

## Pemanfaatan Data LiDAR dan Foto Udara untuk Pemodelan Kota Tiga Dimensi (Studi Kasus: Wilayah Surabaya Barat)

*Utilization of LiDAR Data and Aerial Photos for Three-Dimensional City Modeling (Case Study: West Surabaya Region)*

Zenda Mergita Firdaus<sup>1</sup>, Hepi Hapsari Handayani\*<sup>2</sup>, Husnul Hidayat<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Geomatika, FTSPK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

\*Korespondensi penulis: hapsari@geodesy.its.ac.id

Diterima: 14082020; Diperbaiki: 21082020; Disetujui: 31082020; Dipublikasi: 21012021

**Abstrak:** Kebutuhan informasi geospasial tiga dimensi (3D) untuk wilayah kota sangatlah penting mengingat kota sebagai pusat kegiatan dengan jumlah bangunan dan infrastruktur yang banyak dan memiliki karakteristik data geospasial yang multi obyek, multi struktur dan bermacam jenis (heterogenitas). Informasi visualisasi data geospasial 3D dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait dengan keberlangsungan perencanaan, pembangunan dan operasional infrastruktur di wilayah kota. Dalam membuat 3D *city model* tentu diperlukan data-data yang mendukung seperti data ketinggian, *footprint* bangunan, titik vegetasi, dan jaringan jalan. Data tersebut dapat diperoleh dari LiDAR (*Light Detection and Ranging*) dan foto udara. LiDAR digunakan untuk informasi ketinggian dan foto udara digunakan untuk memodelkan atap. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk membuat kota tiga dimensi adalah metode semi-otomatis. Metode ini memodelkan seluruh kota menggunakan sistem yang dapat menumbuhkan jaringan. Jaringan dapat diatur dalam beberapa menit dengan proses otomatisasi tetapi jika pengguna ingin diubah, dapat dilakukan secara manual. Hasil yang didapatkan adalah didapatkan lima tipe atap pada lokasi penelitian, yaitu pelana (*gable*), limas (*hip*), datar (*flat*), kubah (*dome*), dan mansard. Tipe atap yang dominan adalah tipe datar, pelana, dan limas. Sedangkan tipe kubah dan mansard hanya sebagai pelengkap. Jika ditinjau dari tingkat kesulitannya, gedung tinggi jenis apartemen adalah tipe bangunan yang sulit untuk dimodelkan. Kemudian perumahan dan yang paling mudah dimodelkan adalah permukiman. Tingkat kesulitan diukur berdasarkan kompleksitas atap masing-masing bangunan. Kesalahan yang terjadi dalam pemodelan berasal dari kurang atau lebihnya segmentasi atap. Hal ini bisa diatasi dengan mengulang segmentasi atap menggunakan foto udara. Ketelitian geometri keliling yang dihasilkan sebesar 0,92 m dari toleransi sebesar 2 m. Ketelitian luas yang dihasilkan sebesar 0,34% kesalahan luas dari toleransi 2%. Sedangkan ketelitian *level of detail* (LOD) level 2 sebesar 86,07% dari toleransi 85%. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dihasilkan dapat diterima.

Copyright © 2020 Geoid. All rights reserved.

**Abstract:** The need for three-dimensional geospatial information (3D) for urban areas is very important considering the city as a center of activity with a large number of buildings and infrastructure and has the characteristics of multi-object geospatial data, multi-structure and various types (heterogeneity). 3D geospatial data visualization information can be used as a basis for decision making related to the sustainability of planning, construction, and operational infrastructure in urban areas. To establish a 3D city model, supporting data such as elevation, building footprint, vegetation point, and road network are needed. The data can be obtained from LiDAR (*Light Detection and Ranging*) and aerial photography. LiDAR is used for height information and aerial photography is used to model the roof. One method that can be applied to create three-dimensional cities is the semi-automatic method. This method models the entire city using a system to grow the network. The network can be set up in minutes with the automation process but if the user wants to modify, it can be done manually. The results obtain five types of roofs at the study site, namely the gable, hip, flat, dome, and mansard. The dominant roof types are flat, gable, and hip types. While the type of dome and mansard is only as a supplement. Regarding the level of difficulty, a high-rise apartment is a type of building that is difficult to model. The next difficulty of roof modelling is housing then settlement. The difficulty level is determined based on the complexity of the roof of each building. Errors occurring in modeling come from less or more roof segmentation. This can be overcome by repeating the segmentation of the roof using aerial photographs. The accuracy of the geometry accuracy of circumference is 0.92 m from 2 m. The error of area geometry is about 0.34%, with error tolerance of 2%. While the accuracy of the level of detail (LOD) 2 is 86.07%, with a tolerance of 85%. This reveals that the model provided by this study can be accepted.

Kata kunci: Foto udara; kota tiga dimensi; LiDAR; semi otomatis.

## Pendahuluan

Era Revolusi Industri 4.0 menjadi tantangan pembangunan bagi kita semua. Hal ini pun terjadi di bidang geomatika dan konstruksi yang akan melakukan proses analisis perencanaan hingga pelaksanaan suatu proyek. Perencanaan dalam skala yang lebih detail membutuhkan data yang lebih detail. Ketersediaan data yang lebih lengkap dibutuhkan untuk menjamin representasi kondisi fisik yang lebih nyata. Hal ini merupakan konsekuensi perencanaan yang detail karena akan juga langsung berdampak kepada pembangunan yang dilakukan masyarakat. Oleh karena itu, kebutuhan data berupa 3D (tiga dimensi) adalah salah satu komponen yang vital di dalam perencanaan. Bukan hanya dari segi teknokratis, tetapi representasi yang lebih baik akan memberikan komunikasi yang lebih baik kepada publik karena publik pun hendaknya menuntut gambaran yang lebih jelas terhadap rencana (Atmaja, dkk.,2016).

Kebutuhan informasi geospasial 3D untuk wilayah kota sangatlah penting mengingat kota sebagai pusat kegiatan dengan jumlah bangunan dan infrastruktur yang banyak dan memiliki karakteristik data geospasial yang multi obyek, multi struktur dan bermacam jenis (heterogenitas). Informasi visualisasi data geospasial 3D dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait dengan keberlangsungan perencanaan, pembangunan dan operasional infrastruktur di wilayah kota. Eri Cahyadi, Kepala Dinas Perumahan Rakyat Kota Surabaya dalam wawancaranya pada tanggal 26 Januari 2017 mengatakan bahwa adanya peta udara dan LiDAR ini juga bermanfaat untuk potensi berkembangnya investasi di Surabaya. Investor yang berniat melakukan investasi di Surabaya, dengan melihat peta tampilan 3 dimensi ini, akan langsung tahu potensi investasi di lokasi yang diinginkan (Batara, 2012).

