



PEMODELAN 3D VEGETASI PADA LEVEL OF DETAIL 2 DALAM RUANG LINGKUP RUANG TERBUKA HIJAU MENGGUNAKAN METODE *SPHERICAL FITTING* DAN *ELLIPSOID FITTING*

Kamal Nur Fauzan, Deni Suwardhi

Kelompok Keahlian Penginderaan Jauh dan Sains Informasi Geografis, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132 Telp./Faks: (022) 2500935, e-mail: kamal.fauzan55@gmail.com deni@gd.itb.ac.id

ABSTRAK

Pemodelan 3D merupakan salah satu aspek yang penting dalam perencanaan dan analisis suatu wilayah. Model 3D wilayah urban dapat digunakan dalam berbagai aplikasi (Yao, dkk., 2018). Contoh dari aplikasi penggunaan model 3D pada suatu wilayah adalah estimasi perambatan kebisingan, kadaster 3D, dan manajemen fasilitas. Model 3D pada suatu wilayah mencakup objek bangunan, jalan, vegetasi, badan air, dan tanah. Objek-objek dari model 3D dapat disimpan dalam suatu model data CityGML. CityGML adalah model data berbasis XML yang digunakan untuk mendeskripsikan geometri dan atribut dari objek 3D. Pada saat ini pemodelan 3D beserta aplikasinya banyak berfokus pada objek bangunan. Pemodelan 3D vegetasi hanya digunakan pada ruang lingkup visualisasi. Pemodelan 3D vegetasi merupakan hal yang penting untuk dilakukan apabila analisis wilayah akan dilakukan secara komprehensif. Tingkatan *Level of Detail* (LOD) untuk objek vegetasi belum terdefinisi secara jelas dalam standar CityGML 2.0. Perbedaan tingkatan LOD pada pohon mempengaruhi hasil dari analisis yang dilakukan. Sebuah model 3D dapat diperoleh dari berbagai teknik akuisisi. Pada penelitian ini, sumber data yang digunakan adalah data awan titik hasil akuisisi *Light Detection and Ranging* (LiDAR) dan fotogrametri di wilayah Kampus ITB Jatinangor. Awan titik dari vegetasi yang dihasilkan dari hasil akuisisi LiDAR dan fotogrametri dimodelkan dengan menggunakan algoritma *spherical fitting* dan *ellipsoid fitting* secara otomatis dan menghasilkan model vegetasi pada LOD 2.A. Hasil pemodelan dengan menggunakan persamaan ellipsoid memiliki nilai R^2 pada rentang 0.05 – 0.3. Hasil pemodelan disimpan dalam format CityGML yang selanjutnya dapat digunakan untuk berbagai analisis.

Kata kunci : *Model 3D, Vegetasi, Level of Detail, Spherical Fitting, Ellipsoid Fitting, CityGML*

ABSTRACT

3D modeling is one of the important aspects in planning and analyzing an area. 3D models of urban areas can be used in various applications (Yao et al., 2018). Examples of the application of using 3D models in an area are noise propagation estimation, 3D cadastral, and facility management. A 3D model of an area includes buildings, roads, vegetation, bodies of water, and soil. Objects from the 3D model can be stored in a CityGML data model. CityGML is an XML-based data model used to describe the geometry and attributes of 3D objects. At this time 3D modeling and its applications mostly focus on building objects. 3D modeling of vegetation is only used in the scope of visualization. 3D modeling of vegetation is an important thing to do if a comprehensive area analysis is to be carried out. The Level of Detail (LOD) for vegetation objects is not yet clearly defined in the CityGML 2.0 standard. Differences in LOD levels in the tree affect the results of the analysis carried out. A 3D model can be obtained from various acquisition techniques. In this study, the data sources used were point cloud data from the acquisition of Light Detection and Ranging (LiDAR) and photogrammetry in the ITB Jatinangor Campus area. Point clouds from vegetation resulting from the acquisition of LiDAR and photogrammetry are modeled using spherical fitting and ellipsoid fitting method automatically and produce a vegetation model at LOD 2.A. The modeling results using the ellipsoid equation have an R^2 value in the range of 0.05 – 0.3. The modeling results are saved in CityGML format which can then be used for various analyses.

Keywords : *3D Model, Vegetation, Level of Detail, Spherical Fitting, Ellipsoid Fitting, CityGML*

1. PENDAHULUAN

Perubahan lingkungan global merupakan isu yang saat ini sedang terjadi dan banyak dibahas dari berbagai sudut pandang. Menurut Vitousek (1994) terdapat tiga

komponen utama yang mempengaruhi perubahan lingkungan global yaitu penambahan konsentrasi karbondioksida pada atmosfer, alterasi siklus nitrogen global, dan perubahan tutupan dan guna lahan. Penambahan konsentrasi karbondioksida pada atmosfer

merupakan permasalahan yang banyak terjadi pada wilayah perkotaan. Pertambahan penduduk yang sangat pesat dan alih fungsi tata guna lahan Ruang Terbuka Hijau (RTH) menjadi tata guna lahan yang lebih ekonomis seperti permukiman dan perkantoran menjadi faktor utama dalam penambahan konsentrasi karbon dioksida pada atmosfer. Alih fungsi tata guna lahan tersebut menyebabkan lingkungan perkotaan hanya berkembang secara ekonomi, namun menurun secara ekologi. Padahal keseimbangan lingkungan perkotaan secara ekologi sama pentingnya dengan perkembangan nilai ekonomi kawasan perkotaan. Pembangunan yang berlebihan pada wilayah kota berakibat pada berkurangnya RTH dan menimbulkan permasalahan lingkungan seperti pemanasan wilayah kota dan polusi udara.

