

Aplikasi Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis Untuk Estimasi Populasi Penduduk Berdasarkan Luas Lantai Bangunan

Bintang Fajar Firmansyah
bintang.fajar.f@mail.ugm.ac.id

R. Suharyadi
suharyadir@ugm.ac.id

Abstract

The population always increases every day, but mass census registration every ten years. Population registration is collected in each residential building. The population living in one building can be estimated the floor area of the building that is consumed per person. The floor area of a building in settlement case can be used to measure the number of people living in one building. Remote sensing, in this research use aerial photography data, can accommodate to mapping of settlement building with efficient. Settlement geometry data is used to get the floor area of the building and the number of floors of the building. Settlement buildings classified based on the characteristics of the location of the settlement block, by block pattern and block density level, and the resident based by the floor area of the settlement building. The results of building geometry mapping using aerial photo has accuracy of 90% for measurements of building floor areas and 63% for measurements building heights. Population estimation modeling based on the floor area of the building obtained accuracy reaching 51.5 - 61.35%.

Keywords: population, aerial photography, building, settlement

Abstrak

Populasi penduduk selalu meningkat setiap harinya namun pencatatan secara sensus massal dilakukan setiap rentang sepuluh tahun. Pencatatan penduduk dilakukan di setiap nomor bangunan permukiman secara satu-persatu. Populasi yang tinggal dalam satu bangunan dapat ditaksir luas lantai bangunan yang dikonsumsi per orangnya. Luas lantai bangunan dalam kasus permukiman dapat digunakan menakar jumlah yang tinggal dalam satu bangunan. Pengukuran geometri bangunan umumnya dilakukan dengan survei darat dan membutuhkan waktu untuk mengukur satu bangunan. Perkembangan teknologi penginderaan jauh memungkinkan memperoleh informasi geometri bangunan secara massal, salah satunya dengan foto udara. Data geometri permukiman digunakan untuk mendapatkan luas lantai bangunan dan jumlah lantai bangunan. Bangunan permukiman dapat dikelompokkan berdasarkan karakteristik lokasi blok permukiman, yakni pola blok permukiman dan tingkat kepadatan blok, serta karakter jumlah penghuni tiap luas bangunan tertentu. Hasil pemetaan geometri bangunan menggunakan data foto udara memungkinkan diperoleh rerata akurasi 90% untuk pemetaan luas lantai bangunan dan 63% untuk pemetaan tinggi bangunan. Pemodelan estimasi penduduk berdasarkan luasan lantai bangunan diperoleh ketelitian mencapai 51,5 – 61,35%.

Kata kunci: populasi, foto udara, permukiman, bangunan

PENDAHULUAN

Populasi penduduk di kawasan perkotaan memiliki laju pertumbuhan yang meningkat di setiap waktu. Data populasi penduduk diperoleh secara konvensional dengan sensus penduduk yang di Indonesia dilakukan setiap 10 tahun. Pencatatan populasi dilakukan setiap bangunan permukiman. Luas lantai bangunan diperhitungkan sebagai pertimbangan aktivitas dalam suatu bangunan. Luas bangunan komersial didefinisikan dalam pelbagai pemanfaatan ruang dengan aktivitas yang berbeda. Luas bangunan permukiman yakni luas lantai bangunan yang dapat digunakan sebagai sebagai tempat tinggal dan aktivitas rumah tangga. Luas lantai bangunan berdasarkan fungsi dan aktivitasnya dapat dihubungkan dengan konsumsi energi yang digunakan, seperti konsumsi ruang, konsumsi listrik dan kebutuhan air bersih serta biaya operasional kebersihan dan keamanan untuk kasus bangunan komersial (Anggarawati dan Utomo, 2012; Loekita, 2006). Luas lantai bangunan untuk kasus permukiman dapat diasumsikan dengan jumlah orang yang tinggal dalam suatu bangunan atau dapat disatukan untuk kebutuhan luas lantai bangunan per kapita.

Kebutuhan luas lantai per kapita dapat diukur dengan memperhatikan luasan lantai bangunan tempat tinggal dengan jumlah penghuni yang tinggal. Bangunan lebih dari satu lantai dengan mengkalkulasikan total luas lantai dari masing-masing tingkat lantai. Luas lantai per kapita merupakan salah satu dari 10 kunci indikator tempat tinggal menurut *United Nation Commission on Human Settlement* (UNCHS). Berkurangnya luas per kapita dapat diasosiasikan dengan risiko kesehatan tertentu (UNCHS, 1996).

