

Analisis Geometri Pemodelan 3D Bangunan Gedung Teknik Geomatika ITS Menggunakan Kamera 360°

Komang Bayu Angga Sardana dan Agung Budi Cahyono

Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS)

e-mail: agungbc@geodesy.its.ac.id

Abstrak—Pemodelan tiga dimensi saat ini telah digunakan dalam visualisasi untuk mengetahui kondisi lingkungan yang nyata terutama dalam bentuk pengenalan bangunan arsitektural. Pembentukan model tiga dimensi bisa menggunakan Kamera 360°. Metode yang digunakan pada pembentukan model tiga dimensi dengan foto 360° adalah metode fotogrametri terestrial, dimana metode ini dapat digunakan pada bangunan arsitektural yang memerlukan koordinat lokal dalam pembentukannya. Kondisi Coplanarity digunakan dalam proses pembentukan model tiga dimensi, dimana satu foto digunakan sebagai acuan dalam proses overlapping antar foto sehingga membentuk model tiga dimensi. Kamera yang digunakan pada penelitian ini adalah Kamera 360° Ricoh Theta SC2, dimana ukuran gambar yang dihasilkan sebesar 5376×2688 dengan sensor CMOS. Model yang dihasilkan dari foto 360° berupa data TIN yang tersusun dari jaring-jaring segitiga sehingga data ini saling terhubung dan membentuk model tiga dimensi dengan metode Polyhedral. Dari penelitian ini didapatkan model tiga dimensi 10 ruangan pada Gedung Baru Departemen Teknik Geomatika ITS. Terdapat dua nilai RMSE yang diujikan berupa RMSE keliling model dan RMSE tinggi model, dimana nilai RMSE keliling model didapatkan nilai berkisar pada 0,013 – 0,181 meter dan untuk nilai RMSE tinggi model didapatkan nilai berkisar pada 0,004 – 0,113 meter. Uji akurasi ketinggian model dilakukan menggunakan data validasi berupa data pengukuran langsung dilapangan dengan menggunakan alat Total Station Reflectorless Hi Target ZTS-320R yang telah dilakukan kalibrasi, hal ini dikarenakan data ketinggian di dalam ruangan tidak disajikan pada data As-Built. Melalui uji akurasi dihasilkan model dari foto 360° memiliki ketelitian LOD 4.

Kata Kunci—Model 3D, Kamera 360°, Fotogrametri Terestrial, LOD.

I. PENDAHULUAN

BANGUNAN gedung merupakan salah satu sarana dalam mendukung tercapainya tujuan dan terlaksananya fungsi-fungsi pokok kegiatan manusia secara optimal, dalam hal ini kegiatan perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember [1]. Sebuah bangunan gedung tidak akan terlepas dari adanya ruangan di dalamnya, dan setiap ruangan pasti memiliki fungsi yang berbeda pula dalam penggunaannya, sehingga hal ini dirasa perlu dan penting dalam mengenalkan sebuah ruangan bagi pengunjung maupun mahasiswa baru yang akan memasuki sebuah lingkungan baru di dalam kampus.

Pemodelan tiga dimensi dari ruangan gedung akan sangat membantu mahasiswa baru untuk mengetahui informasi tidak hanya dalam hal visual tetapi juga dalam hal sarana dan prasarana yang terdapat didalam gedung. Selain itu, dengan adanya model tiga dimensi dapat memberi pemahaman spatial suatu ruangan dan memberi petunjuk jalan

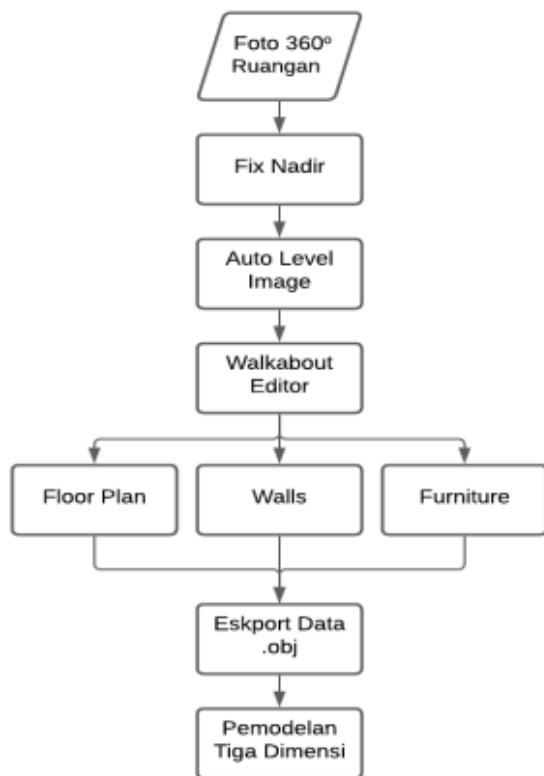


Gambar 1. Lokasi Penelitian.