Salah satu solusi dari permasalahan pemanasan wilayah kota dan polusi udara yang terjadi di wilayah perkotaan adalah keberadaan dan pengembangan RTH. RTH dalam lingkungan pembangunan secara global saat ini diperlukan demi menjaga keseimbangan kualitas lingkungan hidup suatu daerah khususnya di daerah perkotaan yang memiliki berbagai permasalahan berkaitan dengan masalah ruang yang sedemikian kompleks. Berdasarkan aturan yang terkandung pada pasal 29 ayat 2 Undang-undang nomor 26 tahun 2007 tentang Penataan Ruang, disebutkan bahwa proporsi RTH pada suatu wilayah perkotaan paling sedikit 30 persen dari luas total wilayah kota. Hutan kota merupakan salah satu unsur dari Ruang Terbuka Hijau. Pelestarian dan pengembangan ruang terbuka hijau merupakan salah satu upaya strategis dalam mengurangi pencemaran lingkungan kota, karena pohon secara alami dapat menyerap gas CO yang disimpan dalam bentuk senyawa karbon dan dikeluarkan dalam bentuk oksigen, sekaligus menyerap panas sehingga menurunkan suhu udara sekitar. (Lubis dkk., 2013).

Salah satu metode untuk melakukan manajemen dari pengelolaan ruang terbuka hijau adalah dengan melakukan pemodelan 3D. Pemodelan 3D merupakan salah satu aspek yang penting dalam perencanaan dan analisis suatu wilayah urban. Model 3D pada suatu wilayah urban mencakup objek bangunan, jalan, vegetasi, badan air, dan tanah. Model 3D wilayah urban dapat digunakan dalam berbagai aplikasi (Yao, dkk., 2018). Biljecki membagi aplikasi dari model 3D menjadi dua kelompok yaitu aplikasi yang berdasarkan pada visualisasi dan aplikasi yang tidak berdasarkan pada visualisasi. Contoh dari kelompok aplikasi yang berdasarkan visualisasi adalah estimasi perambatan kebisingan pada suatu wilayah, kadaster 3D, dan manajemen fasilitas. Sedangkan contoh dari kelompok aplikasi yang tidak berdasarkan pada visualisasi adalah estimasi radiasi surya, estimasi kebutuhan energi pada suatu wilayah, dan klasifikasi dari jenis bangunan (Biljecki dkk., 2015).

Pada saat ini pemodelan 3D beserta aplikasinya banyak berfokus pada objek bangunan. Pemodelan 3D vegetasi hanya digunakan pada ruang lingkup

visualisasi. Pemodelan 3D vegetasi merupakan hal yang penting untuk dilakukan apabila analisis wilayah urban akan dilakukan secara komprehensif. Tingkatan Level of Detail (LOD) untuk objek vegetasi belum terdefinisi secara jelas dalam standar CityGML 2.0. Perbedaan tingkatan LOD pada pohon mempengaruhi hasil dari analisis yang dilakukan. Sebagai contoh, Ortega melakukan analisis objek 3D vegetasi untuk memperkirakan intensitas bayangan yang ada di sekitar pohon. Objek vegetasi dengan LOD yang lebih tinggi memberikan hasil yang lebih baik atau mendekati keadaan yang sebenarnya (Ortega, 2018). Hal tersebut menunjukkan bahwa pemodelan vegetasi pada tingkatan LOD yang tinggi untuk wilayah yang luas diperlukan untuk melakukan analisis wilayah urban yang lebih baik.

