

Estimasi Jumlah Penduduk Menggunakan Data LiDAR dan Foto Udara (Studi Kasus: Kelurahan Menanggal, Surabaya)

Yahya Faikar Hanif, Hepi Hapsari Handayani, dan Nurwatik
Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: hapsari@geodesy.its.ac.id

Abstrak—Data Kependudukan memiliki peran penting yang menunjang berbagai aspek, seperti perencanaan tata kota dan mitigasi bencana. Data kependudukan yang dinilai memiliki akurasi paling tinggi adalah data sensus penduduk yang dilakukan setiap 10 tahun. Selain rentang waktu yang lama, data sensus penduduk yang dapat diakses publik masih dalam lingkup kelurahan atau desa. Munculnya teknologi penginderaan jauh dan SIG dapat dimanfaatkan untuk melakukan estimasi penduduk. Ditambah lagi, dengan tersedianya data citra resolusi tinggi, foto udara, maupun LiDAR yang dapat meninjau tempat tinggal penduduk dengan lebih detail. Dalam penelitian ini dilakukan estimasi populasi dengan menggunakan metode klasifikasi berbasis objek (OBIA) *rule-based* untuk mendapatkan luasan area pemukiman. Klasifikasi OBIA akan memanfaatkan data foto udara dan DSM & DTM LiDAR. Kemudian dilakukan estimasi dengan metode perhitungan matematis demografi serta regresi linear. Berdasarkan hasil OBIA, didapatkan ketelitian yang tinggi dari uji akurasi dengan menggunakan matriks konfusi sebesar 0,929 pada koefisien kappa dan 95,24% pada *overall accuracy*. Sedangkan pada hasil estimasi populasi penduduk, metode regresi linear memiliki kesalahan yang lebih kecil dibandingkan metode matematis demografi. Selain nilai *error* yang kecil, nilai MAE, MAPE, RMSE, dan RRMSE menunjukkan bahwa estimasi yang dihasilkan model regresi linear lebih optimal. Nilai-nilai MAE, MAPE, RMSE, dan RRMSE metode regresi linear pada Wisma Menanggal yaitu 40, 21%, 45, dan 0,25 sedangkan Gayungsari Timur yaitu 23, 18%, 34, dan 0,278

Kata Kunci—DTM, DSM, Estimasi Penduduk, Kependudukan, OBIA

I. PENDAHULUAN

DATA kependudukan merupakan salah satu aspek penting yang dipertimbangkan dari berbagai bidang. Salah satunya yaitu untuk perencanaan tata kota. Sumber data sensus penduduk di Indonesia dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Berdasarkan undang-undang No. 16 Tahun 1997 Pasal 8 Tentang Statistika menyebutkan bahwa data sensus penduduk diambil setiap 10 tahun sekali [1]. Data sensus penduduk merupakan data yang akurat namun diperlukan waktu yang lama dan biaya yang cukup besar dalam kegiatannya. Selain itu, data yang tersedia paling kecil dalam tingkat desa atau kelurahan. Bagi suatu daerah, kebutuhan informasi tentang kependudukan saat ini tidak cukup hanya sekedar data tekstual saja, lebih dari itu informasi spasial sangat diperlukan dalam suatu perencanaan. Informasi tentang kepadatan penduduk merupakan salah satu data yang memegang peranan penting dalam penentuan kebijakan [2].

Selain dalam penentuan kebijakan, data penduduk juga diperlukan dalam bidang mitigasi bencana. Misalnya, mengetahui beberapa orang yang kemungkinan terdampak pada area potensi bencana dan memperkirakan berapa banyak orang yang dapat mencapai area tempat berlindung atau bangunan evakuasi [3].

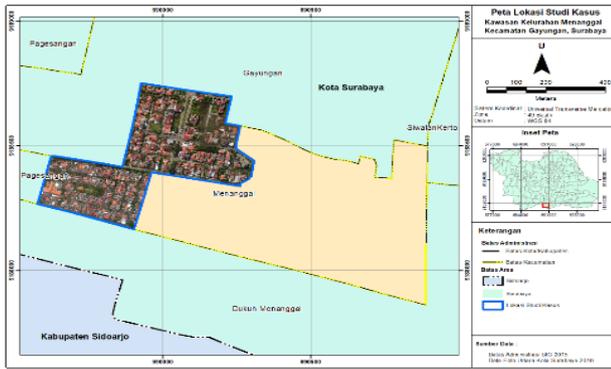
Perkembangan dalam bidang spasial terjadi dengan cepat. Beberapa teknologi yang dapat memperoleh informasi spasial secara cepat dan akurat adalah penginderaan jauh, baik aktif maupun pasif, foto udara, dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Salah satu aplikasi dari penginderaan jauh dan SIG adalah sebagai estimasi kependudukan [4]. Penelitian mengenai hal ini juga telah berlangsung sejak dua dekade lalu. Belakangan ini penelitian mengenai spasial kependudukan mulai beralih pada pendekatan volume dan memanfaatkan *Object Based Image Analysis* (OBIA) untuk interpretasi otomatis penggunaan lahan.

OBIA merupakan klasifikasi berdasarkan objek dimana objek didapatkan dalam proses segmentasi. Sehingga proses OBIA terbagi menjadi dua tahap yaitu segmentasi dan klasifikasi. Pendekatan volume dan OBIA dapat digunakan untuk membedakan jenis tempat tinggal yang heterogen [5]. Penelitian mengenai kependudukan apabila menggunakan citra dengan resolusi sangat tinggi, maka dapat menghasilkan populasi yang semakin detail [6].