(wayfinding). Wayfinding yang dimaksud adalah dengan melihat perbedaan bentuk ruang, benda atau objek yang ada pada ruangan, dan perbedaan warna dari ruangan sehingga dapat memperlihatkan perubahan situasi pada ruangan dalam hal besar dan kecilnya ruangan dan perbedaan posisi tinggi ruangan [2].

Pemodelan tiga dimensi saat ini sudah mengalami perkembangan yang signifikan baik dalam pengolahan maupun pengambilan data/gambar. Perkembangan ini memungkinkan perekaman data/gambar tidak hanya dilakukan dengan alat mahal seperti *Terrestrial Laser Scanner*, akan tetapi dapat dilakukan dengan Kamera 360°. Visual informasi yang didapat dari model tiga dimensi yang telah terbentuk, menunjukkan bahwa pembentukan model tiga dimensi menggunakan data foto 360° menghasilkan model yang menyerupai objek aslinya [3]. Kelebihan lain dari Kamera 360° adalah alat ini berbiaya lebih murah dan fleksibel dalam penggunaannya untuk rekonstruksi tiga dimensi.

Kamera 360° terdiri dari 2 kamera yaitu kamera depan dan kamera belakang dimana dari kedua kamera tersebut dihasilkan foto yang terbagi menjadi 2 bagian yaitu *central* dan *side images*, sehingga ketika kedua foto tersebut digabungkan akan menjadi foto 360° (*Full Spherical Image*) [4]. Kamera 360° dapat memungkinkan operator dengan cepat merekam bidang yang luas pada area tempat fotografer merekam gambar. Foto 360° dapat menjadi alternatif yang valid dalam penilaian kondisi di ruang yang memanjang dan sempit, hal ini dikarenakan akuisisi data menggunakan kamera 360° dapat menjamin cakupan keseluruhan pemandangan di sekitar dan dapat diorientasikan ke segala arah di sekitar sumbu vertikal.



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data.

Rekonstruksi tiga dimensi dapat dilakukan dengan metode fotogrametri terestrial, dengan metode ini dapat dilakukan perekaman pada objek yang sulit dijangkau dengan dimensi yang kecil sehingga dengan metode ini akan dapat dilakukan analisis geometri pada data keliling dan ketinggian dari rekonstruksi model tiga dimensi [5].

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa rekonstruksi tiga dimensi pada tiap ruangan dari sebuah Gedung dimana model tiga dimensi yang terbentuk berupa gambar panorama dari beberapa foto 360° yang dilakukan overlapping sehingga akan membentuk pandangan 360° secara horizontal dan 180° secara vertikal.

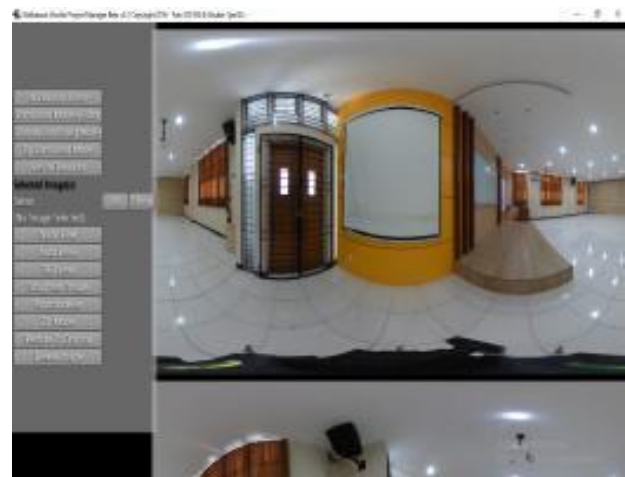
II. URAIAN PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