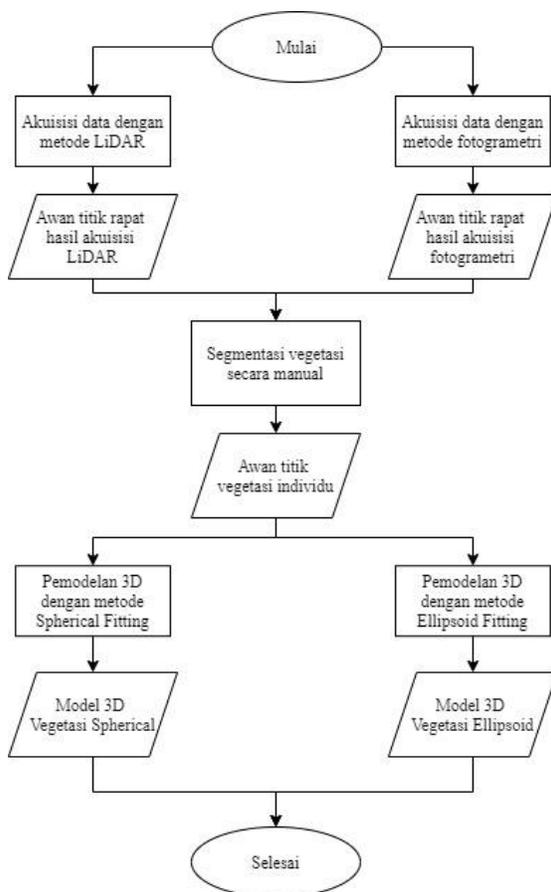
Sebuah model 3D dapat diperoleh dari berbagai teknik akuisisi, sebagai contoh fotogrametri dan pemindaian laser, ekstrusi dari tapak 2D, *Synthetic Aperture Radar* (SAR), gambar dan model arsitektur, dan pemodelan prosedural (Biljecki, 2015). Pada penelitian ini, sumber data yang akan digunakan adalah data hasil akuisisi *Light Detection and Ranging* (LiDAR) dan fotogrametri. LiDAR adalah perangkat atau sistem yang sering digunakan pada aktivitas-aktivitas survei pengukuran atau pengamatan yang menggunakan teknik atau metode penginderaan jauh aktif dengan cahaya dalam bentuk pulsa-pulsa laser untuk mengukur jarak terhadap objek-objek permukaan bumi dengan kerapatan dan akurasi yang tinggi. LiDAR adalah salah satu teknologi penginderaan jauh yang sangat berpotensi untuk membantu banyak bidang atau aplikasi terkait penyediaan basis data geospasial (Prahasta, 2015). Fotogrametri adalah seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi energi elektromagnetik yang terekam (Wolf, 1983). Data yang dihasilkan dari akuisisi lapangan tersebut berupa data awan titik rapat. Data awan titik vegetasi yang dihasilkan metode LiDAR akan dibandingkan dengan data awan titik yang dihasilkan oleh metode fotogrametri. Berdasarkan asumsi awal, pemodelan 3D vegetasi menggunakan data awan titik hasil akuisisi metode LiDAR akan lebih baik dibandingkan dengan data awan titik yang dihasilkan oleh metode fotogrametri karena data awan titik yang dihasilkan oleh LiDAR mencakup batang pohon dan bagian bawah dari kanopi pohon.

Pemodelan vegetasi dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode. Salah satu metode yang telah dilakukan pada saat ini adalah dengan melakukan segmentasi pada setiap objek pohon tunggal sehingga didapatkan informasi mengenai posisi pohon, tinggi pohon, dan diameter dari kanopi (Trisyanti, 2019). Pemodelan pohon dibuat berdasarkan informasi yang didapat. Pemodelan tersebut dilakukan secara implisit. Pada makalah ini akan dilakukan pemodelan dari

vegetasi secara eksplisit dengan menggunakan metode *spherical fitting* dan *ellipsoidal fitting*.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada makalah ini digambarkan secara sederhana pada **Gambar 1**. Tahapan dimulai dengan melakukan akuisisi data lapangan dengan dua metode yaitu metode fotogrametri dan LiDAR. Selanjutnya, dilakukan segmentasi terhadap awan titik tersebut secara manual. Segmentasi dilakukan untuk memisahkan objek-objek vegetasi dengan objek lainnya. Awan titik vegetasi hasil segmentasi kemudian dilakukan pemodelan 3D untuk mendapatkan model solid dari vegetasi. Perhitungan geometri pohon seperti batang dan mahkota pohon lebih efektif dilakukan pada bentuk solid. Selain itu, model 3D yang telah dibuat, dimasukkan ke dalam suatu basis data 3D ruang terbuka hijau yang terdiri dari data geometrik model 3D dan juga data semantik dari vegetasi.

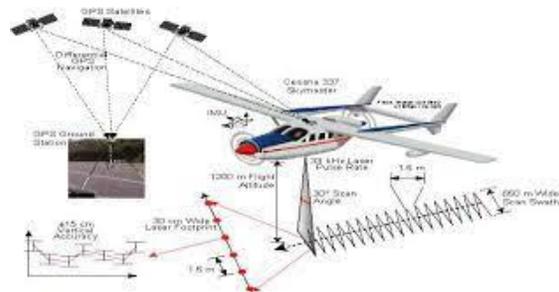


Gambar 1. Alur metodologi penelitian

2.1 Akuisisi Data

Akuisisi data adalah tahapan pertama untuk mendapatkan data geometrik dan semantik dari vegetasi. Pada saat ini, metode akuisisi data sedang berkembang sangat pesat. Metode akuisisi data yang dapat digunakan untuk akuisisi data vegetasi pada hutan kota adalah dengan metode optik seperti fotogrametri dan metode laser seperti menggunakan *Light Detection and Ranging* (LiDAR), *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), dan *Handheld Laser Scanner* (HLS). Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode fotogrametri dan metode LiDAR.

