



Evaluasi Pembangunan Konstruksi Jalan Tol Menggunakan *BIM Design* dari Gambar Konstruksi dan *BIM As-Built* dari Survey Fotogrametri

(*Evaluation of Toll Road Construction Using BIM Design from Construction Drawings and BIM As-Built from Photogrammetric Surveys*)

Dasita Meygan Pratiwi¹, Ruli Andaru²

¹ Magister Teknik Geomatika, Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

² Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Penulis Korespondensi: Dasita Meygan Pratiwi | **Email:** dasita.meygan.p@mail.ugm.ac.id

Diterima (*Received*): 24/Jan/2024 Direvisi (*Revised*): 16/Oct/2025 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 26/Oct/2025

ABSTRAK

Penerapan *Building Information Modelling* (BIM) di Indonesia masih terbatas digunakan pada proyek besar dan tahapan pra konstruksi saja. BIM seharusnya diterapkan secara menyeluruh dari perencanaan hingga pemeliharaan aset dengan terintegrasi untuk memastikan kualitas dan akurasi hasil. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pembangunan konstruksi melalui perbandingan *BIM design* dan *BIM as-built*. *BIM design* dibuat berdasarkan data rencana (*shop drawing*) dan topografi awal, sedangkan *BIM as-built* dibuat berdasarkan data pemotretan objek terbangun dengan teknik fotogrametri SfM-MVS dan pengukuran lapangan. Evaluasi konstruksi dilakukan secara geometrik dengan membandingkan dimensi, posisi dan bentuk model berdasarkan nilai RMSE dan secara semantik berdasarkan perbandingan kelengkapan informasi pada perencanaan dan realisasi terbangun. Penelitian ini mengkaji pembangunan konstruksi *overpass* pada proyek jalan tol Kayu Agung-Palembang-Betung (KAPB) STA 71+429 yang berlokasi di Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat ketidaksesuaian pada aspek geometrik antara perencanaan dan realisasi terbangun yaitu perbedaan dimensi sebesar 2,4 cm pada 35 sampel data, perbedaan posisi sebesar 10 cm pada 40 sampel data dan perbedaan bentuk struktur dengan error sebesar 20 % pada 10 sampel data. Pada aspek semantik menunjukkan *BIM as-built* memiliki kualitas informasi yang lebih lengkap dan terperinci dibandingkan hasil *BIM design*. Hasil *Level of Detail* (LoD) dan *Level of Information* (LOI) berdasarkan evaluasi aspek geometrik dan semantik menunjukkan bahwa LoD *BIM design* dan *BIM as-built* berada pada level yang sama, sedangkan LOI pada *BIM as-built* lebih tinggi 2 tingkat dari *BIM design*. Penelitian ini menegaskan bahwa penting adanya integrasi dan evaluasi menyeluruh pada proses BIM untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi konstruksi.

Kata Kunci: Fotogrametri, Geometrik, Semantik, *BIM Design*, *BIM As-Built*

ABSTRACT

The application of *Building Information Modeling* (BIM) in Indonesia is still limited to large projects and the pre-construction phase. BIM should be applied comprehensively from planning to asset maintenance in an integrated manner to ensure the quality and accuracy of results. This study aims to evaluate construction development by comparing *BIM design* and *BIM as-built*. *BIM design* is created based on plan data (*shop drawings*) and initial topography, while *BIM as-built* is created based on data from photographs of built objects using SfM-MVS photogrammetry techniques and field measurements. The construction evaluation is carried out geometrically by comparing the dimensions, positions, and shapes of the models based on the RMSE value and semantically based on a comparison of the completeness of information in the planning and built realization. This study examines the construction of an *overpass* on the Kayu Agung-Palembang-Betung (KAPB) toll road project at STA 71+429, located in Banyuasin Regency, South Sumatra. The results of the study indicate that there are discrepancies in the geometric aspects between the design and the built realization, namely a difference in dimensions of 2.4 cm in 35 data samples, a difference in position of 10 cm in 40 data samples, and a difference in structural form with an error of 20% in 10 data samples. In terms of semantics, *BIM as-built* has more complete and detailed information quality compared to *BIM design* results. The results of *Level of Detail* (LoD) and *Level of Information* (LOI) based on the evaluation of geometric and semantic aspects show that the LoD of *BIM design* and *BIM as-built* are at the same level, while the LOI of *BIM as-built* is 2 levels higher than *BIM design*. This study emphasizes the importance of comprehensive integration and evaluation in the BIM process to improve construction accuracy and efficiency.

Keywords: Photogrammetry, Geometrics, Semantics, *BIM Design*, *BIM As-Built*

© Author(s) 2025. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Industri konstruksi di Indonesia berkembang untuk memenuhi kebutuhan pembangunan infrastruktur nasional. Perkembangan teknologi saat ini, juga memberikan pengaruh terhadap perkembangan digitalisasi konstruksi. Transformasi digital konstruksi terjadi dengan cepat dan secara eksponensial yang bertujuan untuk mempermudah dalam mencapai target-target nasional pada industri konstruksi (Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Kementerian PUPR, 2020). Digitalisasi dalam sektor konstruksi merujuk pada proses pembangunan yang memanfaatkan internet dan *big data* secara terintegrasi. Salah satu contoh penerapan digitalisasi konstruksi di Indonesia adalah BIM (*Building Information Modeling*) (Adekunle dkk., 2024). Perkembangan teknologi konstruksi dari tahap perencanaan yang awalnya hanya berupa dokumen berbasis 2D / 3D, kemudian berkembang menjadi multi dimensi (level 7D) dimana memasukkan komponen biaya, waktu, dan penjadwalan (PUPR, 2018; Andaru dkk., 2024). Hal inilah yang dimaksud sebagai evolusi teknologi informasi dalam konstruksi (era digitalisasi konstruksi) yang salah satu penerapannya dalam bentuk *Building Information Modeling* (BIM).

Berdasarkan *National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance (2015)*, BIM didefinisikan sebagai representasi digital dari karakter fisik dan karakter fungsional suatu objek BIM. Prinsip dasar BIM adalah membangun suatu objek secara virtual sebelum merealisasikannya secara fisik. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi masalah, mengurangi ketidakpastian, meningkatkan aspek keselamatan serta menganalisis dampak yang mungkin terjadi (PUPR, 2018). Teknologi BIM dapat mengubah dan mempercepat pertukaran model 3D antar disiplin ilmu, sehingga meningkatkan efisiensi dalam proses aliran informasi dan pelaksanaan konstruksi (Eastman dkk., 2011). Kewajiban penerapan BIM di Indonesia mengikuti ketentuan peraturan pemerintah yang mengatur penggunaan teknologi untuk mendukung proses pembangunan. Pada Undang-Undang No.2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksimenjelaskan terkait penggunaan BIM untuk perusahaan jasa konstruksi. Selain itu, Kementerian PUPR juga mengeluarkan Peraturan Menteri PUPR No. 22/PRT/M/2018 tentang Pembangunan Gedung Negara tidak sederhana diatas dua lantai harus menerapkan penggunaan BIM dalam pembangunan konstruksinya. Setelah dikeluarkannya Surat Edaran Kementerian PUPR No. 11/SE/Db/2021, BIM juga wajib diterapkan untuk proyek infrastruktur jalan dan jembatan. Surat edaran tersebut membahas tentang regulasi penerapan BIM pada perencanaan teknis, konstruksi dan pemeliharaan jalan serta jembatan di Direktorat Jenderal Bina Marga.

