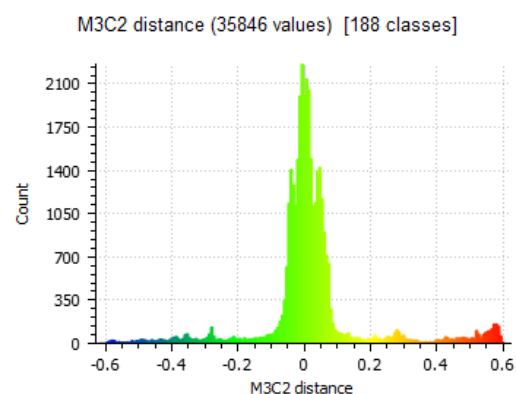
Tabel 3 Ukuran Validasi Model 3D dan Lapangan

No	Bagian	Ukuran Model 3D		Ukuran Lapangan
		2006	2025	2025
1	Lapisan Bawah Candi	4,69m	4,71m	4,71m
2	Depan Pintu Candi	4,56m	4,57	4,57m
3	Bawah Tangga Candi	1,47m	1,47m	1,47m
4	Jarak Antar Tangga Candi	0,17m	0,17m	0,17m
5	Jarak Antara Lapisan Atas dan Bawah Candi	1,31m	1,31m	1,31m

Dari hasil ukuran perbedaan jarak antara tahun 2006 dan 2025 terbilang tidak ada perubahan yang cukup signifikan, pada bagian lapisan bawah Candi terdapat selisih jarak 2cm, untuk bagian depan pintu Candi terdapat selisih jarak hanya 1cm. Untuk yang lainnya tidak memiliki selisih jarak, selama 19 Tahun bisa dibilang kondisi permukaan Candi tidak mengalami perubahan signifikan. Setelah proses integrasi kedua data TLS telah berhasil dilakukan selanjutnya tahapan proses M3C2 untuk mengetahui perubahan jarak antara 2 data TLS. Untuk melihat hasil dari proses M3C2 dapat dilihat pada Gambar 3.

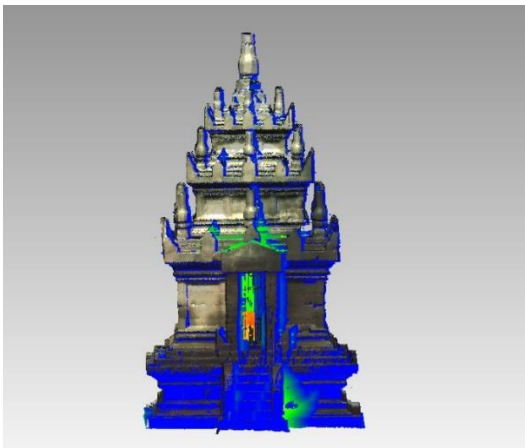


Gambar 3 Hasil Proses M3C2

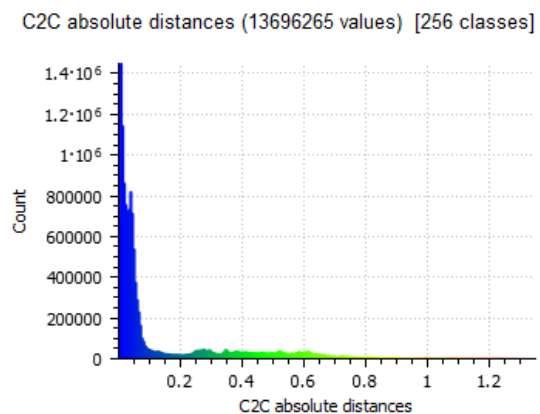


Gambar 4 Histogram M3C2

Dari hasil proses M3C2 memiliki 25.893 *points* juga menunjukkan puncak data histogram mayoritas berwarna hijau, bahwa tidak terjadi perubahan signifikan pada sebagian besar area candi. Sebagian besar titik menunjukkan perubahan yang kecil, bisa dilihat dari Gambar 4 hasil M3C2 mendekati angka nol yang berarti permukaan candi relatif stabil. Proses C2C integrasi dua data TLS untuk mengukur perbedaan jarak antara dua *point cloud*. Untuk melihat hasil dari proses C2C dapat dilihat pada Gambar 5.