Saat ini visualisasi informasi geospasial 3D untuk wilayah kota di Indonesia masih jarang dan bahkan di beberapa tempat tidak ada. Informasi geospasial 3D biasanya hanya terdapat pada kota-kota besar yang memiliki bangunan bertingkat, padahal informasi kota bukan hanya dikhususkan untuk bangunan bertingkat tetapi juga dapat memberikan informasi terkait dengan bangunan, infrastruktur seperti halnya jalan dan vegetasi yang berada di wilayah kota. Saat ini perencanaan wilayah kota (*urban design*) yang dilakukan masih berbasis informasi 2D yang diperoleh dari peta skala besar, padahal konsep ruang perencanaan tidak hanya untuk 2D tetapi memiliki aspek 3D. Informasi 3D khususnya untuk wilayah kota atau dikenal dengan nama 3D city model merupakan alat bantu yang dapat digunakan untuk melakukan visualisasi, memberikan informasi atribut dan analisis perencanaan, pembangunan dan monitoring wilayah kota (Effendi, 2017).

Dalam membuat 3D *city model* tentu diperlukan data-data yang mendukung seperti data ketinggian, footprint bangunan, titik vegetasi, dan jaringan jalan. Data tersebut dapat diperoleh dari LiDAR (*Light Detection and Ranging*) dan foto udara. LiDAR adalah perangkat atau sistem yang sering digunakan pada aktivitas-aktivitas survei, pengukuran, atau pengamatan yang menggunakan teknik atau metode pengindraan jauh (*remote sensing*) aktif dengan cahaya optis dalam bentuk pulsa-pulsa sinar laser untuk mengukur jarak-jarak terhadap objek-objek permukaan bumi dengan kerapatan dan akurasi yang tinggi (*Open Geospatial Consortium (OGC)*, 2012). Data LiDAR efektif digunakan dalam menentukan tinggi bangunan, terutama pada bangunan gedung yang sangat tinggi yang tidak dapat diukur dengan alat ukur ketinggian karena keterbatasan pergerakan vertikal alat. Kerapatan dan akurasi elevasi data LiDAR sebesar 15-20 cm, sehingga ketinggian bangunan dapat dihitung dengan akurasi tinggi (Parish and Muller, 2001). Selain itu, LiDAR mampu memberikan hasil yang baik untuk penataan ruang kawasan baik skala kecil maupun besar.

Sementara itu foto udara dapat memberikan informasi terkait lokasi dan bentuk objek dalam resolusi sangat tinggi. Dari hasil pengolahan foto udara ini didapatkan hasil tutupan lahan yang sangat akurat serta bentuk bangunan dengan *Level of Detail (LOD)* yang tinggi. Penggunaan LiDAR dan foto udara dalam membuat model kota tiga dimensi dibutuhkan seiring dengan perkembangan infrastruktur kota dan kebutuhan peta skala besar. Kota Surabaya telah melakukan pemetaan LiDAR dan foto udara atas alasan ini. Sehingga data yang dihasilkan dapat digunakan dalam pembuatan informasi sebagai acuan dalam pengambilan kebijakan.

Terdapat banyak metode yang dapat dilakukan untuk membuat model kota tiga dimensi. Pemodelan kota tiga dimensi dapat dilakukan secara manual maupun semi otomatis. Manual berarti peneliti membuat sendiri

*syntax*, rule, maupun *grammar* nya dengan berbagai bahasa pemrograman. Sedangkan semi otomatis berarti menggunakan perangkat lunak yang telah terbangun *syntax*, rule, maupun *grammar* nya namun tetap memasukkan parameter-parameternya sendiri. Contoh dari cara manual adalah metode *data-driven* (bottom-up), *model-driven* (top-down), dan *hybrid approaches* (Suwandi, 2017). Setiap metode memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Metode *data-driven* memiliki keunggulan dalam mendeteksi elemen-elemen dasar, seperti batas, punggung dan tepi langkah, tetapi kualitas rekonstruksi dibatasi oleh algoritma yang digunakan untuk segmentasi bidang atap. Metode *model-driven* memiliki batasan yaitu bahwa ada jenis model terbatas yang disimpan di penyimpanan yang telah ditentukan.

Parish dan Muller (2001) melakukan penelitian dengan memodelkan seluruh kota secara semi otomatis menggunakan L-sistem yang dimodifikasi untuk menumbuhkan jaringan. Jaringan dapat diatur dalam beberapa menit dengan proses otomatisasi tetapi jika pengguna ingin mengubahnya, ia dapat membuat jaringan secara manual. Penggunaan metode semi otomatis ini dapat menghasilkan model kota tiga dimensi dalam waktu yang singkat dengan ketelitian yang cukup tinggi serta tampilan yang menarik (Turksever, 2015). Penerapan aturan semantik sangat ditekankan dalam prosedur pemodelan menggunakan metode semi otomatis. *Rule* dari metode semi otomatis adalah file teks CGA (*Computer Generated Architecture*) yang berisi serangkaian definisi dan dapat memutuskan bagaimana menghasilkan model. Dengan kata lain ia mendefinisikan objek model seperti bentuk, lokasi spasial, parameter, dan elemen seperti jendela, pintu, ketinggian, ketinggian lantai, tekstur, gaya, dan atribut lainnya dalam file teks.

Dalam penelitian ini didefinisikan lima objek yaitu perumahan (*planned/row house*), permukiman (*unplanned house*), gedung tinggi (*high rise building*), pohon, jalan, dan lampu jalan. Hal ini didasarkan pada studi area yang memiliki jenis bangunan bermacam-macam. Perumahan merujuk pada rumah yang terdiri atas baris-baris serta teratur. Permukiman merujuk pada tempat tinggal penduduk di suatu kawasan yang kurang teratur dan tidak tertata. Dari kelima kelas tersebut akan dilakukan validasi dari segi LOD maupun geometri. LOD yang dipilih adalah LOD2 karena berada dalam ketelitian medium artinya tidak terlalu detil sehingga waktu pengolahan data sangat lama, tidak juga terlalu kasar hingga tidak bisa mengetahui bentuk suatu bangunan. Validasi dilakukan dengan membandingkan model dengan foto udara. Hasil dari validasi berupa nilai *completeness* (kelengkapan), *correctness* (kebenaran), *quality* (kualitas), *root mean square error* (RMSE), dan persentase kesalahan geometri tiap objek terutama bangunan. Dari penelitian ini diharapkan bisa memberikan model kota 3D yang akurat bagi Kota Surabaya.