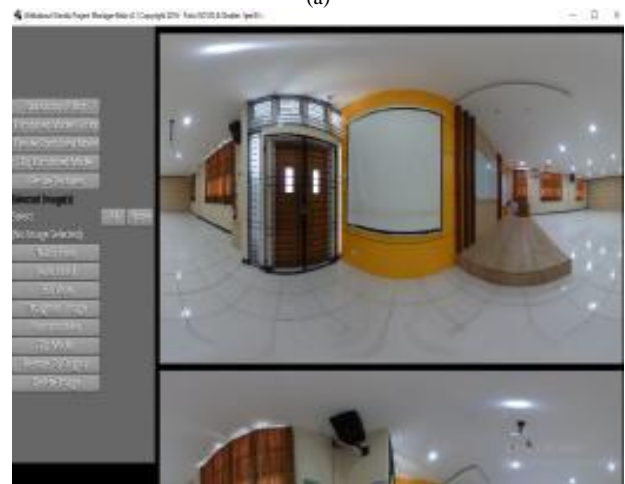
Penelitian yang dilakukan ini mengambil lokasi pada gedung baru Departemen Teknik Geomatika ITS Surabaya, Jawa Timur seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Gedung ini dibangun diatas tanah dengan luas sekitar 900 m² yang pembangunannya dimulai dari tahun 2007. Gedung Baru Departemen Teknik Geomatika ITS memiliki 4 lantai dengan 24 ruangan yang masing-masing difungsikan sebagai pendukung kegiatan belajar mengajar bagi tenaga pendidik maupun mahasiswa. Pengambilan dan pengolahan data pada lokasi penelitian dilakukan pada 10 ruangan dari Gedung Baru Departemen Teknik Geomatika ITS.

B. Data dan Peralatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder, dimana data primer berupa data dari hasil foto 360°, dan data hasil ukuran di lapangan, sedangkan untuk data sekunder berupa data As-Built Tahun



(a)



(b)

Gambar 3. Tools Fix Nadir (a) Sebelum Pengolahan; (b) Sesudah Pengolahan.

2012 dari Gedung Baru Departemen Teknik Geomatika yang diperoleh dari Subdit Perencanaan Sarana Prasarana dan Logistik (SPSPL) ITS. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat keras yaitu Kamera 360° Ricoh Theta SC2 sebagai alat akuisisi data foto 360° dan Total Station Reflectorless Hi Target ZTS-320R sebagai alat akuisisi data di lapangan untuk validasi data ketinggian, selain itu untuk perangkat lunak pada pengolahan data digunakan Software Walkabout World dan Software Blender.

C. Metode dan Tahapan Pengolahan Data

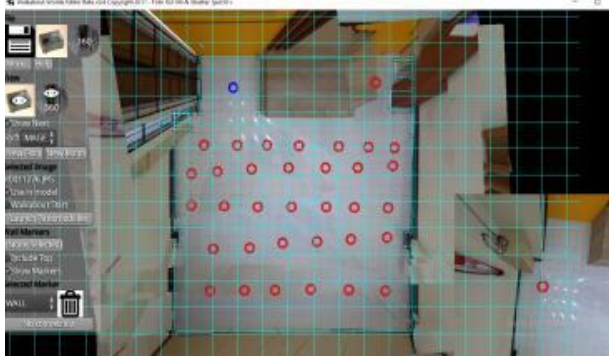
Rekonstruksi tiga dimensi dari sebuah data foto 360° dapat dilakukan apabila terdapat dua gambar pada titik yang berbeda sehingga nantinya kedua gambar tersebut dapat dilakukan *overlapping* antar panorama dengan bantuan sebuah titik atau bidang yang terdapat pada masing-masing gambar sehingga nantinya dapat membentuk bidang tiga dimensi. Pada rekonstruksi tiga dimensi penelitian ini, tidak terdapat titik kontrol yang digunakan dalam penentuan orientasi model tiga dimensi, sehingga untuk mengetahui orientasi dari masing-masing panorama digunakan Kondisi *Coplanarity*, dimana pada kondisi ini memungkinkan sebuah panorama digunakan sebagai acuan dalam proses *overlapping* antar panorama, adapun persamaan matematis dari Kondisi *Coplanarity* ditampilkan pada Persamaan 1 [6].

$$b \cdot (a_1 \times a_2) = 0 \tag{1}$$

Dimana:



(a)



(b)

Gambar 4. *Tools* Walkabout Editor (a) Sebelum Pengolahan; (b) Sesudah Pengolahan.

$$a_1 = -\lambda(x_1 \ y_1 \ -c)^T$$

$$a_2 = -\mu R^T(x_2 \ y_2 \ -c)^T$$

$$b = (b_x \ b_y \ b_z)^T$$

Keterangan:

Huruf tebal melambangkan bilangan dalam bentuk matriks

b_x, b_y, b_z = Komponen baseline b antara dua panorama

a_1 = Vektor antara pusat proyeksi foto 1 ke titik objek

a_2 = Vektor antara pusat proyeksi foto 2 ke titik objek

c = Jarak utama kamera

x, y = Koordinat titik kamera

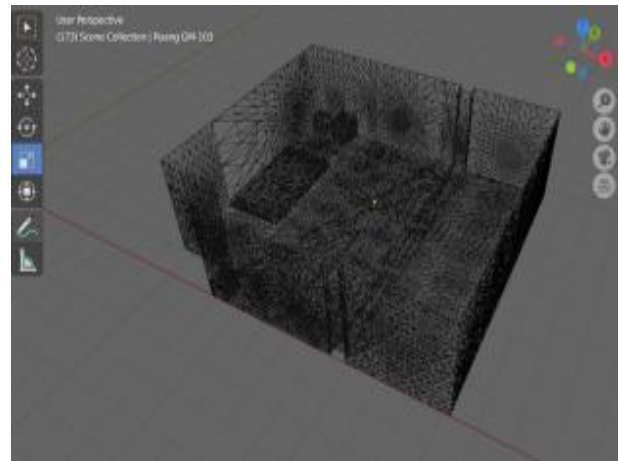
R = Matriks rotasi (3x3)

λ dan μ = Bilangan skalar > 0 yang nilainya mempengaruhi vektor paralaks.

Pada konsep fotogrametri terestrial, pemodelan objek arsitektural digunakan sistem koordinat lokal, dimana disesuaikan dengan bangunan yang akan dimodelkan. Melalui pemodelan maka dapat diketahui dimensi dari suatu bangunan, terdapat tiga hal yang perlu diperhatikan yaitu titik koordinat restitusi, sudut, dan objek. Sehingga ketika model sudah selesai dibuat maka dapat dilakukan pengaturan skala, skala antara ukuran model dan ukuran nyata harus ditentukan dan diimplementasikan pada satu skala sehingga setelah diketahui maka dapat dilakukan pengukuran panjang dalam model [7].

Adapun tahapan-tahapan pada Gambar 2 diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyeleksi foto 360° yang didapatkan dilapangan, dan menjadikan satu folder pada foto-foto yang disesuaikan dengan ruangan.
2. Selanjutnya dapat dilakukan rekonstruksi tiga dimensi dari foto-foto yang tadi sudah dikelompokkan sesuai dengan ruangan, pembentukan model tiga dimensi dapat dilakukan pada *software* Walkabout World.



Gambar 5. Pembentukan Model Hasil Foto 360°.