Implementasi BIM di Indonesia, umumnya hanya digunakan pada proyek-proyek besar saja (Agirachman dkk., 2018) dan sebagian besar masih dalam fase

perencanaan serta teknik (Pantiga & Soekiman, 2021). Penerapan BIM pada bidang konstruksi dapat digunakan pada seluruh tahapan proses konstruksi, yaitu tahap perencanaan, desain teknis, konstruksi, pengoperasian fasilitas dan pemeliharaan (Azhar & Asce, 2011). Elemen BIM yang dibuat pada setiap tahapan konstruksi harus saling terintegrasi untuk memastikan kualitas dan keakuratannya pada proyek konstruksi. Hasil pembangunan konstruksi yang telah dilakukan dapat dievaluasi dari hasil BIM perencanaan (*design*) dan BIM pasca konstruksi (*as-built*). BIM pada tahap perencanaan (*BIM design*) dibuat berdasarkan data rencana, sedangkan BIM pada tahap pasca konstruksi (*BIM as-built*) dibuat berdasarkan data aktual dari hasil konstruksi yang telah selesai (*as-built*) dan telah dilakukan verifikasi lapangan.

BIM *design* digunakan untuk mendukung penyajian desain yang sesuai dengan standar konstruksi dalam bentuk model 3D *solid* dengan mempertimbangkan kondisi aktual lokasi proyek (Antoni dkk., 2023). Selain itu dapat juga digunakan sebagai acuan untuk mendeteksi adanya konflik/kesalahan (*clashes*) sebelum pelaksanaan konstruksi dan mampu untuk dicegah (Nelson & Tamtana, 2019). BIM *as-built* menampilkan hasil pekerjaan konstruksi dalam bentuk model 3D *solid*, yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam proses pemantauan dan pemeliharaan konstruksi. BIM *design* dan BIM *as-built* perlu diterapkan pada pekerjaan konstruksi guna memberikan gambaran yang jelas mengenai bentuk fisik (hasil konstruksi terbangun) berdasarkan data *design*/perencanaan serta menjadi acuan dalam proses evaluasi pekerjaan.

Data rencana pada BIM *design* biasanya berupa dokumen teknis dalam bentuk 2D. Dokumen tersebut berupa gambar kerja pada bidang konstruksi yang dikenal dengan istilah *shop drawing*. *Shop drawing* merupakan gambar teknis lapangan yang detil dan spesifik serta digunakan untuk menggambarkan rancangan detil komponen yang akan dibangun (Kamal dkk., 2022). *Shop drawing* berfungsi penting sebagai acuan bagi pekerja teknis di lapangan untuk melaksanakan pekerjaan konstruksi. Informasi yang terdapat pada *shop drawing* berisi spesifikasi detil terkait konstruksi seperti ukuran, dimensi, lokasi posisi setiap komponen, spesifikasi bahan yang digunakan serta instruksi pengerjaannya. *Shop drawing* digambarkan dalam bentuk 2D berupa penggambaran struktur CAD maupun dokumen cetak (Varma, 2008). Meskipun *shop drawing* sangat penting dalam pekerjaan konstruksi, namun terdapat beberapa keterbatasan apabila hanya menggunakan format bentuk 2D. Keterbatasan tersebut berupa penggambaran detil yang terbatas sehingga menyulitkan untuk memahami *design* yang kompleks, keterbatasan visualisasi, keterbatasan komunikasi antar bidang lainnya (*engineer*, *arsitek*, *kontraktor*), deteksi konflik harus dilakukan secara manual, serta apabila terjadi revisi *design* semua gambar harus diperbaharui secara manual sehingga akan memakan waktu dan rawan terjadi kesalahan. Keakuratan

dan ketepatan pada *shop drawing* mempengaruhi keberhasilan suatu proyek konstruksi, sehingga diperlukan pemodelan 3D dalam bentuk BIM dari *shop drawing* untuk meningkatkan keseluruhan proses kerja konstruksi. Penggunaan BIM dapat melengkapi dan menggantikan keterbatasan format bentuk 2D dalam *shop drawing*.

Pengertian data *as-built* yang digunakan untuk pembuatan BIM *as-built* merupakan suatu model yang menggambarkan hasil jadi suatu proyek di lapangan pada kondisi sebenarnya setelah proses konstruksi (Bhatla dkk., 2012). Data *as-built* dapat diperoleh dari pemindaian *laser scanner* maupun pemetaan fotogrametri objek terbangun di lapangan (Rahmawati & Kusetiyoahadi, 2021). Pemindaian menggunakan *laser scanner* dapat menghasilkan data objek terbangun yang akurat dan cepat, namun memerlukan biaya yang relatif mahal. Alternatif lain, akuisisi data terbangun dapat menggunakan pemetaan fotogrametri dengan alokasi biaya yang lebih terjangkau. Pemodelan BIM *as-built* menggunakan data foto udara UAV dapat menghasilkan nilai verifikasi ukuran aktual dengan ukuran model yang memenuhi toleransi standar deviasi (Amal & Purnama, 2023). Hasil uji validasi jarak menjadi dasar yang kuat untuk memastikan keakuratan model BIM *as-built*. Pembuatan BIM *as-built* bertujuan untuk memberikan visualisasi dan informasi dari kenampakan aktual hasil proyek serta sebagai dasar untuk membuat keputusan proyek (Bhatla dkk., 2012).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi pembangunan konstruksi melalui perbandingan BIM *design* dan BIM *as-built*. Fokus penelitian pada pembuatan BIM dari dua tahapan konstruksi yaitu BIM *design* dan BIM *as-built*. BIM *design* dimodelkan dari data rencana, dan BIM *as-built* dimodelkan dari data fotogrametri (foto udara dan foto terestris) serta data lapangan. Hasil BIM *as-built* kemudian divalidasi menggunakan data ukuran lapangan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kesesuaian BIM *as-built* dengan kondisi aktual di lapangan. Analisis hasil BIM dilakukan dengan membandingkan kedua model BIM tersebut terkait geometrik model dan semantik kelengkapan informasi yang ditampilkan. Hasil analisis ini diharapkan dapat mengevaluasi pembangunan konstruksi berdasarkan kesesuaian antara model rencana dan hasil akhir realisasi terbangun. Selain itu, analisis ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi perbedaan yang mungkin muncul pada pembangunan konstruksi, serta dapat dijadikan dasar untuk evaluasi pemeliharaan dan pengelolaan infrastruktur.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Lokasi

Data utama yang digunakan pada penelitian ini adalah data perencanaan yang berupa *shop drawing*, data fotogrametri (foto udara UAV dan foto terestris jarak dekat/CRP), data topografi awal lokasi serta data ukuran

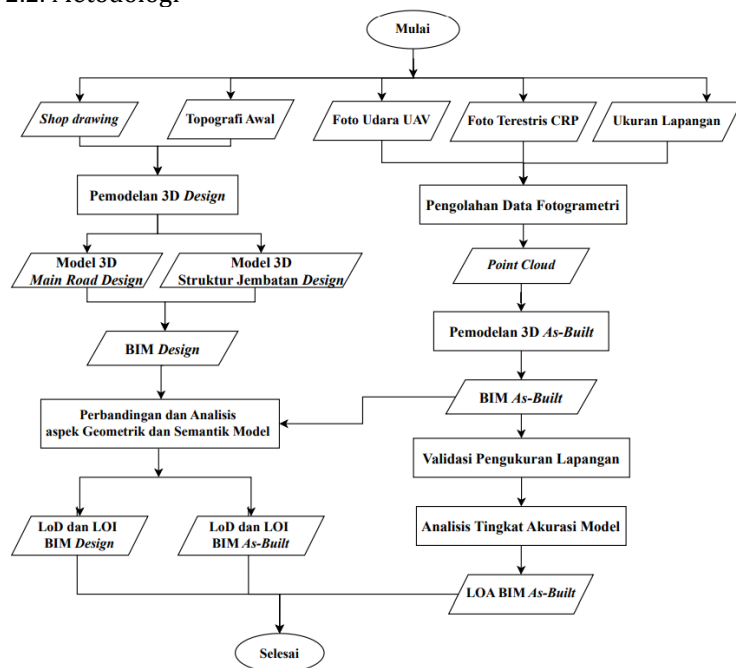
lapangan. Data ukuran lapangan terdiri dari data koordinat GCP, ICP, *premark* foto serta data titik koordinat struktur terbangun.