## Data dan Metode

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kota Surabaya ( $7^{\circ}12' - 7^{\circ}42' \text{ LS}$  dan  $112^{\circ}57' - 112^{\circ}86' \text{ BT}$ ) di daerah sekitar gedung *Pakuwon Trade Center* wilayah Surabaya Barat. Berikut merupakan gambar dari lokasi pada penelitian ini.



Gambar 1. Lokasi penelitian yang berada di area *Pakuwon Trade Center*, Surabaya Barat. *Pakuwon Trade Center* berada di pusat studi area.

Data yang diperlukan dibagi menjadi dua jenis, yaitu data raster dan data vektor. Berikut adalah tabel dan gambar yang menunjukkan data raster.

Tabel 1. Data Raster

No.	Nama	Resolusi	Sumber
1.	<i>Digital Terrain Model (DTM)</i>	40 cm	Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kota Surabaya
2.	<i>Digital Surface Model (DSM)</i>	25 cm	
3.	Foto Udara Kota Surabaya	8 cm	

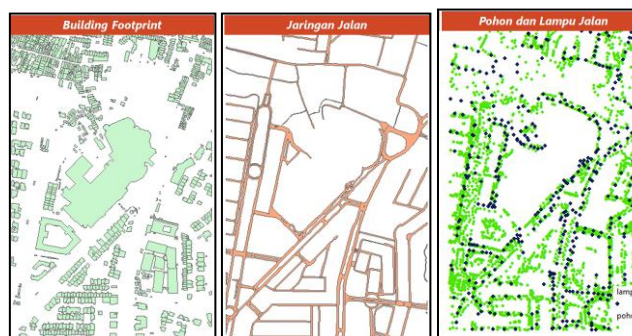


Gambar 2. Data raster yang digunakan dalam penelitian ini berupa DTM, DSM, dan foto udara. Kotak berwarna putih pada kanan bawah menunjukkan legenda atau nilai tertinggi dan terendah dari masing-masing data raster.

Berikut merupakan tabel dan gambar yang menunjukkan data vektor.

Tabel 2. Data Vektor

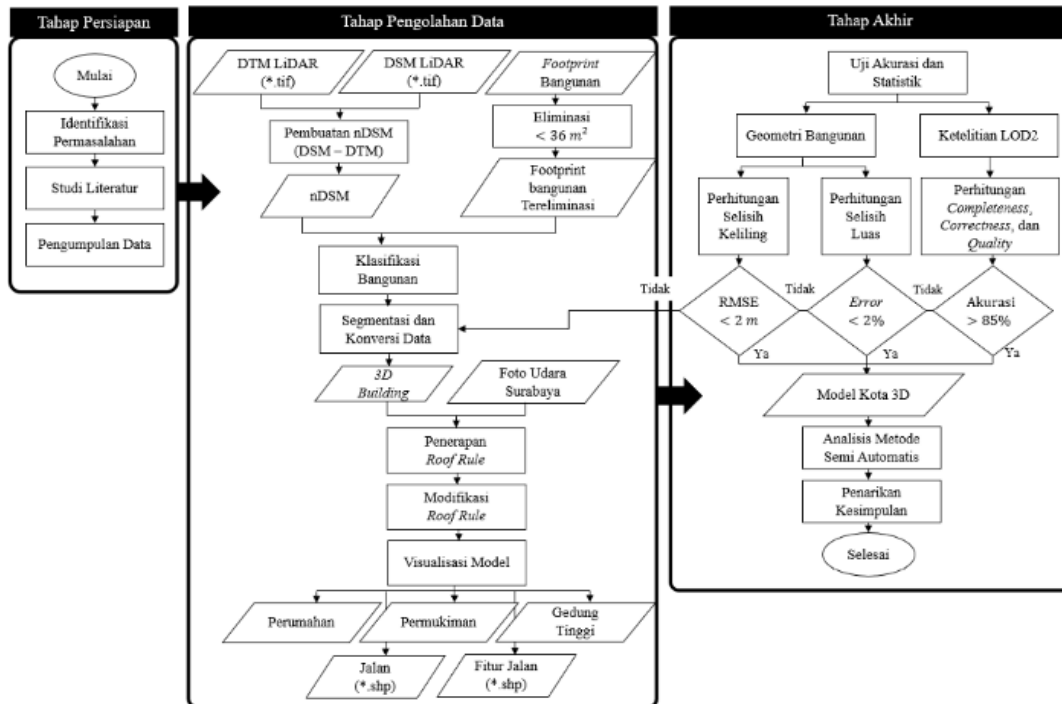
No.	Nama	Skala	Sumber
1.	Jaringan jalan ( <i>polygon</i> )	1:1000	Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kota Surabaya
2.	<i>footprint</i> bangunan ( <i>polygon</i> )	1:1000	
3.	Pohon dan lampu jalan ( <i>point</i> )	1:1000	Digitasi dari Foto Udara



Gambar 3. Data vektor yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk poligon dan point.

Peralatan yang diperlukan adalah perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yaitu ArcGIS Pro 2.5, ArcMap 10.6, serta Microsoft Office 365. Sedangkan tahapan penelitian ini secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan data, dan tahap akhir. Tahap persiapan meliputi identifikasi masalah, studi literatur, dan pengumpulan data. Tahap pengolahan data mencakup semua langkah untuk mendapatkan model kota tiga dimensi. Sedangkan tahap akhir meliputi uji akurasi, analisis hasil, dan penarikan kesimpulan. Berikut merupakan gambar dari tahapan penelitian ini.