LiDAR adalah sebuah teknologi peraba jarak jauh optik yang mengukur properti cahaya yang tersebar untuk menemukan jarak dan/atau informasi lain dari target yang jauh. Metode untuk menentukan jarak menuju objek atau permukaan adalah dengan menggunakan pulsa laser. LiDAR adalah salah satu teknik penginderaan jauh dengan menggunakan sensor aktif. Kelebihan dari sensor LiDAR adalah dapat mencari celah terkecil diantara kanopi dan memantul dari mulai pucuk pohon, mahkota, sampai permukaan tanah merupakan terobosan bermanfaat untuk pemetaan struktur vertikal hutan, estimasi stok karbon dan merupakan kemampuan yang diperlukan di dalam manajemen kehutanan. Prinsip dari akuisisi data dengan menggunakan metode LiDAR dapat dilihat pada **Gambar 2**.

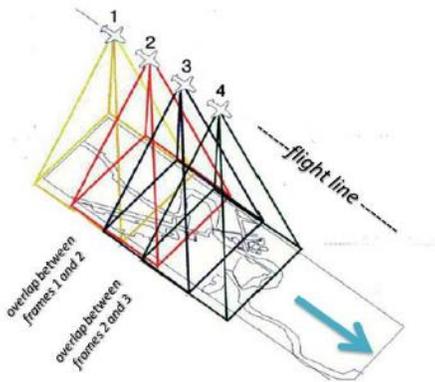


Gambar 2. Prinsip akuisisi data dengan menggunakan metode LiDAR

Metode lain yang dapat digunakan adalah metode fotogrametri. Pada metode fotogrametri terdapat dua metode akuisisi yaitu metode fotogrametri vertikal dan metode fotogrametri oblik. Foto udara vertikal meliputi foto udara tegak sempurna (sumbu kamera tegak lurus dengan permukaan bumi) dan foto senget (*tilt photograph*) sedangkan foto udara miring meliputi foto udara miring (*normal oblique*) dan foto udara miring

sekali (*high oblique*). Penting untuk diperhatikan bahwa pada foto senget dengan kemiringan sumbu kamera $< 3^\circ$ melalui proses tertentu masih dapat dikoreksi sehingga mendekati foto udara tegak sempurna. Dengan metode ini, awan titik yang dihasilkan oleh metode fotogrametri menjadi lebih lengkap. Prinsip akuisisi data dengan menggunakan fotogrametri dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Foto udara menghasilkan data raster seperti orthofoto sedangkan LiDAR menghasilkan data titik yang biasa disebut awan titik. Data foto udara dapat membentuk data awan titik, namun dengan kualitas dan intensitas yang lebih rendah dibandingkan awan titik yang dihasilkan oleh LiDAR.



Gambar 3. Prinsip akuisisi data dengan menggunakan metode fotogrametri

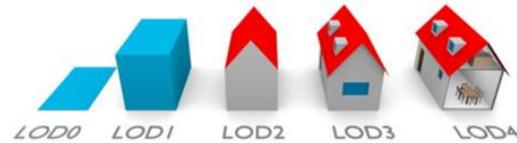
Pada proses akuisisi data, ketinggian terbang yang digunakan adalah 100-150 m. Hal ini dilakukan agar *Ground Sampling Distance* (GSD) yang dihasilkan memiliki nilai dibawah 5 cm dan kerapatan awan titik sebesar 80 titik/m². Ukuran GSD dan kerapatan awan titik akan berpengaruh ke proses segmentasi yang dilakukan. Semakin baik nilai resolusi spasial dan semakin rapat awan titik yang digunakan, maka proses segmentasi yang dihasilkan akan semakin baik.

2.1 Pemodelan 3D

Pemodelan 3D merupakan salah satu aspek yang penting dalam perencanaan dan analisis suatu wilayah. Model 3D pada suatu wilayah mencakup objek bangunan, jalan, vegetasi, badan air, dan tanah. Model 3D wilayah urban dapat digunakan dalam berbagai aplikasi (Yao et al., 2018).

Objek-objek dari model 3D dari wilayah urban dapat disimpan dalam suatu model data CityGML. CityGML adalah model data berbasis XML yang digunakan untuk mendeskripsikan geometri dan atribut

dari objek 3D. Selain itu CityGML mendeskripsikan hubungan dan struktur hirarki dari suatu objek 3D dalam lima tingkatan Level of Detail (LOD). LOD merupakan istilah yang digunakan untuk mendefinisikan tingkat kedetilan suatu pemodelan 3D dan memiliki implikasi dalam penggunaan untuk aplikasi tertentu (Biljecki dkk., 2014). Dalam pendefinisian objek bangunan, LOD 0 merupakan model 2.5D dari bangunan berupa poligon tapak yang memiliki atribut tinggi. LOD 0 bisa juga memiliki model 2D dari atap bangunan. LOD 1 adalah hasil ekstrusi vertikal dari LOD 0 yang merupakan model 3D dengan detail paling rendah. LOD 2 merupakan LOD 1 ditambahkan dengan model atap dari bangunan. LOD 3 merupakan LOD 2 ditambah dengan fitur-fitur arsitektur seperti bukaan yang ada pada bangunan. Bukaan yang dimaksud adalah pintu dan jendela. LOD 4 merupakan model 3D paling detail yang mencakup interior dari bangunan (Ohori dkk., 2018). Visualisasi dari Level of Detail pada satu bangunan dari LOD0 sampai dengan LOD4 pada format CityGML dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Visualisasi dari Level of Detail pada satu bangunan dari LOD0 sampai dengan LOD4 pada format CityGML (Biljecki dkk., 2014)

