

# PEMBUATAN VISUALISASI 3D *CITY MODEL* DENGAN MEMANFAATKAN DATA LIDAR

## (Studi Kasus : Stasiun Gambir – Stasiun Gondangdia, Jakarta Pusat)

Noviana, Erma Dwi<sup>1</sup>. Sunaryo, Dedy Kurnia<sup>2</sup>. Noraini, Alifah<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Geodesi S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang,  
Jalan Bendungan Sigura-gura No. 2 Lowokwaru, Kecamatan Sumbersari, Kota Malang - ermadwin@gmail.com

**KATA KUNCI :** 3D *City Model*, ALS, LiDAR, Model 3D Kawasan Kota, *Point clouds*.

### ABSTRAK :

Perkembangan teknologi yang sangat pesat di bidang pemetaan memungkinkan adanya perkembangan data spasial yang memiliki informasi 3D. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk pemodelan 3D adalah penyediaan LiDAR. LiDAR merupakan salah satu teknik pengumpulan data kebumih yang efektif dalam akuisisi data permukaan. Teknologi ini memiliki kerapatan titik dan akurasi 3D yang cukup tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu visualisasi 3D *city model* dari hasil penyediaan LiDAR. Data yang digunakan mencakup area sepanjang Stasiun Gambir sampai Stasiun Gondangdia dengan lebar  $\pm 100 - 250$  m. Visualisasi 3D *city model* ini dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak *microstation v8i plug-in TerraSolid* dan *TerraModel*. Pemodelan dilakukan menggunakan metode otomatis dan manual. 3D *city model* yang dihasilkan memiliki tingkat ketelitian LOD 2 karena rendahnya distribusi dari titik LiDAR pada *fasad* (tampak depan) vertikal sehingga kurang cocok untuk pemodelan lebih tinggi dari LOD 2. Model yang dihasilkan belum memiliki tekstur karena tidak diintegrasikan dengan foto *oblique*. Nilai ketelitian model 3D diperoleh dari perbandingan jarak geometri model 3D dengan jarak yang diukur menggunakan instrumen *laser distometer*. Ketelitian yang diperoleh memiliki nilai selisih minimum perbedaan jarak sebesar 0,005 m, selisih maksimum sebesar 0,181 m, dan nilai RMSE sebesar 0,084 m. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa pembuatan 3D *city model* menggunakan data LiDAR efektif karena menghasilkan tingkat ketelitian yang cukup tinggi.

## 1. PENDAHULUAN

Manusia melangsungkan kehidupan di bumi yang memiliki bentuk 3D. Para peneliti bidang kebumih sejak lama mencoba membuat tampilan grafis tentang aspek geospasial 3D dari dunia nyata dalam bentuk peta atau sketsa dan gambar [1]. Namun, salah satu kekurangan dari peta dua dimensi adalah tidak mampu mengGambarkan bentuk objek secara detail khususnya di kawasan perkotaan.

Saat ini perkembangan teknologi sangat pesat termasuk di bidang pemetaan. Salah satu produk perkembangan teknologi dalam bidang pemetaan adalah model 3D kawasan kota atau sering disebut 3D *city model*. 3D *city model* mulai dikembangkan secara virtual oleh banyak kota untuk diterapkan dalam berbagai bidang terkait simulasi lingkungan seperti perencanaan kota, arsitektur, pariwisata, manajemen bencana, dan sebagainya [2]. 3D *city model* [3] merupakan representasi digital dari permukaan (*terrain*) dan objek yang terdapat di wilayah kota. Metode 3D *city modeling* dibagi menjadi dua macam berdasarkan sumber data yang digunakan yaitu berdasarkan metode fotogrametri dan metode penyediaan laser [4]

Penelitian tentang pembuatan visualisasi 3D *city model* masih sangat jarang dan menjadi topik yang lebih hangat di dunia akademis dan perusahaan yang bergerak di bidang pemetaan. Sehubungan dengan belum adanya 3D *city model* di beberapa kota di Indonesia, maka peneliti mencoba membuat visualisasi 3D *city model* untuk studi kasus Stasiun Gambir – Stasiun Gondangdia, Jakarta Pusat dengan memanfaatkan data LiDAR. Harapan pada penelitian ini yaitu mampu memecahkan masalah bagaimana pembuatan visualisasi 3D *city model* dengan memanfaatkan data LiDAR. Pemodelan 3D *city* hanya berupa bangunan dengan tingkat ketelitian LOD 2.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1. 3D *City Model*