Pemanfaatan metode penginderaan jauh untuk mendapatkan informasi fisik

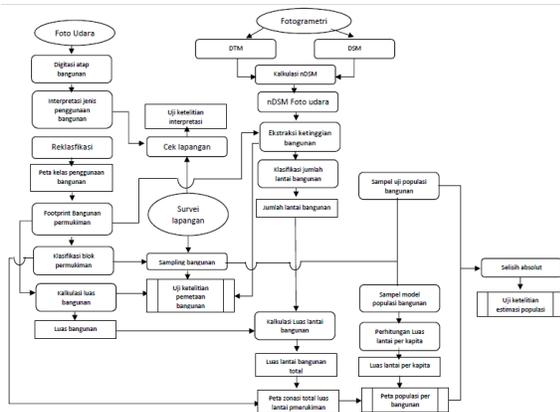
bangunan telah dilakukan oleh Neritarani (2013) dan Habibullah (2014), yang keduanya memanfaatkan data penginderaan jauh. Penelitian lain dengan memanfaatkan informasi fisik bangunan dalam dari turunan data Penginderaan Jauh juga untuk melakukan estimasi populasi penduduk. Dong dkk. (2010) mengevaluasi hasil estimasi penduduk untuk area kecil. Qiu dkk. (2010) dengan estimasi populasi tingkat blok sensus. Tomas dkk. (2016) melakukan estimasi populasi perkotaan berdasarkan volume bangunan permukiman. Zhao dkk. (2017) mengestimasi populasi kerja dan rumah berdasarkan volume bangunan.

Pemanfaatan PJ dan SIG dalam pemetaan geometri bangunan dan pemodelan populasi bangunan telah dilakukan dalam beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian ini menggunakan metode yang serupa dengan beberapa modifikasi, yakni penggunaan data foto udara dan nDSM foto udara. Objek utama dalam penelitian ini yakni bangunan permukiman dilakukan klasifikasi berdasarkan karakter blok permukiman dan luasan lantai bangunan.

Penelitian ini dilakukan di sebagai Desa Nogotirto dan Trihanggo, Kecamatan Gamping, Kabupaten Sleman. Penelitian ini memiliki 3 tujuan yakni mengetahui akurasi pemetaan bangunan memanfaatkan metode penginderaan jauh, mengestimasi populasi penduduk dengan mempertimbangkan luas lantai bangunan permukiman, menguji akurasi estimasi populasi dengan mempertimbangkan luas lantai bangunan.

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian terbagi dalam dua tahap akuisisi dan tahap analisis. Tahap akuisisi bertujuan mendapat data foto udara sebagai sumber data utama geometri bangunan. Tahap analisis antara lain untuk menguji ketelitian hasil pemetaan dan pemodelan estimasi populasi.



1. Ekstraksi geometri bangunan

Karakteristik utama objek bangunan dalam penelitian ini menekankan dalam ukuran geometri bangunan. Geometri bangunan berdasarkan sumbu x,y,z terdiri atas panjang, lebar, dan tinggi bangunan. Panjang dan lebar menjadi penyusun luasan bangunan yang dapat diperoleh perhitungan luasan dari perhitungan geometri dari objek bangunan hasil interpretasi bangunan dari data foto udara dan diperoleh dari pengukuran panjang dan lebar bangunan secara langsung di lapangan.

Nilai tinggi bangunan dapat diperoleh dari DEM foto udara yang merekam nilai tinggi objek di permukaan bumi. DEM foto udara diperoleh *pointcloud* yang diinterpolasi untuk mendapatkan data model tinggi objek permukaan atau Digital Surface Model (DEM). Data DSM bukan merupakan tinggi objek sehingga diperlukan kalibrasi untuk mendapatkan nilai murni tinggi objek atau Normalized DSM (N-DSM). Perolehan nilai tinggi bangunan dari N-DSM dengan melakukan ekstraksi nilai berdasarkan poligon *footprint* bangunan sehingga diperoleh nilai tinggi. Luas bangunan panjang dan lebar bangunan yang diperoleh dari metode pengukuran fisik bangunan di lapangan. Luas bangunan tentatif merupakan estimasi hasil kalkulasi geometri bangunan dengan perangkat lunak SIG yang merupakan hasil ekstraksi dari data Orthofoto atau foto udara.

2. Uji ketelitian pemetaan bangunan

Data penginderaan jauh dari Orthofoto dan DEM dapat diperoleh geometri bangunan yakni luas bangunan dan tinggi bangunan. Informasi dari data penginderaan jauh tersebut perlu dianalisis tingkat ketelitiannya dengan kondisi aktual. Informasi geometri secara aktual dianggap diperoleh dari hasil pengukuran fisik bangunan secara langsung di lapangan. Selisih nilai antara ukuran aktual dengan ukuran hasil ekstraksi data penginderaan jauh diperoleh nilai penyimpangan (*error*). Nilai penyimpangan tersebut dapat diketahui persentase keakuratan pengukuran memanfaatkan data penginderaan jauh dalam memetakan geometri bangunan.