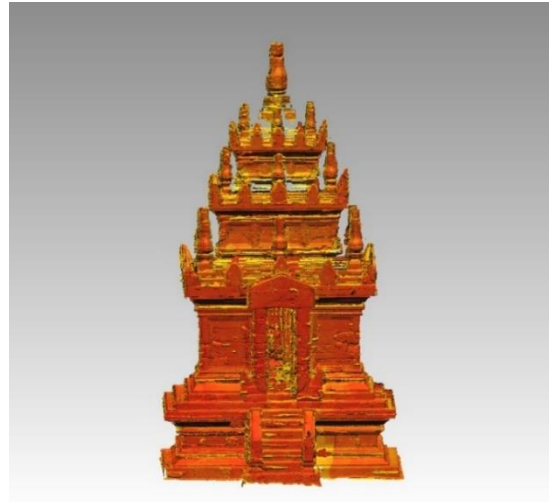
Gambar 5 Hasil proses C2C



Gambar 6 Histogram C2C

Berdasarkan visual model dan histogram jarak C2C, dapat disimpulkan bahwa struktur geometrik candi secara keseluruhan masih stabil, dengan mayoritas permukaan menunjukkan perbedaan jarak yang sangat kecil antara data tahun 2006 dan 2025.

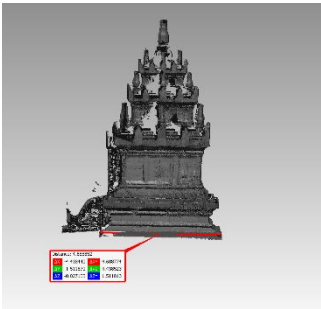
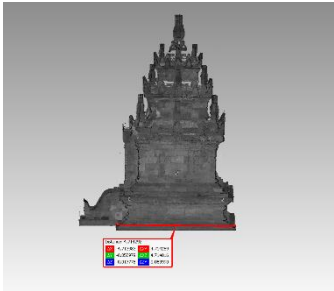
Setelah proses integrasi kedua data TLS telah berhasil dilakukan, selanjutnya adalah tahapan proses pembentukan *meshing*. Pada proses *meshing* bertujuan untuk pembentukan perapatan jaring dari titik titik *point cloud* yang dihasilkan dari kedua data TLS. Untuk melihat hasil dari proses *Mesh* dapat dilihat pada Gambar 7.

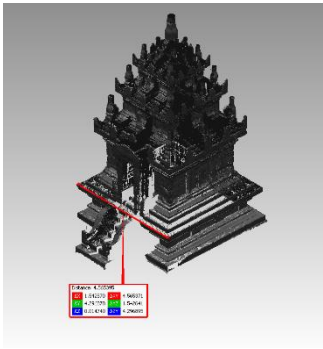
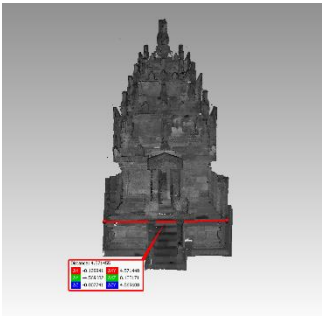
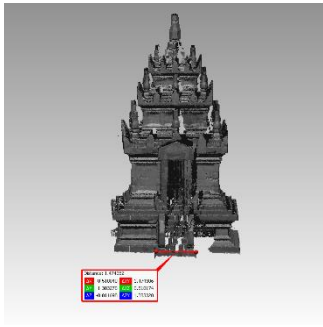
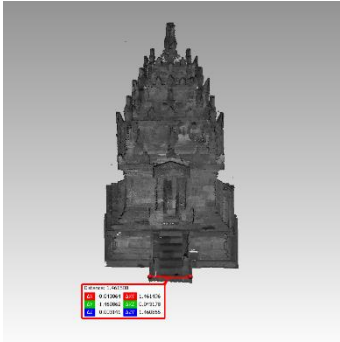
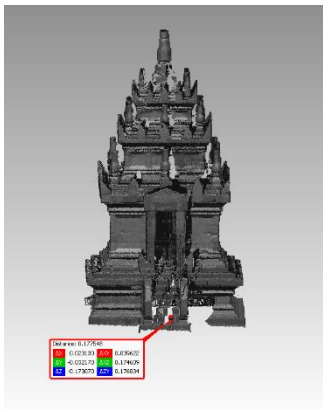
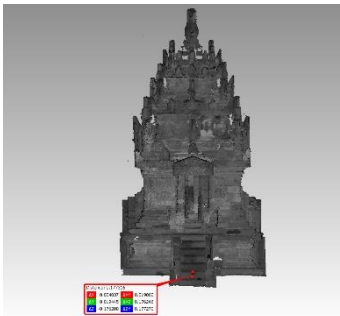


