

# PEMODELAN TIGA DIMENSI (3D) BANGUNAN CAGAR BUDAYA MENGUNAKAN DATA POINT CLOUD STUDI KASUS DI GEDUNG PERPUSTAKAAN SEKOLAH VOKASI UGM, YOGYAKARTA

*(3D Modeling of Historical Building from Point Cloud Data  
Case Study in Library Building of Sekolah Vokasi UGM, Yogyakarta)*

**Waljiyanto dan Ni Putu Praja Chintya**

Teknik Geomatika/Teknologi Kebumihan/Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada  
Gedung SV UGM, Sekip Unit 1 Lt.2, Catur Tunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia, 55281  
E-mail: [jinto@ugm.ac.id](mailto:jinto@ugm.ac.id)

*Diterima: 19 Maret 2020; Direvisi: 15 April 2020; Ditetujui untuk Dipublikasikan: 21 Mei 2020*

## ABSTRAK

Indonesia adalah negara yang kaya akan warisan budaya sebagai daya tarik wisata seperti bangunan cagar budaya. Arsip bangunan budaya belum dikelola dengan baik. Sebagian besar dari bangunan cagar budaya hanya berisi informasi atribut (nama, alamat, dan sejarah), aspek geospasial seperti alamat ter-*geocoding* dan peta struktural belum menjadi prioritas. Metode yang paling populer terkait dengan struktur bangunan adalah *Building Information Modeling* (BIM). BIM telah digunakan secara luas dalam perencanaan bangunan baru dan manajemen aset. Dalam beberapa tahun terakhir, BIM mulai digunakan dalam dokumentasi bangunan budaya. Teknik ini dikenal sebagai *Heritage Building Information Modeling* (HBIM). Tujuan HBIM adalah untuk melestarikan dan memantau bangunan warisan melalui model 3D. Model tersebut memuat unsur arsitektur bangunan cagar budaya dengan informasi semantiknya. Kompleksitas elemen bangunan dapat mempengaruhi *Level of Detail* (LoD) dari suatu model. LoD model berkorelasi dengan metode perolehan data. Makalah ini bertujuan untuk membuat model 3D bangunan budaya dan menguji LoD model 3D yang berasal dari *point cloud* bangunan budaya di Yogyakarta. *Point cloud* untuk membuat model 3D diperoleh dari survei topografi dan survey *laser scanner*. Atribut informasi diperoleh dengan melakukan dokumen dan penelitian lapangan.

**Kata kunci:** *laser scanning*, pemodelan 3D, cagar budaya, HBIM

## ABSTRACT

*Indonesia is a country rich in cultural heritage turned tourism attraction such as heritage building. The archive of the cultural building still poorly managed. Most of them only contained attribute information (name, address, and history), the geospatial aspect like the high quality of geocoded address and the structural map not yet a priority. The most popular method related to the building structure is Building Information Modeling (BIM). BIM has been used widely in new building planning and asset management. In recent years, BIM starts to use in cultural building documentation. This technique is known as Heritage Building Information Modeling (HBIM). HBIM purposes are to conserve and monitor the heritage building through the 3D model. The model contained the elements of the architecture of heritage buildings. The complexity of the building elements can affect the Level of Detail (LOD) of a model. The LoD of the model correlated with the method of acquiring data. This paper aims to create 3D model of cultural building and examine the LoD of the 3D model derived from the point cloud of a cultural building in Yogyakarta. The point cloud to create the 3D model obtained from a topographic and a laser scanner survey. The attributes information achieved by doing documents and field research.*

**Keywords:** *laser scanning*, 3D modeling, cultural heritage, HBIM.

## PENDAHULUAN

Keberadaan cagar budaya memiliki arti penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, kebudayaan, pendidikan, dan agama. Kategori kebendaan yang termasuk cagar budaya menurut Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2010 adalah benda cagar budaya, struktur cagar budaya, situs cagar budaya, kawasan

cagar budaya, dan bangunan cagar budaya. Universitas Gadjah Mada pernah menerima penghargaan Pelestarian Warisan Budaya dan Cagar Budaya dari Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2012. Penghargaan ini diberikan karena Universitas Gadjah Mada karena mampu untuk mengelola dan melestarikan bangunan cagar budaya yaitu Gedung Pusat UGM

secara mandiri. Selain Gedung Pusat UGM, Gedung Sekip UGM (Gedung Perpustakaan SV UGM dan Gedung Pusat SV UGM) juga merupakan bangunan cagar budaya. Gedung Sekip Universitas Gadjah Mada sudah didaftarkan sebagai bangunan cagar budaya pada tanggal 1 Agustus 2017. Sebagai kategori bangunan cagar budaya, gedung Sekip UGM perlu dikelola dan dijaga kelestariannya.