Lokasi penelitian berada pada proyek jalan tol Kayu Agung-Palembang-Betung (KAPB), segmen jembatan sungai STA 71+429. Tepatnya berlokasi di wilayah Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Penelitian ini merupakan salah satu proyek konstruksi infrastruktur yang dikerjakan oleh PT. Waskita Karya. Lokasi penelitian ini dipilih karena terdiri dari struktur jembatan *overpass* dan area *main road*. Selain itu pada lokasi ini masih berlangsung proses pembangunan konstruksi, sehingga sesuai untuk penelitian yang berfokus terhadap analisis hasil BIM untuk evaluasi pembangunan konstruksi. Panjang ruas jalan pada lokasi penelitian sekitar $\pm 69,19$ km. Lokasi area penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi penelitian

2.2. Metodologi



Gambar 2 Diagram alir pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang ditunjukkan alur pelaksanaan penelitian dalam diagram alir pelaksanaan pada Gambar 2.

2.2.1. Pemodelan BIM Design

Pemodelan BIM *design* dilakukan dengan prinsip mengonversi data *shop drawing* dari bentuk 2D ke dalam bentuk 3D, disertai dengan penambahan informasi teknis yang lebih mendetail. BIM *design* dibuat secara manual dengan memodelkan setiap komponen elemen dari struktur jembatan dan *main road*. Pemodelan BIM *design* dibagi menjadi dua bagian utama yaitu *civil work* (area *main road*) dan *structure work* (area struktur jembatan *overpass*). Bagian *civil work* mencakup pembuatan 3D *main road design*, dengan data utama berupa *shop drawing* (area *main road*) dan data topografi awal lokasi. Pembuatan 3D *main road design* ini menggunakan *software Autodesk Civil 3D*. Tahapan pembuatan 3D *main road design* terdiri dari pembuatan *surface* topografi kondisi aktual lokasi pekerjaan, *alignment main road*, *sub assembly*, *corridor main road* dan ekstraksi solid model pada pekerjaan *main road* (timbunan dan perkerasan).

Bagian *structure work* mencakup pembuatan 3D struktur jembatan *design*, dengan data utama yang digunakan berupa *shop drawing* (area struktur jembatan *overpass*). Pembuatan 3D struktur jembatan *design* menggunakan *software Autodesk Revit*. Data *shop drawing* yang digunakan pada bagian *structure work* hanya berfokus pada data detil struktur pembangunan jembatan *overpass*. Data detil struktur yang dimaksud meliputi detil ukuran dimensi dan elevasi setiap elemen struktur jembatan. Pembuatan 3D struktur jembatan memodelkan struktur utama jembatan (tiang pancang, *pilecap*, *abutment*, pilar, *bearing pad*, *girder*, *diafragma*, *steel deck*, dek jembatan/plat lantai, parapet, plat injak dan *floor*) dan struktur fungsional tambahan (*railing*, *granular backfill* dan sistem drainase) beserta material elemen dan kelengkapan informasi pada setiap struktur yang dimodelkan. Hasil dari proses pada bagian *structure work* berupa model 3D struktur jembatan *design*.

Tampilan BIM *design* berupa penggabungan hasil dari pembuatan 3D *main road* dan 3D struktur jembatan. Hasil dari pemodelan 3D *main road* dan 3D struktur jembatan dilakukan *overlay* untuk menghasilkan kesatuan bentuk BIM dari data perencanaan pembangunan *overpass* jalan tol. Penggabungan kedua model tersebut dapat menggunakan *software* tambahan yang digunakan sebagai media untuk memvisualisasikan gabungan kedua data tersebut.

2.2.2. Pemodelan BIM As-built

Pemodelan BIM *as-built* dilakukan menggunakan metode *Scan to BIM*. Metode ini berprinsip pada konversi data *point cloud* yang diperoleh dari pengukuran fotogrametri menjadi model 3D BIM yang merepresentasikan kondisi aktual dari objek yang ada.

Proses pengolahan data untuk pemodelan BIM *as-built* terdiri dari dua tahapan utama, yaitu pengolahan data fotogrametri dan *filtering noise/outlier*. Data utama yang digunakan berupa data foto udara UAV, data foto terestris dan pengukuran lapangan. Pengolahan data fotogrametri menggunakan *software Agisoft Metashape*, sedangkan *filtering noise* dan *outlier* menggunakan *software Cloud Compare*. Data fotogrametri diproses secara SfM - MVS untuk menghasilkan data *point cloud*. Tahapan pengolahan fotogrametri dengan *alignment* SfM meliputi *image matching*, *self-calibration bundle adjustment*, dan *georeferenced photo*. Tahap selanjutnya adalah proses MVS berupa *build dense cloud*. Pemrosesan data foto melingkupi seluruh area penelitian dengan jumlah 83 foto udara dan 162 foto terestris.

Data *point cloud* yang dihasilkan dari proses pengolahan fotogrametri, kemudian dilanjutkan dengan proses *filtering noise* dan *outlier*. Proses *filtering* dilakukan secara otomatis menggunakan metode *filtering radius outlier removal* yaitu metode yang memeriksa jumlah titik tetangga (*neighbourhood*) pada radius jarak tertentu dari setiap *point cloud*. *Point cloud* yang tidak memiliki cukup *neighbourhood* di sekitarnya, dianggap sebagai *noise/outlier* dan dihapus. Selain dilakukan *filtering* secara otomatis, dilakukan juga *filtering* secara manual untuk menghasilkan data *point cloud final* terbaik. *Point cloud* yang digunakan untuk pemodelan BIM *as-built* hanya yang merepresentasikan area *main road*, struktur *overpass* dan sedikit area di sekitarnya saja. Data *point cloud* selain pada area tersebut akan dihapus untuk mempermudah ketika proses pemodelan BIM *as-built*.

Data *point cloud* hasil pengolahan fotogrametri dan *filtering noise/outlier*, tidak dapat langsung digunakan untuk pemodelan BIM *as-built*. *Point cloud* dengan format data *.laz/las perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi format *.rcp menggunakan *software Autodesk ReCap*. Konversi ini dimaksudkan agar data *point cloud* dapat terbaca pada *software Autodesk Revit* untuk proses pemodelan BIM. Pemodelan BIM *as-built* dilakukan secara manual dengan memodelkan setiap elemen struktur jembatan dan area *main road*. BIM *as-built* memodelkan bagian struktur utama *overpass* (*abutment*, pilar, *bearing pad*, *girder*, *diafragma*, dek jembatan/plat lantai, parapet, plat injak dan *floor*), bagian *main road*, bagian struktur fungsional tambahan (*railing* dan *guardrail*) beserta atribut elemennya. Pemodelan BIM *as-built* menghasilkan bentuk struktur jembatan dan area *main road* beserta kelengkapan fungsional lainnya dalam bentuk model 3D.

