

# ANALISIS SPATIO-TEMPORAL MODEL ESTIMASI POPULASI BANGUNAN DENGAN MENGGUNAKAN UAV DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (STUDI KASUS: KELURAHAN TEMBALANG, SEMARANG)

Syarifah Mayda Az Zahrotun Nisa<sup>\*)</sup>, Arief Laila Nugraha, Nurhadi Bashit

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : [syarifahmaz@student.undip.ac.id](mailto:syarifahmaz@student.undip.ac.id)

## ABSTRAK

Kepadatan penduduk Kelurahan Tembalang pada tahun 2016 berjumlah 2.252 jiwa/km<sup>2</sup> dan pada tahun 2019 mencapai 2.917 jiwa/km<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan, kepadatan penduduk yang terjadi dalam 3 tahun mengalami kenaikan sebesar 29%. Pada saat ini, data kepadatan penduduk dilakukan perhitungan berdasarkan data wilayah administratif. Akan tetapi, persebaran penduduk di suatu wilayah sangatlah dinamis. Data kepadatan penduduk berdasarkan wilayah administratif terlihat kurang relevan jika diterapkan pada wilayah perkotaan dengan tingkat mobilisasi yang tinggi. Oleh karena itu, metode penentuan detail kepadatan penduduk sangat diperlukan untuk mendapatkan informasi yang akurat mengenai populasi penduduk wilayah perkotaan. Detail informasi populasi dapat digunakan dalam mengurangi faktor risiko bencana, pendataan kemiskinan dan wilayah tertinggal. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk representasi yang lebih realistis dari kegiatan manusia di daerah yang sangat perkotaan dan fakta yang menyebabkan perubahan seiring waktu dari kegiatan ini. Data UAV dapat digunakan untuk mengidentifikasi bangunan yang ada pada wilayah administrasi Kelurahan Tembalang. Hasil identifikasi bangunan diklasifikasikan berdasarkan kategori penggunaannya sehingga dapat diasumsikan bahwa, aktivitas manusia tidak lagi tersebar dalam area administratif melainkan ada di dalam bangunan. Data bangunan dilengkapi dengan data populasi serta ditunjang dengan data wawancara dimulainya aktivitas di dalam bangunan. Keseluruhan data yang terkumpul dilakukan pengolahan menggunakan SIG dengan metode volumetrik, sehingga dapat diketahui estimasi populasi yang ada pada bangunan secara spatio-temporal. Berdasarkan hasil perhitungan populasi bangunan, dapat diidentifikasi bahwa rata-rata persentase kenaikan populasi pada semua kategori bangunan pada pukul 01.00 WIB sebesar 28,61%, pukul 07.00 WIB sebesar 190,30%, pukul 13.00 WIB sebesar 155,65% dan pada pukul 19.00 WIB sebesar 55,25%. Kategori bangunan pendidikan adalah kategori bangunan yang paling mempengaruhi kenaikan populasi yang ada di Kelurahan Tembalang.

**Kata Kunci** : Estimasi Populasi Bangunan, Sistem Informasi Geografis, *Spatio-Temporal*, UAV

## ABSTRACT

*The population density of Tembalang Subdistrict in 2016 amounted to 2,252 people / km<sup>2</sup> and in 2019 it reached 2,917 people / km<sup>2</sup>. This shows, the population density that occurred in 3 years increased by 29%. At this time, population density data is calculated based on administrative area data. However, the population distribution in an area is very dynamic. Data on population density based on administrative regions appear to be less relevant if applied to urban areas with high levels of mobilization. Therefore, the method of determining the detailed population density is needed to get accurate information about the population of urban areas. Detailed population information can be used to reduce disaster risk factors, poverty data collection and disadvantaged areas. This study aims to utilize the technology of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Geographic Information Systems (GIS) for a more realistic representation of human activity in highly urban areas and facts that cause changes over time of this activity. UAV data can be used to identify buildings in the administrative area of Tembalang Subdistrict. The results of building identification are classified based on the category of their use so that it can be assumed that human activities are no longer scattered within the administrative area but rather within the building. Building data is supplemented with population data and is supported by interview data for the commencement of activities inside the building. The entire data collected is processed using GIS with volumetric methods, so it can be known spatio-temporal population estimates of buildings in the building. Based on the calculation of the building population, it can be identified that the average percentage of population increase in all building categories at 01.00 WIB at 28.61%, 07.00 WIB at 190.30%, 13.00 WIB at 155.65% and at 19.00 WIB at 55.25%. The education building category is the building category that most influences the population increase in Tembalang Subdistrict.*