Luas bangunan aktual diperoleh dari ukuran panjang dan lebar bangunan yang diperoleh dari metode pengukuran fisik bangunan di lapangan. Luas bangunan tentatif merupakan estimasi hasil kalkulasi geometri bangunan dengan perangkat lunak SIG yang merupakan hasil ekstraksi dari data Orthofoto atau foto udara.

$$\% \text{Penyimpangan} = \frac{|LA-LT|}{LA} \times 100\%$$

$$\% \text{Ketelitian} = 100 - \% \text{penyimpangan}$$

Keterangan:

LA : Luas bangunan aktual

LT : Luas bangunan tentatif

Tinggi bangunan aktual diperoleh dari ukuran tinggi bangunan yang diperoleh dari metode pengukuran fisik bangunan di lapangan. Tinggi bangunan tentatif merupakan hasil ekstraksi nilai tinggi dari data nDSM foto udara.

$$\% \text{Penyimpangan} = \frac{|TA-TT|}{TA} \times 100\%$$

$$\% \text{Ketelitian} = 100 - \% \text{penyimpangan}$$

Keterangan:

TA : Tinggi aktual

TT : Tinggi tentatif

3. Interpretasi blok permukiman

Tahap penentuan sampel permukiman digunakan untuk menentukan estimasi penghuni bangunan permukiman berdasarkan pola yang dibangun berdasarkan kondisi fisik dan lingkungan permukiman. Kondisi fisik dan lingkungan permukiman dengan menginterpretasi citra penginderaan jauh untuk mendapatkan variabel yang sekiranya dapat mempengaruhi kriteria pemilihan tempat tinggal dan jumlah penghuninya. Variabel-variabel fisik dan lingkungan permukiman dibangun dari satuan blok permukiman hingga per atap bangunan:

a) Pola permukiman

Pembagian blok permukiman di perkotaan berdasarkan pola dengan melihat posisi bangunan terhadap akses jalan

Klasifikasi strata pola blok permukiman

Strata	Pola	Keterangan
P1	Teratur	Lebih dari 60% bangunan permukiman menghadap ke jalan dan jalan lingkungan
P2	Semi-teratur	Antara 40% - 60% bangunan permukiman yang menghadap ke jalan lingkungan
P3	Tidak teratur	Kurang dari 30% bangunan permukiman yang menghadap ke jalan dan jalan lingkungan

Sumber: Suharyadi (2000) dalam (Somantri, 2008)

Pola permukiman teratur akan menghadap langsung terhadap jalan dan pembuatan jalan yang terencana. Pola permukiman tidak teratur dengan pembuatan jalan yang mengikuti lahan yang tersedia mengikuti bentuk blok permukiman.

b) Kepadatan bangunan

Kepadatan bangunan dalam blok permukiman dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kepadatan bangunan} = \frac{\text{jumlah luas atap}}{\text{Luas blok permukiman}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan kepadatan bangunan tiap blok permukiman untuk dibedakan menjadi beberapa strata berdasarkan persentase kepadatan.

Tabel Klasifikasi strata kepadatan blok permukiman

Strata	Kepadatan bangunan	Keterangan
D1	$\geq 5\%$ dan $\leq 20\%$	Kepadatan permukiman di bawah 5% dimasukkan ke non-permukiman
D2	$\geq 20\%$ dan $\leq 60\%$	Permukiman dengan kepadatan sedang
D3	$> 60\%$	Permukiman dengan kepadatan tinggi

Sumber: Suharyadi (1991) dalam (Suharyadi, 2000)

Semakin tinggi kepadatan maka disumsikan jarak antar rumah yang rapat, sehingga tidak memungkinkan memiliki ruang terbuka yang dapat dimanfaatkan.

c) Luas lantai bangunan

Luas lantai bangunan merupakan akumulasi luas dari tiap tingkat lantai bangunan dikelaskan dengan strata sebagai berikut.

Klasifikasi strata luas lantai bangunan

Strata	luas lantai bangunan (m ²)	Keterangan
A1	> 100	Permukiman dengan luas lantai bangunan besar
A2	≥ 50 dan ≤ 100	Permukiman dengan luas lantai bangunan sedang
A3	< 50	Permukiman dengan luas lantai bangunan kecil

Sumber: (Sutanto, 1982) dengan perubahan

Luas lantai bangunan digunakan untuk mendefinisikan kebutuhan dan keterjangkauan daya beli penghuni rumah terhadap ukuran bangunan.