Salah satu cara yang dapat digunakan dalam mengelola aset budaya adalah dengan merekam objek cagar budaya dalam bentuk digital. Perekaman data secara digital masih jarang ditemukan pada dokumentasi bangunan agar budaya, banyak bangunan cagar budaya yang hanya memiliki gambar desain analog (gambar desain pada kertas). Untuk daerah Kota Yogyakarta informasi mengenai objek yang merupakan cagar budaya hanya disertakan pada peraturan daerah tanpa dilengkapi dengan informasi spasial. Informasi yang tersedia hanya nama bangunan, pemilik, dan juga alamat. Seperti yang kita ketahui alamat di Indonesia belum terstandar dan belum ter-geocoding (belum mengandung data koordinat) (Sutanta et al., 2016). Kondisi ini menyebabkan sulit untuk menemukan lokasi cagar budaya dan mengelolanya apabila ada kerusakan atau perubahan secara structural.

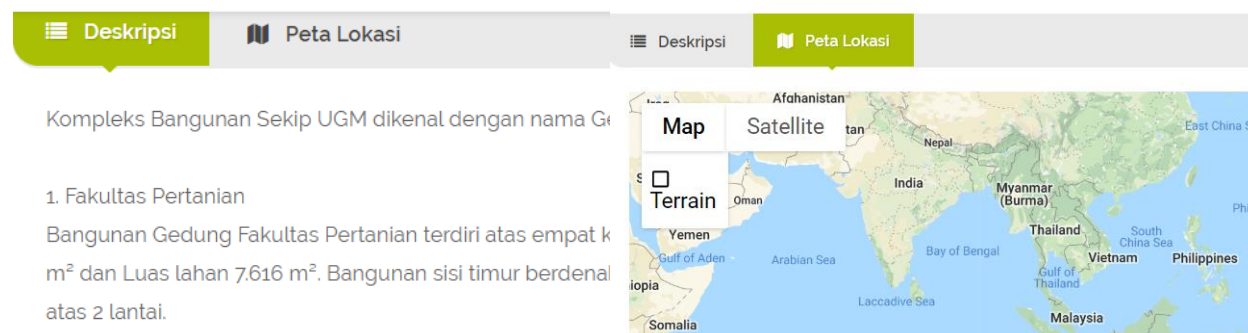
Pada laman *website* Sistem Registrasi Nasional Cagar Budaya Nasional informasi yang tertera adalah deskripsi yang berupa sejarah dan deskripsi pemanfaatan gedung tersebut saat ini. dan peta lokasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**, tetapi informasi lokasi pada beberapa objek cagar budaya belum tersedia atau tidak merujuk ke lokasi yang tepat. Penggunaan gambar *Computer-Aided Design* (CAD) konvensional yang bersifat dua dimensi sudah mulai ditinggalkan di negara-negara maju. Pemodelan semantik tiga dimensi sampai dengan lima dimensi (5D) mulai banyak diterapkan dalam mendokumentasikan bangunan cagar budaya. Konsep pemodelan semantik ini diambil dari konsep *Building Information Modelling* (BIM).

BIM atau *Building Information Modelling* adalah teknologi desain terbaru berbasis CAD (Dore

& Murphy, 2012). BIM berbeda dengan dengan konsep CAD konvensional, BIM merepresentasikan sebuah bangunan secara fisik dan fungsi menggunakan objek parametrik (sebuah objek yang dapat diubah menjadi berbagai konfigurasi dengan mengubah pengaturan parameternya) untuk menyempurnakan tampilan tiga dimensi (Zhang et al., 2015). BIM memegang peranan penting dalam pengembangan suatu gedung baru dan pengelolaan gedung. BIM dapat memiliki dimensi 3D (panjang, lebar, dan tinggi), 4D (waktu), dan 5D (biaya) (Forgues et al., 2012; Logothetis et al., n.d.; Stanley & Thurnell, 2014).

Banyak perangkat lunak yang dapat digunakan untuk membuat BIM diantaranya Autodesk Revit, Google SketchUpPro, dan ArchiCAD. Setiap perangkat BIM dapat digunakan untuk memodelkan tiga dimensi, menetapkan proyeksi dan visualisasi, serta untuk melakukan analisis (Logothetis et al., n.d.). BIM banyak digunakan untuk memonitor perencanaan pembangunan (Yamamura et al., 2017; Zhang et al., 2015), memonitor aset (Ashton & Hou, 2018; Kassem et al., 2015; Love et al., 2015), dan dokumentasi bangunan cagar budaya (Dore & Murphy, 2012; Noardo, 2018).