Pada pemodelan objek vegetasi, Ortega-Cordova pada tahun 2018 melakukan pendefinisian baru dari LOD vegetasi. Kelompok LOD dibagi menjadi 4 kelompok dengan total 16 jenis LOD. Visualisasi dari Level of Detail pada vegetasi dari LOD0.A sampai dengan LOD3.D pada format CityGML dapat dilihat pada **Gambar 5**.

	LOD _x .A	LOD _x .B	LOD _x .C	LOD _x .D
LOD0.x	LOD0.A • or •	LOD0.B ●	LOD0.C ~	
LOD1.x	LOD1.A ■	LOD1.B ■	LOD1.C ■	LOD1.D ■
LOD2.x	LOD2.A ■	LOD2.B ■	LOD2.C ■	LOD2.D ■ Separate crown
LOD3.x	LOD3.A ■	LOD3.B ■	LOD3.C ■	LOD3.D ■

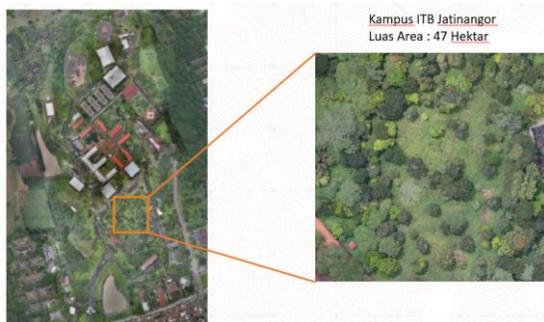
Gambar 5. Visualisasi dari *Level of Detail* pada vegetasi dari LOD0.A sampai dengan LOD3.D pada format CityGML (Ortega-Cordova, 2018)

Pemodelan vegetasi dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode. Salah satu metode yang telah dilakukan pada saat ini adalah dengan melakukan segmentasi pada setiap objek pohon tunggal sehingga didapatkan informasi mengenai posisi pohon, tinggi pohon, dan diameter dari kanopi (Trisyanti, 2019). Pemodelan pohon dibuat berdasarkan informasi yang didapat secara implisit. Metode lain yang dapat digunakan adalah pemodelan secara eksplisit dengan menggunakan metode *spherical fitting* dan *ellipsoidal fitting*.

Metode *spherical fitting* menggunakan prinsip *least square* untuk mencari nilai optimal dari titik pusat awan titik dan radius dari bola. Metode *ellipsoid fitting* menggunakan prinsip *least square* untuk mencari nilai optimal dari titik pusat awan titik dan parameter pengepengan dari ellipsoid.

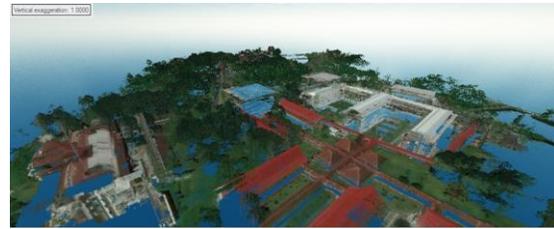
3. DATA DAN RUANG LINGKUP

Penelitian dilaksanakan di Kampus ITB Jatiningor yang memiliki luas area sebesar 47 hektar. Kampus ITB Jatiningor dipilih karena terdapat vegetasi yang beragam dan juga dapat dikategorikan sebagai Ruang Terbuka Hijau (RTH). Pemodelan 3D dilakukan pada salah satu bagian kecil yang ditandai pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Kampus ITB Jatiningor sebagai ruang lingkup penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data awan titik yang dihasilkan dari akuisisi data LiDAR dan fotogrametri. Awan titik yang dihasilkan oleh metode LiDAR berjumlah 110 juta titik sedangkan awan titik yang dihasilkan oleh metode fotogrametri berjumlah 10.5 juta titik. Data awan titik yang dihasilkan oleh LiDAR dan fotogrametri dapat dilihat pada **Gambar 7**.



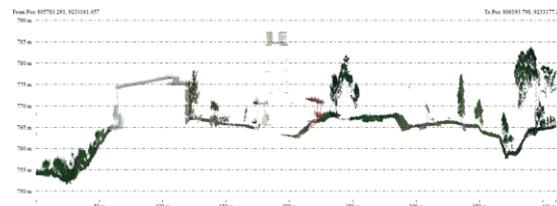
(a)



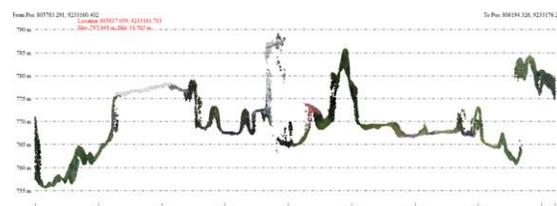
(b)

Gambar 7. Awan titik yang dihasilkan oleh metode akuisisi (a) LiDAR dan (b) fotogrametri

Karakteristik dari awan titik yang dihasilkan oleh metode akuisisi LiDAR dan fotogrametri dapat terlihat dari penampang melintang. Pada data awan titik LiDAR, bentuk vegetasi dapat terlihat secara jelas, berbeda dengan awan titik fotogrametri yang hanya berupa permukaan dari vegetasi. Penampang melintang dari awan titik hasil akuisisi data LiDAR dan fotogrametri dapat dilihat pada **Gambar 8**.