3D *city model* [5] adalah representasi digital dari permukaan bumi dan berhubungan dengan objek seperti bangunan, pohon, vegetasi, dan beberapa fitur buatan manusia milik daerah perkotaan. Ada berbagai istilah yang digunakan untuk 3D *city model* seperti “*Cybertown*”, “*Cybercity*”, “*Virtual City*”, atau “*Digital City*”. 3D *city model* pada dasarnya merupakan model komputerisasi atau digital dari sebuah kota yang berisi representasi grafis dari bangunan dan benda-benda lain dalam bentuk 2,5 atau 3D. Contoh visualisasi 3D *city model* dari seluruh dunia dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh 3D *City Model* dari seluruh dunia. Lokasi (searah jarum jam dari kiri atas): Ettenheim, Jerman; Punggol, Singapore; Chongqing, Hsinchu, Taiwan; New York City, Amerika Serikat (Biljecki, 2017)

Model kota 3D virtual [6] didefinisikan sebagai representasi tiga dimensi berbasis kota dari komputer nyata yang dapat dinavigasi secara interaktif pada perangkat komputer. Model kota 3D virtual pada dasarnya terdiri dari data geospasial yang mengGambarkan topografi perkotaan - lingkungan bangunan dan fitur alami yang mendasarinya di satu sisi dan sistem yang mengubah data

menjadi representasi tiga dimensi interaktif di sisi lain. Untuk membedakan antara model kota 3D virtual sebagai media interaktif dan data itu sendiri, istilah model kota 3D virtual, disingkat menjadi *City Virtual*, akan digunakan untuk merujuk pada representasi interaktif dan istilah 3D *city model* (3DCM). 3DCMs termasuk data *terrain*, data bangunan 3D, dan tekstur telah menjadi produk standar yang semakin terintegrasi ke dalam bola dunia virtual seperti *Google Earth* atau *Microsoft Virtual Earth*. Bahkan, banyak kota di dunia mulai membangun 3DCM seperti dalam 5 tahun terakhir atau lebih.

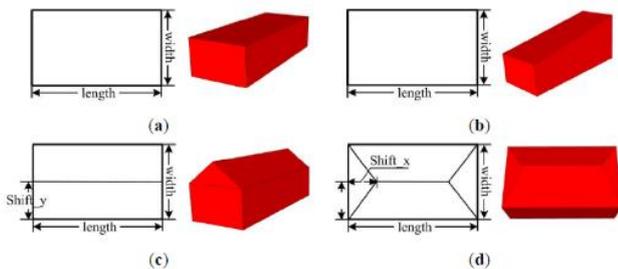
Menurut [7] klasifikasi 3D *city model* dengan tingkat kedetailan LOD 2 digunakan untuk menambah tingkat kedetailan pada obyek. Pada LOD 2 obyek bangunan sudah tampak adanya bentuk atap dan atap sudah tidak berbentuk datar. LOD 2 paling cocok untuk kabupaten kota dan proyek.

### 2.2. LiDAR (*Light Detection And Ranging*)

LiDAR merupakan teknik penginderaan jauh aktif mirip dengan radar tetapi menggunakan pulsa sinar laser bukan gelombang radio. Tidak seperti radar, LiDAR tidak bisa menembus awan, hujan, atau kabut padat dan harus diterbangkan selama cuaca cerah. LiDAR menjadi metode yang diterapkan untuk mengumpulkan data elevasi sangat padat dan akurat. Pengumpulan data elevasi menggunakan LiDAR memiliki beberapa keunggulan dibandingkan kebanyakan teknik lainnya, diantaranya resolusi yang lebih tinggi, akurasi sentimeter, dan deteksi tanah di medan hutan [8].

### 2.3. Pembuatan 3D Bangunan

Data LiDAR dapat digunakan sebagai sumber utama dalam melakukan rekonstruksi bangunan secara otomatis untuk memenuhi berbagai keperluan aplikasi dibidang goeinformasi. Dengan kerapatan *point cloud* yang diperoleh dan semakin meningkatnya akurasi memberikan potensi yang besar dalam melakukan ekstraksi objek topografi. Namun terdapat kendala utama untuk melakukan rekonstruksi dinding dan atap bangunan. Hal tersebut disebabkan karena rendahnya distribusi dari titik LiDAR pada *fasad* (tampak depan) vertikal [9]. Pemodelan bangunan dengan menggunakan metode otomatis dapat dilakukan untuk bangunan dengan bentuk atap sederhana seperti bentuk atap pada Gambar 2.6. [10].