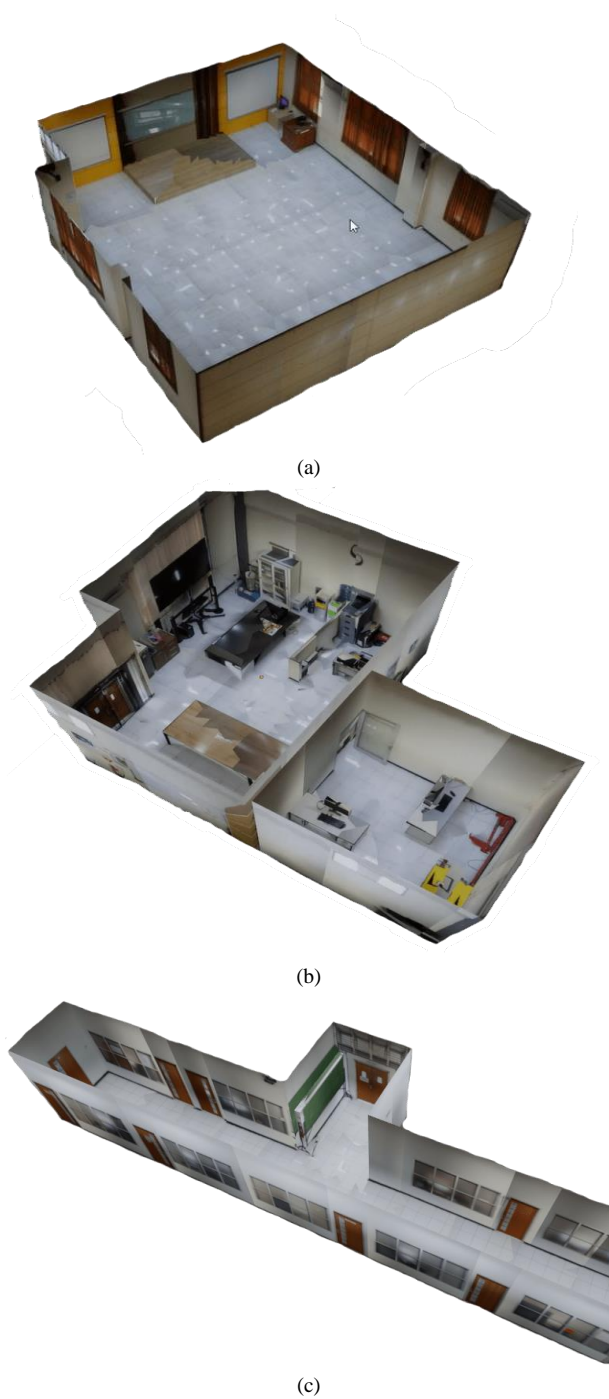
3. langkah awal pada proses pengolahan adalah dengan melakukan *Fix Nadir*, dimana *tools* ini bertujuan untuk menghilangkan *noise* yang ada pada foto 360° seperti pada Gambar 3.
4. Setelah dilakukan *Fix Nadir*, maka dapat dilanjutkan pada *tools Auto Level*, fungsi *tools* ini adalah melakukan kalibrasi foto 360° secara otomatis. Data yang digunakan dalam proses ini diambil dari data *Gyro* yang telah terekam pada Kamera 360° Ricoh Theta SC2 pada saat proses perekaman foto, metode yang digunakan pada *tools* ini adalah metode METADATA. Proses kalibrasi ini menjadi kunci dalam proses pengolahan foto 360° hingga menjadi model tiga dimensi, hal ini dikarenakan pada proses ini, kelengkungan yang ada pada foto 360° akan dieleminasi sehingga foto yang dihasilkan akan lebih datar dari sebelumnya. Proses ini tidak hanya dilakukan sekali, akan tetapi perlu dilakukan pengulangan terus-menerus hingga didapatkan hasil dengan kedataran foto yang sesuai dengan keadaan aslinya. Parameter kesalahan pada foto tidak dapat diketahui pada *software* Walkabout World, hal ini dikarenakan semua proses kalibrasi foto sudah dilakukan secara otomatis.
5. Setelah semua foto telah selesai dilakukan proses *Auto Level*, maka selanjutnya dapat dilakukan pembentukan model tiga dimensi pada *tools* Walkabout Editor, dimana pada *tools* ini dapat dilakukan tiga macam hal dalam pembentukan model tiga dimensi, diantaranya: Pembentukan lantai (*floor plan*), tinggi dinding (*walls*), dan sarana (*furniture*) yang ada pada ruangan seperti pada Gambar 4.
6. Setelah selesai dilakukan pembentukan model tiga dimensi maka data tersebut dapat di ekspor menjadi bentuk (.obj), dimana data ini akan dilakukan proses pengaturan skala pada Aplikasi Blender dan dilakukan pengecekan ukuran sesuai dengan kenyataan.

III. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Pengolahan Data Foto 360°

Rekonstruksi model tiga dimensi yang dihasilkan pada proses pengolahan foto 360° berbentuk data TIN, dimana seluruh model disusun oleh jaring-jaring segitiga yang terbentuk dari simpul (*vertices*), tepi (*edges*), dan muka (*faces*) sehingga membentuk polygon seperti Gambar 5.