2.2.3. Evaluasi Akurasi BIM As-built

Tahapan ini merupakan proses verifikasi model *as-built* berdasarkan data pengukuran lapangan. Perhitungan akurasi hasil BIM *as-built* dilakukan dengan membandingkan ukuran dimensi model dengan dimensi aktual struktur terbangun berdasarkan data ukuran lapangan. Data ukuran lapangan diambil menggunakan metode pengukuran *Total Station* (TS). Dimensi ukuran

yang digunakan sebagai perbandingan data merupakan panjang segmen sisi beberapa sampel elemen struktur yang telah ditentukan. Setiap data ukuran dimensi pada segmen sisi yang sama kemudian dihitung selisih ukurannya. Nilai selisih tersebut kemudian dihitung RMSE nya menggunakan persamaan (1) berikut (Ghilani, 2018):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X' - X)^2}{n}} \quad (1)$$

dimana:

X' = ukuran di lapangan / ukuran hasil BIM *design*

X = ukuran model BIM *as-built*

n = jumlah sampel

Nilai RMSE yang diperoleh, kemudian disesuaikan dengan kategori ketentuan *Level of Accuracy* (LOA). LOA merupakan dokumen yang dikeluarkan oleh USIBD (US. Institute of Building Documentation) tahun 2019 sebagai standar ketentuan yang digunakan dalam industri AECO (*Architecture, Engineering, Construction and Owner*) untuk menentukan tingkat akurasi pada struktur bangunan yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kategori dan Spesifikasi LOA

<i>Level</i>	<i>Upper Range</i>	<i>Lower Range</i>
UDLOA	User Defined	User Defined
LOA10	15 cm*	5 cm*
LOA20	5 cm*	15 mm*
LOA30	15 mm*	5 mm*
LOA40	5 mm*	1 mm*
LOA50	1 mm*	0*

* ditentukan berdasarkan tingkat kepercayaan 95%

2.2.4. Analisis Hasil Pemodelan BIM

Analisis hasil pemodelan BIM yang berupa BIM *design* dan BIM *as-built* dilakukan untuk memastikan kualitas hasil fisik konstruksi *overpass* jalan tol setelah proses konstruksi selesai. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan BIM *design* yang dibuat pada tahap perencanaan dengan BIM *as-built* yang merupakan hasil kondisi aktual setelah konstruksi selesai. Perbandingan dilakukan pada aspek geometrik untuk menilai kesesuaian dimensi, posisi dan bentuk. Selain itu perbandingan juga dilakukan pada aspek semantik berupa kelengkapan informasi untuk mengetahui akurasi informasi teknis yang ditampilkan. Hasil analisis ini dapat memberikan gambaran terkait konsistensi antara desain awal dengan realisasi terbangun di lapangan, sekaligus mengidentifikasi adanya perbaikan pada proses perencanaan dan konstruksi.

Analisis hasil BIM pada aspek geometri dilakukan dengan membandingkan geometri model yang dihasilkan dari perencanaan dengan realisasi terbangun di lapangan. Berdasarkan perbandingan tersebut diperoleh nilai selisih,

kemudian dihitung RMSE menggunakan persamaan (1). BIM *design* yang merupakan model dari perencanaan dianggap memiliki nilai sebenarnya, sehingga analisis dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil model realisasi terbangun (BIM *as-built*) terhadap model perencanaan (BIM *design*). Analisis hasil BIM pada aspek semantik dilakukan dengan membandingkan kelengkapan informasi yang disajikan pada kedua model BIM tersebut. Analisis ini juga mencakup penilaian terhadap akurasi dan konsistensi informasi teknis setiap elemen struktur yang ditampilkan. Pada perbandingan aspek semantik, BIM *design* menampilkan kelengkapan informasi berdasarkan data perencanaan, sedangkan BIM *as-built* menampilkan kelengkapan informasi berdasarkan kondisi aktual di lapangan yang diperoleh dari hasil foto objek terbangun dan laporan progres pekerjaan proyek.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengolahan Fotogrametri

Data fotogrametri yang terdiri dari data foto udara UAV dan foto terestris CRP dilakukan pengolahan melalui tahapan yaitu *alignment*, *georeferenced*, dan *build dense cloud*. Pada tahapan *alignment* foto dilakukan proses *self-calibration bundle adjustment* untuk menghasilkan parameter orientasi dalam (IOP) dan orientasi luar (EOP) secara serentak pada masing-masing kamera (kamera pada foto udara dan kamera pada foto terestris). Parameter orientasi dalam (IOP) tersebut berupa panjang fokus kamera terkalibrasi (F), *principal point offset* (Cx, Cy), distorsi radial lensa (K1, K2, K3, K4) serta distorsi tangensial (P1, P2). Jumlah *tie point* yang diperoleh dari proses *alignment* foto pada pengolahan foto udara UAV sejumlah 214.346 *points* dengan nilai RMS *reprojection error* sebesar 0,174 m (0,946 *pixel*) dan pada pengolahan foto terestris CRP sejumlah 459.859 *points* dengan nilai RMS *reprojection error* sebesar 0,299 m (1,425 *pixel*). *Tie point* yang dihasilkan dari *alignment* foto diproses menggunakan sistem *high* akurasi. Namun masih terdapat beberapa bagian pada struktur *overpass* yang menghasilkan *tie point* tidak terlalu rapat dan memiliki banyak *noise*. Hal ini disebabkan masih terdapat banyak vegetasi berupa semak tinggi yang menghalangi pemotretan pada bagian struktur *overpass*. Selain itu topografi area struktur *overpass* yang cukup terjal, menyulitkan ketika pemotretan struktur *overpass* bagian samping. Tampilan *tie point* dari hasil proses *alignment* foto ditunjukkan pada Gambar 3.



(a) *tie point* foto udara area main road (tampak atas)



(b) *tie point* foto terestris area struktur *overpass* (tampak depan)

Gambar 3 Hasil *tie point* proses *alignment* foto

Proses *georeferenced* dilakukan masing-masing pada setiap kelompok data foto. Hal ini dimaksudkan agar data foto udara dan foto terestris dapat terkoreksi masing-masing dari data ikat yang digunakan. Tahap *georeferenced* data foto udara menggunakan titik ikat berjumlah 8 *control points* (GCP) dan 6 *check points* (ICP). Tahap *georeferenced* pada data foto terestris menggunakan 10 *control points* (GCP) dan 6 *check points* (ICP). Hasil *georeferenced* data foto udara (Tabel 2) dan foto terestris (Tabel 3) ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 2 RMSE Hasil *Georeference* Data Foto Udara

Jumlah Titik	X error	Y error	Z error	XY error	Total error
8 (GCP)	2,482	0,989	0,716	2,673	2,767
6 (ICP)	2,736	0,954	1,528	2,897	3,276

* satuan dalam cm

Tabel 3 RMSE Hasil *Georeference* Data Foto Terestris

Jumlah Titik	X error	Y error	Z error	XY error	Total error
10 (GCP)	2,424	2,655	1,989	3,595	4,109
6 (ICP)	3,844	5,297	1,685	6,544	6,758

* satuan dalam cm

Proses *georeferenced* pada data foto udara dan foto terestris menggunakan 3 titik ikat sama yang terletak di bagian struktur *overpass* untuk menghasilkan *tie point tergeoreferenced* dan saling terikat. Nilai RMSE *control point* yang diperoleh dari proses georeferensi pada kedua data foto menunjukkan besaran *error* ≤ 5 cm. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan data fotogrametri (foto udara dan foto terestris) menghasilkan akurasi posisi yang baik. Hanya saja nilai RMSE *check point* dari pengolahan data foto terestris menunjukkan error sebesar 6,758 cm (> 5 cm). Hal ini disebabkan karena kurang rapatnya pengambilan foto terestris pada struktur *overpass* serta banyaknya vegetasi yang menghalangi, sehingga kerapatan *tie point* yang dihasilkan berkurang.

