

KAJIAN KEHANDALAN HASIL EKSTRAKSI BANGUNAN SECARA OTOMATIS MENGGUNAKAN DATA ORTOFOTO DAN LiDAR DI KOTA PONTIANAK

Handoko Dwi Julian¹, Harintaka²

¹ Mahasiswa Magister Teknik Geomatika, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika 2, Mlati, Sleman, Yogyakarta -55281

² Dosen Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
Jl. Grafika 2, Mlati, Sleman, Yogyakarta -55281, e-mail: harintaka@ugm.ac.id

(Diterima 17 Mei 2019, Disetujui 18 Juli 2019)

ABSTRAK

Strategi dalam melakukan klasifikasi berbasis objek terutama di wilayah perkotaan dalam beberapa dekade ini dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode dan melibatkan beberapa data selama proses klasifikasi berlangsung. Beberapa penelitian hampir sebagian besar hanya menggunakan data citra foto udara saja dalam melakukan ekstraksi objek bangunan namun ekstraksi objek bangunan terutama di wilayah perkotaan jika hanya memanfaatkan data ortofoto, dianggap belum optimal diimplementasikan pada klasifikasi berbasis objek. Kajian dalam melakukan ekstraksi bangunan tidak hanya dilakukan dengan memanfaatkan data foto udara namun juga dapat memanfaatkan data pada LiDAR seperti nilai ketinggian dan nilai intensitas pada LiDAR. Nilai ketinggian dan nilai intensitas LiDAR yang diekstraksi dari data *point cloud* dijadikan sebagai nilai ambang batas selama proses klasifikasi berlangsung. Ambang batas tiap kelas nilai intensitas LiDAR yang diekstrak dari *point cloud* juga diterapkan selama proses klasifikasi berlangsung. Data *point cloud* LiDAR khususnya nilai intensitas LiDAR digunakan untuk memaksimalkan hasil klasifikasi selama proses klasifikasi berjalan sehingga menghasilkan hasil yang optimal. Berdasarkan dari penelitian, hasil ekstraksi bangunan secara otomatis yang dibandingkan dengan hasil deliniasi manual (*onscreen digitization*) menghasilkan akurasi 94,93 %. Hasil ekstraksi objek bangunan menunjukkan akurasi yang baik pada bangunan yang memiliki tingkat kerapatan yang tinggi.

Kata kunci : *Segmentasi multiresolusi, Klasifikasi berbasis objek, Threshold, Point Cloud LiDAR, Intensitas LiDAR.*

ABSTRACT

The strategy in carrying out object-based classification especially in urban areas in these decades can be done by using various methods and involving several data during the classification process. Some studies mostly only use aerial photo image data in extracting building objects, but extraction of building objects, especially in urban areas if only using orthophoto data, is considered not optimal to be implemented in object-based classification. The study on building extraction is not only done by utilizing aerial photo data but also can utilize LiDAR data such as elevation values and intensity values in LiDAR. Elevation values and LiDAR intensity values extracted from point cloud data serve as threshold values during the classification process. The threshold for each class of LiDAR intensity values extracted from point cloud is also applied during the classification process. LiDAR point cloud data, especially the LiDAR intensity value, is used to maximize the classification results during the classification process so that it produces optimal results. Based on the research, the results of building extraction automatically compared to the results of manual delineation (onscreen digitization) resulted in an accuracy of 94.93%. The result of building object extraction shows good accuracy in buildings that have a high density.