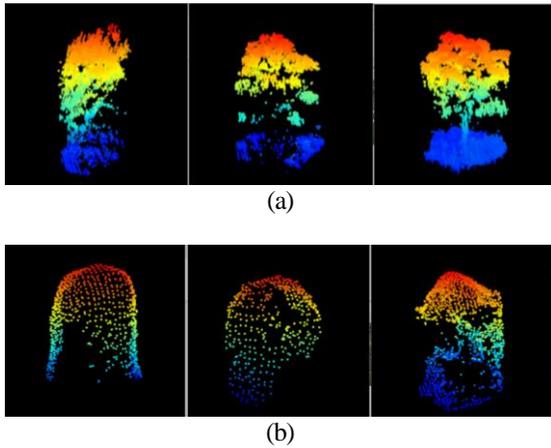
(a)



(b)

Gambar 8. Penampang melintang dari awan titik yang dihasilkan oleh metode akuisisi (a) LiDAR dan (b) fotogrametri

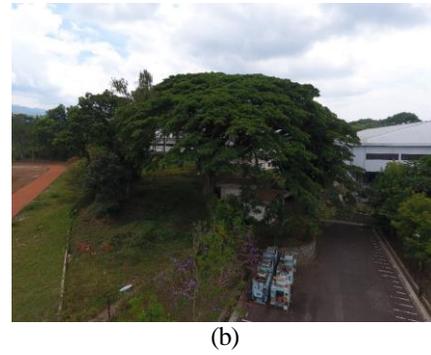
Data awan titik kemudian dilakukan segmentasi secara manual dengan cara melakukan digitasi pada data orthofoto yang ada. Hasil segmentasi dari awan titik vegetasi dapat dilihat pada **Gambar 9**.



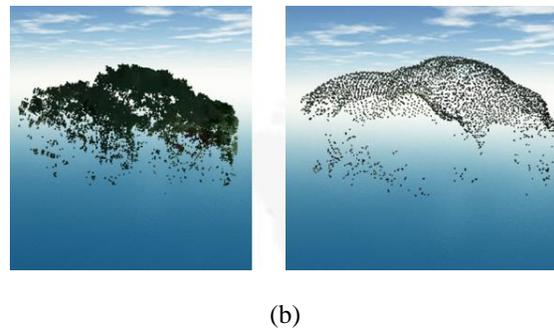
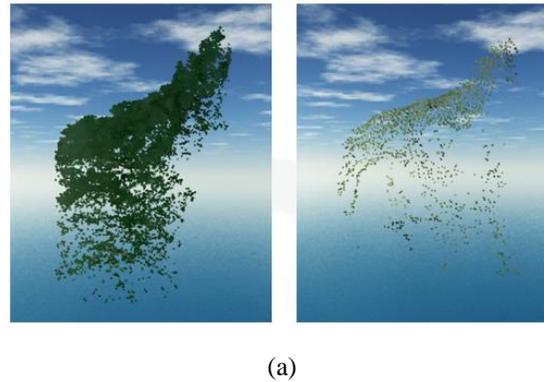
Gambar 9. Awan titik vegetasi hasil segmentasi manual yang dihasilkan oleh metode akuisisi (a) LiDAR dan (b) fotogrametri

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, terdapat dua sampel pohon yang dilakukan pemodelan 3D. Kedua sampel pohon tersebut memiliki karakteristik yang berbeda. Sampel pohon yang pertama memiliki karakteristik lebat ke arah vertikal sedangkan sampel pohon yang kedua memiliki karakteristik lebat ke arah horizontal. Penampakan pohon sampel pertama dan sampel kedua dapat dilihat pada **Gambar 10**. Awan titik dari sampel pohon pertama dan sampel pohon kedua dapat dilihat pada **Gambar 11**.