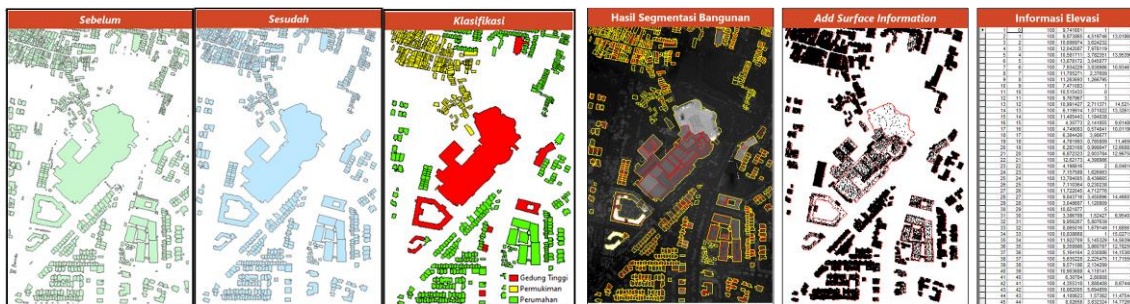
Gambar 4. Diagram alir penelitian yang terbagi menjadi tiga tahap

Langkah pertama dalam pengolahan data yaitu membuat nDSM. nDSM merupakan singkatan dari *Normalize Digital Surface Model*. nDSM menunjukkan ketinggian suatu objek dari DTM atau *ground* atau tanah, sehingga rumus mencari nDSM adalah  $DSM - DTM$ . nDSM digunakan untuk menambahkan informasi ketinggian ke data 2D yang sudah tersegmentasi berdasarkan ketinggian sehingga menjadi data 3D. Data 3D tersebut masih berada pada LOD Level 1 sehingga masih berupa *block model* tanpa model atap tertentu. Penerapan *roof rule* diperlukan untuk mentransformasikan karakteristik dan sifat suatu objek dari deskripsi visual manusia ke bentuk deskripsi tata bahasa. Tata bahasa ini dikenal dengan CGA (*Computer Generated Architecture*) Rule yang mendefinisikan bentuk atap suatu bangunan dalam file teks. Atap yang dihasilkan dari *rule* ini masih sangat umum sehingga perlu modifikasi. Modifikasi dilakukan dengan mengubah parameter standar maupun melakukan segmentasi ulang bangunan sehingga model bisa merepresentasikan dengan baik kondisi lapangan. Setelah selesai membuat model, tahap selanjutnya adalah mengeksport kumpulan model 3D yang dihasilkan dengan informasi semantik dan spasial.

Uji akurasi dalam penelitian ini terdiri dari dua bagian. Bagian pertama yaitu melakukan uji akurasi terhadap geometri bangunan yang meliputi keliling dan luas model. Model dapat diterima bila memiliki RMSE keliling kurang dari dua meter dan persentase kesalahan luas kurang dari dua persen berdasarkan standar yang ditetapkan oleh OGC (*Open Geospatial Consortium*) dan Spesifikasi Teknis Peraturan Menteri Negara Agraria (PMNA), Kepala Badan Pertanahan Nasional (BPN) Nomor 3 Tahun 1997 tentang Toleransi Persentase Beda Luas. Sedangkan bagian kedua yaitu melakukan uji akurasi LOD terhadap hasil CGA rule pada bangunan kemudian dilakukan perhitungan *correctness*, *completeness*, dan *quality* untuk mengetahui tingkat akurasi hasil model. Uji akurasi LOD dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan foto udara. Hasil model akan diterima jika memiliki nilai akurasi lebih dari 85 persen. Jika nilai yang dihasilkan kurang, maka akan kembali pada segmentasi dan konversi data. Setelah uji akurasi, selanjutnya akan dilakukan uji statistik dengan uji *t* dan uji *z*. Uji ini dilakukan untuk melihat perbedaan antara hasil model dengan data poligon bangunan yang asli. Uji statistik dilakukan dengan level signifikansi 0,1 dan tingkat kepercayaan 90%. Setelah dilakukan uji akurasi, tahap selanjutnya yaitu menganalisis hasil metode semi otomatis secara keseluruhan. Analisis dilakukan berdasarkan perbedaan karakteristik wilayah yang telah diklasifikasikan pada tahap klasifikasi bangunan. Analisis akan ditinjau dari nilai akurasi, kesalahan yang terjadi, kecepatan, dan kesulitan pembentukan model. Tahap akhir dari penelitian ini adalah mengambil kesimpulan yang dapat menjawab tujuan penelitian.

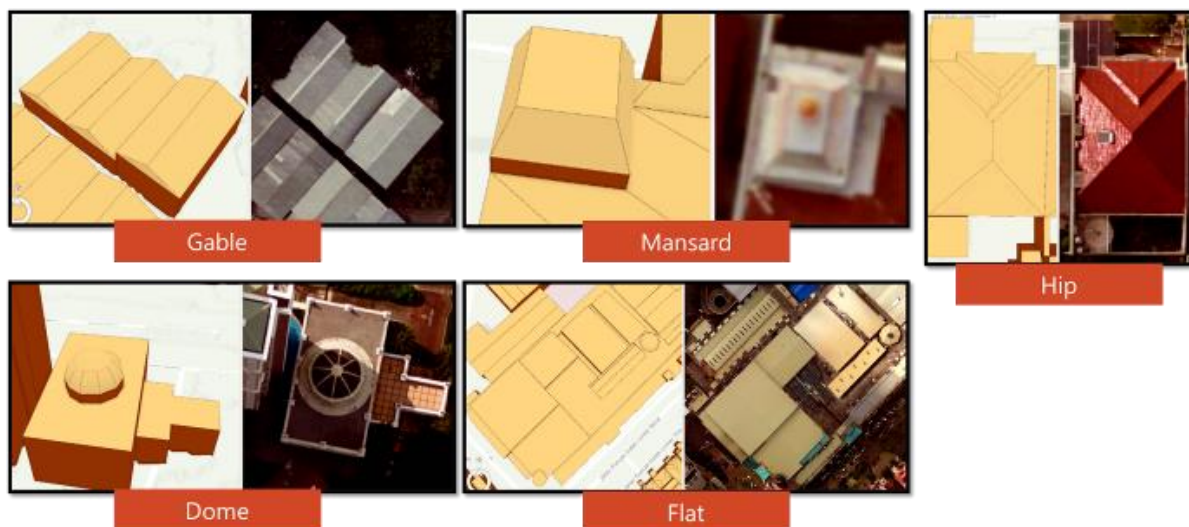
## Hasil dan Pembahasan

Dalam membentuk bangunan tiga dimensi, ada beberapa tahapan yang yang perlu dilalui. Tahap pertama adalah melakukan seleksi bangunan berdasarkan luasnya. Dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2011 Pasal 22 Ayat 3 tentang Perumahan dan Pemukiman menjelaskan bahwa, “Luas lantai rumah tunggal dan rumah deret memiliki ukuran paling sedikit 36 meter persegi”. Oleh karena itu bangunan yang memiliki luas dibawah 36 m<sup>2</sup> akan dieliminasi. Selain itu, bangunan yang terpotong karena batas area juga akan dieliminasi. Berikut adalah hasil dari seleksi bangunan.