Keywords : *Multiresolution segmentation, object-based classification, Threshold, LiDAR Point Cloud, LiDAR intensity.*

1. PENDAHULUAN

Penginderaan jauh merupakan teknik atau cara untuk mendapatkan data dari permukaan bumi yang dilakukan tanpa harus kontak langsung dengan permukaan bumi. Dalam perkembangan selanjutnya, penginderaan jauh sering diposisikan sebagai suatu ilmu. Sensor penginderaan jauh

mendapatkan informasi tentang objek dari jarak jauh. Informasi yang didapatkan ini berasal dari sejumlah energi yang datang dari objek dan diterima oleh sensor. Energi terekam oleh sensor satelit dengan nilai yang bervariasi antar satu objek dengan objek lainnya ataupun pada sebuah objek namun dengan kondisi yang berbeda. Energi merupakan unsur yang sangat penting sebagai penghantar

informasi dalam penginderaan jauh (Gorte, Pohl, dan Reeves 2004). Tanpa adanya energi ini maka informasi tidak akan dapat diperoleh oleh sensor satelit. Dengan demikian keberadaan energi yang masuk ke sensor adalah hal pokok dari perolehan informasi tentang objek di muka bumi.

Airborne Light Detection and Ranging (LiDAR) adalah sistem pemprofilan dan pemindaian laser untuk aplikasi batimetri dan topografi yang muncul secara komersial pada pertengahan 1990-an dimana NASA memainkan peran besar dalam merintis dan mengembangkan teknologi yang diperlukan melalui kegiatannya dalam pemetaan topografi Arktik dari tahun 1960-an dan seterusnya (Yan dan Shaker 2009). LiDAR dapat memperoleh data vertikal dan horisontal yang sangat tepat dan akurat (± 30 cm) (Brennan dan Webster 2006). Data akurat yang tinggi ini digunakan untuk menghasilkan elevasi digital dan / atau model permukaan (DTM / DSM). Data LiDAR banyak digunakan secara intensif dalam pemodelan 3D dan ekstraksi dan pengenalan bangunan (Haala dan Brenner, 1999, Song dkk, 2002, (Awrangjeb, Lu, dan Fraser 2014). Teknologi LiDAR menyediakan dua jenis data: elevasi, diperoleh dengan perbedaan waktu dari sinyal laser yang dipancarkan dan diterima; dan intensitas, diperoleh dengan perbedaan sinar laser yang dipantulkan menurut materi yang berbeda yang ada di permukaan (Nobrega 2001).

Nilai Intensitas LiDAR merupakan kekuatan dari gema *backscattered* pada objek dipermukaan bumi untuk setiap titik yang diukur yang dipancarkan oleh sensor. Nilai Intensitas LiDAR dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat mendistorsi kemampuannya ketika memantulkan sinyal terhadap objek dipermukaan bumi yang terbagi dalam beberapa kategori utama antara lain karakteristik permukaan target, geometri perolehan data, efek instrumental, dan efek lingkungan (Kashani, Olsenv dkk, 2015). Data intensitas LiDAR telah terbukti bermanfaat dalam melakukan ekstraksi suatu objek dipermukaan bumi. Intensitas LiDAR mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan struktur bangunan (Matikainen dkk, 2003) (Brennan dkk, 2006). Nilai Intensitas LiDAR juga memungkinkan mampu dalam melakukan pemisahan permukaan penutup lahan khas seperti jalan aspal, rumput, pohon, dan atap rumah yang ditangkap oleh *scanner* pada ALS (*Airborne Laser Scanning*) (Song et al. 2002). Nilai intensitas LiDAR juga mampu meningkatkan 10 % hingga 20 % dalam mengevaluasi fitur yang berbeda pada klasifikasi tutupan lahan (Im, Jensen, and Hodgson 2008).

Pada penelitian ini mencoba untuk memanfaatkan kemampuan nilai intensitas LiDAR untuk ekstraksi bangunan menggunakan data foto udara dan informasi lainnya pada data LiDAR yaitu nilai ketinggian. Nilai intensitas LiDAR dioptimalkan selama proses segmentasi sehingga diharapkan nilai Intensitas LiDAR mampu meningkatkan keakuratan dalam melakukan proses ekstraksi suatu objek khususnya bangunan.