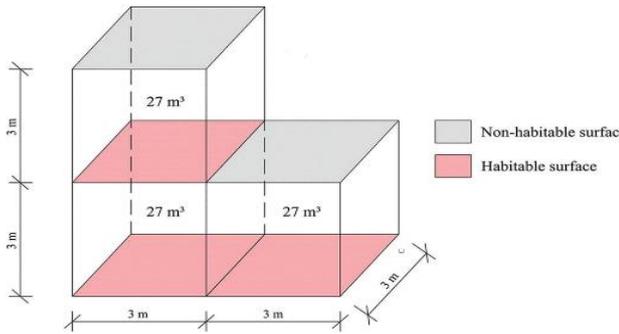
Surabaya merupakan kota dengan jumlah penduduk kedua terbesar se-Indonesia. Menurut data sensus kependudukan dari BPS, ibu kota dari Provinsi Jawa Timur ini memiliki jumlah penduduk 2.765.487 jiwa [7]. Untuk mengontrol perencanaan kota yang lebih baik serta mendukung dalam bidang mitigasi bencana, dibutuhkan data jumlah penduduk yang akurat dalam rentang waktu yang dekat.

Daerah yang akan dilakukan estimasi jumlah penduduknya berada di Surabaya khususnya dalam kawasan Kelurahan Menanggal menggunakan data LiDAR dan foto udara. Kelurahan Menanggal dipilih karena memiliki kondisi permukiman yang cukup beragam seperti adanya rumah susun dan beberapa permukiman padat. Namun, daerah padat dalam Kelurahan Menanggal dalam penelitian ini tidak diteliti.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan klasifikasi menggunakan metode OBIA yang kemudian digunakan untuk mengestimasi populasi penduduk. Selain itu, juga untuk mengetahui hasil dari estimasi populasi penduduk beserta dengan nilai akurasi terhadap data referensi yang digunakan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.



Gambar 3. Ilustrasi Habitable Surface Area.

Tabel 1. Parameter Segmentasi

Parameter	Nilai
Skala	50
Bentuk	0,2
Kekompakan	0,5
RGB dan nDSM	1,1,1,5

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

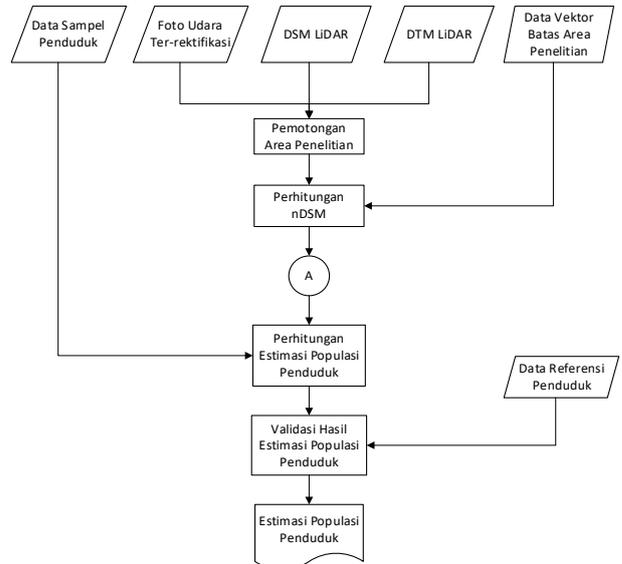
Lokasi studi kasus pada penelitian ini berada di Kelurahan Menanggal, Kecamatan Gayungan, Kota Surabaya, Jawa Timur pada koordinat pada 7,336 – 7,344 LS dan 112,718 - 112,729 BT. Namun, daerah timur Kelurahan Menanggal memiliki daerah yang kurang teratur bila dijadikan studi lokasi, sehingga daerah yang diambil adalah kawasan barat Kelurahan Menanggal yaitu kompleks Wisma Menanggal dengan perkiraan penduduk 1248 orang dan Gayungsari Timur dengan populasi penduduk 366 orang. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Data dan Peralatan

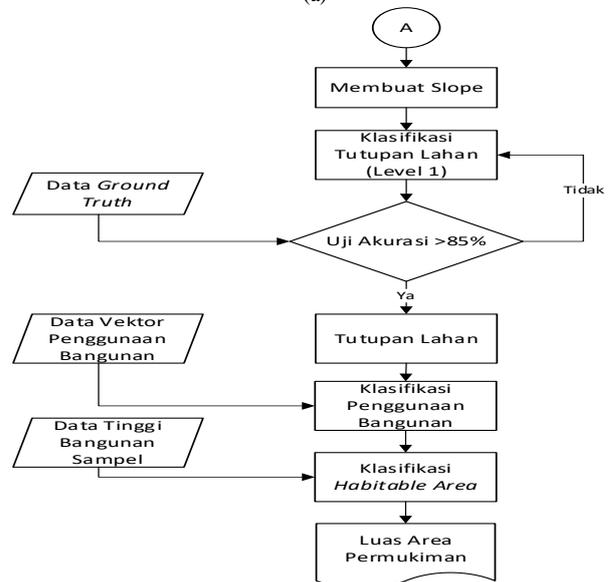
1) Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data *Digital Surface Model* (DSM) resolusi 0,25 meter dan data *Digital Terrain Model* (DTM) resolusi 0,4 meter LiDAR Kota Surabaya pada Agustus 2016
2. Data foto udara Kota Surabaya resolusi 0,08 meter pada Agustus 2016
3. Data batas administrasi kelurahan tahun 2015 skala 1:25.000
4. Data batas RW atau kompleks perumahan dari OSM yang telah diverifikasi dengan Ketua RW.



(a)



(b)

Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data (a) Pengolahan Data Secara Umum; (b) Pengolahan Data OBIA.