Proses pembentukan model tiga dimensi yang dihasilkan

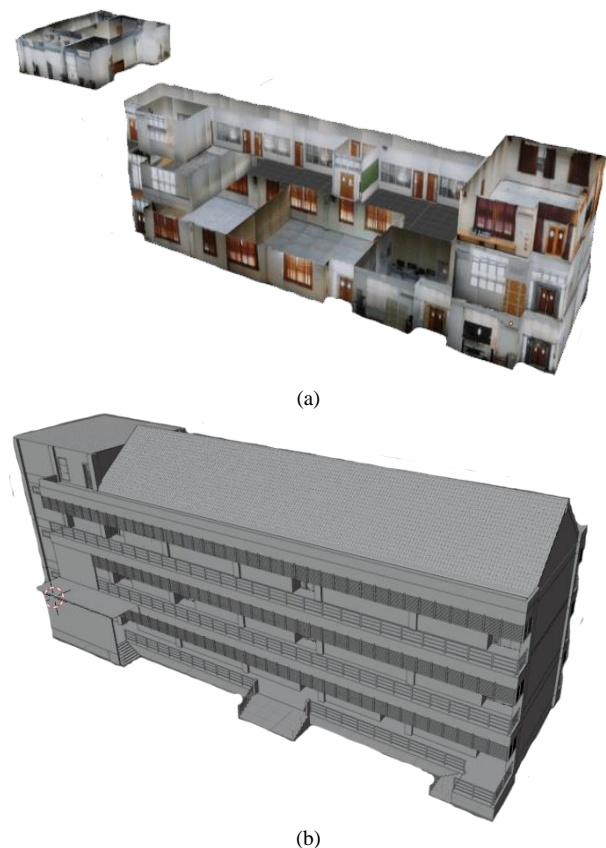


Gambar 6. Hasil Model Tiga Dimensi (a) Ruang kelas; (b) Ruang Laboratorium; (c) Lorong Dosen.

dari foto 360° menerapkan metode *Polyhedral*. Metode *Polyhedral* merupakan metode pembentukan sebuah objek yang terdiri dari gabungan permukaan-permukaan polygon yang tertutup sehingga membentuk sebuah objek baru. Adapun hasil dari model tiga dimensi seluruh ruangan yang telah dibentuk ditampilkan pada Gambar 6.

Pada hasil model tiga dimensi dari foto 360°, didapatkan hasil pemodelan berupa pemodelan panorama, dimana pemodelan ini dihasilkan melalui pertampalan lebih dari dua foto sehingga membentuk model tiga dimensi.

Terdapat beberapa kesalahan yang dihasilkan pada model tiga dimensi, kesalahan yang paling terlihat pada hasil model tiga dimensi yang telah dibuat adalah pada bagian dinding, dimana terdapat beberapa perpotongan dinding yang tidak bertampalan secara sempurna, hal ini dikarenakan pada



Gambar 7. Model Tiga Dimensi Gedung Baru (a) Model Foto 360°; (b) Model As-Built.

proses kalibrasi foto maupun proses digitasi pada lantai masih kurang baik sehingga menghasilkan perpotongan pada model yang kurang baik pula. Selain itu, luas dari ruangan juga sangat mempengaruhi proses kalibrasi foto, semakin luas area ruangan maka kelengkungan pada foto semakin sulit untuk dihilangkan, hal ini dikarenakan pada proses kalibrasi pada *software* Walkabout World, parameter yang digunakan pada kalibrasi foto tersebut adalah sisi tegak dari ruangan, sehingga pada saat foto 360° memiliki cakupan yang luas, parameter sisi tegak ruangan menjadi sulit untuk terlihat, maka dari itu kelengkungan yang ada pada foto 360° masih ada.

Posisi dari kamera pada saat pengambilan data foto 360° juga sangat penting, hal ini mempengaruhi hasil dari model tiga dimensi. Terkadang objek dilapangan tidak dapat ditampilkan maupun terlihat lebih besar pada hasil model tiga dimensi foto 360°, kondisi ini terjadi dikarenakan posisi kamera terkadang terlalu dekat dengan objek di lapangan sehingga terdapat distorsi, beberapa sudut ruangan tidak dapat dilakukan pengambilan data foto 360° dikarenakan terlalu sempitnya area foto sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan proses pengambilan gambar yang mengakibatkan beberapa objek pada model tidak ditampilkan.

Hasil dari masing-masing model pada ruangan tersebut selanjutnya akan di *overlay* pada model tiga dimensi yang telah dibuat dari data As-Built pada Blender. Hal ini bertujuan agar masing-masing model memiliki orientasi yang sama, baik dalam arah maupun posisi sesuai dengan kenyataan sehingga akan dihasilkan susunan model ruangan yang sesuai dengan Gedung Baru Departemen Teknik Geomatika seperti pada Gambar 7.