Penggunaan model tiga dimensi memudahkan kontraktor, pemilik, dan pengguna dalam memahami data. Penggunaan data spasial baik dua atau tiga dimensi juga memberikan kemudahan dalam berbagi pakai data yang akan digunakan dalam proses pembangunan atau pengelolaan bangunan yang sudah ada. Istilah berbagai pakai data yang dimaksud adalah semua unsur yang terlibat dalam pembangunan atau pemeliharaan dapat mengakses data, memperbaharui data, menambahkan data, dan menghapus data sesuai dengan konstrain masing-masing. Adanya penggunaan data yang sama akan mengurangi kondisi data rangkap atau redundansi. Perkembangan data geospasial semakin pesat dengan berkembangnya berbagai teknologi untuk menampilkan *virtual reality*. Dalam pemetaan sudah banyak dikembangkan kadaster tiga dimensi dalam sistem pertanahan.



Sumber: <https://cagarbudaya.kemdikbud.go.id>

**Gambar 1.** Informasi bangunan cagar budaya pada laman *website* sistem registrasi nasional cagar budaya.

Penggunaan model tiga dimensi memungkinkan untuk mengetahui informasi ketinggian suatu objek sampai dengan bentuk detail objek tergantung *Level of Detail* (LOD) yang ingin dicapai. Semakin tinggi LOD semakin detail visualisasi objek atau semakin mendekati bentuk yang sebenarnya. Pemodelan tiga dimensi memerlukan data yang terdiri atas koordinat x, y, dan z. Nilai z dapat berupa elevasi atau atribut lain yang ingin ditampilkan secara tiga dimensi. Pemodelan tiga dimensi dapat digunakan untuk menambikan suatu tren menjadi lebih mudah dipahami seperti pemodelan banjir, pemodelan persebaran penyakit, dan pemodelan jumlah penduduk (Koziatek et al., 2016; Mann et al., 2006; Sabel et al., 2000; Teng et al., 2017).

Pemodelan tiga dimensi banyak digunakan dalam perencanaan suatu pembangunan atau pelestarian bangunan yang sudah ada. Perencanaan suatu gedung biasa menggunakan BIM. BIM mengandung model tiga dimensi dan informasi terkait gedung tersebut. Semakin besar LOD yang diinginkan maka pemodelan akan semakin rumit dan memerlukan banyak komponen.

Terdapat lima tingkatan dari LOD dalam BIM yaitu LOD1 (*pre-design*), LOD2 (*schematic design*), LOD3 (*design development*), LOD400 (*construction stage*), dan LOD5 (*As Built*) (Biagini et al., 2016; Fai & Rafeiro, 2014). LOD tertinggi menampilkan model yang sama dengan bangunan riil. LOD rendah memiliki akurasi dan presisi dalam jumlah, ukuran, kualitas, dan orientasi yang rendah. Konsep BIM dikembangkan dan mulai diterapkan dalam pelestarian atau dokumentasi bangunan yang sudah ada. Terdapat juga istilah EBIM (*existing BIM*) dan HBIM (*heritage BIM*) yang menggunakan konsep BIM untuk memodelkan secara tiga dimensi bangunan yang sudah ada (Edwards, 2017). Penggunaan EBIM dan HBIM bertujuan untuk mengelola dan memelihara gedung. Pelaksanaan renovasi atau rekonstruksi juga diuntungkan dengan adanya EBIM dan HBIM. Data tiga dimensi dapat diperoleh menggunakan teknologi lidar, perekaman menggunakan *terrestrial laser scanner*, dan menggunakan teknologi fotogrametri. Hasilnya adalah berupa *point cloud*.

HBIM masih jarang diterapkan baik di Indonesia. Beberapa negara di luar negeri sudah mulai menerapkan HBIM dalam manajemen cagar budaya (Apollonio et al., 2017; Brown, 2008; Pavlovskis et al., 2019; Volk et al., 2014). HBIM bukan menjadi pilihan utama dalam pelestarian bangunan cagar budaya. Hal ini disebabkan oleh mahalannya biaya perekaman data tiga dimensi dan pengolahan membutuhkan waktu yang lama. Pada penelitian ini menekankan penggunaan BIM untuk memodelkan bangunan cagar budaya dengan menggunakan gedung perpustakaan sebagai lokasi penelitian. BIM nantinya dapat diintegrasikan dengan

sistem informasi geospasial untuk menampilkan bentuk tiga dimensi pada suatu peta dasar.