5. Data referensi penduduk Kelurahan Menanggal tahun 2019 yang digunakan sebagai validasi dari Kantor Kelurahan Menanggal
6. Data sampel jumlah penduduk masing-masing 1 blok pada setiap perumahan
7. Data *ground truth* uji akurasi klasifikasi

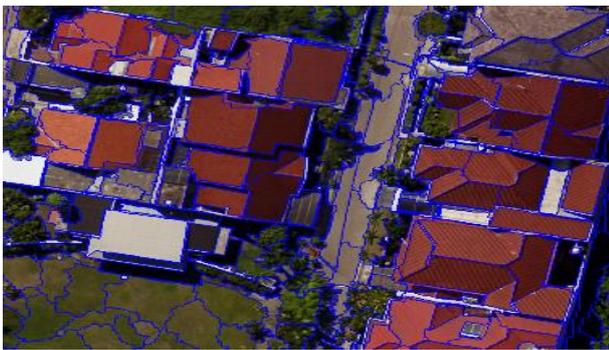
2) Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

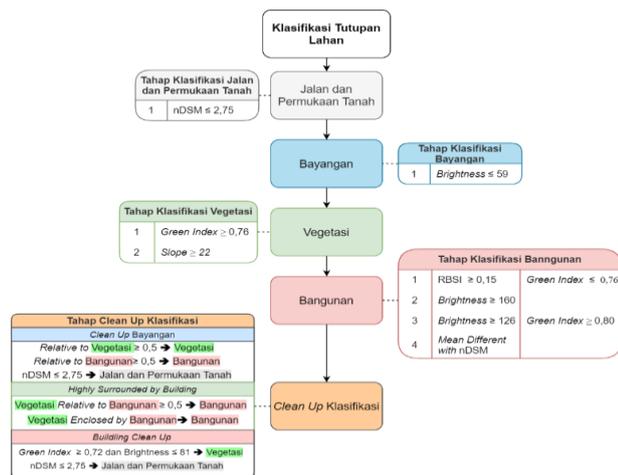
1. Laptop
2. *Smartphone*
3. Form survei sampel jumlah penduduk
4. *Software* Microsoft Office
5. *Software* pengolah data spasial

C. Tahapan Pengolahan Data

Berikut merupakan penjelasan dari diagram alir:



Gambar 4. Hasil Segmentasi Citra.



Gambar 5. Ruleset Klasifikasi Tutupan Lahan.

1) Perhitungan nDSM

Perhitungan nDSM dilakukan dengan memanfaatkan data DTM dan DSM. Data nDSM merupakan data tinggi suatu objek diatas permukaan tanah, sehingga bisa didapatkan tinggi bangunan. Perhitungan nDSM dapat menggunakan persamaan [8]:

$$nDSM = DSM - DTM \tag{1}$$

2) Pembuatan Slope

Dilakukan untuk membantu mempermudah memisahkan antara objek bangunan dengan objek vegetasi. Slope akan dibuat dengan *surface calculation tool* yang terdapat pada software pengolahan data spasial.

3) Segmentasi Citra

Proses segmentasi bertujuan untuk membagi piksel-piksel dengan tingkat homogen tertentu ke dalam sebuah objek. Dalam tahap ini akan menggunakan algoritma *multiresolution segmentation* dengan memasukkan parameter skala, bentuk (unsur bentuk dan warna), dan kekompakan (unsur kekompakan dan kehalusan) dengan nilai tertentu agar mendapatkan hasil yang optimal. Untuk mendapatkan nilai optimal dilakukan dengan cara *trial and error*.

4) Klasifikasi Tutupan Lahan

Terdapat tiga kelas yang dihasilkan dalam klasifikasi ini, yaitu bangunan, permukaan tanah dan jalan, dan vegetasi. Klasifikasi akan dilakukan dengan metode *OBIA rule-based*, dimana akan disusun aturan tertentu agar objek terklasifikasi dengan tepat. Metode *OBIA rule-based* memanfaatkan segala ciri dari setiap segmen seperti luasan, nilai rata-rata, dan relasinya dengan kelas lain.

Tabel 1. Analisis Parameter Skala Segmentasi

Skala	Jumlah Objek	Waktu	Hasil Segmentasi
25	53861	13'34"	Objek dibagi terlalu detail dan banyak area yang seharusnya homogen masih terpisahkan sehingga terjadi <i>oversegmentation</i>
40	24551	11'12"	Hasil objek cukup bagus, namun terdapat beberapa area homogen yang belum menyatu dalam satu objek
50	15581	09'52"	Hasil objek baik dan antara area homogen dan heterogen sudah terpisah dengan baik
60	12912	08'14"	Hasil objek baik, namun ada sedikit area heterogen yang belum terpisah. Tingkat detail paling sesuai
75	9240	06'04"	Cukup banyak area yang tidak homogen namun menjadi satu objek, sehingga menimbulkan <i>undersegmentation</i>

Tabel 2. Hasil Luasan Klasifikasi Tutupan Lahan

Kelas	Luas (m ²)
Bangunan	92.380,243
Permukaan Tanah dan Jalan	48.013,476
Vegetasi	62.517,146

Tabel 3. Matriks Konfusi Klasifikasi Tutupan Lahan

Referensi Kelas	V	JT	B	Total	User Accuracy
V	35	3	2	40	87,50%
JT	0	32	0	32	100,00%
B	0	0	33	33	100,00%
Total	35	35	35	105	
Producer Accuracy	100,00%	91,43%	94,29%		