Tabel 1.
Nilai RMSE Keliling Model Tiga Dimensi

Ruangan	Keliling (m) (As-Built)	Keliling (m) (Foto 360°)	RMSE
Ruang GM-103	40,425	40,325	0,100
Ruang GM-104	40,455	40,287	0,168
Lab. Geospasial	33,000	32,987	0,013
Lab. Geomarine	39,820	39,721	0,064
Ruang Smart Class	33,000	33,037	0,037
Lab. Geodesy Surveying	56,420	56,282	0,080
Lorong Dosen	72,185	72,004	0,181
Ruang Sidang	16,260	16,190	0,070
Ruang IUP	33,000	32,982	0,018
Lab. Geoinformatika	71,817	71,971	0,077

Catatan:

1. Satuan dalam meter
2. Bentuk *existing* beberapa ruangan tidak sesuai dengan data As-Built Tahun 2012, sehingga dilakukan pengukuran langsung dilapangan.

B. Analisis Geometri Keliling Model

Rekonstruksi model tiga dimensi yang dihasilkan dari foto 360° dihasilkan keliling yang beragam, hal ini dikarenakan keliling dari masing-masing ruangan berbeda sehingga untuk mengetahui seberapa teliti data model foto 360° yang dihasilkan dilakukan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) sesuai dengan keliling dari masing-masing ruangan, adapun persamaan yang digunakan dalam perhitungan nilai RMSE seperti pada Persamaan 2 [8].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{model} - x_{validasi})^2}{n}} \quad (2)$$

Keterangan:

- x_{model} = Nilai pada model tiga dimensi.
- $x_{validasi}$ = Nilai pada data validasi.
- n = Banyak sampel.

Acuan uji akurasi dalam proses validasi pemodelan tiga dimensi didasarkan pada standar Open Geospatial Consortium (OGC) pada tahun 2012 untuk syarat ketelitian pemodelan. Ketelitian yang digunakan dalam penelitian ini berupa ketelitian *Level of Detail* (LOD) 4 yang memiliki tingkat akurasi kesalahan maksimal sebesar 0,2 meter untuk keliling maupun tinggi. Adapun nilai RMSE yang didapatkan dari model tiga dimensi hasil foto 360° ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil perhitungan RMSE pada Tabel 1. Maka dapat diketahui seluruh model dari data foto 360° dapat diterima dan selanjutnya dapat dijadikan sebagai bahan dalam penelitian lebih lanjut.

C. Analisis Tinggi Model

Model tiga dimensi tentu saja tidak sebatas hanya keliling saja akan tetapi juga terdapat data ketinggian dari model tiga dimensi yang dibuat. Data ketinggian ini didapatkan melalui pengukuran dilapangan menggunakan alat Total Station Reflectless Hi Target ZTS-320R yang telah dilakukan kalibrasi sehingga dianggap bebas dari kesalahan. Data ini digunakan sebagai data validasi ketinggian dari ruangan yang ada pada Gedung Baru Departemen Teknik Geomatika ITS. Adapun persamaan dalam perhitungan nilai RMSE untuk data ketinggian memakai Persamaan 2. Acuan yang digunakan dalam proses validasi data ketinggian yaitu standar Open Geospatial Consortium (OGC) pada tahun 2012, LOD yang digunakan merupakan LOD 4 dengan

Tabel 2.
Nilai RMSE Tinggi Model Tiga Dimensi

Ruangan	Tinggi (m) (Pengukuran)	Tinggi (m) (Data Foto 360°)	RMSE (m)
Ruang GM-103	3,198	3,207	0,009
Ruang GM-104	3,197	3,130	0,067
Lab. Geospasial	3,790	3,870	0,080
Lab. Geomarine	3,790	3,780	0,010
Ruang Smart Class	3,024	3,765	0,025
Lab. Geodesy Surveying	3,790	2,954	0,070
Lab. Geodesy Surveying	3,790	3,799	0,009
Lab. Geodesy Surveying	3,790	3,677	0,113
Lorong Dosen	3,266	3,882	0,092
Lorong Dosen	3,266	3,221	0,046
Ruang Sidang	3,266	3,243	0,024
Ruang IUP	3,279	3,285	0,006
Ruang IUP	3,279	2,846	0,017
Lab.	2,863	2,839	0,024
Geoinformatika	2,863	2,859	0,004
Geoinformatika	2,863	2,918	0,055

Catatan:

1. Satuan dalam meter
2. Lab. Geomarine terbagi menjadi 2 ruangan; Lab. Geodesy Surveying terbagi menjadi 3 ruangan; Lab. Geoinformatika terbagi menjadi 4 ruangan. Sehingga ketiga ruangan tersebut memiliki lebih dari 1 data ketinggian ruangan pada model tiga dimensi hasil pengolahan foto 360°.

tingkat akurasi kesalahan maksimum sebesar 0,2 meter. Adapun nilai RMSE untuk validasi data ketinggian model yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil perhitungan RMSE pada Tabel 2. Maka dapat diketahui seluruh model dari data foto 360° dapat diterima dan selanjutnya dapat dijadikan sebagai bahan dalam penelitian lebih lanjut.