HBIM adalah istilah BIM untuk bangunan bersejarah. HBIM akan menghasilkan model tiga dimensi dari bangunan cagar budaya yang sudah ada dengan memanfaatkan data perekaman *point cloud*. HBIM berfungsi untuk mengelola dan melestarikan bangunan cagar budaya (Georgopoulos et al., 2013). Objek parametrik HBIM biasanya lebih kompleks dari BIM. Bangunan cagar budaya memiliki bentuk kekhasan masing-masing, sehingga survei tambahan untuk memastikan data yang direkam dapat dimodelkan. HBIM dapat menjadi solusi untuk manajemen objek arsitektur bersejarah. HBIM dikenal dengan *reverse engineering* dimana proses dimulai dari proses perekaman menggunakan TLS atau teknologi foto udara kemudian dimodelkan, setelah pemodelan objek-objek parametrik dapat disimpan sebagai *HBIM Library* dan dapat digunakan untuk memodelkan objek cagar budaya lainnya.

Di Indonesia, penggunaan data spasial dalam hal perencanaan dalam pembangunan sudah banyak digunakan misalnya dalam pembangunan gedung, jembatan, dan jalan, tetapi masih sangat sedikit digunakan untuk bangunan yang sudah ada (Adhi et al., 2016; Rizaldi et al., 2017; Telaga, 2018). Biaya yang mahal dalam akuisisi data serta pengolahan data yang memerlukan ahli dalam akuisisi dan pengolahan data menjadi pertimbangan dalam rangka pelestarian cagar budaya menggunakan data geospasial.

Pada penelitian ini peneliti akan memodelkan gedung cagar budaya dalam bentuk tiga dimensi menggunakan data hasil perekaman menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*. Data yang diperoleh diharapkan dapat menjadi suatu dokumentasi yang dapat digunakan dalam pemeliharaan dan juga rekonstruksi apabila terjadi bencana alam.

## METODE

### *Metode Registrasi dan Filtering*

Registrasi adalah metode yang digunakan untuk menggabungkan hasil perekaman berupa *scan world* dari berbagai titik perekaman menjadi satu sistem koordinat tunggal. Terdapat tiga jenis metode dalam proses registrasi hasil perekaman yaitu registrasi berbasis target (*target to target*), registrasi berbasis sensor, dan registrasi berbasis *cloud* (*cloud to cloud*).

Metode berbasis target adalah metode perekaman dengan menggunakan target buatan dengan bentuk bola atau kotak. Persebaran target yang baik akan memberikan hasil registrasi yang baik. Metode berbasis target memiliki kelebihan pada nilai akurasi yang tinggi tetapi tidak praktis (pemasangan dan pengambilan target memakan waktu) (Cox, 2015).

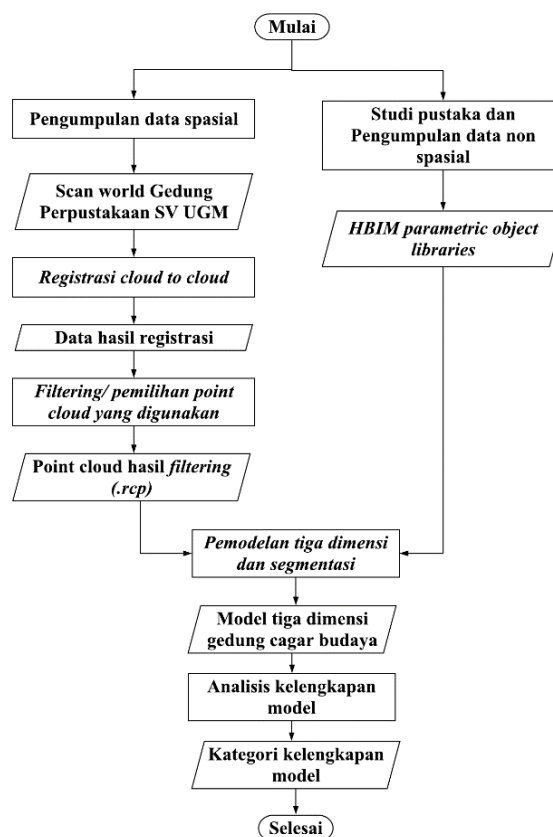
Metode berbasis sensor adalah ensor memberikan pendekatan posisi global atau relatif yang akan digunakan untuk registrasi. Contoh sensot yang digunakan adalah GNSS (Global Navigation Satellite Systems) dan IMU (Inertial Measurement Unit) (Thomson, n.d.). Metode berbasis *cloud* atau biasa disebut dengan *cloud to cloud* menggunakan titik-titik yang diperoleh dari hasil perekaman sebagai titik ikat. Syarat penggunaan metode ini adalah adanya tampalan minimal 30 persen antar *point clouds* yang direkam. Metode ini memiliki keunggulan yaitu tidak perlu memasang dan memindahkan target seperti pada metode berbasis *cloud* (Reshetyuk, 2009). Setelah tahap registrasi akan dilanjutkan dengan proses *filtering* atau penyaringan data. *Filtering* bertujuan untuk mengeliminasi *point cloud* yang tidak diperlukan dalam pemrosesan selanjutnya.