Pada proses *build dense clouds* dihasilkan *depth maps* dan *point cloud*. Hasil *depth maps* 3D model memiliki kualitas *high* dan *point cloud* sejumlah 40.159.753 titik dari pengolahan data foto udara serta 53.456.902 titik dari pengolahan data foto terestris. Hasil *point cloud* dari pengolahan data foto udara dan data foto terestris memiliki tingkat kerapatan yang berbeda. Pengolahan data foto udara menghasilkan *point cloud* dengan kerapatan yang tinggi, sehingga dapat mengcover seluruh bagian *main road* dan jembatan *overpass* dari tampak atas secara rapat dan detail. Pengolahan data foto terestris menghasilkan *point cloud* dengan kerapatan yang kurang baik pada beberapa bagian struktur *overpass* serta *noise* yang terbentuk cukup banyak. Hal ini disebabkan karena disekitar area struktur *overpass* masih banyak terdapat vegetasi berupa semak tinggi yang menghalangi ketika pengambilan foto terestris. Meskipun terdapat beberapa bagian dari struktur *overpass* yang terbentuk kurang rapat, *point cloud* yang dihasilkan tetap membentuk garis tepi yang jelas dan dapat diinterpretasi untuk setiap bagian struktur. Oleh karena itu, hasil *point cloud* tersebut masih dapat digunakan sebagai acuan dalam pembuatan model 3D BIM *as-built*. Hasil akhir *point cloud* dari pengolahan fotogrametri ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 *Point cloud* hasil pengolahan fotogrametri

3.2 Hasil *Filtering Noise* dan *Outlier*

Data *point cloud* hasil pengolahan fotogrametri, dilakukan proses *filtering* untuk menghasilkan *point cloud* yang bebas dari *noise* maupun *outlier*. Proses *filtering noise* dan *outlier* dilakukan dengan 2 cara yaitu secara otomatis dan manual. *Filtering noise* secara otomatis dilakukan menggunakan metode *filtering radius outlier removal*, kemudian dilanjutkan dengan seleksi *point cloud* secara manual untuk menghilangkan *noise* yang tersisa. Jumlah *point cloud* sebelum dilakukan *filtering* berjumlah 92.936.593 titik, sedangkan setelah dilakukan *filtering* (secara otomatis dan manual) menghasilkan *point cloud final* berjumlah 67.540.848 titik. Kenampakan *point cloud* sebelum dan setelah *filtering* ditunjukkan pada Gambar 5. Proses *Filtering noise* dan *outlier* dimaksudkan untuk meningkatkan akurasi sehingga *point cloud* yang dihasilkan dapat merepresentasikan objek lebih akurat dan sesuai kenampakan sebenarnya. Selain itu, visualisasi

point cloud yang bersih (bebas dari *noise*) memudahkan pemahaman dan penggunaan untuk pembuatan model 3D.



(a) *point cloud* sebelum *filtering noise*



(b) *point cloud* setelah *filtering noise*

Gambar 5 Hasil *point cloud* sebelum dan setelah *filtering*

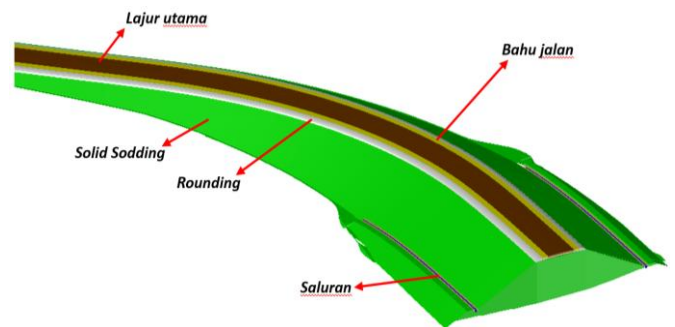
3.3 Hasil Pemodelan BIM Design

Hasil BIM *design* terdiri dari model 3D *main road design* dan 3D struktur jembatan *design* yang disertai dengan informasi kelengkapan struktur. Hasil BIM *design* hanya memodelkan komponen fisik struktur secara geometrik yang terlihat di permukaan luar saja, sedangkan komponen fabrikasi yang ada di dalam struktur tidak ikut dimodelkan. Komponen yang dimodelkan pada BIM *design* terdiri dari area *main road*, struktur utama jembatan dan struktur fungsional tambahan. Semua komponen tersebut dimodelkan mengikuti acuan data rencana dari *shop drawing*. Hasil pemodelan setiap komponen dijelaskan sebagai berikut :

1. Area *main road*

Area *main road* merupakan area jalan utama yang dilewati dan dihubungkan dengan jembatan *overpass* antar bagian jalannya. Pemodelan *main road design* merupakan hasil integrasi dari tahapan pengolahan data *surface* topografi, *alignment main road*, *sub assembly* dan *corridor main road*. Pemodelan *main road design* menampilkan bentuk secara 3D area yang direncanakan sebagai lajur utama, bahu jalan, *solid sodding* maupun saluran drainase. Area lajur utama merupakan jalur utama lalu lintas kendaraan yang berada dibagian paling atas jalan. Area bahu jalan merupakan bagian tambahan di tepi kanan kiri lajur utama yang biasanya digunakan sebagai area berhenti darurat. Terdapat juga area setelah bahu jalan yang disebut *rounding*. *Rounding* merupakan peralihan antara bahu jalan ke area

tanah yang ada di sekitar jalan. *Solid sodding* yaitu area tanah disekitar jalan yang diperkuat dengan teknik khusus berupa penutupan tanah dengan lapisan rumput yang sudah tumbuh. Saluran *drainase* dibuat dibagian trap timbunan *solid sodding*. Tampilan detail pembagian area *main road design* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Tampilan detail bagian *main road design*

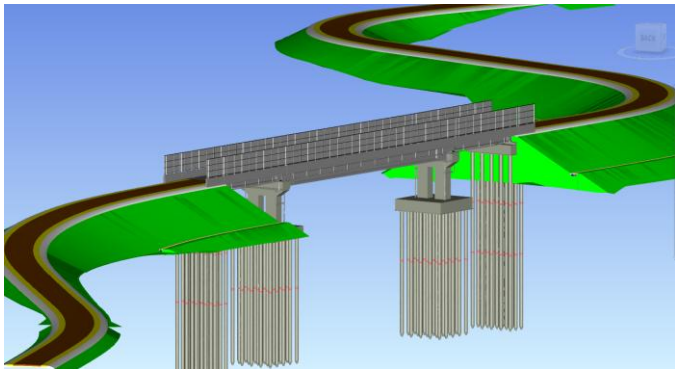
Perbedaan warna dari setiap bagian *main road design* pada 6 dimaksudkan untuk menunjukkan perbedaan material yang digunakan pada setiap bagian berdasarkan data perencanaannya. Hasil pemodelan *main road design* memberikan visualisasi perencanaan jalan secara realistis dan detail.

2. Struktur utama jembatan

Model struktur utama jembatan merupakan bagian dari pembuatan 3D struktur jembatan *design*. Struktur utama jembatan yang dimodelkan pada BIM *design* terdiri dari beberapa komponen yaitu fondasi (tiang pancang dan *pilecap*), *abutment*, pilar, *bearing pad*, *girder*, *diaphragm*, *steel deck*, dek jembatan/plat lantai, parapet, plat injak dan *floor*. Pembuatan struktur utama dilakukan secara bertahap, dimulai dari bagian paling dasar fondasi yaitu pemodelan komponen tiang pancang dan *pilecap* kemudian diteruskan hingga bagian paling atas jembatan *overpass*.

3. Struktur fungsional tambahan

Model struktur fungsional tambahan juga merupakan bagian dari 3D struktur jembatan *design*. Struktur fungsional tambahan yang dimodelkan pada BIM *design* meliputi *railing* pada *overpass*, *granular backfill* dan sistem drainase. *Railing* termasuk bagian elemen keselamatan untuk melindungi pengguna jalan yang diletakkan di atas parapet tepi sisi kanan kiri jembatan. Struktur *granular backfill* terletak diantara *abutment* dan tanah di belakangnya yang digunakan sebagai struktur penahan tanah dan bersifat drainase. Sistem drainase juga merupakan elemen fungsional penting untuk mengelola aliran air yang melalui struktur jembatan. Sistem ini terdiri dari elemen *deck drain* dan saluran pipa. Tampilan keseluruhan dari pemodelan BIM *design* ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 7 Hasil keseluruhan pemodelan BIM design