2. Kawasan Perkotaan

Perkotaan memiliki arti yang lebih luas daripada kota. Wilayah perkotaan atau biasa disebut dengan *urban* memiliki pengertian lebih luas karena menunjukkan ciri/ karakteristik / sifat kekotaan. Dalam hal ini perkotaan atau kawasan perkotaan (*urban*) adalah permukiman yang meliputi kota induk dan daerah pengaruh di luar batas administrasinya yang berupa daerah pinggirannya/ kawasan suburban. Menurut UU no. 24/1992 pasal 1 ayat 10 kawasan perkotaan adalah kawasan yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat permukiman perkotaan, pemusatan dan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial, dan kegiatan ekonomi. Pengertian kota dan perkotaan menurut aspek fisik adalah kawasan terbangun (*built up area*) yang terletak saling berdekatan/terkonsentrasi, yang meluas dari pusatnya hingga ke wilayah pinggirannya, atau wilayah geografis yang didominasi oleh struktur binaan (*man made structure*). Pada wilayah penelitian ini, kondisi bangunan memiliki karakteristik yang berbeda – beda terutama dari aspek ketinggian bangunan. Ketinggian bangunan dibagi menjadi tiga klasifikasi meliputi : bangunan bertingkat tinggi, bangunan bertingkat sedang, dan bangunan bertingkat rendah . Menurut Branch dkk (1995) Bangunan sesungguhnya merupakan unsur perkotaan yang paling jelas terlihat dan merupakan salah satu unsur yang mempengaruhi karakteristik fisik kota yang secara umum bangunan didirikan dengan menghindari kondisi – kondisi fisik yang akan memperbesar biaya konstruksi, misalnya kondisi geologi yang tidak stabil, rawa – rawa, atau daerah – daerah yang sering dilanda bahaya banjir. Pertama kali penempatan bangunan-bangunan menunjukkan pola sirkulasi setempat, atau bangunan-bangunan diatur sesuai dengan pola jalan yang dikehendaki. Cepat atau lambat bangunan-bangunan tersebut akan berhubungan dengan jaringan utilitas umum yang sudah ada atau setelah jaringan tersebut dibangun. Penggunaan bangunan beragam sesuai dengan beragamnya kegiatan

manusia yang menghuninya. Kategori utama penggunaan bangunan terdiri atas: permukiman, komersial, industri, pemerintahan, transportasi merupakan unsur-unsur pembentuk pola “penggunaan tanah” kota (Kustiwan 2006).

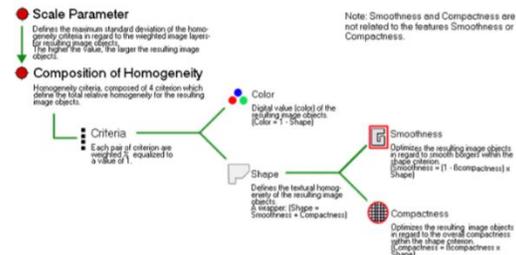
2.1 Point Cloud LiDAR

Point Cloud berisi nilai elevasi pada setiap *return*, dengan setiap titik yang ditentukan oleh nilai koordinat x, y, dan z yang terkait. Dalam dunia pekerjaan LIDAR biasanya sebuah perusahaan menentukan kepadatan *Point Cloud*. *Point Cloud* dapat menyimpan data tambahan seperti informasi kembali, intensitas, waktu, dan ketinggian pesawat (Yr dkk. 2011). *Point cloud* data disimpan dalam berbagai format, dari ASCII (teks, CSV, dll) ke biner (bin, LAS, format kepemilikan). Karena permintaan pengguna semakin banyak maka, *Point Cloud* menghasilkan file LAS (Log ASCII Standard) yang telah distandarisasi dan berukuran lebih kecil yang dapat digunakan dalam beberapa aplikasi.