**Tahapan penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan melalui tiga tahapan yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan data, dan tahap pelaporan. **Gambar 2** menunjukkan diagram alir pembuatan model tiga dimensi bangunan cagar budaya. Pada tahap persiapan peneliti menyiapkan alat dan bahan. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa *point cloud* yang diperoleh dari hasil perekaman menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Data *point cloud* yang digunakan sudah diregistrasi terlebih dahulu.

Proses registrasi adalah proses penggabungan *point cloud* yang direkam dari berbagai sisi (*scan world*). Metode registrasi yang digunakan adalah metode *cloud to cloud*. Metode ini tidak memerlukan target sebagai acuan seperti pada metode berbasis target. Prinsip dasar dari metode ini adalah menggabungkan *point cloud* yang memiliki bentuk yang sama. Ketelitian hasil registrasi ditentukan dari nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Semakin kecil nilai RMSE, maka *point cloud* semakin teliti. Untuk membawa *point cloud* ke koordinat tanah dilakukan proses *georeferencing*. Koordinat tanah diperoleh dari pengukuran GNSS metode statik untuk memperoleh ketelitian posisi yang akurat.

Pada tahap kedua penelitian ini adalah pengolahan data adalah melakukan *filtering* data *point cloud*. Proses *filtering* adalah proses yang bertujuan untuk menghilangkan *noise* dan objek-objek yang tidak diperlukan untuk proses selanjutnya. Hilangnya *noise* dan sedikitnya *outliers* akan mempermudah pemilihan layer dan segmentasi pada rekaman data *point cloud*. Segmentasi 2D dilakukan sebelum proses pemodelan. Segmentasi dilakukan untuk setiap lantai dari gedung yang dimodelkan. Proses selanjutnya adalah pemodelan berdasarkan hasil segmen-segmen yang terbentuk dari *point cloud*.



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian

Selain data *point cloud* diperlukan juga data deskripsi objek parametrik dari bangunan cagar budaya. Objek parametrik adalah objek-objek yang melekat pada bangunan seperti pintu dan jendela (Barazzetti et al., 2015; Georgopoulos et al., 2013). Objek parametrik dapat diperoleh melalui survei atau menggunakan *object libraries* yang sudah tersedia. Pembuatan objek parameterik dapat dilakukan dengan melakukan *editing* pada objek yang sudah ada atau membuat objek baru menggunakan bahasa GDL (*Geometric Descriptive Language*). Objek parameterik ditentukan dengan parameter-parameter tertentu sesuai dengan keluarga/*family* dari objek. Contoh keluarga dari objek parametrik adalah pintu, jendela, atap, tembok, pilar, dan objek lain yang ditambahkan pada gedung untuk mendukung pemodelan tiga dimensi. Tahap pemodelan berhasil dilakukan jika objek parametrik dan *point cloud* dapat membentuk model yang serupa dengan objek yang sebenarnya. Pembuatan model dilakukan secara semi-automatis.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Pemindaian**

Jumlah *scan world* yang diperoleh pada hasil pemindaian Gedung Perpustakaan SV UGM adalah 42 buah. Sedangkan Jumlah titik kontrol sebanyak tujuh (7) buah. Distribusi hasil pemindaian ditunjukkan pada **Gambar 3**.





**Gambar 3.** Persebaran GCP (kiri) dan titik perekaman (kanan).

### Registrasi dan Filtering

Data yang digunakan untuk pembuatan model tiga dimensi dari gedung Perpustakaan Sekolah Vokasi adalah data *point cloud* yang bersumber dari perekaman menggunakan alat TLS. Perekaman dilakukan dari 42 titik perekaman di bagian luar dan bagian dalam gedung (lantai satu). Berdasarkan proses registrasi menggunakan metode *cloud to cloud* nilai RMSE yang diperoleh adalah sebesar 1,1 cm. Metode registrasi ini dipilih karena metode perekaman yang digunakan adalah tidak menggunakan target). **Gambar 4** adalah tampilan dari *point cloud* yang sudah diregistrasi (sisi depan, sisi belakang, sisi kanan, dan sisi kiri). Pada sisi belakang hasil perekaman kurang rapat karena ada objek penghalang.

### Segmentasi dan Pemodelan 3D

Pemodelan tiga dimensi segmen yang dibentuk dari *point cloud* dijadikan sebagai acuan untuk menambahkan objek parametrik. Penggunaan tampilan *point cloud* tiga dimensi lebih sulit dan memerlukan waktu yang lama. Penarikan garis seperti tembok lebih sulit dilakukan. Oleh karena itu

segmentasi data *point cloud* ditampilkan dalam bentuk dua dimensi. Tampilan ini disebut dengan *floor plan* dan *ceiling plan*.