Keterangan : V = Vegetasi; JT = Jalan dan Permukaan Tanah; B = Bangunan

5) Uji Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan

Hasil klasifikasi tutupan lahan akan digunakan sebagai dasar untuk tahap selanjutnya sehingga diperlukan uji akurasi untuk mengetahui tingkat kebenarannya. Uji akurasi dilakukan dengan menghitung koefisien kappa dan *overall accuracy* minimal 85% terhadap data lapangan (*ground truth*) dengan menggunakan bantuan matriks konfusi. Perhitungan *overall accuracy* dan koefisien kappa dapat menggunakan persamaan berikut [9]:

$$Overall Accuracy = \frac{\sum_i^r X_{ii}}{N} \times 100\% \tag{2}$$

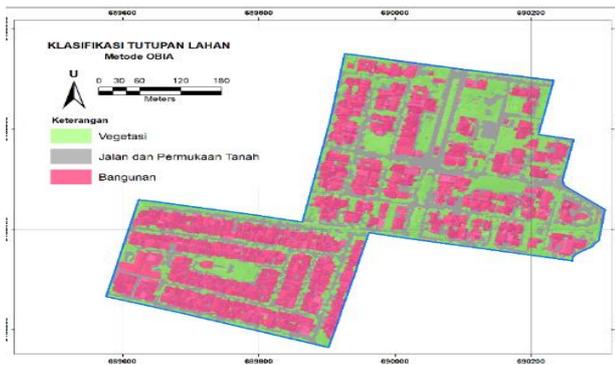
$$Kappa = \frac{N \sum_i^r X_{ii} - \sum_i^r X_{i1} X_{1i}}{N^2 - \sum_i^r X_{i1} X_{1i}} \times 100\% \tag{3}$$

6) Klasifikasi Penggunaan Bangunan

Tahap ini bertujuan untuk membedakan penggunaan lahan bangunan menggunakan bantuan dari data lapangan berupa digitasi data vektor. Dalam tahap ini klasifikasi akan dilakukan dengan metode *OBIA rule-based*.

7) Klasifikasi Habitable Surface Area

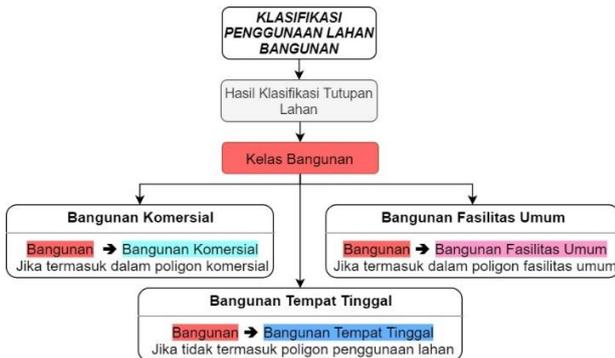
Untuk menghitung estimasi populasi, diperlukan data luas bangunan yang dapat ditinggali atau jumlah lantai. Nilai



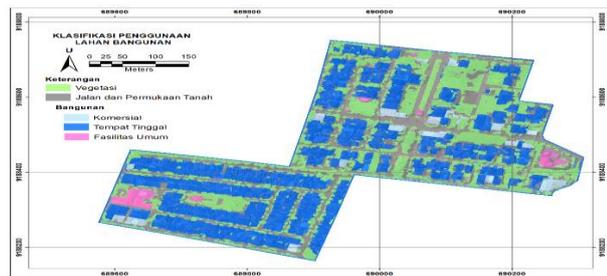
Gambar 6. Hasil Tutupan Lahan.



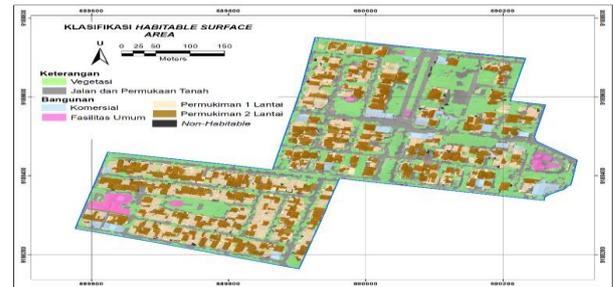
Gambar 9. Ruleset Klasifikasi Habitable Surface Area.



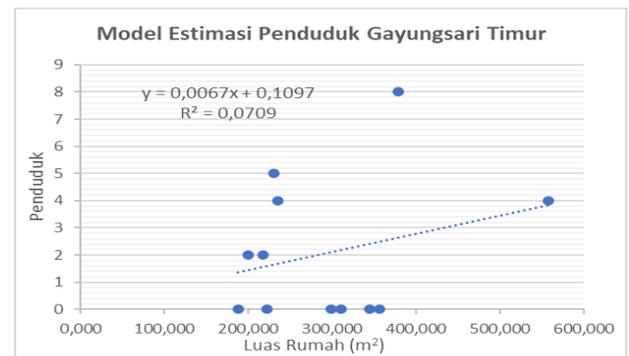
Gambar 7. Ruleset Klasifikasi Penggunaan Lahan Bangunan.



Gambar 8. Hasil Klasifikasi Penggunaan Lahan Bangunan.



Gambar 10. Hasil Klasifikasi Penggunaan Lahan Bangunan.



Gambar 11. Model Regresi Gayung Sari Timur.

tersebut bisa didapatkan dengan konsep *habitable surface area*. Klasifikasi dalam tahap ini dilakukan dengan metode OBIA *rule-based* dan membutuhkan nilai *threshold* jumlah lantai. Untuk mendapatkan nilai *threshold* tersebut, dilakukan *zonal statistics* dari sampel bangunan. Berikut merupakan ilustrasi *habitable surface area* [10]:

8) Perhitungan Estimasi Populasi Penduduk

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan dua metode :

1. Matematis Demografi Sederhana [10]:

$$PD = PPP / RA \tag{4}$$

dimana *PD* merupakan kepadatan penduduk, *PPP* merupakan jumlah penduduk, dan *RA* merupakan kawasan pemukiman. Kemudian dilanjutkan persamaan berikut untuk mendapatkan estimasi populasinya:

$$ERP = HS \times PD \tag{5}$$

dimana *ERP* merupakan estimasi populasi, *HS* merupakan *habitable surface area* dan *PD* merupakan kepadatan penduduk yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya.