2.2 Segmentasi Multiresolusi

Segmentasi Multiresolusi merupakan model yang paling banyak digunakan dalam segmentasi citra penginderaan jarak jauh. Ini juga telah dimasukkan dalam perangkat lunak komersial eCognition / Definiens Developer. Model ini mampu mengidentifikasi objek dan fitur objek pada skala intrinsiknya yang membuat ekstraksi objek dari berbagai skala mungkin (Wang dan Glenn 2009). Masalah pendekatan MR adalah representasi skala dan ekstraksi informasi dari masing-masing skala. Ide pendekatan MR adalah kompleks tetapi ketika diterapkan dengan tepat memiliki penggunaan yang luas terutama dalam citra satelit penginderaan jauh yang berurusan dengan daerah perkotaan. Baatz dan Schape (2000) membawa perkembangan yang signifikan dalam penelitian segmentasi multi-resolusi untuk citra penginderaan jauh setelah pengenalan segmentasi Multi-resolusi / hirarkis menggunakan pendekatan Evaluasi Net Fractal (FNEA). FNEA merepresentasikan pengertian hierarki sebagai fraktal net karena kesamaan diri dari fraktal. Setiap level yang lebih kasar mendapatkan input dari level yang lebih tinggi dan jika suatu objek diidentifikasi pada level yang lebih kasar maka mengulang representasi pada setiap level yang lebih halus yang disebut sebagai kesamaan. Proses dimulai dengan setiap piksel diasumsikan sebagai objek dan kemudian digabungkan berdasarkan kriteria di mana kawasan

gabungan tidak boleh melebihi ambang heterogenitas yang ditentukan. Pendekatan ini memiliki kemampuan untuk menggabungkan spektral, tekstur, tata ruang, bentuk, ukuran, pengetahuan sebelumnya dan properti kontekstual gambar.



Gambar 1. Komponen berbobot dari kriteria homogenitas pada algoritma segmentasi multiresolusi (Ouyang, 2015).

Gambar 1 menunjukkan bahwa Kriteria homogenitas dari algoritma segmentasi multiresolusi mengukur seberapa banyak homogen atau heterogen objek gambar dalam dirinya. Kriteria homogenitas dihitung sebagai kombinasi warna dan bentuk properti dari objek gambar awal dan yang dihasilkan dari penggabungan yang dimaksudkan. Di sini homogenitas warna didasarkan pada standar deviasi dari warna-warna spektral. Bentuk homogenitas didasarkan pada penyimpangan bentuk yang kompak atau halus.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan Penelitian

Perangkat yang digunakan meliputi perangkat keras dan perangkat lunak adapun perangkat keras yang digunakan antara lain laptop yang menggunakan sistem operasi windows 10 64 Bit yang memiliki kapasitas RAM 4GB, memory 1TB, *processor* intel i7 2.80GHz, dan VGA GEFORCE GTX 1050. Perangkat Lunak yang digunakan pada penelitian ini antara lain *Software* pengolahan LiDAR, *Software* pemetaan dan pengolahan data spasial, dan *software* pengolahan klasifikasi berbasis objek.

3.2 Peralatan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Data *point cloud* LiDAR
 Nama System : ALS 80
 Lokasi : Pontianak
 Waktu perekaman : November 2017
 Tinggi terbang : 800 m
 Format data : .las

- Sumber data : raw laser
2. Data foto udara *orthophoto*
 Lokasi : Pontianak
 Waktu perekaman : November 2017
 Tinggi terbang : 800 meter
 Format data : .tif
 Jumlah foto : (1 *scene*)
 3. Data intensitas LiDAR
 Lokasi : Pontianak,
 Waktu perekaman : November 2017
 Format data : .tif
 Tinggi terbang : 800 meter