4. Pemodelan Estimasi Populasi per bangunan

Estimasi populasi penduduk dilakukan dengan angka luas lantai bangunan per kapita dan jumlah bangunan dari kategori blok permukiman. Kategori permukiman diperoleh dengan mempertimbangkan strata blok permukiman yang mengkombinasikan strata masing-masing dari pola blok permukiman (P), kepadatan blok permukiman (D), dan luas lantai bangunan (A). Luas lantai bangunan bertingkat

dihitung merupakan kalkulasi luas bangunan lantai dasar dan luas lantai di atasnya.

$$EP = (\sum L1 * r.p1) + (\sum L2 * r.p2) + \dots + (\sum Ln * r.pn)$$

Keterangan

EP : Estimasi populasi

$\sum L.1$: luas bangunan blok permukiman tipe 1 (P1.D1.A1)

rp.1 : nilai luas lantai per kapita blok permukiman tipe 1

$\sum L.2$: luas bangunan blok permukiman tipe 2 (P1.D2.A1)

rp.2 : rerata luas lantai per kapita blok permukiman tipe 2

$\sum L.n$: luas bangunan blok permukiman tipe n (Pn.Dn.An)

rp.n : rerata luas lantai per kapita blok permukiman tipe n

5. Uji ketelitian model estimasi

Uji ketelitian estimasi populasi dihitung menggunakan *standard error of estimation* (SEE). SEE merepresentasikan kesalahan pada setiap sampel. Semakin kecil nilai SE maka kesalahan estimasi semakin kecil.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (y' - y)^2}{n - 2}}$$

Kalkulasi nilai SEE ke dalam bentuk akurasi pemetaan (persen) dapat menggunakan beberapa perhitungan, diantaranya *Bottom*, *Upper*, *Minimum Error %* dan *Maximum Error %* berdasarkan *Confidence Level* sebesar 95%. Berikut rumusnya:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}}{n-1}}$$

CL : 1 - α

CL ..% : Confidence (α, S, n)... Rumus

Excel

Bottom : $\bar{y} - CL \dots\%$

Upper : $\bar{y} + CL \dots\%$

Minimum Error % : $(SE/Upper) * 100\%$

Maximum Error % : $(SE/Bottom) * 100\%$

Accuracy Maximum : 100% - Minimum Error %

Accuracy Minimum : 100% - Maximum Error %

keterangan:

y': data hasil model (prediksi) pada citra

y: data hasil lapangan

n: jumlah sampel

\bar{y} : nilai rata-rata jumlah populasi sampel uji akurasi

S: Standar deviasi jumlah populasi sampel uji akurasi

CL: Confidence Level

HASIL DAN PEMBAHASAN

Foto udara hasil selanjutnya dengan membangun mozaik foto atau perangkaian foto-foto menjadi satu menggunakan perangkat lunak Agisoft. Hasil perekaman foto udara sebelumnya diperoleh 362 foto yang selanjutnya dibangun mozaik serta dilakukan pemberian koordinat hasil pengukuran GCP yang menghasilkan foto udara dengan proyeksi orthogonal. Hasil 11 titik GCP dimasukkan sebagai koordinat geografis yang sebagai dasar menghasilkan proyeksi orthogonal pada foto udara. Hasil pembangunan mozaik foto udara juga dihasilkan dense cloud atau kumpulan titik (point cloud) dapat digunakan untuk membangun model elevasi atau Digital elevation model (DEM).



Gambar 1 Peta mozaik foto udara dan lokasi titik GCP dan ICP

Pemberian referensi koordinat geografis dengan memproyeksikan foto udara masukan data GCP yang selaras dengan objek darat di lapangan sebagai referensi koordinat geografis. Hasil foto udara yang ter-mozaik dapat diukur akurasi dengan menggunakan titik

control independent (ICP). Perhitungan akurasi pemetaan dengan menggunakan metode RMS error pada sumbu horizontal dan vertikal seperti dalam tabel.

Perhitungan akurasi dengan menghitung selisih antara koordinat titik

yang sama di lapangan (ICP) dengan nilai koordinat yang sama menggunakan nilai RMS Error baik pada sumbu horizontal (x dan y) dan vertikal (z). Hasil perhitungan dengan RMS error diperoleh nilai 0.6 untuk akurasi horizontal dan 1,351 untuk sumbu z.