2. Regresi Linear:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \tag{6}$$

dimana *y* merupakan estimasi populasi, β_0 adalah nilai konstanta *intercept*, β_1 adalah Nilai koefisien arah, *X* adalah luas area pemukiman, dan ε merupakan kesalahan acak.

9) Validasi Hasil Estimasi Populasi Penduduk

Dari hasil estimasi penduduk, dilakukan validasi terhadap data referensi penduduk. Kemudian dilakukan perhitungan :

1. MAE (*Mean Absolute Error*) [11]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_{est} - P_{ref}| \tag{7}$$

2. MAPE (*Mean Percentage Absolute Error*) :

$$MAPE = 100\% \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{est} - P_{ref}}{P_{ref}} \right| \tag{8}$$

3. RMSE (*Root Mean Square Error*) [4] :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{est} - P_{ref})^2}{n}} \tag{9}$$

4. RRMSE (*Relative RMSE*) [4] :

$$RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{est} - P_{ref})^2}{n}}}{P_{mean}} \tag{10}$$

Dimana *P_{est}* merupakan estimasi populasi penduduk, *P_{ref}* merupakan nilai referensi populasi penduduk, *P_{mean}* merupakan rata-rata dari referensi populasi penduduk, dan *n*

Tabel 5.

Hasil Luasan Klasifikasi Penggunaan Lahan Bangunan	
Kelas	Luas (m ²)
Vegetasi	62.517,151
Permukaan Tanah dan Jalan	48.013,476
Tempat Tinggal	81.930,978
Komersial	6.560,262
Fasilitas Umum	3.888,998

Tabel 6.

Hasil Luasan Klasifikasi <i>Habitable Area</i>	
Kelas	Luas (m ²)
Vegetasi	62.517,151
Permukaan Tanah dan Jalan	48.013,476
Permukiman 1 Lantai	38.874,918
Permukiman 2 Lantai	41.933,939
<i>Non-Habitable</i>	1.122,125
Komersial	6.560,262
Fasilitas Umum	3.888,998

Tabel 7.

Kepadatan Penduduk Tiap Perumahan		
	Gayung Sari	Wisma Menanggal
Kepadatan Penduduk (Jiwa/m ²)	0,00706	0,01298

Tabel 8.

Interpretasi Hubungan Berdasarkan Nilai Korelasi	
Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 - 0,199	Sangat Rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Tinggi
0,80 - 1,000	Sangat Tinggi

Tabel 9.

Estimasi Populasi Perumahan Gayung Sari Timur				
RT	Data Referensi	Luas Total (m ²)	Estimasi Matematis Demografi	Estimasi Regresi Linear
1	124	17648,980	125	118
2	106	16816,351	119	113
3	136	28946,611	204	194

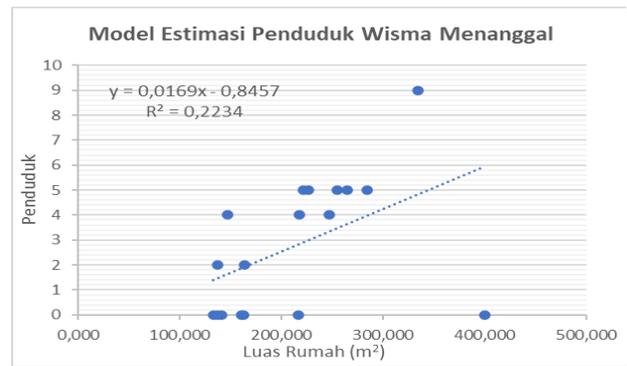
adalah jumlah blok referensi. Dari empat persamaan tersebut, semakin kecil nilai yang dihasilkan maka metode yang digunakan lebih bagus, dan sebaliknya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Segmentasi Citra

Dari hasil *trial and error*, parameter segmentasi dengan algoritma *multiresolution segmentation* mendapatkan nilai masing-masing pada Tabel 1. Dari nilai parameter pada tabel 1, dihasilkan sejumlah 15.581 objek dan memakan waktu selama 9 menit 52 detik. Segmentasi yang dihasilkan dapat membuat objek yang memisahkan antara bangunan dengan vegetasi maupun bangunan dengan jalan dan permukaan tanah. Selain itu, objek yang dihasilkan juga berhasil memisahkan antara vegetasi dengan jalan dan permukaan tanah. Hasil segmentasi citra dapat dilihat pada gambar 4.

Salah satu parameter yang berpengaruh yaitu parameter skala. Dalam penelitian ini dilakukan analisis segmentasi dengan 5 parameter skala yang berbeda. Dari 5 parameter skala yang dianalisis, parameter 50 merupakan yang paling



Gambar 12. Model Regresi Wisma Menanggal.

Tabel 10.

Estimasi Populasi Perumahan Wisma Menanggal				
RT	Data Referensi	Luas Total (m ²)	Estimasi Matematis Demografi	Estimasi Regresi Linear
1	172	7724,814	100	130
2	255	11802,982	153	199
3	132	7372,067	96	124
4	160	7035,660	91	118
5	116	7747,488	101	130
6	201	9048,872	117	152
7	212	8598,839	112	144

Tabel 11.