3.3 Langkah Kerja

Ada beberapa tahapan metodologi dalam penelitian ini antara lain persiapan yang terdiri dari studi literatur, persiapan data dan peralatan yang dibutuhkan. Tahap pertama dari penelitian ini yaitu menyiapkan data utama seperti citra ortofoto dan *point cloud* LiDAR. Pada penelitian ini, data ortofoto yang digunakan sudah melalui tahap ortorektifikasi oleh penyedia data sehingga proses ortorektifikasi tidak dijelaskan dalam penelitian ini dan citra ortofoto dapat digunakan langsung pada penelitian ini. Kemudian tahapan kedua dari penelitian ini yaitu melakukan pengolahan *pointcloud* data LiDAR meliputi proses klasifikasi otomatis dan klasifikasi manual. Klasifikasi otomatis dilakukan menggunakan algoritma khusus yang disediakan pada *software* pengolahan LiDAR dengan melakukan pengkelasan *point cloud by class* pada *plugin* yang berdiri diatas *software* pengolahan LiDAR. Klasifikasi manual dilakukan dengan melakukan klasifikasi *point cloud* menjadi beberapa kelas antara lain ; *ground, low vegetation, medium vegetation, high vegetation, dan building*. Klasifikasi manual dilakukan dengan cara mendeteksi *point cloud* yang tidak berada pada kelas yang seharusnya (*missclassified*) selanjutnya diklasifikasikan kedalam kelas yang sesuai. *Point Cloud* yang telah dilakukan proses klasifikasi baik otomatis ataupun manual selanjutnya digunakan untuk pembuatan DSM (*Digital Surface Model*) yang dilakukan pada *software* pengolahan data spasial untuk digunakan dalam proses klasifikasi nantinya. Tahapan ketiga yaitu proses segmentasi dan klasifikasi objek yang dilakukan dengan menggunakan *software* pengolahan analisis objek. Pada tahapan ini segmentasi dilakukan pertama kali dengan melibatkan beberapa data antara lain ; data foto udara, data *point cloud* LiDAR, DSM, dan data intensitas LiDAR. Segmentasi dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter yang telah disediakan pada *software* pengolahan klasifikasi

objek. Selanjutnya proses klasifikasi dilakukan secara semi otomatis dengan menerapkan beberapa algoritma yang disediakan didalam *software* pengolahan klasifikasi objek. Proses klasifikasi dilakukan sedemikian rupa secara iterasi sehingga diharapkan mendapatkan hasil ekstraksi objek bangunan yang baik dan maksimal hingga hasil klasifikasi dapat di *export* kedalam bentuk *shapefile* yang selanjutnya dilakukan proses uji akurasi dengan membandingkan hasil dari digitasi manual (*onscreen digitizing*).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Segmentasi Objek

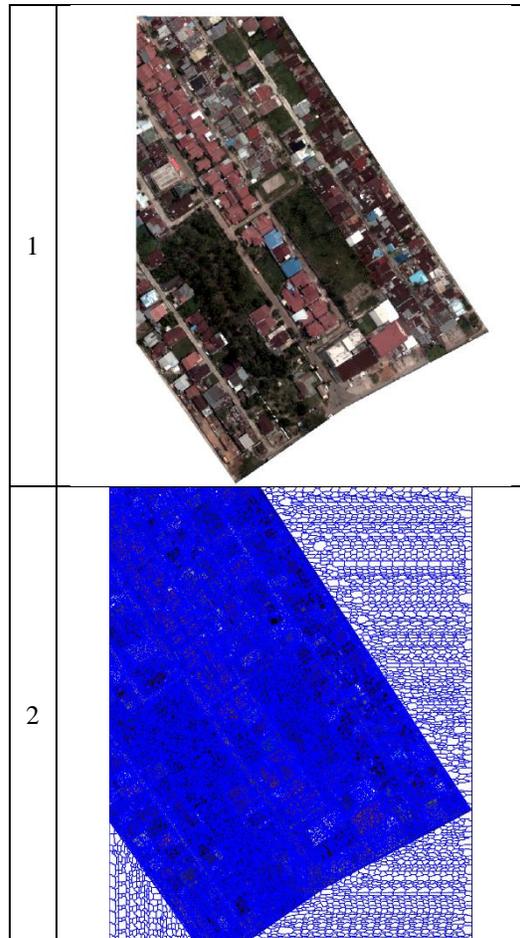
Segmentasi objek dilakukan dengan menggunakan pendekatan segmentasi multiresolusi dengan konsep menggabungkan setiap kawasan dari bawah hingga ke atas yang dimula dengan objek satu piksel dan prosedur pengoptimalan (Benz dkk. 2004). Segmentasi dilakukan dengan memasukkan nilai nilai parameter yang dipilih secara acak (*randomly*) sehingga mendapatkan hasil terbaik dan sesuai dengan kebutuhan dalam pengklasifikasian yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Parameter *multiresolution segmentation*