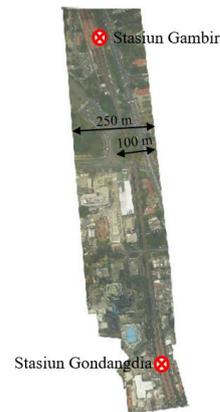
Gambar 2.6 Bentuk *primitive* atap bangunan : (a) *Flat roof*; (b) *Shed roof*; (c) *Gabled roof*; (d) *Hipped roof* (Zhang.dkk, 2014)

Di samping menggunakan metode otomatis model bangunan 3D juga dibangun dengan menggunakan metode manual untuk bangunan yang memiliki bentuk atap yang detail. Metode manual ini dilakukan apabila bentuk atap dari bangunan saling tersambung dan memiliki bentuk atap yang lebih kompleks. Cara manual ini dengan *check building models* kemudian diedit menggunakan *building edges* dan *building patches* pada *Terramodel* untuk mengubah *vertex* bangunan.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Lokasi Penelitian

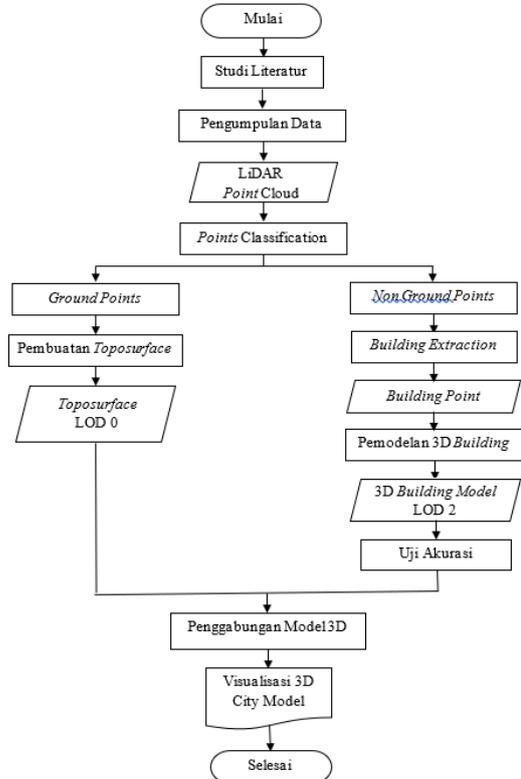
Penelitian ini dilakukan di lokasi Stasiun Gambir – Stasiun Gondangdia, Jakarta Pusat. Area sepanjang rel kereta dengan jarak lebar  $\pm 100 - 250$  m. Secara geografis Stasiun Gambir terletak pada  $6^{\circ}10'35.84''$  LS  $106^{\circ}49'50.39''$  BT dan Stasiun Gondangdia terletak pada  $6^{\circ}11'10.06''$  LS  $106^{\circ}49'57.67''$  BT. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

### 3.2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mendapatkan visualisasi 3D *city model* dengan tingkat kedetailan LOD 2.



Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data .las LiDAR yang sudah ter-*georeference* diperoleh dari PT. Waindo Specterra, Jakarta.

Proses klasifikasi data *point clouds* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *MicroStation plug-in TerraScan* untuk menghasilkan kelas berikut :

- Kelas *building*, untuk data *point clouds* objek bangunan yang akan digunakan untuk pembuatan 3D *city model* bangunan.
- Kelas *ground*, untuk data *point clouds* objek permukaan tanah, digunakan sebagai pembentukan *toposurface*.

Pembuatan 3D *city model* LOD 2 dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *MicroStation plug-in TerraScan*. Pembuatan model 3D dilakukan dengan data *point cloud* bangunan. Objek yang dimodelkan mengikuti *point cloud* dari atap dengan cara *vectorize building*.