Analisis Hasil Estimasi Populasi dengan Referensi Populasi Perumahan Gayung Sari Timur			
Analisa Estimasi Gayung Sari Timur			
Perhitungan	Matematis Demografi	Regresi Linear	
Total Estimasi	448	425	
Selisih	82	59	
Persentase Error	22%	16%	
MAE	27	23	
MAPE	21%	18%	
RMSE	40	34	
RRMSE	0,328	0,278	

ideal. Analisis parameter skala segmentasi dapat dilihat pada Tabel 2.

B. Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi dilakukan dengan menggunakan nilai *threshold* yang didapatkan melalui interpretasi ciri masing-masing kelas. Pada proses klasifikasi tutupan lahan, kelas permukaan tanah dan jalan dilakukan terlebih dahulu. Klasifikasi permukaan tanah dan jalan menggunakan interpretasi ukuran karena jalan dan permukaan tanah cenderung memiliki ketinggian yang rendah. Fitur yang digunakan yaitu ketinggian dari data nDSM dimanfaatkan dengan nilai sebesar $\leq 2,75$.

Selanjutnya dilakukan klasifikasi vegetasi dengan menggunakan interpretasi warna dan ukuran menggunakan fitur *green index* dan *slope*. Fitur *green index* dimanfaatkan karena vegetasi memiliki warna dominan hijau. Nilai *green index* yang digunakan sebesar $\geq 0,76$. Kemudian menggunakan fitur *slope* sebesar ≥ 22 karena *slope* pada vegetasi cenderung lebih curam dari kelas lain.

Pada klasifikasi bangunan diinterpretasi melalui rona, warna, dan ukuran. Terdapat beberapa fitur yang digunakan, pertama yaitu RBSI (*red blue spectral index*) sebesar $\geq 0,15$ yang digunakan untuk klasifikasi bangunan dengan atap merah bata. Selanjutnya, klasifikasi bangunan menggunakan nilai *brightness* sebesar ≥ 156 pada objek untuk melakukan klasifikasi pada bangunan yang memiliki warna putih. Dalam area penelitian ini terdapat beberapa bangunan yang memiliki

Tabel 12.
Analisis Hasil Estimasi Populasi dengan Referensi Populasi
Perumahan Wisma Menanggal

Analisa Estimasi Wisma Menanggal		
Perhitungan	Matematis Demografi	Regresi Linear
Total Estimasi	770	997
Selisih	-478	-251
Persentase Error	38%	20%
MAE	68	40
MAPE	36%	21%
RMSE	74	45
RRMSE	0,418	0,250

atap berwarna hijau. Nilai yang membedakan atap berwarna hijau dengan vegetasi yaitu nilai *brightness* dari vegetasi yang cenderung lebih kecil (gelap). Sehingga dengan menggunakan kombinasi antara nilai indeks *green* $\geq 0,8$ dan *brightness* ≥ 126 dapat melakukan klasifikasi terhadap beberapa bangunan atap yang berwarna hijau.

Nilai dari *threshold* yang digunakan akan divalidasi pada tahap uji akurasi klasifikasi. Sehingga dapat ditentukan seberapa tepat *threshold* yang digunakan. Berikut merupakan *ruleset* dari klasifikasi OBIA tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 5. Dari proses klasifikasi ini, dihasilkan luasan masing-masing kelas dan peta hasil pada Tabel 3. Hasil tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 6. Klasifikasi bangunan ditunjukkan dengan warna merah, vegetasi dengan warna hijau, dan jalan dan permukaan tanah berwarna abu-abu. Berdasarkan hasil klasifikasi pada tabel 3, luasan bangunan mendominasi dengan 92.380,243 m².

C. Uji Akurat Klasifikasi Tutupan Lahan

Pengujian hasil klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode matriks konfusi antara hasil klasifikasi dengan *ground truth*, dimana *ground truth* diambil secara langsung di lapangan. Untuk memenuhi tahap ini, diperlukan nilai minimal 85% pada *overall accuracy* dan koefisien kappa.

Dari hasil matriks konfusi, semua titik uji kelas vegetasi benar. Tiga titik uji jalan dan permukaan tanah salah klasifikasi menjadi kelas vegetasi dan dua titik uji kelas bangunan juga menjadi kelas vegetasi. Kemudian dihitung nilai *overall accuracy* serta koefisien kappa. Nilai *overall accuracy* yang didapatkan sebesar 95,24% dan koefisien kappa sebesar 0,929. Dari nilai tersebut maka hasil klasifikasi diterima dan memiliki ketelitian tinggi berdasarkan tingkat koefisien kappanya. Matriks konfusi klasifikasi tutupan lahan pada table 4.

D. Klasifikasi Penggunaan Lahan Bangunan

Klasifikasi penggunaan lahan dalam penelitian ini menggunakan bantuan dari data vektor. Data vektor yang digunakan merupakan digitasi bangunan berupa poligon daerah komersial (perdagangan dan jasa) dan fasilitas umum yang diperoleh dengan survei lapangan. Penggunaan data vektor ini didasari karena sulit untuk membedakan antara bangunan permukiman dengan penggunaan lahan lainnya jika hanya berdasarkan kenampakan visual foto udara dan nilai ketinggian bangunan. Klasifikasi dilakukan dengan OBIA *rule-based* dengan *ruleset* pada gambar 7. Apabila kelas bangunan dari hasil klasifikasi tutupan lahan berada dalam data vektor komersial maka akan diklasifikasi

menjadi komersial. Sedangkan jika berada dalam data vektor fasilitas umum akan diklasifikasi sebagai fasilitas umum. Jika tidak termasuk poligon manapun akan diklasifikasi sebagai tempat tinggal. *Ruleset* klasifikasi penggunaan lahan bangunan dapat dilihat pada Gambar 7. Dari proses klasifikasi tersebut, dihasilkan luasan masing-masing kelas dan peta pada Tabel 5. Hasil Klasifikasi Penggunaan Lahan Bangunan dapat dilihat pada Gambar 8.