Gambar 5. Bangunan sebelum dan sesudah eliminasi serta klasifikasi jenis bangunan serta segmentasi bangunan dan penambahan informasi ketinggian yang berasal dari nDSM.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa terdapat 955 bangunan dengan rincian 11 bangunan termasuk dalam jenis gedung tinggi (merah), 303 bangunan termasuk dalam jenis permukiman (kuning), dan 641 bangunan termasuk dalam jenis perumahan (hijau). Selanjutnya bangunan tersebut akan dilakukan segmentasi berdasarkan nilai ketinggiannya. Segmentasi bertujuan untuk mendapatkan model dan tinggi yang akurat dari setiap bangunan. Poligon kuning pada Gambar 5 menunjukkan *footprint* bangunan secara keseluruhan sedangkan poligon merah merupakan hasil segmentasi bangunan. Bisa dilihat dengan jelas pada Gedung yang berada di tengah. Garis merah terlihat membagi poligon kuning menjadi beberapa bagian. Setelah bangunan tersegmentasi dengan baik, selanjutnya adalah menambahkan informasi ketinggian pada segmen bangunan tersebut untuk mengubah data yang awalnya dua dimensi menjadi tiga dimensi. Caranya adalah dengan membuat titik acak pada setiap segmen kemudian mengekstrak nilai nDSM sehingga tiap titik memiliki nilai tinggi yang ditampilkan pada tabel atribut. Perlu diketahui bahwa tinggi bangunan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada arsitektur tertinggi yaitu ujung atap tanpa mempertimbangkan ornamen lain seperti antena dan penangkal petir. Langkah selanjutnya adalah memodelkan tipe atap tiap bangunan. Berikut adalah tipe atap yang ditemui pada lokasi penelitian kali ini.



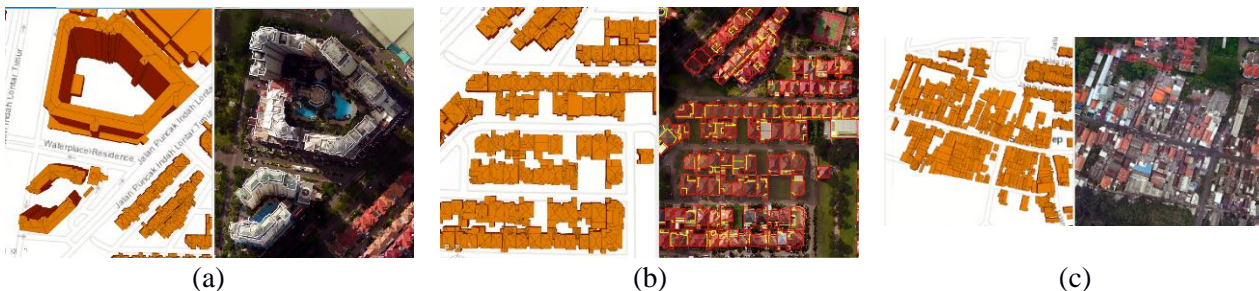
Gambar 6. Terdapat lima tipe atap yang ditemui pada lokasi penelitian, yaitu: pelana, mansard, limas, kubah, dan datar.

Dari 2.506 segmentasi bangunan/atap didapatkan jumlah atap tiap jenisnya sebagai berikut.

Tabel 3. Jumlah tipe atap di lokasi penelitian

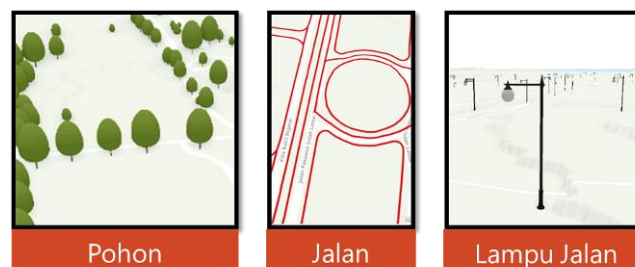
No.	Tipe Atap	Jumlah
1	Kubah	13
2	Datar	1.787
3	Pelana	264
4	Limas	441
5	Mansard	1
	Jumlah	2.506

Setiap atap yang dihasilkan memiliki karakteristik yang berbeda. Tipe atap pelana banyak ditemui di perumahan bagian utara lokasi penelitian serta sedikit di permukiman. Sedangkan tipe limas banyak ditemui di perumahan bagian selatan lokasi penelitian. Untuk tipe datar kebanyakan dimiliki oleh permukiman penduduk yang di daerah kampung. Sedangkan atap tipe mansard dan kubah hanya digunakan di beberapa tempat untuk tambahan saja. Dari segi kemudahan dalam memodelkan bangunan, area permukiman lebih mudah dibandingkan perumahan dan gedung tinggi. Tingkat yang paling sulit adalah saat memodelkan gedung tinggi. Hal ini terjadi karena gedung tinggi memiliki struktur atap yang lebih kompleks dibandingkan perumahan dan permukiman. Biasanya gedung tinggi tidak memiliki tipe atap yang spesifik namun unik sehingga perlu adanya segmentasi lebih detail. Perumahan memiliki tipe atap yang sama dalam satu atau lebih klaster, namun atap perumahan juga memiliki *roof plane* yang lebih banyak dan kompleks. Berikut adalah contoh perumahan. Sedangkan permukiman kebanyakan memiliki atap tipe datar sehingga mudah untuk dimodelkan. Berikut adalah gambar tipe atap dari masing-masing klaster bangunan.



Gambar 7. (a) Bangunan gedung tinggi yang memiliki struktur atap kompleks dan unik sehingga sulit untuk dimodelkan, (b) Bangunan perumahan yang memiliki tipe atap limas dalam beberapa klaster. Bangunan permukiman yang memiliki tipe atap datar dan beberapa pelana dan limas.

Pada penelitian ini, untuk komponen jalan, pohon, dan lampu jalan hanya digunakan sebagai pelengkap. Berikut adalah hasil pemodelan tiga dimensi dari jalan, pohon, dan lampu jalan.