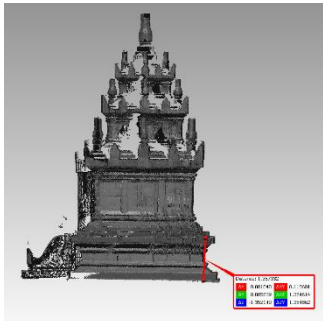
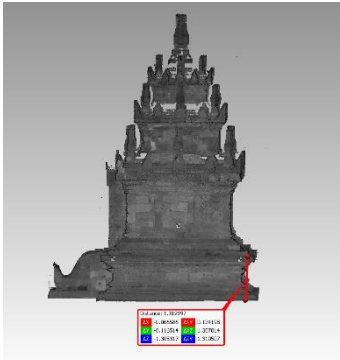
Gambar 7 Hasil *Mesh*

Hasil dari *mesh* mendapatkan 31.062.1349 *faces*. Selanjutnya untuk memfokuskan hasil *mesh* sehingga akan menghasilkan data densitas yang lebih tinggi dan menyembunyikan secara interaktif jarring segitiga dengan nilai kerapatan yang rendah, hal ini akan menyesuaikan dengan segitiga yang jauh dari *input cloud*. Perbedaan jarak antara data *point cloud* Candi Cangkuang Tahun 2006 dan 2025 bisa dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Selisih Jarak

No	MODEL 3D		Jarak		Selisih
	2006	2025	2006	2025	
1			4,69m	4,71m	2cm

2			4,56m	4,57m	1cm
3			1,47m	1,47m	0
4			0,17m	0,17m	0

5			1,31m	1,31m	0
---	---	---	-------	-------	---

Hasil validasi lapangan terhadap ukuran asli struktur Candi yang diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan pita ukur dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Validasi Lapangan

No	Validasi Lapangan	Jarak
1		4,71M

2		4,57m
3		1,47m
4		0,17m

5		1,31m
---	---	-------

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perbandingan data point cloud dari pemindaian *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) tahun 2006 dan 2025, dapat disimpulkan bahwa perubahan geometrik Candi Cangkuang selama kurun waktu 19 tahun tergolong sangat kecil dan tidak signifikan. Selisih ukuran antara kedua tahun pada beberapa bagian hanya berkisar antara 0 hingga 2 cm, yang masih berada dalam batas toleransi dan menunjukkan bahwa struktur candi secara umum berada dalam kondisi stabil. Analisis menggunakan metode *Multiscale Model to Model Cloud Comparison* (M3C2) dan *Cloud to Cloud* (C2C) memperkuat temuan ini, di mana hasil visualisasi menunjukkan dominasi warna hijau dan biru yang menandakan tidak adanya deviasi spasial yang berarti. Histogram dari kedua metode juga menunjukkan nilai perbedaan jarak yang mendekati nol. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa teknologi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) sangat efektif dan akurat dalam mendeteksi perubahan geometrik secara detail, serta mampu memvisualisasikan kondisi struktur bangunan secara presisi, sehingga sangat mendukung kegiatan pemantauan dan konservasi bangunan cagar budaya seperti Candi Cangkuang.

DAFTAR RUJUKAN

- Adi dkk., 2019. Studi ini mengeksplorasi efektivitas TLS dalam mendokumentasikan perubahan struktural pada Candi Prambanan.
- Boehler, W., & Marbs, A. (2002). 3D scanning instruments. *CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage*, 18(1), 9–12.
- Feilden, B. M. (2003). *Conservation of Historic Buildings* (3rd ed.). Oxford: Architectural Press.
- Farella, E., Bruno, F., & Muzzupappa, M. (2022). Comparative analysis of cultural heritage 3D documentation techniques: TLS and photogrammetry. *Journal of Cultural Heritage*, 54, 218–230. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.02.001>
- Guidi et al. (2009). D Modeling of Large and Complex Site Using Laser Scanning: The Case



of the Archaeological Area of the Imperial Fora in Rome.

- Revianur, Aditya. (2020). Digitalisasi Cagar Budaya di Indonesia: Sudut Pandang Baru Pelestarian Cagar Budaya Masa Hindu-Buddha di Kabupaten Semarang. Vol. 3.
- Sedyawati, E. (1993). *Candi Indonesia: Seri Jawa Barat*. Jakarta: Direktorat Jenderal Kebudayaan.