Koordinat GCP dan ICP

Titik GCP	Koordinat Y	Koordinat X	Koordinat Z	Akurasi alat horizontal	Akurasi alat vertikal
1	9141960	427511.8	162.34	HRMS:0.776	VRMS:1.600
2	9142014	427665.3	161.028	HRMS:0.597	VRMS:1.110
3	9141711	427520.4	158.523	HRMS:0.607	VRMS:1.096
4	9141409	427497.1	156.199	HRMS:0.845	VRMS:1.255
5	9141419	427172.4	156.562	HRMS:0.737	VRMS:1.005
6	9141654	427056.5	157.312	HRMS:0.621	VRMS:0.867
7	9141518	427017.1	155.699	HRMS:0.377	VRMS:0.611
8	9141915	427133.5	159.28	HRMS:0.376	VRMS:0.610
9	9141748	427234.2	157.403	HRMS:0.411	VRMS:0.646
10	9141537	427249.6	155.763	HRMS:0.470	VRMS:0.873
11	9141552	427643	154.996	HRMS:0.591	VRMS:1.264
Titik ICP					
Koordinat lapangan	9141585	427439.7	156.746	HRMS:0.399	VRMS:0.826
Koordinat foto udara	9141585.6	427349.7	155.125	RMSEr: 0.6	RMSEz: 1.351

1. Ekstraksi Geometri Bangunan

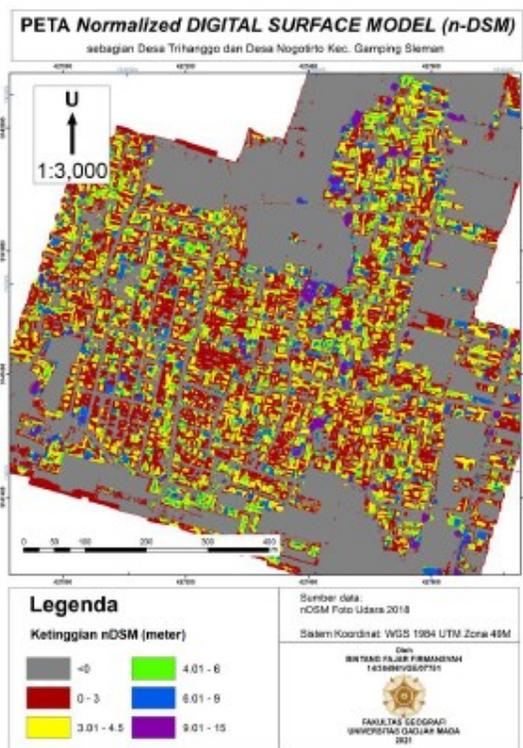
Informasi geometri bangunan permukiman memanfaatkan data hasil penginderaan jauh yakni foto udara dan DEM foto udara. Peta Orthofoto dari foto udara digunakan yang memiliki nilai sumbu x dan y digunakan sebagai dasar informasi luas bangunan dan luas blok. Luas lantai bangunan diperoleh dari hasil digitasi pada atap-atap bangunan permukiman dan dengan memanfaatkan kalkulasi dengan perangkat lunak SIG.

Nilai tinggi bangunan dari DEM foto udara namun terlebih dahulu diturunkan menjadi DSM dan kemudian ndSM untuk mendapatkan tinggi objek bangunan digunakan untuk mengklasifikasikan jumlah lantai tiap bangunan. Titik tinggi tiap bangunan diukur dengan mengambil puncak segitiga atap Tinggi tembok tiap lantai diasumsikan menggunakan 3meter setiap lantai.

2. Uji Ketelitian Pemetaan Bangunan

Uji ketelitian dengan menghitung selisih antara ukuran objek aktual di lapangan dengan ukuran objek secara tentatif pemetaan hasil memanfaatkan data penginderaan jauh. Ukuran objek aktual dilakukan dengan sampling yang diprokeysikan dapat mengukur akurasi pemetaan keseluruhan. Hasil sampling dengan mengukur luas dan tinggi bangunan secara aktual yang kemudian dibandingkan dengan ukuran tentatif bangunan hasil pemetaan. Sampel yang digunakan sebanyak 89 sampel.