Uji ketelitian merupakan uji yang dilakukan terhadap sampel data ukuran dengan data lain yang dianggap benar untuk memperoleh nilai ketelitian. Pada penelitian ini dilakukan dengan perhitungan RMSE jarak lebar dan tinggi. *Root Mean Square Error* (RMSE) mengukur seberapa banyak kesalahan yang ada di antara dua set data. RMSE merupakan nilai akar dari rata-rata selisih hitungan data antara data yang dianggap benar dengan data hasil pengolahan. Hasil perhitungan RMSE merupakan tingkat ketelitian data. Semakin besar nilai RMSE maka semakin rendah tingkat akurasinya [11] [12].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(D)^2}{n}}$$

Dengan  $D = |R - R_1|$

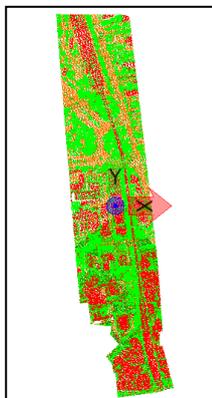
Keterangan :

- RMSE : *Root Mean Square Error*  
 D : selisih nilai jarak atau tinggi  
 R : nilai jarak / tinggi hasil pengolahan  
 R<sub>1</sub> : nilai jarak / tinggi ukuran  
 n : banyak sampel.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Klasifikasi *Point Cloud* LiDAR

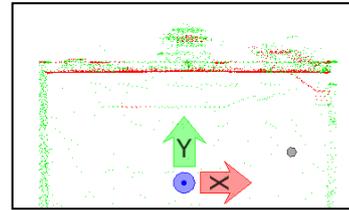
Klasifikasi bertujuan agar *point cloud* sesuai dengan kelas masing – masing berdasarkan hasil penyajian LiDAR di lapangan. *Point cloud* LiDAR diklasifikasikan secara berurutan dari kelas terendah sampai tertinggi. Urutan pengklasifikasian dimulai dari *ground*, *low vegetation*, *medium vegetation*, *high vegetation*, dan *buildings*. Hasil dari proses klasifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.1.



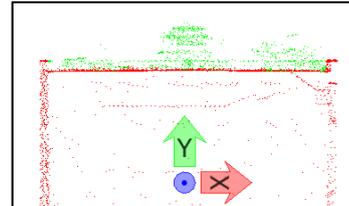
Gambar 4.1 *Point cloud* terklasifikasi dengan metode otomatis

Pada Gambar 4.1 titik yang berwarna merah adalah kelas *buildings*, berwarna hijau merupakan kelas *vegetation*, dan

berwarna coklat yaitu kelas *ground*. Proses klasifikasi dari data *point cloud* LiDAR menggunakan dua metode, yaitu metode otomatis dan manual. Metode manual digunakan karena pada hasil metode otomatis masih terdapat kekurangan berupa *point cloud* masih berada pada kelas yang bukan seharusnya.



Gambar 4.2 Tampilan *cross section* klasifikasi metode otomatis



Gambar 4.3 Tampilan *cross section* klasifikasi metode manual

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa berdasarkan hasil klasifikasi metode otomatis tampak *point cloud* dengan tampilan *cross section*. Sebagai contoh *point cloud* kelas *building* tetapi berada pada kelas *vegetasi*. Hal tersebut terjadi karena dalam proses klasifikasi metode otomatis terjadi adanya kesalahan dalam pendefinisian kelas – kelas yang telah ditentukan. Untuk meminimalisir kesalahan tersebut digunakan metode manual yaitu melakukan proses klasifikasi secara manual dengan bantuan tampilan samping (*cross section*) untuk memeriksa *point cloud* yang telah terklasifikasi sesuai dengan kelasnya, apabila belum sesuai maka pengguna melakukan pengelompokan kembali ke dalam kelas yang sesuai dengan kelas yang telah ditentukan [13]. Hasil proses klasifikasi metode manual terdapat pada Gambar 4.3.