BIM design memodelkan *main road design* dan struktur jembatan *design* dalam bentuk *solid 3D*, serta memberikan informasi terkait kelengkapan setiap komponen strukturnya. Informasi struktur dari BIM design diperoleh seluruhnya dari *shop drawing* pekerjaan konstruksi *overpass* jalan tol yang meliputi jenis struktur, jenis material (sesuai ketentuan data rencana), waktu rencana pembangunan (mulai dan selesai), lokasi konstruksi, dan fase pembangunan yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Structural Framing (Other) (2)	
Constraints	
Text	
1. Main Class	Overpass
2. Sub Class	Pier (Pilar)
3. STA	71+429
4. Bina Marga Master Format	
5. Pay Item	Beton Struktur Kelas B (Pier Tipe Dinding)
Materials and Finishes	
Structural Material	WSKT - Beton Readymix Fc-45
Structural	
Rebar Cover	Rebar Cover 1 <25 mm>
Dimensions	
Volume	15.000 m ³
Identity Data	
Image	
Comments	
Mark	P1.1
Jenis Struktur	Pilar P1 (Badan Pilar)
Material	Beton Readymix Kelas B
Rencana Mulai Pekerjaan	1/08/2022
Rencana Selesai Pekerjaan	31/08/2022
STA	71+429
Phasing	
Phase Created	New Construction
Phase Demolished	None

Gambar 8 Kelengkapan informasi pada struktur pilar P1 BIM design

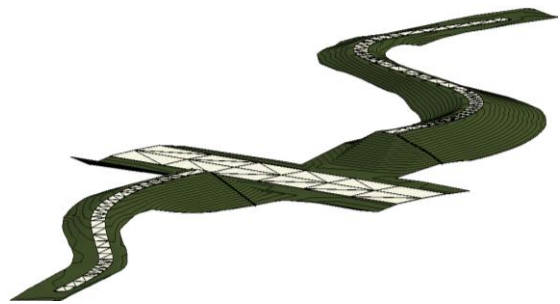
3.4 Hasil Pemodelan BIM As-built

Pemodelan BIM *as-built* mengubah data *point cloud* yang telah bersih dari *noise* menjadi model 3D BIM sesuai dengan kondisi sebenarnya dari objek eksisting. Hasil BIM *as-built* terdiri dari model 3D *solid* area *main road* dan struktur *overpass* yang disertai dengan informasi kelengkapan strukturnya. Pemodelan BIM *as-built* hanya mencakup komponen fisik struktur yang terlihat di permukaan saja, sedangkan komponen fabrikasi yang ada

di dalam struktur tidak ikut dimodelkan. Komponen struktur yang dimodelkan dibagi menjadi area *main road*, struktur utama jembatan, dan struktur fungsional tambahan. Hasil dari pemodelan setiap komponen struktur dijelaskan sebagai berikut :

1. Area *main road*

Main road terdiri dari lajur utama jalan yang dimodelkan dalam bentuk *floor* dengan jenis beton / *concrete, cast in situ* ketebalan 150mm. Jenis beton untuk pembuatan *floor* merupakan beton yang dicor langsung di lokasi proyek (*concrete, cast in situ*). Jenis *floor* yang dipilih ini disesuaikan dengan kenampakan pada hasil foto dari area *main road* terbagun. Selain itu topografi pada area *main road* dimodelkan dalam bentuk toposolid. Lajur utama jalan terletak diatas area toposolid yang nantinya terhubung dengan struktur jembatan *overpass*. Hasil pemodelan *main road as-built* ditunjukkan Gambar 9.



Gambar 9 Hasil pemodelan *main road as-built*

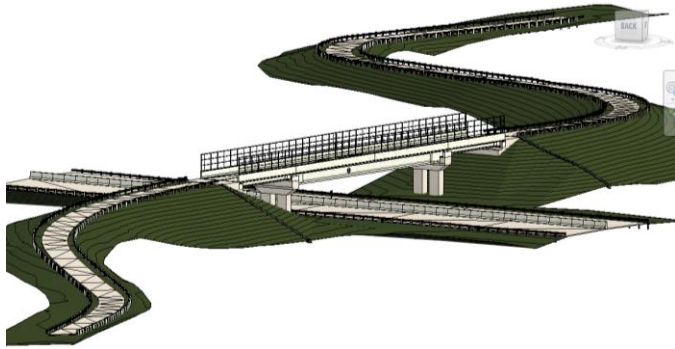
2. Struktur utama jembatan

Jenis komponen struktur utama jembatan yang dimodelkan pada BIM *as-built* tidak semuanya sama dengan yang dimodelkan pada BIM *design*. BIM *as-built* hanya memodelkan komponen yang terlihat dari luar dan terpotret ketika pengambilan data foto. Struktur utama jembatan yang dimodelkan pada BIM *as-built* terdiri dari komponen *abutment*, pilar, *bearing pad*, *cover girder*, girder, diafragma, dek jembatan/plat lantai, parapet, plat injak dan *floor*. Komponen fondasi dan *steel deck* tidak dimodelkan, karena tidak terlihat dari permukaan. Semua komponen pada struktur utama jembatan dibuat dengan langsung dicor di lokasi proyek, kecuali girder. Jenis material utama yang digunakan pada semua komponen struktur utama *as-built* adalah beton/*concrete*.

3. Struktur fungsional tambahan

Struktur fungsional tambahan pada BIM *as-built* yang dimodelkan yaitu *railing* pada *overpass* dan *guardrail* pada *main road*. *Railing* dan *guardrail* memiliki fungsi utama sebagai pengaman untuk meningkatkan keselamatan pengguna jalan, namun secara pengaplikasian penggunaannya berbeda. Pemasangan *railing* diletakkan disisi kanan kiri atas jembatan, tepatnya berada di atas parapet jembatan. *Guardrail* diletakkan disisi kanan kiri

main road dan jalan tol di bawah jembatan *overpass*. *Guardrail* merupakan salah satu jenis *type railing* yang pengaplikasiannya digunakan untuk mencegah kecelakaan kendaraan. *Guardrail* dipasang disisi kanan kiri tepi jalan dengan ketinggian dari permukaan ± 80 cm. Tampilan keseluruhan dari pemodelan BIM *as-built* ditunjukkan Gambar 10.



Gambar 6 Hasil keseluruhan pemodelan BIM *as-built*

BIM *as-built* tidak hanya memodelkan objek dalam bentuk *solid* 3D saja, namun juga memberikan informasi terkait kelengkapan setiap komponen strukturnya. Informasi struktur dari BIM *as-built* diperoleh dari laporan progress pekerjaan proyek terkait waktu pembangunan struktur, penanggung jawab pekerjaan, lokasi konstruksi dan fase pembangunan. Selain itu, informasi struktur juga diperoleh dari hasil foto objek terbangun (*as-built*) berupa jenis struktur, jenis material, warna kenampakan struktur, proses pembangunan dan status pembangunan struktur saat ini.



Gambar 7 Kelengkapan informasi pada struktur pilar P1 BIM *as-built*

3.5 Hasil Akurasi Pada BIM *As-built*

Penentuan ketelitian geometri model BIM *as-built* dilakukan dengan menganalisis ukuran dimensi BIM. Data ukuran yang digunakan berjumlah ± 25 sampel ukuran dimensi pada beberapa bagian BIM *as-built*. Data ukuran dimensi model ini kemudian dibandingkan dengan data ukuran lapangan. Selisih nilai dimensi terkecil yaitu 0,0005 m dan terbesar yaitu 0,0394 m. Keseluruhan data selisih dari sampel tersebut kemudian dihitung nilai RMSE diperoleh sebesar 0,018 m (1,8 cm).

Pada pengolahan data foto terestris, diperoleh nilai GSD sebesar 2,79 mm/pixel. Berdasarkan nilai GSD tersebut, maka pemodelan BIM *as-built* dengan hasil ketelitian lapangan sebesar 1,8 cm menunjukkan bahwa hasil pemodelan BIM *as-built* mengandung kesalahan sekitar 6 kali dari nilai GSD. Kesalahan ini kemungkinan akibat adanya ketidaktepatan dalam pembuatan tiap komponen objek karena pembuatannya dilakukan secara manual. Selain itu kurang rapatnya foto yang diambil ketika akuisisi data terestris dan banyaknya semak tinggi yang menghalangi menyebabkan hasil data *point cloud* yang dihasilkan menjadi kurang rapat dan banyak terdapat *noise*.