Keterangan	Scale	Shape	Compactness	Segmented
Area	10	0,2	0,7	230.243 Objek

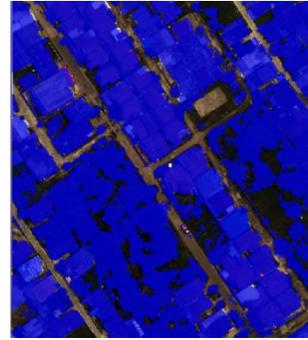
Parameter yang ditunjukkan pada tabel 1 dapat membedakan antara objek gambar bangunan, bayangan, fitur jalan dan objek primitif lainnya. Sekali lagi, tidak ada nilai khusus yang diterapkan pada beberapa parameter yang ditunjukkan pada tabel 1. Nilai parameter dianggap baik jika mendapatkan hasil segmentasi yang sesuai untuk dilakukan proses klasifikasi. Hasil dari segmentasi ditunjukkan seperti gambar berikut.

Tabel 1. Sebelum dan sesudah dilakukan segmentasi dengan algoritma *segmentation multiresolution*



4.2 Hasil Klasifikasi Berbasis Objek

Hasil segmentasi yang dianggap baik kemudian diklasifikasikan dengan mendefinisikan nilai ambang batas (*threshold*) yang melibatkan beberapa data antara lain data DSM, dan data *point cloud LiDAR*. Hasil segmentasi diklasifikasikan berdasarkan nilai ketinggian dari DSM dan nilai intensitas LiDAR yang diekstraksi dari data *point cloud LiDAR* yang telah dilakukan klasifikasi. Nilai intensitas LiDAR yang diekstraksi dari data *point cloud* digunakan untuk mengeliminasi hasil klasifikasi yang tidak tepat (*misclassified*) dengan menggunakan nilai ambang batas pada nilai intensitas LiDAR. Hasil dari proses klasifikasi berdasarkan nilai ketinggian dari DSM ditunjukkan pada gambar 4 dan hasil klasifikasi nilai intensitas LiDAR ditunjukkan pada tabel 2.



Gambar 2. Hasil klasifikasi berdasarkan nilai ketinggian dari DSM

Hasil klasifikasi yang ditunjukkan gambar 2 merupakan hasil dari klasifikasi berdasarkan nilai ambang batas ketinggian dari DSM. Hasil klasifikasi diperoleh dari mendefinisikan kondisi nilai ambang batas ≥ 3 dari nilai DSM pada kelas bangunan.

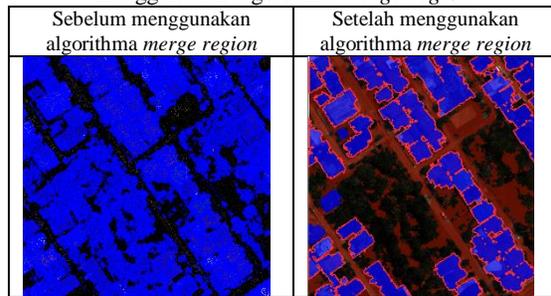
Tabel 2. Hasil eliminasi kelas vegetasi dan *ground* dari nilai intensitas LiDAR

Eliminasi kelas vegetasi dari intensitas LiDAR	Eliminasi kelas <i>ground</i> dari intensitas LiDAR

Pada tabel 2 merupakan hasil klasifikasi dengan mengeliminasi kelas vegetasi dan *ground* dari nilai intensitas *LiDAR* yang diekstraksi dari *point cloud* dengan mendefinisikan nilai ambang batas ≤ 206 pada kelas *ground* dan nilai ambang batas ≤ 210 pada kelas vegetasi. Hasil dari eliminasi ditunjukkan pada bagian lingkaran sehingga bagian klasifikasi yang tidak tepat (*misclassified*) dapat dieliminasi menggunakan kelas vegetasi dan *ground* pada nilai intensitas LiDAR.