#### 4.1.1. *Ground*

Kelas *ground* merupakan *point cloud* yang merepresentasikan tanah dan objek dengan permukaan yang keras seperti jalan. Identifikasi *ground point* digunakan untuk memahami karakteristik fisik dari *ground point*. Klasifikasi *ground point* dibagi menjadi 4 (empat) kategori, yaitu elevasi terendah, kecuraman permukaan tanah, perbedaan elevasi permukaan tanah dan *homogenitas* (persamaan macam, jenis, sifat dari anggota suatu kelompok) permukaan tanah. Visualisasi dari klasifikasi *point cloud* kelas *ground* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

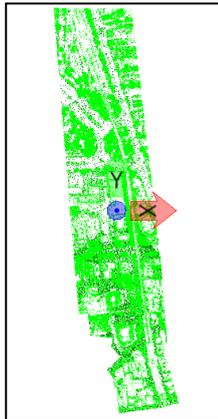


Gambar 4.4 Hasil klasifikasi kelas *ground*

#### 4.1.2. Vegetasi

Vegetasi diklasifikasikan menjadi tiga kelas yaitu *low vegetation*, *medium vegetation* dan *high vegetation* dengan memasukan parameter ketinggian *point cloud* dari *ground*. Klasifikasi vegetasi dilakukan menggunakan metode otomatis.

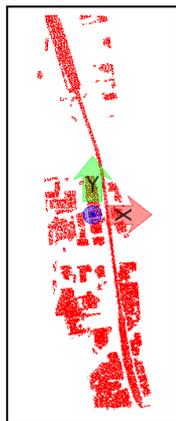
Pada proses klasifikasi vegetasi secara otomatis masih terdapat *point cloud* yang seharusnya bukan kelas vegetasi masuk pada kelas vegetasi dan sebaliknya, sehingga perlu dilakukan pengecekan dengan menggunakan bantuan *cross section* secara visual. Hasil klasifikasi *point cloud* pada kelas vegetasi tidak dimasukkan ke dalam pemodelan karena pemodelan hanya difokuskan pada bangunan tinggi. Visualisasi dari klasifikasi *point cloud* ke dalam kelas vegetasi dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil klasifikasi kelas *vegetation*

#### 4.1.3. Bangunan

Klasifikasi kelas *building* menggunakan parameter *minimum size*:  $16\text{m}^2$ , sehingga bangunan dengan luas minimal  $16\text{m}^2$  akan terklasifikasi dalam kelas *building*. Hasil klasifikasi *point cloud* bangunan dengan menggunakan metode otomatis masih terdapat *point cloud* bangunan yang berada pada kelas lain sehingga perlu dilakukan klasifikasi dengan metode manual menggunakan *cross section* agar sesuai. Hasil klasifikasi bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.6.



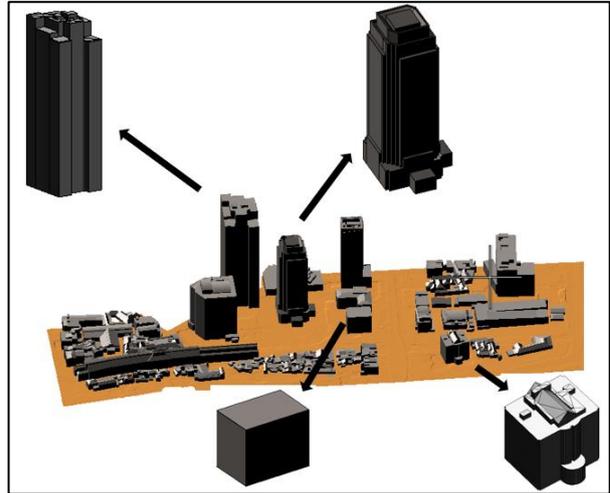
Gambar 4.6 Hasil klasifikasi kelas *buildings*

#### 4.2. Pemodelan Bangunan 3D

Pemodelan bangunan 3D dilakukan pada perangkat lunak *Microstation V8i* dengan tambahan *plug-in TerraScan* dan *TerraModel*. Metode yang digunakan untuk pembuatan model bangunan 3D adalah *vectorize buildings*, yaitu metode untuk

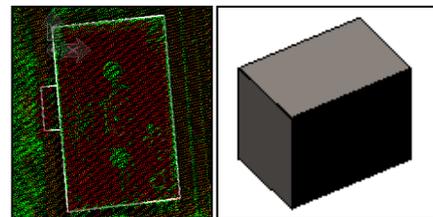
mengubah data *point cloud* menjadi vektor bangunan. Untuk melakukan pemodelan bangunan 3D dilakukan dengan menggunakan data LIDAR yang telah dilakukan klasifikasi berdasarkan kelas *buildings*.

Model 3D bangunan yang dihasilkan memiliki tingkat kedetilan LOD 2. Tingkat kedetilan LOD 2 merupakan tingkat kedetilan model bangunan pada bagian atap, sedangkan dinding masih mengikuti bentuk atap. Model 3D bangunan yang dihasilkan terdapat pada Gambar 4.7.