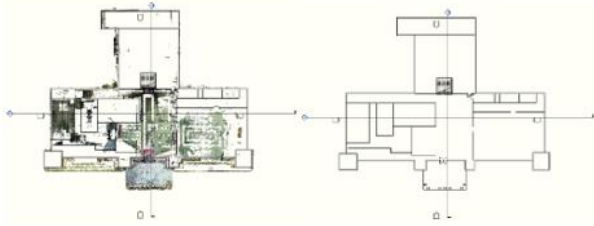
Sebelum melakukan segmentasi, ketinggian setiap lantai perlu ditentukan dan disesuaikan dengan data *point cloud* yang diperoleh. **Gambar 5** adalah susunan level yang akan dimodelkan. Untuk sebuah gedung bertingkat pemodelan dapat dilakukan per lantai. *Floor plan* pada level satu ditampilkan pada **Gambar 6**. *Floor plan* ini digunakan sebagai acuan untuk menambahkan objek parametrik berupa tembok, jendela, pintu, atap, dan objek parametrik lainnya. Bangunan berserajah memiliki bentuk dan ukuran objek parametrik yang unik. Sebagian besar objek parametrik yang disediakan perangkat lunak berupa objek parametrik modern yang mendukung dalam pembuatan BIM (untuk perencanaan bangunan baru).



**Gambar 4.** Level pada bangunan.

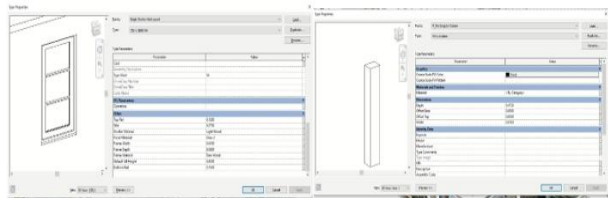


**Gambar 5.** Hasil registrasi *point cloud*.



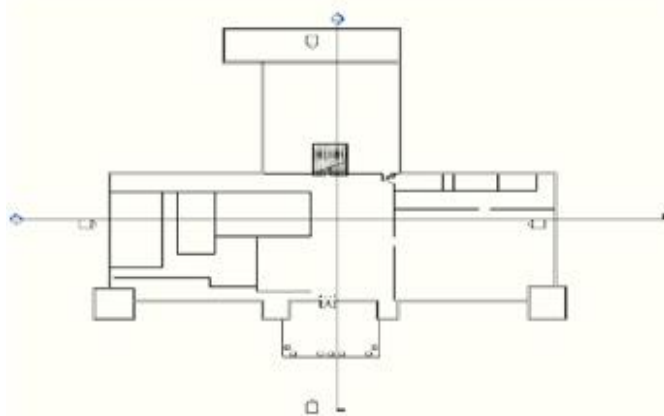
**Gambar 6.** Floor plan level 1.

Pemodelan bangunan yang sudah ada, beberapa objek parametrik tidak dapat ditemukan dalam *libraries* yang ada pada perangkat lunak. Beberapa objek harus dirancang menggunakan bahasa pemrograman GDL. **Gambar 7** (kiri) menunjukkan nilai parameter yang digunakan untuk membuat desain dari jendela sedangkan **Gambar 7** (kanan) adalah parameter yang digunakan untuk membentuk pilar.



**Gambar 7.** Objek parametrik pada bangunan.

Objek parametrik diletakkan pada segmen dua dimensi dari *point cloud* dan menghasilkan tampilan tiga dimensi (struktural) seperti **Gambar 8** (kanan) yang dibuat dengan mengacu ukuran yang diperoleh dari *point cloud* pada **Gambar 8** (kiri). Gambar struktural untuk level 1 bangunan Perpustakaan SV UGM disajikan pada **Gambar 9**. Proses *rendering* mengubah model struktural menjadi gambar riil/fotorealistik (**Gambar 10**) dan tampilan riil untuk level 1 dari gedung ditunjukkan pada **Gambar 11**.



**Gambar 8.** Tampilan 2D dan 3D interior level 1.

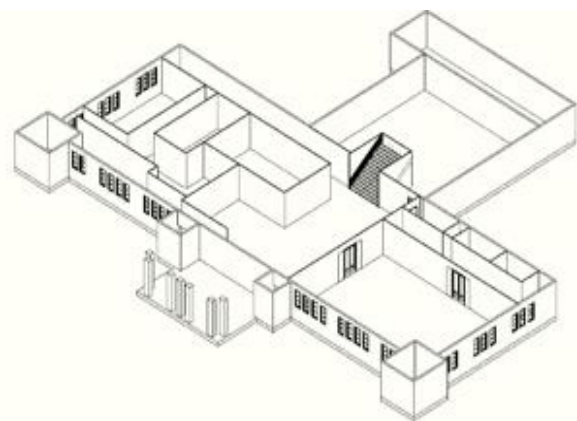
Tipe *rendering* yang digunakan adalah tipe *best*, dengan pencahayaan dalam kondisi berawan. Tipe *rendering best* menghasilkan objek yang lebih riil dibandingkan dengan metode *draft* atau *medium*. Kelemahan metode ini adalah perlu waktu yang lama. Model 3D BIM berbeda dengan model 3D dengan CAD tradisional, produk 3D berbasis BIM mengacu pada standar *Industry Foundation Class* (IFC). Format ini dilengkapi semantik dari objek sehingga dapat dikombinasikan dalam Sistem Informasi Geospasial.