E. Klasifikasi Habitable Area Penentuan Threshold

Menurut SNI 03-1733-2004 tentang Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan, tinggi plafon minimal dari bangunan tempat tinggal adalah 2,5 m. Namun, data nDSM merupakan data tampak atas sehingga ketinggian yang diperoleh merupakan ketinggian hingga atap bangunan. Untuk itu, dilakukan interpretasi dengan data foto udara dan nDSM untuk menentukan nilai yang pantas dari tinggi minimal bangunan permukiman, dimana nilai yang didapatkan adalah 3 meter. Tinggi bangunan minimal ini kemudian akan diklasifikasi ke dalam kelas *non-habitable*.

Bangunan permukiman dalam area penelitian kali ini hanya memiliki maksimal 2 lantai. Untuk melakukan klasifikasi, dibutuhkan nilai batas. Nilai *threshold* antara bangunan yang memiliki lantai 1 dan 2 didapatkan dari proses digitasi manual dari bangunan sampel, kemudian dilakukan proses *zonal statistics*. Proses digitasi didasari oleh banyaknya lantai, sehingga apabila terdapat rumah yang bertingkat 2 hanya sebagian dari keseluruhan rumah maka akan terdapat 2 atau lebih *polygon* yang didalamnya.

Dari hasil proses *zonal statistic*, didapatkan nilai *threshold* antara 1 lantai dan 2 lantai adalah 6,1 meter. Dimana nilai < 6,1 meter adalah bangunan 1 lantai dan nilai $\geq 6,1$ meter merupakan bangunan 2 lantai. Berikut merupakan *ruleset* yang digunakan, dapat dilihat pada Gambar 9. Dari proses klasifikasi *habitable area*, didapatkan hasil sebagai pada Tabel 6. Pada gambar 10, hasil klasifikasi permukiman 1 lantai ditandai dengan warna coklat muda sedangkan permukiman 2 lantai berwarna coklat tua. Sedangkan pada tabel 6, luas dari permukiman 2 lantai lebih mendominasi dibandingkan dengan permukiman 1 lantai.

F. Perhitungan Estimasi Populasi Penduduk

Perhitungan estimasi populasi penduduk akan dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu metode matematis demografi dan metode model regresi linear. Dalam perhitungan kedua metode ini, sampel rumah yang tidak berpenghuni tetap diikutsertakan, karena tidak semua rumah dalam area penelitian ini berpenghuni. Sehingga diharapkan dapat memberikan *adjustment* yang baik. Berikut merupakan perhitungan estimasi dilakukan dengan dua metode :

1) Matematis Demografi Sederhana:

Dalam metode ini diperlukan untuk menghitung kepadatan penduduk terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (4). Pada Tabel 7 merupakan hasil kepadatan penduduk di wilayah penelitian.

2) Regresi Linear:

Model regresi linear memanfaatkan luasan tiap rumah pada wilayah sampel dan jumlah penduduk tiap rumah. Pada perumahan Gayung Sari Timur didapatkan persamaan regresi $Y = 0,0067x + 0,1097$. Sedangkan pada perumahan Wisma Menanggal Didapatkan persamaan regresi $Y =$

0,0169x – 0,8457. Model regresi gayungsari timur dan wisma menanggal dapat dilihat pada Gambar 11 dan 12.

Berdasarkan hasil regresi linear, nilai koefisien determinasi pada masing-masing model yaitu 0,0709 pada perumahan Gayungsari Timur dan 0,2234 pada perumahan Wisma Menanggal. Sedangkan nilai koefisien korelasi sampel pada masing-masing yaitu 0,27 pada perumahan Gayungsari Timur dan 0,47 pada perumahan Wisma Menanggal. Jika ditinjau pada tabel 8, nilai korelasi antar variabel penduduk dengan luas rumah pada perumahan Gayungsari Timur memiliki hubungan rendah, sedangkan pada perumahan Wisma Menanggal memiliki hubungan sedang. Interpretasi Hubungan Berdasarkan Nilai Korelasi dapat dilihat pada Tabel 8,

Setelah nilai kepadatan penduduk pada metode pertama dan persamaan regresi pada metode kedua telah didapatkan, maka dilanjutkan ke perhitungan estimasi. Pada Tabel 9 dan 10 merupakan hasil estimasi populasi penduduk.

G. Validasi Estimasi Populasi Penduduk

Hasil estimasi dilakukan analisis terhadap data referensi. Hasil analisis tersebut diharapkan dapat menentukan model mana yang lebih baik. Analisis hasil populasi dengan referensi perumahan Gayungsari Timur dan Wisma Menanggal dapat dilihat pada Tabel 11 dan 12. Dari tabel 10 dan tabel 11, estimasi menggunakan metode regresi linear memiliki hasil yang lebih optimal. Hal ini terlihat dari nilai selisih yang lebih kecil. Selain itu MAE, MAPE, RMSE, dan RRMSE juga memiliki nilai yang lebih kecil, dimana semakin kecil nilainya maka akan semakin bagus hasilnya.

Pada perumahan Gayungsari Timur, terjadi *over*-estimasi terhadap data referensi dengan selisih 59 hingga 82 orang. Jika ditinjau dari tabel 8, nilai *over*-estimasi ini terjadi pada RT 03. Sedangkan pada perumahan Wisma Menanggal terjadi *under*-estimasi dengan selisih cukup besar, yaitu 251 hingga 478 orang. Pada tabel 9, nilai *under*-estimasi terbesar disebabkan oleh RT 2 dan RT 7.