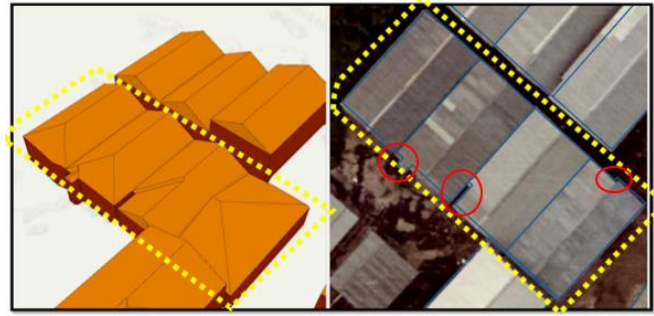


Gambar 8. Model tiga dimensi dari pohon, jalan, dan lampu jalan

Saat memodelkan bangunan dengan menggunakan metode semi otomatis, akan ditemui beberapa ketidaksesuaian antara objek asli dengan model. Ketidaksesuaian ini merupakan bentuk kesalahan yang perlu

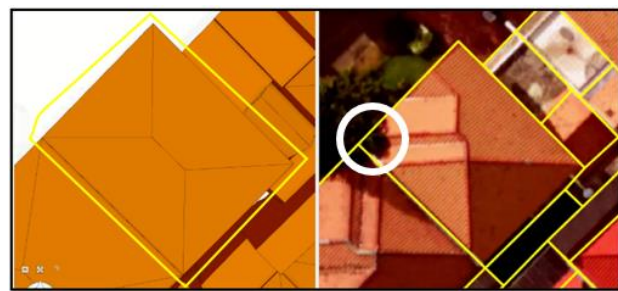


diperhatikan untuk pengembangan perangkat lunak, algoritma, maupun metodologi kedepannya. Kesalahan pertama adalah *over segmentation*. Berikut adalah contoh dari kesalahan *over segmentation*.



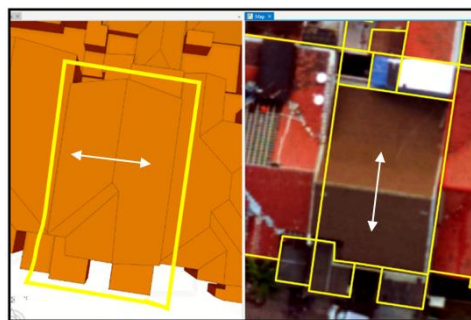
Gambar 9. Contoh kesalahan tipe *over segmentation*.

Kesalahan ini terjadi saat model yang dihasilkan tidak sesuai dengan objek asli dikarenakan terlalu detail saat melakukan segmentasi. Bentuk yang sederhana menjadi lebih kompleks karena *over segmentation* ini. Pada Gambar 7 seharusnya empat bangunan tersebut memiliki dua *roof plane*. Tetapi dalam model terbentuk tiga *roof plane* bahkan lebih karena terdapat segmen kecil (lingkaran berwarna merah) yang membuat algoritma membentuk *roof plane* lain. Solusi untuk mengatasi kesalahan ini adalah menyederhanakan segmentasi. Kesalahan kedua adalah *under segmentation*. Berikut adalah contoh *under segmentation*.



Gambar 10. Contoh kesalahan tipe *under segmentation*.

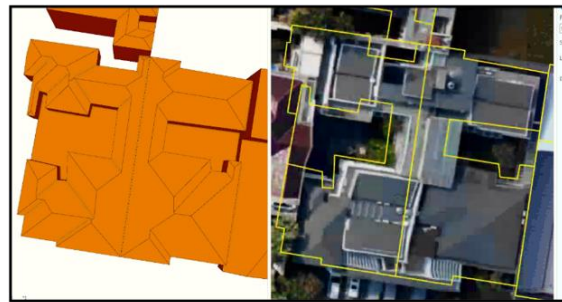
Kesalahan ini terjadi saat model yang dihasilkan tidak sesuai dengan objek asli dikarenakan melakukan generalisasi saat segmentasi. Bentuk yang kompleks menjadi sederhana karena *under segmentation* ini. Pada Gambar 8 seharusnya bangunan tersebut memiliki tujuh *roof plane*. Tetapi dalam model terbentuk hanya empat *roof plane*. Solusi untuk mengatasi kesalahan ini adalah melakukan segmentasi yang lebih detail. Tidak hanya menggambar kotak pada bangunan tersebut tetapi juga menggambar segmen yang ditunjukkan oleh lingkaran putih agar berbentuk *roof plane* yang sesuai dengan objek aslinya. Kesalahan ketiga adalah *wrong direction*. Dapat dilihat pada Gambar 14. Kesalahan ini terjadi saat model yang dihasilkan tidak sesuai dengan objek asli dikarenakan arah miring dari atapnya berbeda. Atap yang seharusnya miring dengan arah depan belakang menjadi miring dengan arah kiri kanan (lihat panah berwarna putih). Kesalahan ini hanya ditemui pada atap bertipe pelana. Sedangkan untuk limas maupun yang lain tidak ditemui kesalahan ini. Kemungkinan besar kesalahan ini disebabkan oleh algoritma perangkat lunak.



Gambar 11. Contoh kesalahan tipe *wrong direction*.



Dalam memodelkan tipe atap penting untuk mengidentifikasi *slope* dan *aspect* terlebih dahulu guna mengetahui kemiringan dan arah dari atap. Pada perangkat lunak terdapat parameter ROOFDIR (*roof direction*) yang merupakan penyederhanaan dari analisis *slope* dan *aspect*. Saat memasukkan nilai manual untuk memperbaiki bentuk atap, seharusnya model atap dapat berubah. Namun pada kesalahan *wrong direction* ini, meski sudah input nilai untuk koreksi manual model atap tetap tidak berubah. Hal ini bisa menjadi bahan evaluasi dan masukan bagi pengembang perangkat lunak untuk memperbaiki lagi algoritma pemodelan atap. Kesalahan selanjutnya adalah atap yang sangat kompleks sehingga sulit untuk dimodelkan secara general. Berikut adalah contoh kompleksitas atap.



Gambar 12. Contoh bangunan dengan atap yang sangat kompleks.