4.3 Hasil Merge Region segmentasi.

Hasil segmentasi yang dijelaskan pada tabel 2 digabungkan dengan menggunakan algoritma *merge region* dimana beberapa segmen bangunan digabungkan sehingga menghasilkan jumlah segmentasi yang relatif sedikit namun tetap dalam klasifikasi yang dimaksud. Hasil dari algoritma *merge region* ditunjukkan pada tabel 3.

Table 3. Penggabungan wilayah segmentasi menggunakan algoritma *merge region*

Hasil pada tabel 3 menunjukkan bahwa objek yang tersegmentasi sebelumnya menggunakan algoritma *multiresolution segmentation* diminimalisir menggunakan algoritma *merge region* sehingga objek tersegmentasi relatif berkurang mengikuti area bangunan terklasifikasi.

4.4 Hasil ekstraksi dan akurasi

Pada tahapan uji akurasi melibatkan hasil ekstraksi bangunan dengan hasil deliniasi manual (*onscreen digitizing*). Proses ini dilakukan dengan membandingkan antara data deliniasi manual dengan ekstraksi secara otomatis. Data yang diuji diambil dari bangunan yang memiliki tingkat kerapatan tinggi. Hasil validasi ini ditunjukkan pada gambar 3.

**Gambar 3.** Uji akurasi pada ekstraksi bangunan dengan deliniasi manual

- AOL_1_EKSTRAKSI
- AOL_1_DELINEASI

Tabel 4. Hasil uji akurasi

Area terekstraksi	Area deliniasi	akurasi
4921,72 m ²	4671,75 m ²	94,93 %

Pengujian hasil ekstraksi bangunan secara otomatis menghasilkan akurasi 94.93 %. diuji dengan menggunakan beberapa sampel deliniasi bangunan sebanyak 24 bangunan dengan luasan keseluruhan digitasi adalah 4671,75 m² dan dibandingkan dengan hasil ekstraksi bangunan dengan luasan keseluruhan adalah 4921,72 m². Akurasi ini dihitung dengan menggunakan perhitungan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Berdasarkan tampilan visualnya, data yang diuji menunjukkan akurasi yang baik walaupun kondisi bangunan memiliki tingkat kerapatan yang tinggi.

$$\text{Akurasi Klasifikasi} = \frac{\text{Hasil deliniasi}}{\text{hasil ekstraksi}} \times 100$$

Gambar 4. Rumus uji akurasi

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Metode Segmentasi bangunan menggunakan algoritma *segmentation multiresolution* yang melibatkan data foto udara dan *point cloud* LiDAR untuk klasifikasi objek bangunan dianggap berhasil dalam melakukan ekstraksi objek bangunan di wilayah perkotaan dengan tingkat kerapatan tinggi. Nilai ketinggian dan nilai intensitas yang diekstrak dari data *point cloud* LiDAR mampu mengoptimalkan hasil ekstraksi objek bangunan dengan menerapkan nilai ambang batas selama proses ekstraksi bangunan berlangsung. Hal ini dibuktikan dari nilai akurasi pada uji validasi dengan membandingkan nilai luasan bangunan terekstraksi dengan luasan area deliniasi manual (*onscreen digitization*).