Terjadinya *under*-estimasi dan *over*-estimasi ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Yang pertama yaitu jumlah sampel yang diambil hanya satu blok pada masing-masing perumahan. Kedua, yaitu variabel yang digunakan perlu ditambahkan karena dalam penelitian ini hanya menggunakan variabel luas. Variabel luas sendiri dalam penelitian ini hanya memiliki hubungan korelasi rendah dan sedang. Dan ketiga yaitu data referensi yang digunakan bersumber dari data registrasi penduduk yang mana data Kartu Keluarga (KK). Penggunaan data referensi tersebut karena data sensus penduduk tahun 2019 atau 2020 yang belum tersedia.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut; (1)Segmentasi pada klasifikasi OBIA dilakukan dengan menggunakan algoritma *multiresolution segmentation* dengan nilai parameter skala sebesar 50, bentuk sebesar 0,2, kekompakan 0,5, dan pembobotan *layer* RGB-nDSM sebesar 1,1,1,5. Klasifikasi OBIA dilakukan dengan menggunakan metode *rule-based* dengan memanfaatkan fitur nilai piksel, ketinggian, *green index*, *slope*, RBSI, kecerahan,

dan hubungan antar kelas. Hasil dari klasifikasi OBIA mendapatkan koefisien kappa sebesar 0,929 dan *overall accuracy* sebesar 95,24%.; (2)Hasil estimasi populasi penduduk pada perumahan Gayungsari Timur metode matematis demografi memperoleh hasil 448 orang dan metode regresi linear 425 orang. Sedangkan pada perumahan Wisma Menanggal metode matematis demografi mendapatkan hasil 770 orang dan metode regresi linear 997 orang; (3)Akurasi estimasi populasi penduduk menggunakan metode regresi linear lebih optimal dalam area penelitian ini.. Ditandai dengan nilai MAPE, MAE, RSME, dan RRMSE yang lebih kecil. Nilai MAPE, MAE, RMSE, dan RRMSE pada perumahan Gayungsari Timur dengan metode regresi linear berturut-turut sebesar 23, 18%, 34 orang, dan 0,278. Sedangkan nilai MAPE, MAE, RMSE, dan RRMSE pada perumahan Wisma Menanggal sebesar 40, 21%, 45 orang, dan 0,250.

B. Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya pada bidang terkait adalah sebagai berikut; (1)Memilih lokasi penelitian dengan kondisi rumah yang homogen.; (2)Melakukan survei penduduk lebih dari satu blok atau melakukan survei pada beberapa rumah disetiap blok secara acak; (3)Mencoba menggunakan metode *multiple linear regression* (regresi linear berganda) dengan menambahkan variabel lain seperti jumlah rumah atau yang lainnya

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penelitian ini yaitu Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman, Cipta Karya dan Tata Ruang Kota Surabaya selaku penyedia data LiDAR dan Foto Udara. Kemudian kepada Kantor Kelurahan Menanggal yang telah menyediakan data referensi penduduk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-Undang nomor 6 tahun 1960, *Undang-Undang Negara Republik Indonesia nomor 16 tahun 1997 tentang Statistik*, no. 1. 1997, pp. 1–5.
- [2] K. Wikantika, F. M. Rahman, and A. Hernandi, "Analisis distribusi kepadatan penduduk dengan citra satelit," Surabaya, 2005.
- [3] M. Rokhis Khomarudin *et al.*, "Hazard analysis and estimation of people exposure as contribution to tsunami risk assessment in the west coast of sumatra, the south coast of java and bali," *Zeitschrift fur Geomorphol.*, vol. 54, pp. 337–356, 2010, doi: 10.1127/0372-8854/2010/0054S3-0031.
- [4] Z. Lu, J. Im, and L. Quackenbush, "A volumetric approach to population estimation using lidar remote sensing," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 77, no. 11, pp. 1145–1156, 2011, doi: 10.14358/PERS.77.11.1145.
- [5] Z. Lu, J. Im, L. Quackenbush, and K. Halligan, "Population estimation based on multi-sensor data fusion," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 31, no. 21, pp. 5587–5604, 2010, doi: 10.1080/01431161.2010.496801.
- [6] J. R. Jensen and D. C. Cowen, "Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes," *Retina*, vol. 65, no. 6, pp. 611–622, 1999, doi: 10.1097/00006982-200206000-00019.
- [7] Badan Pusat Statistika, "Badan Pusat Statistik Kota Surabaya 2018," 2018. .
- [8] S. O. Elberink and H.-G. Maas, "The use of anisotropic height texture measures for the segmentation of airborne laser scanner data," *Iaprs*, vol. XXXIII, no. B3/2, pp. 678–684, 2000.
- [9] V. Arison dang, B. Sudarsono, and Y. Prasetyo, "Klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode segmentasi berbasis algoritma multiresolusi (studi kasus kabupaten purwakarta, jawa barat)," *J. Geod. Undip*, vol. 4, no. 1, pp. 9–19, 2015.
- [10] L. Tomás, L. Fonseca, C. M. Almeida, F. Leonardi, and M. Pereira,

- “Urban population estimation based on residential buildings volume using ikonos-2 images and lidar data,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 37, no. 1, pp. 1–28, 2016, doi: 10.1080/01431161.2015.1121301.
- [11] M. Alahmadi, P. M. Atkinson, and D. Martin, “A comparison of small-area population estimation techniques using built-area and height data, riyadh, saudi arabia,” *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 9, no. 5, pp. 1959–1969, May 2016, doi: 10.1109/JSTARS.2014.2374175.