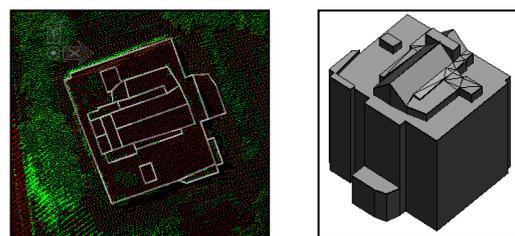
Gambar 4.7 Hasil Pemodelan 3D Bangunan

Pada Gambar 4.7 hasil pemodelan 3D bangunan terdapat bentuk atap sederhana dan atap kompleks. Pemodelan bangunan dilakukan dengan metode otomatis dan metode manual. Metode otomatis digunakan untuk pemodelan bangunan dengan bentuk atap sederhana. Sebagai contoh pemodelan bangunan dengan bentuk atap sederhana dapat dilihat pada Gambar 4.8.

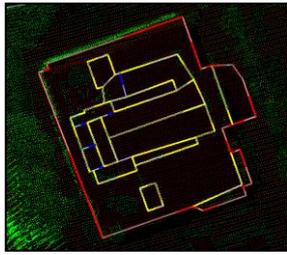


Gambar 4.8 Model bangunan dengan bentuk atap sederhana metode otomatis

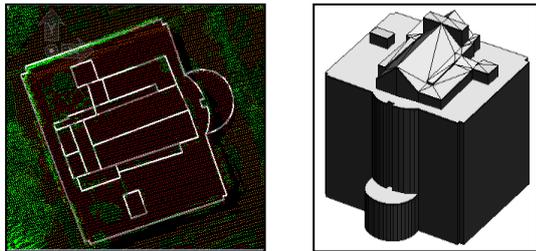
Selain menggunakan metode otomatis model bangunan 3D juga dibangun menggunakan metode manual untuk bangunan yang memiliki bentuk atap yang detail. Metode manual ini dilakukan apabila bentuk atap dari bangunan saling tersambung dan memiliki bentuk atap yang kompleks atau sebagian bangunan tertutup vegetasi. Model bangunan kompleks yang tidak dapat dimodelkan hanya dengan menggunakan metode otomatis seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Model bangunan dengan bentuk atap kompleks metode otomatis

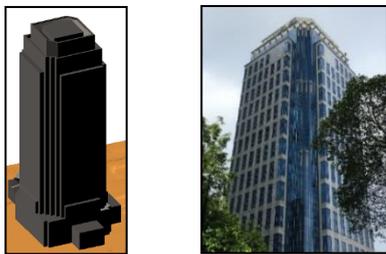


Gambar 4.10 Model bangunan yang diedit pada *building check model*

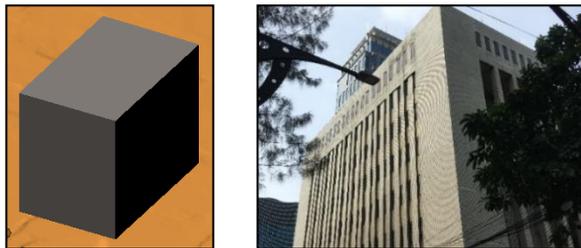


Gambar 4.11 Model bangunan dengan bentuk atap kompleks metode manual

Apabila atap bangunan kompleks seperti pada Gambar 4.9 maka pemodelan bangunan dilakukan dengan melakukan *editing* menggunakan metode manual. Pemodelan manual dilakukan dengan cara *check building models* seperti pada Gambar 4.10. Hasil pemodelan bangunan dengan metode manual dapat dilihat pada Gambar 4.11. Contoh perbandingan hasil pemodelan bangunan dan bangunan aslinya dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