**Keywords** : Building Population Estimation, Geographic Information Systems, *Spatio-Temporal*, UAV

<sup>\*)</sup> Penulis Utama, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1 Latar Belakang

Berdasarkan kebijakan Bagian Wilayah Kota (BWK) yang ada dalam Laporan Akhir RTRW Kota Semarang 2010-2030, kedudukan Kecamatan Tembalang dalam konstelasi Kota Semarang adalah sebagai kawasan pendidikan dalam fungsi regional serta perdagangan dan jasa dalam fungsi kota. Selain fungsi permukiman, fungsi Wilayah Kecamatan Tembalang sebagai tempat aktivitas pendidikan juga dipengaruhi oleh Universitas Diponegoro (Undip) yang turut mempengaruhi pertumbuhan kawasan di sekitarnya. Mahasiswa Undip dari berbagai daerah di Indonesia yang datang ke wilayah Tembalang mengakibatkan terjadinya urbanisasi tinggi khususnya di Kelurahan Tembalang. Urbanisasi akan mengakibatkan perkembangan morfologi dan fisik tata guna lahan. Wilayah tembalang yang merupakan kawasan pendidikan mengakibatkan aktivitas pendidikan pun ikut meningkat seperti tempat tinggal sementara/ kos-kosan/ kontrakan, tempat makan, laundry, jasa print, kafe, dan lain sebagainya. Fenomena ini mengakibatkan terjadinya anomali kepadatan penduduk pada wilayah dan waktu tertentu.

Kepadatan penduduk Kelurahan Tembalang menurut Badan Pusat Statistik Kota Semarang pada tahun 2016 berjumlah 2.252 jiwa/km<sup>2</sup> dan pada tahun 2019 mencapai 2.917 jiwa/km<sup>2</sup>. Pada saat ini, data kepadatan penduduk dilakukan perhitungan berdasarkan data wilayah administratif. Akan tetapi, persebaran penduduk di suatu wilayah sangatlah dinamis. Data kepadatan penduduk berdasarkan wilayah administratif terlihat kurang relevan jika diterapkan pada wilayah perkotaan dengan tingkat mobilisasi yang tinggi seperti pada Kelurahan Tembalang. Oleh karena itu, metode penentuan detail kepadatan penduduk sangat diperlukan untuk mendapatkan informasi yang akurat mengenai populasi penduduk wilayah perkotaan. Detail informasi populasi dapat digunakan dalam mengurangi faktor risiko bencana, pendataan kemiskinan dan wilayah tertinggal dan lain sebagainya. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk representasi yang lebih realistik dari kegiatan manusia di daerah yang sangat perkotaan dan fakta yang menyebabkan perubahan seiring waktu dari kegiatan ini.

Data UAV dapat digunakan untuk identifikasi bangunan yang ada pada wilayah administrasi Kelurahan Tembalang. Hasil identifikasi bangunan diklasifikasikan berdasarkan kategori penggunaannya sehingga dapat diasumsikan bahwa, aktivitas manusia tidak lagi tersebar dalam area administratif melainkan ada di dalam bangunan. Data bangunan dilengkapi dengan data populasi serta ditunjang dengan data wawancara dimulainya aktivitas di dalam bangunan. Keseluruhan data yang terkumpul dilakukan pengolahan menggunakan SIG, sehingga dapat diketahui estimasi populasi yang ada pada bangunan secara *spatio-temporal*.

Estimasi populasi bangunan secara *spatio-temporal* dapat divisualisasi berdasarkan data spasialnya pada *software* ArcGIS. Hasil akhir penelitian ini berupa kajian mengenai hasil estimasi populasi bangunan berdasarkan data administratif terhadap hasil estimasi populasi bangunan secara *temporal*. Harapannya, dengan penggunaan teknologi UAV dan SIG dalam penelitian ini dapat merepresentasikan hasil estimasi populasi bangunan yang lebih akurat secara *temporal*.