Kesalahan ini sebenarnya sama dengan *under segmentation*, hanya saja pada kesalahan ini terjadi pada bangunan yang memiliki tipe atap lebih dari satu sehingga sangat kompleks. Banyak bagian dari *roof plane* tidak termodelkan dengan baik karena kurangnya segmentasi. Cara untuk mengatasi kesalahan ini adalah dengan melakukan segmentasi ulang yang lebih detail sehingga model yang dihasilkan lebih akurat.

Uji akurasi dilakukan dalam dua jenis, yaitu uji akurasi geometri bangunan dan uji akurasi LOD. Uji akurasi geometri bangunan dilakukan dengan mengubah *file* multipatch hasil model menjadi bentuk poligon *footprint* kembali. Poligon hasil multipatch ini akan dibandingkan dengan data *footprint* bangunan yang asli dalam aspek keliling dan luasnya. Uji pertama dilakukan terhadap hasil keliling yang dihasilkan model. Semua segmen bangunan sebanyak 2.506 segmen yang terbentuk diikutsertakan dalam perhitungan akurasi ini. Nilai *root mean square error* (RMSE) akan dihitung menggunakan rumus berikut.

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

Dengan  $\sigma$  adalah standar deviasi,  $x$  adalah datanya, dan  $n$  adalah jumlah data. Perhitungan awal mendapatkan nilai RMSE 2,7 m. Hasil tersebut tidak dapat diterima karena berada di atas syarat ketelitian pemodelan LOD 2 yaitu akurasi geometri sebesar  $< 2$  m (Zheng, dkk., 2017)) sehingga perlu dilakukan perbaikan model. Hasil perhitungan setelah perbaikan model didapatkan RMSE sebesar 0,92 m. Nilai tersebut dapat diterima karena berada dibawah standar yang disyaratkan.

Uji kedua dilakukan terhadap hasil luas yang dihasilkan oleh model. dalam uji akurasi luas ini menggunakan standar nilai persentase kesalahan sebesar  $< 2\%$ . Standar yang digunakan adalah Spesifikasi Teknis Peraturan Menteri Negara Agraria (PMNA), Kepala Badan Pertanahan Nasional (BPN) Nomor 3 Tahun 1997. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung persentase kesalahan.

$$\% \text{ error} = \frac{x_{model} - x_{validasi}}{x_{validasi}} \times 100\% \quad (2)$$

Model dapat diterima jika memiliki nilai persentase kesalahan kurang dari dua persen. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan pada model kota yang dihasilkan, didapatkan nilai persentase kesalahan sebesar 0,34% . Angka ini menunjukkan bahwa model kota bisa diterima.

Uji statistik dilakukan dengan menggunakan uji  $t$  dan uji  $z$ . Uji ini dipilih berdasarkan data yang dimiliki yaitu memiliki rata-rata dan jumlah data yang ada. Jika datanya memiliki jumlah kurang dari 30 maka akan dilakukan uji  $t$ . Jika datanya memiliki jumlah lebih dari 30 maka akan dilakukan uji  $z$ . Uji ini akan diterapkan pada masing-masing perhitungan keliling dan luas tipe atap dan jenis bangunan. Level signifikansi yang digunakan adalah 0,1 dengan tingkat kepercayaan 90%. Uji statistik akan dilakukan menggunakan uji dua sisi atau *two-tail test*. Hasil yang didapatkan adalah tidak ada perbedaan signifikan pada perhitungan keliling dan luas antara poligon model dan poligon original.

Uji yang terakhir adalah uji akurasi terhadap LOD. Secara garis besar, dari 955 bangunan ada pada lokasi studi terdapat 822 bangunan yang berhasil dimodelkan dengan benar serta 133 bangunan yang gagal dimodelkan, sehingga terdapat 86,07% bangunan yang termodelkan dengan baik. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model ini dapat diterima. Namun untuk mengetahui kesalahan tiap bangunan perlu adanya pengujian lebih lanjut. Oleh karena itu dipilih 30 bangunan untuk dihitung nilai *completeness*, *correctness*, dan *quality*. Bangunan yang dipilih ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Bangunan yang dipilih untuk didetailkan kesalahannya. Terlihat bahwa pemilihan bangunan dilakukan merata diseluruh area penelitian dan juga bermacam-macam tipe bangunan.

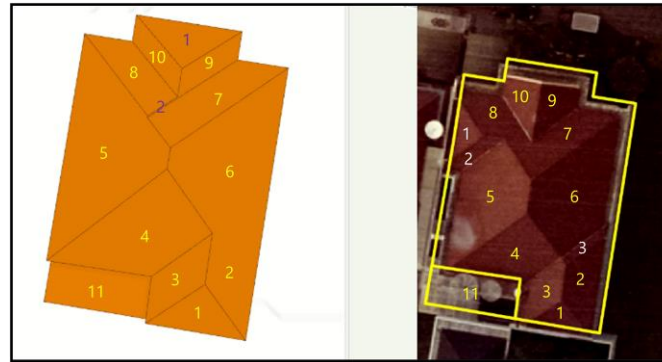
Uji ini dilakukan dengan membandingkan jumlah *roof plane* dalam model dan dalam data validasi. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *completeness*, *correctness*, dan *quality*.

$$Completeness = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$Correctness = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

$$Quality = \frac{TP}{TP + FN + FP} \quad (5)$$

TP (*True Positive*) adalah jumlah objek yang terdeteksi sebagai bangunan dalam model dan terletak pada lokasi yang sama pada data validasi. FP (*False Positive*) yang juga disebut *commission error* adalah jumlah objek yang tidak ada dalam data validasi tetapi ada dalam model. Sedangkan FN (*False Negative*) yang juga disebut *omission error* adalah jumlah objek dalam data validasi yang tidak ada dalam model (Turkseven, 2015). Gambar 14 menunjukkan cara menghitung TP, FP, dan FN pada suatu bangunan.



Gambar 14. Cara menghitung parameter untuk menghitung nilai *completeness*, *correctness*, dan *quality* pada suatu bangunan. Angka berwarna kuning menunjukkan TP, angka berwarna ungu menunjukkan FP, dan angka berwarna putih menunjukkan FN.

Berikut adalah tabel perhitungan *completeness*, *correctness*, dan *quality* dari 30 bangunan.