Gambar 4.12 Gedung X

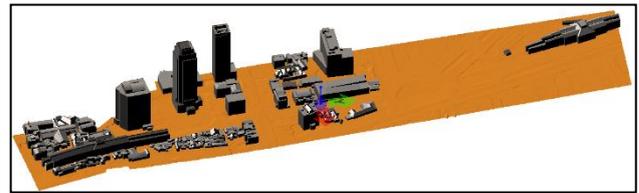


Gambar 4.13 Gedung Y

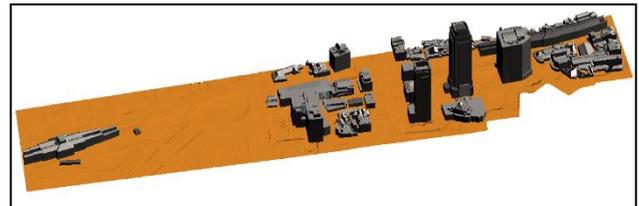
### 4.3. Visualisasi 3D City Model LOD 2

Hasil akhir dari penelitian ini adalah visualisasi 3D *city model* sepanjang Stasiun Gambir – Stasiun Gondangdia, Jakarta Pusat dengan lebar ±100 – 250 m. 3D *city model* yang dihasilkan memiliki tingkat kedetailan LOD 2. Obyek bangunan sudah tampak adanya bentuk atap dan atap sudah tidak berbentuk datar. Pada 3D *city model* LOD 2 dinding bangunan berbentuk lurus mengikuti atap. Data LiDAR memiliki kendala utama untuk melakukan rekonstruksi dinding bangunan. Hal tersebut disebabkan karena rendahnya distribusi dari titik LiDAR pada

*fasad* (tampak depan) vertikal sehingga kurang cocok untuk pemodelan lebih tinggi dari LOD 2. Visualisasi 3D *city model* LOD 2 dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15.



Gambar 4.14 Visualisasi 3D *city model* tampak dari timur

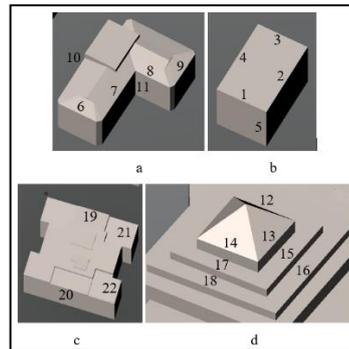


Gambar 4.15 Visualisasi 3D *city model* tampak dari barat

3D *city model* yang telah dimodelkan memiliki kualitas menengah. Model kualitas menengah dirancang untuk membuat model yang ditampilkan secara *real time* pada tampilan komputer. Berbeda dengan kualitas tinggi, pemodelan 3D *city model* dengan kualitas menengah belum dilengkapi dengan tekstur mirip dengan bentuk aslinya. Kualitas tinggi membutuhkan foto *oblique* (tampak samping) untuk menambahkan tekstur.

### 4.4. Analisis Uji Ketelitian Pemodelan Bangunan 3D

Analisis uji ketelitian bangunan dibutuhkan untuk menguji tingkat ketelitian ukuran dimensi bangunan meliputi panjang, lebar dan tinggi bangunan dari hasil yang dimodelkan oleh *software* dari ukuran aslinya. Dalam penelitian ini uji ketelitian model yang dilakukan terdapat pada Gambar 4.16. Selanjutnya hasil pengukuran dan perhitungan ketelitian model disajikan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.16 Jarak Uji Ketelitian Bangunan

Tabel 4.1. Hasil Uji Ketelitian Pemodelan Bangunan

No.	Jarak Lapangan (m)	Jarak Model (m)	Selisih Jarak (D) (m)	D <sup>2</sup> (m)
1	23,562	23,557	0,005	0,000
2	35,727	35,715	0,012	0,000
3	23,560	23,555	0,005	0,000

No.	Jarak Lapangan (m)	Jarak Model (m)	Selisih Jarak (D) (m)	D <sup>2</sup> (m)
4	35,948	36,005	0,057	0,003
5	30,021	30,196	0,175	0,031
6	18,006	17,994	0,012	0,000
7	27,631	27,761	0,130	0,017
8	16,496	16,511	0,015	0,000
9	16,982	17,026	0,044	0,002
10	42,517	42,400	0,117	0,014
11	20,799	20,975	0,176	0,031
12	8,986	8,903	0,083	0,007
13	8,982	8,917	0,065	0,004
14	8,979	8,938	0,041	0,002
15	14,034	13,999	0,035	0,001
16	18,304	18,243	0,061	0,004
17	14,003	14,029	0,026	0,001
18	18,391	18,572	0,181	0,033
19	56,916	56,837	0,079	0,006
20	56,967	57,081	0,114	0,013
21	14,814	14,850	0,036	0,001
22	14,802	14,775	0,027	0,001
Selisih minimum			0,005 m	
Selisih maksimum			0,181 m	
			Jumlah D <sup>2</sup>	0,170 m
			Rata – rata D <sup>2</sup>	0,007 m
			RMSE	0,084 m