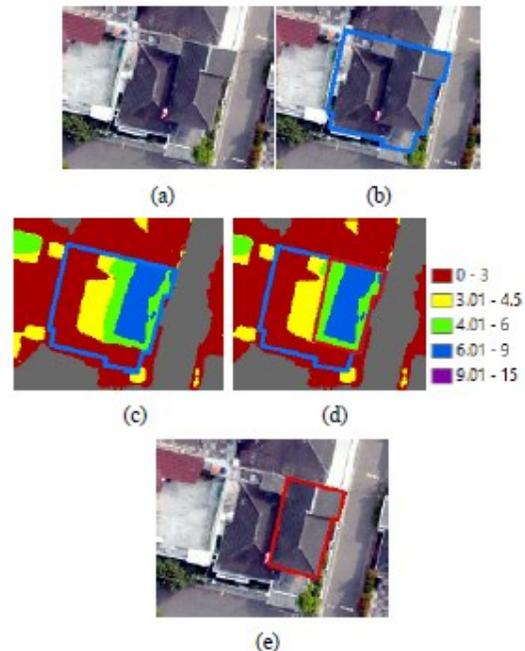
Hasil perhitungan uji ketelitian menggunakan selisih absolut nilai di peta tentatif dan nilai di lapangan. Hasil uji ketelitian diperoleh rerata akurasi 90,9% untuk perhitungan luas bangunan dengan akurasi tertinggi mencapai 90% dan akurasi terendah hanya 24%. Pemetaan tinggi bangunan diperoleh rerata akurasi yakni ketelitian 63,5% dengan akurasi tertinggi



Gambar 2 Peta nDSM

99% dan terendah hanya 1%. Ketimpangan dengan selisih akurasi tertinggi dan terendah mengasumsikan data hasil foto udara kurang baik.

Nilai ketelitian yang rendah untuk pengukuran tinggi bangunan disebabkan DEM hasil foto udara ditemukan distorsi ketinggian. Distorsi ketinggian DEM tersebut diasumsikan terjadi kerana pengambilan titik GCP hanya pada titik yang menapak tanah atau tidak dilakukan pada titik tinggi di permukaan seperti pengukuran GCP di atap bangunan atau objek tinggi lainnya. Peta DSM hasil foto udara cenderung tidak membentuk geometri bangunan yang simetris dan mengkotak khas bentuk bangunan. Ketinggian dari peta nDSM juga memiliki nilai elevasi negatif sehingga data tinggi bangunan berselisih jauh dengan kondisi aktual. Objek yang memiliki ketinggian negative yakni jalan dan permukaan tanah yang seharusnya sebagai



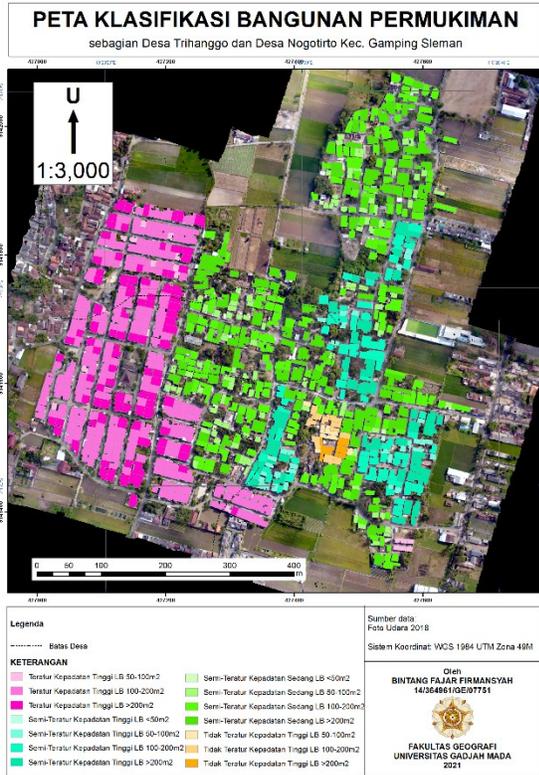
Gambar 3 Ekstraksi luas lantai bangunan bertingkat: (a) Tampilan atap pada foto udara (b); Digitasi luas bangunan lantai dasar; (c) Tampilan peta nDSM; (d) Digitasi lantai 2 bangunan mengikuti peta nDSM; (e) Hasil Digitasi lantai 2 bangunan berdasarkan foto udara

objek yang tidak memiliki ketinggian. Dampak lainnya yakni beberapa objek bangunan yang tidak rata.

3. Klasifikasi Bangunan Permukiman

Wilayah kajian dalam penelitian ini setelah dilakukan klasifikasi berdasarkan 3 jenis strata berdesakan pola bangunan, kepadatan bangunan, dan lantai bangunan. Strata pola dan kepadatan bangunan digunakan pada tingkat blok sedangkan luas lantai bangunan lebih spesifik menilai tiap satu bangunan. Hasil klasifikasi bangunan diketahui dalam wilayah kajian penelitian terdapat 59 blok permukiman dengan pola teratur sebanyak 32 blok, semi teratur sebanyak 26 blok, dan satu blok dengan pola tidak teratur. Blok permukiman tersebut dikelaskan kembali berdasarkan kepadatan blok dan luasan lantai per bangunan. Hasil pengklasifikasian diperoleh 14 kelas bangunan permukiman. Hasil klasifikasi

digunakan untuk menentukan sampel jumlah populasi di lapangan. Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini 48 sampel model dan 41 model uji.