D. Analisis Level of Detail (LOD)

Jumlah kedetailan yang ditangkap dalam model 3D, baik dari segi geometri dan atribut, secara kolektif disebut sebagai *Level of Detail* (LOD). Standar yang digunakan dalam klasifikasi LOD adalah standar The Open Geospatial Consortium (OGC) CityGML, dimana standar ini membagi klasifikasi LOD menjadi 5 kelas. Pada Penelitian ini digunakan LOD 4 dimana kriteria pada sebuah model tiga dimensi dapat dikatakan memenuhi syarat apabila pada skala model dapat menampilkan model arsitektur termasuk interior, memiliki akurasi ketelitian sebesar 0,2 meter, objek dalam ukuran sebenarnya, dan sesuai dengan kenyataan [9].

Berdasarkan hasil perhitungan nilai RMSE keliling maupun tinggi model tiga dimensi dari hasil foto 360° yang telah dibuat dapat dikatakan bahwa model ini dapat dikategorikan sebagai model yang memiliki tingkat ketelitian LOD 4, dimana kesalahan dari model terhadap model aslinya tidak melebihi nilai 0,2 meter, ukuran yang ditampilkan pada model tiga dimensi sudah sesuai dengan kenyataan. Tesktur yang dihasilkan pada model tiga dimensi hasil foto 360° sudah sesuai dengan keadaan di lapangan sehingga model dikategorikan tingkat ketelitian LOD 4.

IV. KESIMPULAN

Kamera 360° Ricoh Theta SC2 dapat digunakan dalam pemodelan tiga dimensi ruangan menggunakan metode fotogrametri dengan kondisi *Coplanarity*. Pemodelan yang dihasilkan memiliki tingkat ketelitian LOD 4 dengan tingkat akurasi 0,2 meter dimana nilai RMSE yang dihasilkan dari keliling model berkisar antara 0,013 – 0,181 meter sedangkan untuk nilai RMSE yang dihasilkan dari tinggi model berkisar

0,004 – 0,113 meter pada 10 model ruangan yang telah dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. N. Rafitricia, "Pembuatan Basis Data Untuk Visualisasi Model 3D Penggunaan Gedung (Studi Kasus: Gedung Teknik Geomatika, UPMB Dan UPMS Kampus ITS)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [2] B. Bintari, "Informasi visual dalam arsitektur rupa ruang kota," *J. Arsit.*, vol. 1, no. 2, 2011.
- [3] R. Aprianto, "Analisis Ketelitian Hasil Pemodelan Tiga Dimensi Menggunakan Action Camera dengan Metode Fotogrametri Jarak Dekat (Studi Kasus: Malang, Jawa Timur)," Institut Teknologi Nasional Malang, 2020.
- [4] S. Aghayari, M. Saadatseresht, M. Omidalizarandi, and I. Neumann, "Geometric calibration of full spherical panoramic Ricoh-Theta camera," *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. IV-1/W1*, vol. 4, pp. 237–245, 2017.
- [5] M. I. Firdaus and J.-Y. Rau, "3D Rekonstruksi Bangunan Menggunakan Gambar Panorama Sebagai Upaya Untuk Mitigasi Bencana," National Cheng Kung University 701, Tainan, Taiwan.
- [6] P. Grussenmeyer and O. Al Khalil, "Solutions for exterior orientation in photogrammetry: a review," *Photogramm. Rec.*, vol. 17, no. 100, pp. 615–634, 2002.
- [7] V. Stojaković, "Terrestrial photogrammetry and application to modeling architectural objects," *Facta Univ. Archit. Civ. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 113–125, 2008.
- [8] Z. M. Firdaus, "Pemodelan Kota Tiga Dimensi Menggunakan Data LiDAR dan Foto Udara dengan Metode Semi Automatis (Studi Kasus: Area Pakuwon Trade Center, Kota Surabaya)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
- [9] G. Gröger, T. H. Kolbe, C. Nagel, and K.-H. Häfele, "OGC city geography markup language (CityGML) encoding standard," *J. Lehrstuhl für Geoinformatik*, vol. 2.0.0, no. 0, p. 344, 2012.