Dari hasil Tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa selisih kesalahan ukuran terbesar yaitu 0,181 m dan kesalahan ukuran terkecil 0,005 m. Perhitungan RMSE yang dihasilkan adalah 0,084 m. Dari pengukuran uji akurasi RMSE bangunan yang dilakukan dapat diterima karena < 2 m, di bawah syarat ketelitian pemodelan LOD 2 yaitu akurasi tinggi dan geometri 2 m [14].

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Data LiDAR dapat digunakan untuk pembuatan 3D *city model* LOD 2 yang menunjukkan ketelitian objek berupa atap.
2. Model 3D bangunan yang dihasilkan dari ekstraksi data *point cloud* hasil penyiaman LiDAR memiliki ketelitian 0,441 m. Terlihat dari hasil perbandingan ukuran jarak di lapangan menggunakan laser distometer menghasilkan selisih minimum perbedaan jarak sebesar 0,005 m, selisih maksimum sebesar 0,181 m, dan RMSE sebesar 0,084 m.

### 5.2 Saran

Saran yang perlu diperhatikan dalam melakukan penelitian selanjutnya agar dapat dilaksanakan dengan lebih baik yaitu:

1. Hasil ekstraksi dari *point cloud* LiDAR menghasilkan model dengan tingkat ketelitian LOD 2. Perlu pengintegrasian data lain seperti TLS untuk mendapatkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi karena rendahnya distribusi titik fasad (tampak depan) vertikal pada data LiDAR.
2. Penggunaan perangkat keras perlu menggunakan spesifikasi yang lebih tinggi untuk mempermudah pemrosesan data.
3. Peneliti selanjutnya disarankan untuk membuat visualisasi animasi yang informatif.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahman, A. dan Pilouk, M., 2008. *Spatial Data Modeling for 3D GIS*, Springer Berlin Heidelberg, New York, USA.
- [2] Biljecki, F., 2013. *The Concept of LoD in 3D City Models*, Doctoral dissertation Proposal, Delft University of Technology, Belanda.
- [3] Sai, S. S., 2011. Pembuatan Model Tiga Dimensi (3D) Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Visualisasi Wilayah Kota. *Spectra*, IX, 1-8.
- [4] Kobayashi, Y., 2006. *Photogrammetry and 3D city modeling*, School of Architecture and Landscape Architecture, Arizona State University, USA.
- [5] Singh, dkk., 2013. *Virtual 3D City Modeling : Techniques and Applications*, International Archives of the Photogrametri, Remote Sensing and spatial Information Science, ISPRS 8th 3D Geoinfo Conference & WG II/2 Workshop, Istanbul, Turkey.
- [6] Ross, L., 2010. *Virtual 3D city Model In Urban Land Management*, Doctoral disertation, University of Berlin.
- [7] Biljecki, F., 2017. *Level of Detail in 3D City Model*, Doctoral dissertation, Delft University of Technology, Belanda.
- [8] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, 2012. "Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications." Revised. Charleston, SC: NOAA Coastal Services Center.
- [9] He, Y. dkk. 2012. *Automated Reconstruction of Walls from Airborne Lidar Data for Complete 3D Building Modelling*. Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B3.
- [10] Zhang, dkk., 2014. *3D Building Roof Modeling by Optimizing Primitive's Parameters Using Constraints from LiDAR Data and Aerial Imagery*. Remote Sensing, China.
- [11] Kaukabi, G. 2018. *3D Model Objek Wisata Tomok, Kabupaten Samosir, Provinsi Sumatera Utara Menggunakan Data Terrestrial Laser Scanner dan Foto Udara UAV*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [12] Simbolon, A., 2017. Analisis Perbandingan Ketelitian Metode Registrasi antara Metode Kombinasi Dan Metode Traverse Dengan Menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* dalam Pemodelan Objek 3 Dimensi, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [13] Kandia, P., 2012. Pembentukan Model dan Parameter untuk Estimasi Kelapa Sawit Menggunakan Data *Light Detection and Ranging (LIDAR)*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [14] Open Geospatial Consortium (OGC), 2012. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*.