

INTISARI

Gedung Perpustakaan Sekolah Vokasi UGM, yang merupakan bagian dari situs cagar budaya Kompleks Pantja Dharma, pernah dimodelkan melalui pendekatan *scan to BIM* pada tahun 2019 dengan tingkat detail LoD 3. Namun, sepanjang 2019–2024 gedung ini mengalami sejumlah perubahan arsitektur dan tata ruang, sehingga diperlukan pemodelan ulang pada kedua periode tersebut dengan tingkat detail yang lebih tinggi, yaitu LoD 4, agar perbandingan kondisi bangunan dapat dilakukan secara konsisten. Proyek ini mengembangkan BIM 4D dengan membangun dua model LoD 4 berbasis *point clouds* tahun 2019 dan 2024, kemudian mengintegrasikannya dengan dimensi waktu untuk mengidentifikasi serta memvisualisasikan elemen-elemen yang mengalami perubahan. Visualisasi perubahan difokuskan pada lantai 1 karena ketersediaan data *point clouds* interior yang terpindai hasil akuisisi tahun 2019 hanya mencakup area tersebut.

Metode yang diterapkan adalah pendekatan *Scan to BIM* berbasis *point clouds* hasil pemindaian TLS pada tahun 2019 dan 2024, serta data foto udara atap dan foto objek patung untuk pemodelan 3D *mesh*. Model 3D dibuat secara terpisah berdasarkan *point clouds* tiap tahun untuk merepresentasikan kondisi aktual masing-masing periode. *Point clouds* diproses melalui registrasi, *filtering*, dan georeferensi menggunakan titik kontrol GNSS untuk memastikan akurasi dan konsistensi sebelum pemodelan 3D. *Point clouds* digunakan sebagai referensi untuk pemodelan 3D di *Autodesk Revit* dengan LoD 4, kemudian diintegrasikan dengan data temporal di *Autodesk Navisworks* untuk membangun model BIM 4D. Integrasi 2 model dan waktu memungkinkan visualisasi dinamika gedung sekaligus melakukan *change detection*, mulai dari identifikasi elemen yang mengalami perubahan hingga klasifikasi jenis perubahan. Akurasi model 3D tahun 2024 divalidasi menggunakan sampel dimensi objek di lapangan, dihitung melalui Root Mean Square Error (RMSE) dan uji-t berpasangan untuk memastikan kesesuaian dengan kondisi aktual. Model tersebut kemudian dievaluasi berdasarkan standar LoD dan LoA.

BIM 4D Gedung Perpustakaan Sekolah Vokasi UGM dikembangkan berdasarkan integrasi model 3D dari *point clouds* tahun 2019 dan 2024 pada tingkat kedetilan LoD 4, dengan fokus pada interior lantai 1 menampilkan dinamika perubahan bangunan dari waktu ke waktu. Pengembangan visualisasi BIM 4D ini didukung oleh model 3D yang telah dievaluasi ketelitiannya, dengan RMSE sebesar 0,020 m dan hasil uji-t berpasangan pada taraf kepercayaan 95% ($t_{hitung} = -0,207$, $t_{tabel} \pm 2,045$), menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan antara dimensi model dan ukuran lapangan. Perubahan interior lantai 1 Gedung Perpustakaan SV UGM pada rentang 2019–2024 teridentifikasi melalui pemodelan 3D kedua periode dan divisualisasikan secara dinamis dengan integrasi waktu dalam BIM 4D.

Kata kunci: Cagar Budaya, *Point Clouds*, *Scan-to-BIM*, BIM 3D, 4D

ABSTRACT

The Library Building School of Applied Science at Universitas Gadjah Mada, which forms part of the cultural heritage site of the Pantja Dharma Complex, was previously modeled using a scan-to-BIM approach in 2019 at Level of Detail (LoD) 3. Architectural and interior modifications that occurred between 2019 and 2024 necessitated the development of updated models for both periods at a higher LoD, namely LoD 4, to enable consistent comparison of the building's conditions over time. This project develops a 4D BIM framework by constructing two LoD 4 models derived from the 2019 and 2024 point clouds and integrating them with temporal information to identify and visualize elements that underwent architectural or spatial changes. The change visualization is focused on the first floor, as the available 2019 interior point clouds only cover this area.

The methodology applies a scan-to-BIM workflow based on terrestrial laser scanning (TLS) point clouds acquired in 2019 and 2024, complemented by aerial imagery of the roof and close-range photographs for 3D mesh reconstruction of statue objects. Independent 3D models were generated for each dataset to accurately represent building conditions in their respective periods. The point clouds were processed through registration, filtering, and georeferencing using GNSS control points to ensure spatial accuracy and inter-period consistency prior to modeling. The 3D models were created in Autodesk Revit at LoD 4 using the processed point clouds as geometric references, and subsequently integrated with temporal attributes in Autodesk Navisworks to construct the 4D BIM. This integration enables dynamic visualization and change detection, including the identification and classification of modified building elements.

The accuracy of the 2024 3D model was validated using field-measured sample dimensions, evaluated through Root Mean Square Error (RMSE) and paired t-tests. The model achieved an RMSE of 0.020 m, and the paired t-test at a 95% confidence level ($t_{\text{calculated}} = -0.207$, $t_{\text{critical}} \pm 2.045$) indicated no significant difference between model dimensions and on-site measurements. The final 4D BIM effectively illustrates the spatio-temporal evolution of the building, particularly the interior changes on the first floor from 2019 to 2024, demonstrating the capability of integrated TLS-based modeling to document, analyze, and visualize changes in heritage-associated built environments.

Keywords: *Cultural Heritage, Point Clouds, Scan-to-BIM, BIM 3D, 4D*