Tabel 4. Perhitungan *completeness*, *correctness*, dan *quality* pada 30 bangunan

No	TP	FP	FN	<i>Completeness</i>	<i>Correctness</i>	<i>Quality</i>
1	9	0	2	81,8	100,0	81,8
2	17	1	0	100,0	94,4	94,4
3	10	6	8	55,6	62,5	41,7
4	10	1	0	100,0	90,9	90,9
5	11	3	2	84,6	78,6	68,8
6	47	28	0	100,0	62,7	62,7
7	6	22	1	85,7	21,4	20,7
8	4	0	4	50,0	100,0	50,0
9	5	0	2	71,4	100,0	71,4
10	2	0	3	40,0	100,0	40,0
11	9	5	0	100,0	64,3	64,3
12	3	0	1	75,0	100,0	75,0
13	4	5	2	66,7	44,4	36,4
14	4	4	5	44,4	50,0	30,8
15	2	0	2	50,0	100,0	50,0
16	4	0	1	80,0	100,0	80,0
17	3	0	1	75,0	100,0	75,0
18	5	1	0	100,0	83,3	83,3
19	6	0	2	75,0	100,0	75,0
20	1	2	1	50,0	33,3	25,0
21	7	2	0	100,0	77,8	77,8
22	4	3	4	50,0	57,1	36,4
23	3	3	3	50,0	50,0	33,3
24	7	5	0	100,0	58,3	58,3
25	4	2	2	66,7	66,7	50,0
26	11	3	0	100,0	78,6	78,6

27	4	4	0	100,0	50,0	50,0
28	6	1	2	75,0	85,7	66,7
29	16	2	0	100,0	88,9	88,9
30	3	0	2	60,0	100,0	60,0

Dari Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa dari 30 bangunan yang gagal dimodelkan namun kesalahannya masih dapat diterima yaitu bangunan nomor 2, 4, dan 29. Nilai yang dilihat adalah kolom *quality*. Nilai tersebut memenuhi toleransi yang disyaratkan yaitu 85%. Hal ini menunjukkan bahwa jika suatu bangunan sudah gagal untuk dimodelkan, hal yang harus dilakukan adalah mendetailkan segmentasi. Metode semi otomatis cukup baik untuk memodelkan kota 3D secara keseluruhan dan memiliki ketelitian yang cukup baik. Namun tentu terdapat kesalahan-kesalahan yang berasal dari sistem seperti *wrong direction* dan perlu pengembangan lagi kedepannya. Pada tingkat LOD2, metode ini baik digunakan di pemukiman dan perumahan namun tidak cukup baik pada gedung tinggi tipe apartemen karena memiliki atap yang unik dan kompleks.

## Kesimpulan

Dari penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa model yang dihasilkan berupa 955 bangunan, 2.506 segmentasi atap, 2.866 pohon, 476 lampu jalan, dan 74 ruas jalan. Berdasarkan uji akurasi yang dilakukan, ketelitian geometri keliling yang dihasilkan sebesar 0,92 m dari 2 m. Ketelitian luas yang dihasilkan sebesar 0,34% kesalahan luas dari toleransi 2%. Sedangkan ketelitian *level of detail* (LOD) level 2 sebesar 86,07% dari toleransi 85%. Uji akurasi terhadap geometri dan tingkat LOD2 menunjukkan bahwa metode semi otomatis dapat menghasilkan model kota tiga dimensi yang cukup akurat. Penerapan *roof rule* pada bangunan di area penelitian menghasilkan lima tipe atap, yaitu pelana (*gable*), limas (*hip*), datar (*flat*), kubah (*dome*), dan mansard. Tipe atap yang dominan adalah tipe datar, pelana, dan limas. Sedangkan tipe kubah dan mansard hanya sebagai pelengkap. Bentuk atap yang dihasilkan terbatas pada pilihan yang terdapat pada perangkat lunak. Gedung tinggi jenis apartemen adalah tipe bangunan yang sulit untuk dimodelkan. Selanjutnya adalah perumahan kemudian permukiman. Tingkat kesulitan diukur berdasarkan kompleksitas atap masing-masing bangunan. Kesalahan yang terjadi dalam pemodelan berasal dari kurang atau lebihnya segmentasi atap. Hal ini bisa diatasi dengan mengulang segmentasi atap menggunakan foto udara.

Untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan dengan membuat algoritma segmentasi atap yang akurat. Selain itu bisa juga menerapkan aplikasi yang menggunakan model kota 3D seperti untuk kebencanaan dan energi terbarukan. Diharapkan penelitian ini bisa digunakan untuk mengembangkan perangkat lunak yang sudah ada dan menjadi acuan untuk penelitian terkait metode semi otomatis selanjutnya.

## Ucapan Terimakasih

Penulis Z.M.F. mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2016 – 2020. Terima kasih juga kepada Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang Kota Surabaya yang telah membantu dalam pengumpulan data. Terima kasih juga kepada ESRI Indonesia yang telah memberikan lisensi perangkat lunak dan membantu dalam pengolahan data selama penelitian.

## Daftar Pustaka

- Atmaja, A.A., Prasetyo, Y., Haniah, H. (2016). *Deteksi Objek Berbahaya dan Pemodelan 3D Jaringan Kelistrikan Menggunakan Teknologi LiDAR (Studi kasus: Koridor jaringan kelistrikan di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia)*. Jurnal Geodesi Undip 5:57-67.
- Batara, Y.D. (2012). *Pembuatan Model Tiga Dimensi (3D) Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Visualisasi Wilayah Kota*. Jurnal POROS TEKNIK 4: 14-18.
- Effendi, Z. (2017). *Gaet Investor, Surabaya Siapkan Foto Udara dan Peta Lidar*. news.detik.com/berita-jawa-timur/d-3406572/gaet-investor-surabaya-siapkan-foto-udara-dan-peta-lidar diakses pada Selasa, 25 Februari 2020.
- Open Geospatial Consortium (OGC). (2012). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*.
- Parish, Y.I.H., Muller, P. (2001). *Procedural Modeling of Cities*. Zurich: ETH Zurich.



- 
- Suwandi, L. (2017). *Memfaatkan Data 3D untuk Perencanaan Kota*. <https://medium.com/@luisuwandi/memanfaatkan-data-3d-untuk-perencanaan-kota-60474446e3bf>, diakses pada 3 Januari 2020.
- Turkseven, S. (2015). *3D Modeling with City Engine*. Turki: Istanbul Technical University. DOI: 10.13140/RG.2.2.30548.30085
- Zheng, Y., Weng, Q., dan Zheng, Y. (2017). "A Hybrid Approach for Three-Dimensional Building Reconstruction in Indianapolis from LiDAR Data". *Remote Sensing Journal* 9: 310.



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).