**Gambar 9.** Tampilan fotorealistik dari model 3D.



**Gambar 10.** Perbandingan data point cloud dan objek parameterik dari model 3D.



**Gambar 11.** Tampilan 2D dan 3D interior level 1.

## Level of Detail dan akurasi model 3D



**Gambar 12.** Tampilan fotorealistik level 1 Gedung Perpustakaan SV UGM.

LOD menunjukkan seberapa detil suatu model harus digambarkan. LOD yang semakin tinggi tidak hanya meningkatkan kompleksitas dari suatu model tetapi meningkatkan kualitas semantik (deskripsi geometri yang digunakan di pemodelan) dari objek parametrik pada model tersebut. Pemodelan menggunakan data *point cloud* dari bangunan perpustakaan sekolah vokasi UGM menghasilkan model dengan LOD3. LOD3 adalah model arsitektur dengan jendela dan pintu. Ukuran, bentuk, dan orientasi dimodelkan sesuai dengan hasil data ukuran (bukan ukuran perkiraan). LOD4 dapat dicapai jika model LOD3 dilengkapi dengan fitur yang ada di dalam gedung.

Ukuran dan bentuk objek yang melekat pada bangunan (pintu, jendela) dimodelkan dengan ukuran yang sama dengan hasil segmentasi data *point cloud*. **Gambar 12** menunjukkan perbandingan jendela dalam bentuk *point cloud* dan jendela dalam bentuk objek parametrik (model). Berdasarkan *U.S. Institute of Building Documentation* model ini memiliki level akurasi LoA30 (5 mm – 15 mm) dan LoA40 (1 mm – 5 mm). Berdasarkan pengukuran 30 sampel diperoleh perbedaan antara ukuran dan model berada pada rentang 0 mm – 9 mm (Riyadi & Prasidya, 2019).

## KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa data *point cloud* dapat digunakan sebagai dasar pemodelan semantik bangunan cagar budaya/bersejarah dalam bentuk tiga dimensi secara teliti. Objek parametrik dari bangunan cagar budaya dapat dirancang sesuai dengan bentuk sebenarnya dengan melakukan modifikasi terhadap objek yang sudah ada pada BIM *Libraries* atau menggunakan bahasa GDL.

Model semantik yang terbentuk juga dapat dijadikan acuan dalam melakukan perubahan terhadap komponen dari bangunan dan rekonstruksi apabila ada kerusakan, perubahan atau rekonstruksi. Model yang terbentuk memiliki

LOD3 dan dapat dikembangkan menjadi LOD4 dengan kondisi perekaman yang detil di bagian interior gedung. Model juga dilengkapi dengan objek-objek yang melekat pada setiap ruangan. Model ini memiliki level akurasi kategori LoA30 sampai dengan LoA40. Model 3D dengan format IFC dapat digunakan dalam mengintegrasikan model dengan data SIG lainnya, seperti contohnya menggunakan format CityGML.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan penelitian khususnya pihak PT. ASABA yang membantu dalam proses perekaman data dan Sekolah Vokasi UGM yang sudah memberikan izin dalam proses penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, R. P., Hidayat, A., & Nugroho, H. (2016). Perbandingan Efisiensi Waktu, Biaya, Dan Sumber Daya Manusia Antara Metode Building Information Modelling (Bim) Dan Konvensional (Studi Kasus: Perencanaan Gedung 20 Lantai). *JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL*, 5(2), 220–229.
- Apollonio, F. I., Gaiani, M., & Sun, Z. (2017). A reality integrated bim for architectural heritage conservation. In *Handbook of research on emerging technologies for architectural and archaeological heritage* (pp. 31–65). IGI Global.
- Ashton, H., & Hou, L. (2018). Bridge asset management: a digital approach to modelling asset information. *ICCCBE* 2018, 1–8. <https://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:48578>
- Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., & Previtali, M. (2015). Creation of parametric BIM objects from point clouds using NURBS. *The Photogrammetric Record*, 30(152), 339–362.
- Biagini, C., Capone, P., Donato, V., & Facchini, N. (2016). Towards the BIM implementation for historical building restoration sites. *Automation in Construction*, 71, 74–86.
- Brown, S. (2008). Mute or mutable? Archaeological significance, research and cultural heritage management in Australia. *Australian Archaeology*,