Pengolahan data LiDAR perlu diperhatikan ketika melakukan pengkelasan *point cloud* LiDAR pada *software* pengolahan data LiDAR sehingga akan mendapatkan hasil yang optimal ketika menerapkan nilai ambang *point cloud* baik nilai ambang batas ketinggian ataupun ambang batas nilai intensitas LiDAR selama proses ekstraksi bangunan berlangsung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih ditujukan kepada Perusahaan ASI Pudjiastuti Geosurvey yang telah memfasilitasi dan membantu dalam penyediaan data dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Ayu Darmaristianti dan Audita

Widya yang sudah membantu dalam pengolahan LiDAR dan bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi selama pelaksanaan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Awrangjeb, Mohammad, Guojun Lu, and Clive S Fraser. 2014. "AUTOMATIC BUILDING EXTRACTION FROM LIDAR DATA COVERING COMPLEX URBAN SCENES" *XL* (September): 5–7. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-3-25-2014>.
- BAATZ, Martin, and Arno SCHAPE. 2000. "Multiresolution Segmentation – an Optimization Approach for High Quality Multi-Scale Image Segmentation." *STROBL, J. et Al. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge Zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*, 12–23.
- Benz, Ursula C, Peter Hofmann, Gregor Willhauck, Iris Lingenfelder, and Markus Heynen. 2004. "Multi-Resolution , Object-Oriented Fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GIS-Ready Information" *58*: 239–58. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2003.10.002>.
- Brennan, R., and T. L. Webster. 2006. "Object-Oriented Land Cover Classification of Lidar-Derived Surfaces." *Canadian Journal of Remote Sensing* *32* (2): 162–72. <https://doi.org/10.5589/m06-015>.
- Coren, Franco, and Domenico Visintini. 2005. "INTEGRATING LIDAR INTENSITY MEASURES AND HYPERSPECTRAL DATA FOR EXTRACTING OF CULTURAL HERITAGE." *Geophysics of Lithosphere Department*, no. January: 2–3.
- Gorte, Ben, Christine Pohl, and Colin V Reeves. 2004. *Principles of Remote Sensing*. Edited by Norman Kerle, Lucas Janssen, and Gerrit C Huurneman. Third edit. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Hengelosestraat 99, P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands.
- Im, Junggho, John R. Jensen, and Michael E. Hodgson. 2008. "Object-Based Land Cover Classification Using High-Posting-Density LiDAR Data." *GIScience & Remote Sensing* *45* (2): 209–28. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.45.2.209>.
- Kashani, Alireza G., Michael J. Olsen, Christopher E. Parrish, and Nicholas Wilson. 2015. "A Review of LIDAR Radiometric Processing: From Ad Hoc Intensity Correction to Rigorous Radiometric Calibration." *Sensors (Switzerland)* *15* (11): 28099–128. <https://doi.org/10.3390/s151128099>.
- Kustiawan, Iwan. 2006. *Pengertian Dasar Dan Karakteristik Kota, Perkotaan, Dan Perencanaan Kota*. Edited by Wibisono. Modul 1. Yogyakarta. <http://repository.ut.ac.id/3999/1/ADPU4433-M1.pdf>.
- Matikainen, L., J. Hyypä, and H. Hyypä. 2003. "Automatic Detection of Buildings from Laser Scanner Data for Map Updating." *International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 34, Part 3/W13*, 218–24.
- Nobrega, R A A. 2001. "Segmentation and Object Extraction from Anisotropic Diffusion Filtered Lidar Intensity Data." *Engineering*.
- Ouyang, Zutao. 2015. "ECognition What Is Object-Based Classification." http://lees.geo.msu.edu/courses/geo827/lecture_12a_ecognition.pdf.
- Song, J H, S H Han, K Y Yu, and Y I Kim. 2002. "Assessing the Possibility of Land-Cover Classification Using Lidar Intensity Data." *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* *34*: 259–63. file:///C:/Users/AmitKumar_Haldar/Downloads/paper128.pdf.
- Wang, Cheng, and Nancy F Glenn. 2009. "Integrating LiDAR Intensity and Elevation Data for Terrain" *6* (3): 463–66.
- Yan, Wai Yeung, and Ahmed Shaker. 2009. "RADIOMETRIC CALIBRATION OF AIRBORNE LIDAR INTENSITY DATA FOR LAND COVER CLASSIFICATION."
- Yr, Archana V B E, Monica Deborah, B E Yr, and Sivani S P B E Yr. 2011. "Building Extraction from LiDAR Data." *Geospasial World Forum*, 4–5.