### I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil estimasi populasi bangunan Kelurahan Tembalang berdasarkan data administratif?
2. Bagaimana hasil estimasi populasi bangunan Kelurahan Tembalang berdasarkan kategori bangunan?
3. Bagaimana analisis hasil estimasi populasi bangunan berdasarkan data administratif terhadap hasil estimasi populasi bangunan berdasarkan kategori bangunan?

### I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hasil estimasi populasi bangunan Kelurahan Tembalang berdasarkan data administratif.
2. Mengetahui hasil estimasi populasi bangunan Kelurahan Tembalang berdasarkan kategori bangunan secara *temporal*.
3. Mengkaji mengenai hasil estimasi populasi bangunan berdasarkan data administratif terhadap hasil estimasi populasi bangunan berdasarkan kategori bangunan secara *spatio-temporal*.

### I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian berada di Kelurahan Tembalang dengan unit terkecil kepadatan populasi bangunan adalah wilayah administrasi Rukun Warga (RW).
2. Proses akuisisi foto udara UAV dilakukan pada bulan Mei 2019 dengan rencana terbang yang dibagi menjadi 6 *projects* berdasarkan luas wilayah dan bentuk topografi Kelurahan Tembalang.
3. Koreksi geometrik citra foto udara UAV dilakukan dengan metode image to image menggunakan citra WorldView-2 tahun 2016 yang sudah terkoreksi geometrik.
4. Data administratif diperoleh dari laporan monografi Kelurahan Tembalang bulan Agustus 2019.
5. Data kategori bangunan diperoleh dari data survei bangunan berupa hasil wawancara waktu mulainya aktivitas.

6. Data survei bangunan disesuaikan dengan wilayah penelitian yang terdiri dari jumlah lantai pada bangunan, kategori penggunaan bangunan dan waktu mulainya aktivitas di dalamnya dalam parameter waktu tertentu.
7. Kategori bangunan diklasifikasikan menjadi 4 berdasarkan penggunaannya yang mengacu pada aktivitas manusia, yaitu : Instansi Umum, Pelayanan dan Grosir, Pendidikan, dan Rumah.
8. Parameter waktu yang digunakan dalam penelitian ditampilkan per 6 jam dimulai dari pukul 01.00 – 07.00 WIB hingga pukul 19.00 – 01.00 WIB.
9. Waktu pengambilan data survei bangunan dilakukan pada bulan Agustus 2019 di hari kerja dari hari Senin – Jum’at.
10. Perhitungan estimasi populasi bangunan berdasarkan data administratif menggunakan metode volumetrik dari Lwin dan Murayama tahun 2009.
11. Perhitungan estimasi populasi bangunan berdasarkan kategori bangunan secara temporal menggunakan metode *spatio-temporal* dari Greger tahun 2015.
12. Pembuatan kelas interval estimasi populasi bangunan menggunakan metode statistik *natural breaks (jenks)*.

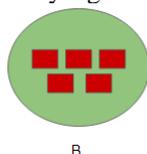
**II. Tinjauan Pustaka**

**II.1 Metode Estimasi Populasi Bangunan**

Populasi bangunan merupakan jumlah populasi pada suatu wilayah berdasarkan dari aktivitas yang ada didalam bangunan. Metode estimasi populasi bangunan pertama kali dikenalkan oleh (Lwin dan Murayama, 2009) termasuk metode areametri dan metode volumetrik. Perhitungan estimasi populasi bangunan metode volumetrik dapat dilihat pada Persamaan 1. Visualisasi dari Persamaan 1 dapat dilihat pada Gambar II-1.

$$BP_i = \left( \frac{CP}{\sum_{k=1}^n BA_k \cdot BF_k} \right) BA_i BF_i \dots \dots \dots (1)$$