Gambar 4. Klasifikasi Bangunan Permukiman

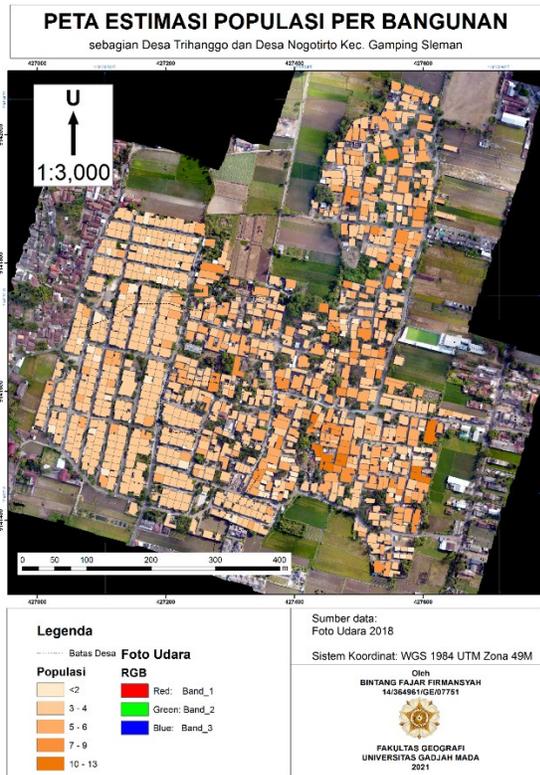
4. Model Estimasi Populasi Bangunan

Model estimasi populasi dibangun dengan menggunakan nilai rerata luas lantai per kapita tiap kelas. Nilai tersebut diformulasikan dengan total luas lantai bangunan sehingga diperoleh nilai jumlah populasi dalam satu bangunan. Nilai estimasi dalam bilangan cacah yang kurang representative untuk menggambarkan populasi yang bulat sehingga dibulatkan. Nilai estimasi populasi dengan rentang 1 hingga 13 orang dalam satu bangunan.

Tabel Nilai model estimasi luas lantai per kapita

Klasifikasi Permukiman	Bangunan Kode	Nilai Estimasi Model	Luas Lantai / populasi
Teratur kepadatan tinggi LB 50-100m2	P1D1L2	34.7705	
Teratur kepadatan tinggi LB 100-200m2	P1D1L3	41.9099	
Teratur kepadatan tinggi LB >200m2	P1D1L4	84.3885	
Semi-teratur kepadatan sedang LB <50m2	P2D1L1	11.3092	
Semi-teratur kepadatan sedang LB 50-100m2	P2D1L2	48.3334	
Semi-teratur kepadatan sedang LB 100-200m2	P2D1L3	26.1822	
Semi-teratur kepadatan sedang LB >200m2	P2D1L4	50.4998	
Semi-teratur kepadatan tinggi LB <50m2	P2D2L1	8.6046	
Semi-teratur kepadatan tinggi LB 50-100m2	P2D2L2	20.0279	
Semi-teratur kepadatan tinggi LB 100-200m2	P2D2L3	37.4390	
Semi-teratur kepadatan tinggi LB >200m2	P2D2L4	56.5983	
Tidak teratur kepadatan tinggi LB 50-100m2	P3D1L2	16.9410	
Tidak teratur kepadatan tinggi LB >200m2	P3D1L4	26.5313	

Nilai populasi berdasarkan peta model estimasi berbentuk pola berdasarkan karakteristik blok permukiman. Jumlah populasi di blok permukiman teratur atau wilayah perumahan cenderung seragam di kelas rentang 3-4 penghuni. Blok permukiman semi-teratur dan tidak teratur memiliki rantang penghuni yang lebih heterogen dibandingkan blok permukiman teratur. Jumlah penghuni di blok semi teratur bervariasi hingga lebih dari 10 penghuni



Gambar 5. Peta Estimasi Populasi per Bangunan

5. Uji Akurasi Model

Metode perhitungan ketelitian ini menguji nilai model estimasi dan nilai aktual dengan menggunakan standard error of estimation. Hasil akurasi keseluruhan diperoleh berdasarkan nilai pembulatan dari pemodelan populasi penduduk secara keseluruhan diperoleh ketelitian tertinggi mencapai 61,35% sedangkan ketelitian terendah 51,5%.