Berdasarkan ketentuan akurasi yang dikeluarkan oleh USIBD (US. Institute of Building Documentation) tahun 2019, nilai RMSE tersebut berada pada rentang 15mm – 5cm yang dikategorikan pada *Level of Accuracy* (LOA 20). Hasil BIM *as-built* dari data fotogrametri menghasilkan bentuk dan ukuran yang sesuai dengan kenampakan objek terbangun. Hal ini dibuktikan dengan tingkat akurasi yang diperoleh dari hasil BIM *as-built* berada pada kategori LOA 20, dengan selisih dimensi ukuran model terhadap objek terbangun di lapangan sekitar 1,8 cm. BIM *as-built* yang masuk pada kategori ketelitian LOA 20 ini, dapat digunakan sebagai acuan untuk keperluan manajemen fasilitas maupun evaluasi pembangunan proyek.

3.6 Evaluasi Konstruksi Berdasarkan BIM *Design* dan BIM *As-built*

Analisis hasil BIM *design* dan BIM *as-built* merupakan tahapan penting untuk memastikan kualitas hasil fisik konstruksi *overpass* jalan tol setelah proses konstruksi selesai. Analisis ini dilakukan dengan cara membandingkan BIM *design* yang dibuat pada tahap perencanaan dengan BIM *as-built* yang merupakan hasil kondisi aktual setelah konstruksi selesai. Perbandingan dilakukan pada aspek geometrik untuk menilai kesesuaian dimensi, posisi dan bentuk. Selain itu perbandingan juga dilakukan pada aspek semantik berupa kelengkapan informasi untuk mengetahui akurasi informasi teknis yang ditampilkan.

1. Perbandingan pada aspek geometri

Perbandingan BIM *design* dan BIM *as-built* pada aspek geometri mencakup dimensi, posisi dan bentuk pada setiap elemen struktur kedua model. BIM *design* yang merupakan model dari perencanaan dianggap memiliki

kualitas informasi data yang ditampilkan pada BIM *as-built* terhadap informasi yang ditampilkan pada BIM *design*. Sejauh mana model BIM *as-built* dapat menggambarkan kondisi aktual di lapangan serta memastikan informasi yang ditampilkan dapat digunakan sebagai acuan kebutuhan manajemen fasilitas. BIM *design* menampilkan kelengkapan informasi berdasarkan data perencanaan, sedangkan BIM *as-built* menampilkan kelengkapan informasi berdasarkan kondisi aktual di lapangan yang diperoleh dari kenampakan hasil foto objek terbangun dan laporan progres pekerjaan proyek.

Hasil perbandingan semantik kedua model menunjukkan terdapat perbedaan pada tingkat kelengkapan informasi antara BIM *design* dan BIM *as-built*. Kelengkapan informasi yang ditampilkan pada BIM *design* berupa jenis struktur, jenis material, tanggal rencana mulai dan selesai pekerjaan, lokasi STA pembangunan serta fase pembangunan. Sedangkan kelengkapan informasi yang ditampilkan pada BIM *as-built* lebih terperinci berupa jenis struktur, jenis material aktual, nama penanggung jawab, proses pengerjaan pembangunan, tanggal realisasi selesai pekerjaan, lokasi STA pembangunan, warna kenampakan struktur pada kondisi aktual, fase pembangunan serta status pekerjaan saat ini. Contoh perbandingan kelengkapan informasi kedua model BIM ditunjukkan pada Gambar 14.

Informasi Struktur pada BIM Design	Informasi Struktur pada BIM As-Built
Text 1. Main Class Overpass 2. Sub Class Abutment 3. STA 71+429 4. Bina Marga Master Format 5. Pay Item Beton Struktur Kelas B	Dimensions Volume 186.519 m ³
Materials and Finishes Structural Material WSKT - Beton Readymix FC... Rebar Cover Rebar Cover 1 <25 mm>	Identity Data Image DSC08638.JPG Comments Mark A1
Dimensions Volume 14.743 m ³	Jenis Struktur Abutment A1 (Badan dan WingWall) Material Concrete, Case in Situ Penanggungjawab Muhammad Zikri Proses Pengerjaan Pengecoran Beton ditempat Realisasi Selesai Pekerjaan 17/02/23 STA 71 + 429 Warna Struktur Light grey (kenampakan kasar)
Identity Data Image Comments Mark A1.1 Jenis Struktur Abutment A1 (Badan Abutme... Material Beton Readymix Kelas B Rencana Mulai Pekerjaan 29/09/2022 Rencana Selesai Pekerjaan 3/10/2022 STA 71+429	Phasing Phase Created New Construction Phase Demolished None Current Status Finish
Phasing Phase Created New Construction Phase Demolished None	IFC Parameters IFC Predefined Type Export to IFC As Export to IFC Yes

Gambar 10 Informasi struktur *Abutment A1* pada BIM *design* dan BIM *as built*.

Pemodelan BIM *design* berfokus pada spesifikasi awal proyek yang mencakup geometri dasar dan *design* konseptual struktur. Informasi yang ditampilkan bersifat konseptual untuk memenuhi *design* awal pembangunan setiap elemen strukturnya. Disisi lain, pemodelan BIM *as-built* menampilkan hasil aktual dari proses konstruksi yang mencakup dimensi terukur serta kondisi struktur terbangun. BIM *as-built* menampilkan informasi yang menggambarkan kondisi aktual pasca konstruksi dengan lebih rinci terkait elemen struktur yang sama. Selain itu juga menggambarkan perubahan/revisi desain selama

proses konstruksi, sehingga menghasilkan data yang lebih akurat untuk evaluasi kinerja dan manajemen fasilitas.

Berdasarkan hasil perbandingan kedua model BIM pada aspek geometri dan semantik, tingkat ketelitian yang dapat dicapai dari hasil pemodelan tersebut dianalisis berdasarkan *Level of Detail* (LoD), *Level of Information* (LOI) dan *Level of Development* (LOD) berdasarkan spesifikasi dari ketentuan BIMForum tahun 2023. Hasil BIM *design* pada penelitian ini dimodelkan dengan tingkat LOD 300. Hal ini terbukti dari kenampakan geometri pemodelan struktur dan informasi BIM *design* yang mendefinisikan elemen model dengan geometri yang tepat dan dimensi yang akurat serta dilengkapi informasi non-grafis yang relevan dengan perencanaan sesuai dengan ketentuan LOD 300 berdasarkan BIMForum tahun 2023. Hasil BIM *design* dimodelkan dengan tingkat LOD 300, sehingga tingkat ketelitian yang dapat dicapai untuk LoD dan LOI berada pada tingkat yang sama yaitu LoD 300 dan LOI 300. Hasil ini diperkuat dengan ketentuan yang dijelaskan pada *BIM Guide* dari pemerintahan Singapura (*Building and Construction Authority* (BCA), 2013) dan pemerintahan Hongkong (*Building Services of Architectural Services Department*, 2023).