- 67(1), 19–30.
- Cox, R. A. K. (2015). *Real-world comparisons between target-based and targetless point-cloud registration in FARO Scene, Trimble RealWorks and Autodesk Recap A dissertation submitted by.*
- Dore, C., & Murphy, M. (2012). Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites. *Proceedings of the 2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, VSMM 2012: Virtual Systems in the Information Society*, 369–376. <https://doi.org/10.1109/VSMM.2012.6365947>
- Edwards, J. (2017). It's BIM—but not as we know it! In *Heritage Building Information Modelling* (pp. 6–14). Routledge.
- Fai, S., & Rafeiro, J. (2014). Establishing an appropriate level of detail (LoD) for a building information model (BIM)-West Block, Parliament Hill, Ottawa, Canada. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5), 123.
- Forgues, D., Iordanova, I., Valdivieso, F., & Staub-French, S. (2012). Rethinking the cost estimating process through 5D BIM: A case study. *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*, 778–786.
- Georgopoulos, A., Oreni, D., Brumana, R., Georgopoulos, A., & Cuca, B. (2013). HBIM for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden beam floors. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5(W1), 215–221. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-215-2013>
- Kassem, M., Kelly, G., Dawood, N., Serginson, M., & Lockley, S. (2015). BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex. *Built Environment Project and Asset Management*, 5(3), 261–277. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-02-2014-0011>
- Koziatek, O., Dragičević, S., & Li, S. (2016). Geospatial modelling approach for 3D urban densification developments. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 349.
- Logothetis, S., Delinasiou, A., & Stylianidis, E. (n.d.). *BUILDING INFORMATION MODELLING FOR CULTURAL HERITAGE: A REVIEW.* <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W3-177-2015>
- Love, P. E. D., Matthews, J., & Lockley, S. (2015). BIM for Built Asset Management. *Built Environment Project and Asset Management*, 5(3), BEPAM-12-2014-0062. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-12-2014-0062>
- Mann, M. C., Thomson, R. J., Dyason, J. C., McAtamney, S., & Von Itzstein, M. (2006). Modelling, synthesis and biological evaluation of novel glucuronide-based probes of *Vibrio cholerae* sialidase. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 14(5), 1518–1537.
- Noardo, F. (2018). Architectural heritage semantic 3D documentation in multi-scale standard maps. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.02.009>
- Pavlovskis, M., Migilinskis, D., Antuchevičienė, J., & Kutut, V. (2019). *Implementing BIM for industrial and heritage building conversion.*
- Reshetyuk, Y. (2009). *Terrestrial laser scanning: Error sources, self-calibration and direct georeferencing.* VDM Verlag Dr. Muller,.
- Riyadi, G., & Prasidya, A. S. (2019). *LAPORAN AKHIR PENELITIAN STUDI PENGUKURAN DENGAN TERRESTRIAL LASER SCANNER ( TLS ) UNTUK DOKUMENTASI 3D GEDUNG.*
- Rizaldi, R. I., Farni, I., & Mulyani, R. (2017). KAJIAN POTENSI BANGUNAN BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) DALAM MERENCANAKAN GEDUNG DI INDONESIA. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University*, 2(2).
- Sabel, C. E., Gatrell, A. C., Löytönen, M., Maasilta, P., & Jokelainen, M. (2000). Modelling exposure opportunities: estimating relative risk for motor neurone disease in Finland. *Social Science & Medicine*, 50(7–8), 1121–1137.
- Stanley, R., & Thurnell, D. (2014). *The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand.*
- Sutanta, H., Chintya, N. P. P., & Syarafina, Z. (2016). Issues and challenges in developing geocoded address in Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 1755(November). <https://doi.org/10.1063/1.4958505>
- Telaga, A. S. (2018). A review of BIM (Building Information Modeling) implementation in Indonesia construction industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 352(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/352/1/012030>
- Teng, J., Jakeman, A. J., Vaze, J., Croke, B. F. W., Dutta, D., & Kim, S. (2017). Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling & Software*, 90, 201–216.
- Thomson, C. (n.d.). *Improve point cloud registration with targetless scanning.* Retrieved March 27, 2020, from <https://info.vercator.com/blog/improve-point-cloud-registration-with-targetless-scanning>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.
- Yamamura, S., Fan, L., & Suzuki, Y. (2017). Assessment of Urban Energy Performance through Integration of BIM and GIS for Smart City Planning. *Procedia Engineering*, 180, 1462–1472. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.04.309>
- Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M., & Teizer, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, 72, 31–45. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2014.08.001>