Akurasi dengan membandingkan untuk kategori permukiman teratur dan permukaan semi-teratur. Hasil perhitungan akurasi permukiman teratur memiliki akurasi tertinggi 61,58% dan akurasi terendah 53,98%. Perhitungan akurasi permukiman semi-teratur tertinggi sebesar 69,03% sedangkan akurasi terendah 59,5%. Akurasi pemodelan estimasi untuk permukiman dengan pola semi-teratur lebih tinggi dapat terjadi karena konsumsi luas lantai per orang

lebih fleksibel dibandingkan di permukiman teratur yang luasan bangunannya seragam.

	keseluruhan	teratur	semi-teratur
sum	133.00	40.00	61.00
SE	1.85	1.83	1.63
mean	4.29	4.00	4.64
stdev	1.58	1.41	1.58
c195%	0.49	0.74	0.62
upper range	4.78	4.74	5.26
lower range	3.81	3.26	4.02
max error	48.50	56.01	40.5
min error	38.65	38.51	30.97
max accuracy	61.35	61.48	69.03
min accuracy	51.50	53.98	59.5

KESIMPULAN

Hasil uji akurasi pemetaan dengan memanfaatkan foto udara memiliki rerata akurasi horizontal bangunan mencapai 90% sedangkan akurasi vertical hanya 63%.

Estimasi populasi permukiman dengan mengklaster berdasarkan variable pola dan kepadatan blok permukiman memiliki pengaruh keseragaman pada nilai estimasi di permukiman teratur sedangkan variable lantai bangunan secara umum mengagregasi jumlah populasi.

Hasil uji akurasi pemodelan estimasi populasi penduduk berdasarkan luas lantai bangunan menunjukkan akurasi tertinggi 61,35% dan terendah 51,5%. Berdasarkan klaster pola permukiman, permukiman dengan pola semi-teratur memiliki akurasi lebih tinggi dibandingkan permukiman teratur untuk akurasi pemodelan estimasi populasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model yang dibuat memiliki akurasi yang rendah dan kurang terpercaya sebagai sumber data kependudukan.

DAFTAR PUSTAKA

Anggarawati, B. dan C. Utomo. 2013. "Analisis Penggunaan Lahan

- Kawasan Komersial Perumahan CitraRaya Surabaya dengan Metode Highest and Best Use". *Jurnal Teknik POMITS*, Vol. 2, No.2, pp. 39-41.
- Dong, P., Ramesh, S. dan A. Nepali. 2010. "Evaluation of Small-area population estimation using LiDAR, Landsat TM and parcel data". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31, No.21, pp 5571-5586.
- Habibullah. 2014. Integrasi Foto Udara Ortho dan Data LiDAR (Light Detection and Ranging) untuk Ekstraksi Informasi Geometri Bangunan. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Loekita, S. 2006. "Analisis Konservasi Energi Melalui Selubung Bangunan". *Civil Engineering Dimension*, Vol.8, No.2, pp. 93-98.
- Neritarani, R. 2013. Analisis Morfometri Bangunan untuk Evaluasi Penataan Ruang di Kawasan Malioboro. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Qiu, F., Sridharan, H. dan Y. Chun. 2010. "Spatial Autoregressive Model for Population Estimation at the Census Block Level Using LiDAR-derived Building Volume Information". *Cartography and Geographic Information Science*, Vol.37, No.03, pp 239-257.
- Somantri, L. 2008. Pemanfaatan Citra Quickbird dan Sistem Informasi Geografis untuk Zonasi Kerentanan Kebakaran Permukiman: Kasus di Kota Bandung Bagian Barat. *Tesis*. Yogyakarta: Sekolah Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Suharyadi, R. 2000. *Penginderaan Jauh untuk Studi Kota*. Bahan Ajar. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Sutanto. 1982. Penafsiran foto udara untuk penaksiran jumlah penduduk dan distribusinya: Studi kasus di Kecamatan Kalianda dan Kecamatan Palas Kabupaten Lampung Selatan. *Disertasi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Tomas, L., Fonseca, L., Almeida, C., Leonardi, F. dan M. Pereira. 2016. "Urban Population Estimation based on Residential Buildings Volume Using IKONOS-2 Images and LiDAR Data". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 37, No.51, pp 1-28.
- UNCHS. 1996. The Housing Indicators Programme. *Report of the Executive Directors Vol.1*.
- Zhao, Y., Ovando-Montejo, G.A., Frazier A.E., Mathews, A.J., Flynn, K.C. dan E.A. Ellis. 2017. "Estimation Work and Home Population Using LiDAR-derived building volumes". *International Journal of Remote Sensing*, Vol.38, No. 4, pp. 1180-1196.