Sementara itu, hasil BIM *as-built* mampu menampilkan objek dengan tingkat kedetilan geometri yang sama seperti BIM *design* yaitu berada pada LoD 300. Namun kelengkapan informasi yang dimiliki BIM *as-built* lebih lengkap dan detil dari pada BIM *design*. Ketentuan LOI menurut *Building Services of Architectural Services Department tahun 2023* untuk pemodelan struktur pada tahap *as-built* berada pada tingkatan LOI 500. Kelengkapan informasi yang ditampilkan pada hasil pemodelan BIM *as-built* memenuhi ketentuan LOI tahap *as-built* tersebut, hanya saja informasi terkait *manufacturer's equipment properties* tidak ada. Hal ini dikarenakan detil geometris yang ditampilkan pada hasil BIM *as-built* hanya pada tingkatan LoD 300. Hasil BIM *as-built* juga telah dilakukan pengecekan akurasi terhadap data lapangan yang menghasilkan nilai RMSE sebesar 1,8 cm. Nilai akurasi tersebut masuk pada kategori LOA 20 berdasarkan USIBD (US. Institute of Building Documentation) tahun 2019.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diperoleh kesimpulan bahwa secara geometrik pada pembangunan konstruksi *overpass* proyek jalan tol Kayu Agung-Palembang-Betung (KAPB), segmen jembatan sungai STA 71+429 terdapat perbedaan antara BIM *design* dan BIM *as-built*. Perbandingan kedua model menghasilkan selisih dimensi sebesar 2,4 cm, perbedaan posisi titik struktur sebesar 10 cm dan perbedaan bentuk struktur dengan *error* sebesar 20%. Verifikasi lapangan menunjukkan ketelitian BIM *as-built* sebesar 1,8 cm yang setara dengan 6 kali nilai *Ground Sample Distance* (GSD). Nilai ketelitian

tersebut masuk pada kategori *Level of Accuracy* (LOA 20). Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa BIM *as-built* yang dibentuk dari data fotogrametri dapat menampilkan bentuk geometri dan informasi yang lengkap sesuai kenampakan terbangun. Berdasarkan aspek semantik, kelengkapan informasi pada kedua model BIM menunjukkan bahwa BIM *as-built* memiliki kualitas informasi yang lebih baik dalam hal akurasi dan relevansi terhadap kenampakan aktual. Selain itu informasi yang ditampilkan pada BIM *as-built* lebih lengkap dan terperinci daripada yang ditampilkan pada BIM *design*. Kelengkapan informasi pada BIM *as-built* dapat dijadikan acuan untuk evaluasi pasca-konstruksi dan kebutuhan manajemen fasilitas.

Ketelitian yang dapat dicapai dari pemodelan BIM *design* yaitu pada LoD 300 untuk tingkat kedetilan geometri dan LOI 300 untuk tingkat kelengkapan informasinya. Sementara itu, pemodelan BIM *as-built* dapat mencapai tingkat kedetilan geometri pada LoD 300, kelengkapan informasi pada LOI 500 dan tingkat akurasi model pada kategori LOA 20. Tingkat ketelitian pada BIM *design* dan BIM *as-built* didasarkan pada acuan BIMForum tahun 2023 dan (US. Institute of Building Documentation), 2019). Selain itu juga didukung dengan ketentuan BIM yang dikeluarkan oleh Pemerintah Singapura dan Hongkong. Berdasarkan tingkat ketelitian dan kelengkapan informasi pada BIM *as-built* yang lebih baik serta diketahuinya akurasi model, hasil pemodelan BIM *as-built* dapat dijadikan acuan untuk evaluasi pasca-konstruksi dan kebutuhan manajemen fasilitas.

5. Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini (*The authors declare no competing interest*).

6. Referensi

- Adekunle, S. A., Aigbavboa, C. O., Ejohwomu, O., Adekunle, E. A., & Thwala, W. D. (2024). Digital transformation in the construction industry: a bibliometric review. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 22(1), 130–158. <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2021-0442>
- Agirachman, F. A., Putra, I. F., & Angkawijaya, A. (2018). Initial Study on Building Information Modeling Adoption Urgency for Architecture Engineering and Construction Industry in Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, 147, 1–6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814706002>
- Amal, B., & Purnama, D. D. (2023). 3D Modeling of Existing Toll Roads With BIM (Case Study: West Karawang Toll Exit). *Menara : Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 80–86. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v18i2.35742>
- Andaru, R., Aditya, T., Cahyono, B. K., Santosa, P. B., Yulaihkah, Swastika, S. P. (2024). Automatic DTM and Building Footprint Extraction from Imageries and Point Clouds in Indonesia's Land Registration Drone Survey: A Roadmap Towards Reconstruction of LOD1 3D building model. *12th International FIG Land Administration Domain Model & 3D Land Administration Workshop*, 24-26 September 2024, Kuching, Malaysia. https://www.gdmc.nl/3DCadastres/workshop2024/programme/3DLA2024_paper_D.pdf
- Antoni, F., Despa, D., & Widyawati, D. R. (2023). Peran Implementasi Building Information Modelling (BIM) Terhadap Kinerja Proyek Jalan Tol Kayuagung-Palembang-Betung Tahap II STA 67+400-75+000. *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP) IV*.
- Azhar, S., & Asce, A. M. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering Journal*, 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Bhatla, A., Choe, S. Y., Fierro, O., & Leite, F. (2012). Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras. *Automation in Construction Journal*, 28, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.06.003>
- BIMForum. (2023). *Level Of Development (LOD) Specification For BIM Part I 2023*. <https://bimforum.org/resource/lo-d-level-of-development-lo-d-specification/>
- Building and Construction Authority (BCA). (2013). *Singapore BIM Guide (Version 2)*. www.bca.gov.sg
- Building Services of Architectural Services Department, H. G. (2023). *Building Information Modelling (BIM) Guide for Building Services Installation (Version 3.1)*. <https://www.archsd.gov.hk/en/BIM-guides/index.html>
- Direktorat Jenderal Bina Konstruksi Kementerian PUPR. (2020). DIGITALISASI JASA KONSTRUKSI DI ERA 4.0. *Buletin Konstruksi Edisi 3*, 1–32. <https://akreditasijakon.pu.go.id>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owner, Manager, Designers, Engineers, and Contractors* (2nd ed., Vol. 2). John Wiley & Sons, Inc.
- Ghilani, C. D. . (2018). *Adjustment computations: spatial data analysis*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kamal, M., Dokhan, S., & El-Dash, K. (2022). Assessing the Impact of Delay of Shop Drawing Process in Construction Projects. *Engineering Research Journal (ERJ)*, 51, 161–180.
- National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance. (2015). *National BIM Standard-United States Version 3*.
- Nelson, & Tamtana, J. S. (2019). Faktor yang Memengaruhi Penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam Tahapan Pra Konstruksi Gedung Bertingkat.

- Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4), 241–248.
<https://doi.org/10.24912/jmts.v2i4.6305>
- Pantiga, J., & Soekiman, A. (2021). Kajian Implementasi Building Information Modeling (BIM) di Dunia Konstruksi Indonesia. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 5(2), 104–110.
<https://doi.org/10.21776/ub.rekayajasipil.2021.015.02.4>
- Peraturan Menteri PUPR No. 22/PRT/M/2018, Pembangunan Bangunan Gedung Negara.
- PUPR. (2018). *Prinsip Dasar Sistem Teknologi BIM dan Implementasinya di Indonesia*.
- Rahmawati, N., & Kusetyohadi, T. (2021). Penerapan 3D As Built Model Pipa Distribusi dari Point Cloud. *Prosiding FIT ISI Vol 1, 1*, 172–180.
- Raissilki, M. I. (2022). Faktor Faktor Perubahan Desain Proyek Konstruksi Selama Tahap Pelaksanaan: Survei di Lombok. *Temu Ilmiah Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI) 10*, 1–10.
<https://doi.org/10.32315/ti.10.d001>
- Surat Edaran Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga No: 11/SE/Db/2021, Penerapan Building Information Modeling pada Perencanaan Teknis, Konstruksi, dan Pemeliharaan Jalan dan Jembatan di Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 Tentang Jasa Konstruksi.
- USIBD (US. Institute of Building Documentation). (2019). *USIBD Level of Accuracy (LOA) Specification Guide v3.0-2019*.
- Varma, V. (2008). AC 2008-356: Advances in the Production of Shop Drawings and Their Impact on Constructability. *2008 Annual Conference & Exposition*, 13.157.1-13.157.8.
<https://doi.org/10.18260/1-2--3265>