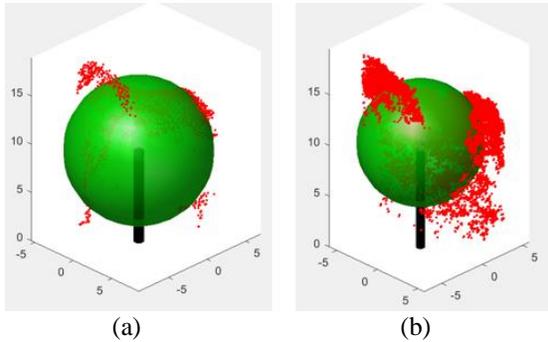
Gambar 10. Foto dari (a) sampel pohon pertama dan (b) sampel pohon kedua



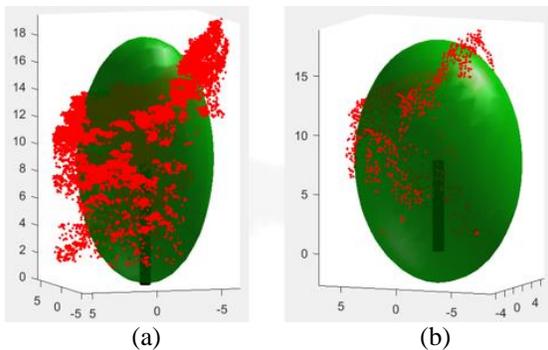
Gambar 11. Awan titik vegetasi hasil segmentasi manual pada (a) sampel pohon pertama dan (b) sampel pohon kedua

Awan titik hasil segmentasi kemudian dilakukan pemodelan 3D pada perangkat lunak MATLAB. Model 3D yang dihasilkan disimpan dalam format *surface*. Format *surface* tersebut disimpan dalam tabel *faces* dan *vertices*. Nilai *goodness of fitting* (R^2) kemudian dihitung untuk melihat kualitas hasil pemodelan yang dilakukan. Pemodelan dengan menggunakan metode *spherical fitting* pada data LiDAR menghasilkan nilai R^2 sebesar -0.0055 sedangkan pada data fotogrametri menghasilkan nilai R^2 sebesar 0.0042. Pemodelan dengan menggunakan *ellipsoid fitting* pada data LiDAR menghasilkan nilai R^2 sebesar 0.0606 sedangkan pada

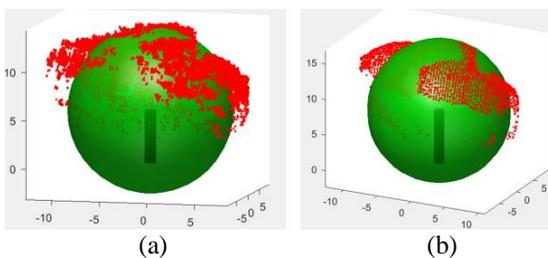
data fotogrametri nilai R^2 yang dihasilkan adalah sebesar 0.2636. Hasil pemodelan 3D dari kedua sampel pohon dengan menggunakan metode *spherical fitting* dan *ellipsoid fitting* dapat dilihat pada **Gambar 12** sampai dengan **Gambar 15**.



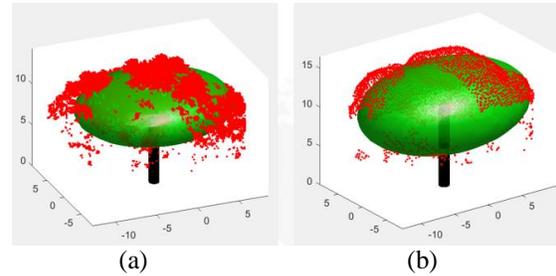
Gambar 12. Hasil pemodelan dengan menggunakan metode *spherical fitting* pada sampel pohon pertama pada awan titik (a) fotogrametri dan (b) LiDAR



Gambar 13. Hasil pemodelan dengan menggunakan metode *ellipsoid fitting* pada sampel pohon pertama pada awan titik (a) fotogrametri dan (b) LiDAR

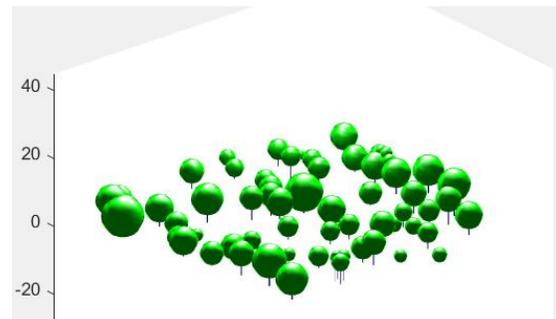


Gambar 14. Hasil pemodelan dengan menggunakan metode *spherical fitting* pada sampel pohon kedua pada awan titik (a) fotogrametri dan (b) LiDAR

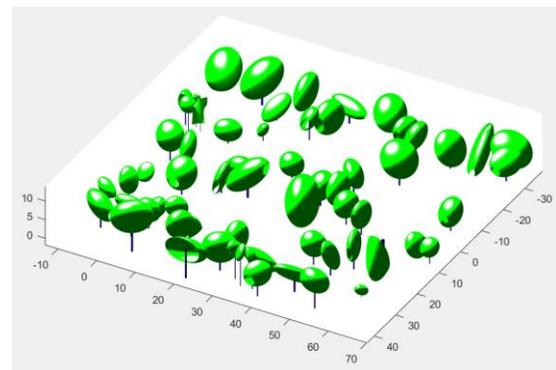


Gambar 15. Hasil pemodelan dengan menggunakan metode *ellipsoid fitting* pada sampel pohon kedua pada awan titik (a) fotogrametri dan (b) LiDAR

Pemodelan vegetasi juga dilakukan pada *Area of Interest* (AoI). Pada AoI tersebut terdapat 64 pohon. Hasil pemodelan pohon pada wilayah AoI dengan menggunakan metode *spherical fitting* dan *ellipsoid fitting* dapat dilihat pada **Gambar 16** dan **Gambar 17**.



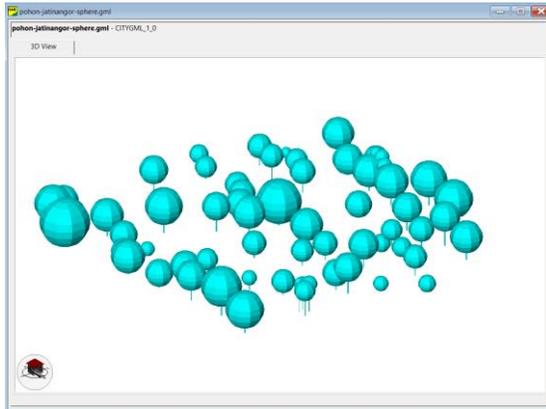
Gambar 16. Hasil pemodelan vegetasi pada wilayah AoI dengan menggunakan metode *spherical fitting*



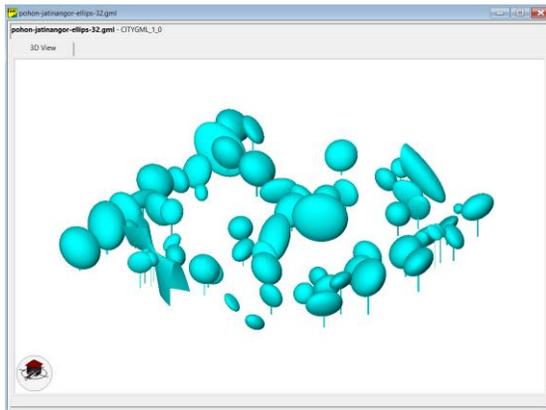
Gambar 17. Hasil pemodelan vegetasi pada wilayah AoI dengan menggunakan metode *ellipsoid fitting*

Hasil pemodelan 3D dari vegetasi pada wilayah AoI kemudian diubah menjadi format CityGML. Format CityGML tersebut dapat dibuka pada perangkat lunak FZK Viewer. Hasil pemodelan 3D pada format

CityGML dapat dilihat pada **Gambar 18** dan **Gambar 19**.



Gambar 18. Hasil pemodelan vegetasi pada wilayah AoI dengan menggunakan metode *spherical fitting* dalam format CityGML



Gambar 19. Hasil pemodelan vegetasi pada wilayah AoI dengan menggunakan metode *ellipsoid fitting* pada format CityGML

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini, akuisisi data dilakukan dengan menggunakan metode fotogrametri dan LiDAR. Data hasil akuisisi LiDAR menghasilkan lebih banyak awan titik dan juga membentuk vegetasi dengan visualisasi yang lebih jelas dibandingkan foto udara. Pemodelan 3D untuk vegetasi dapat dilakukan pada LOD2.A dengan menggunakan algoritma *spherical fitting* dan *ellipsoid fitting*. Hasil pemodelan yang dihasilkan oleh LiDAR lebih baik dibandingkan dengan fotogrametri untuk kedua metode. Hasil pemodelan dengan menggunakan algoritma *spherical fitting* dan *ellipsoid fitting* memiliki nilai R^2 pada rentang 0.05 – 0.3. Hasil pemodelan disimpan dalam format CityGML yang selanjutnya dapat digunakan untuk berbagai analisis.

ACUAN REFERENSI

- Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J., & Zhao, J. (2014). Formalisation of the level of detail in 3D city modelling. *Computers, environment and urban systems*, 48, 1-15.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889.
- Lubis, S. H., Arifin, H. S., & Samsuodin, I. (2013). Analisis cadangan karbon pohon pada lanskap hutan kota di DKI Jakarta. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 10(1), 1-20.
- Ohuri, K. A., Biljecki, F., Kumar, K., Ledoux, H., & Stoter, J. (2018). Modeling cities and landscapes in 3D with CityGML. In *Building information modeling* (pp. 199-215). Springer, Cham.
- Ortega-Córdova, L. (2018). Urban Vegetation Modeling 3D Levels of Detail.
- Prahasta, E. (2015). *Pengolahan Data Sistem LiDAR*. Bandung: Informatika.
- Trisyanti, S. W., Suwardhi, D., & Harto, A. B. (2019). 3D landscape recording and modeling of individual trees. *HAYATI Journal of Biosciences*, 26(4), 185-185.
- Vitousek, P. M. (1994). Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*, 75(7), 1861-1876.
- Wolf, P. R. (1983). *Elements of photogrammetry; with air photointerpretation and remote sensing* (No. 526.982 W6 1983).
- Yao, Z., Nagel, C., Kunde, F., Hudra, G., Willkomm, P., Donaubaue, A., ... & Kolbe, T. H. (2018). 3DCityDB-a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on CityGML. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1), 1-26.