- Dimana,
- BP<sub>i</sub> : estimasi populasi bangunan
  - CP : populasi di area administratif
  - BA<sub>i</sub> : luas area bangunan i
  - BF<sub>i</sub> : jumlah lantai pada bangunan i
  - BA<sub>k</sub> : luas area semua bangunan
  - BF<sub>k</sub> : jumlah lantai semua bangunan
  - k : indeks penjumlahan
  - n : jumlah bangunan yang memenuhi kriteria



**Gambar 1** Visualisasi model Persamaan 1

Metode perhitungan estimasi populasi bangunan ditingkatkan oleh Greger pada tahun 2015 dengan menambahkan dimensi *temporal* seperti terlihat pada

Persamaan 2 sehingga estimasi menjadi lebih relevan jika dihubungkan pada aktivitas manusia yang ada pada daerah dengan tingkat urbanisasi tinggi. Visualisasi dari model Persamaan 2 dapat dilihat pada Gambar 2.

$$BP_{i,c,t} = \left( \frac{AP_{i,c,t}}{\sum_{k \in A_{i,c}} BA_k \cdot BF_k} \right) BA_{i,c} BF_i \dots \dots \dots (2)$$

- Dimana,
- BP<sub>i,c,t</sub> : populasi bangunan gedung i dalam kategori c pada waktu t;
  - AP<sub>i,c,t</sub> : total populasi kategori c pada saat t dari sensus bangunan i
  - A : set semua sensus
  - BA<sub>i,c</sub> : luas area bangunan i dalam kategori c
  - c : jenis bangunan
  - t : waktu

Klasifikasi kategori bangunan dimodifikasi dari pendefinisian oleh Kay dkk pada tahun 2000 menjadi 4 kategori yang tidak hanya berisi lokasi spasial tetapi juga indikator penggunaan untuk setiap titik data. Kategori bangunan dapat dilihat pada Tabel 1.



**Gambar 2** Visualisasi Model Persamaan 2  
**Tabel 1** Kategori bangunan

No	Klasifikasi	Jenis Bangunan
1	Instansi Umum	Rumah sakit, laboratorium, klinik kesehatan, kawasan militer.
2	Pelayanan dan Grosir	Hotel, restoran, cafe, bank cabang, minimarket, laundry, warung makan, warung sembako, fotocopy dan print, toko kelontong, toko alat-tulis, toko busana, toko sepatu, optik, bengkel, salon, cuci motor dan mobil, klinik kecantikan, sekolahan, apotek.
3	Pendidikan	Pendidikan Anak Usia Dini, Sekolah Dasar, Universitas, Pondok Pesantren.
4	Rumah	Rumah tangga pribadi, rumah kontrakan dan kos-kosan.

**II.2 UAV**

UAV atau disebut wahana udara tak berawak merupakan media pengukuran fotogrametri yang beroperasi dari jarak jauh dikendalikan secara manual, semi otomatis atau otomatis tanpa seorang pilot yang mengendalikannya (Eisenbeiß, 2008 dalam Azeriansyah, 2017). UAV mempunyai kemampuan dapat beroperasi tanpa adanya pilot di dalam wahana tersebut. Selain itu, UAV dapat bergerak secara otomatis berdasarkan program yang sudah ditanamkan pada sistem komputernya.

**II.3 Sistem Informasi Geografis (SIG)**

SIG adalah suatu sistem informasi yang dirancang untuk bekerja dengan data yang bereferensi spasial atau berkoordinat geografis, atau dengan kata lain SIG merupakan sistem basis data dengan kemampuan – kemampuan khusus dalam menangani data yang tereferensi secara spasial selain merupakan sekumpulan operasi– operasi yang dikenakan terhadap data tersebut (Star dan John, 1990). Komponen SIG ada 5, yaitu: *hardware, software, brainware*, metode dan data.

**II.4 Analisis Spatio-Temporal**

Analisis *spatio-temporal* adalah suatu bentuk analisis dari suatu permasalahan yang ada dengan menggunakan metode penelitian jangka panjang dalam suatu lingkup daerah. Metode ini menggunakan data-data yang dikumpulkan dalam kurun waktu tertentu (*spatio*), yang kemudian data itu diproses menggunakan data spasial sehingga dapat dilihat perubahan data yang terjadi dalam kurun waktu tertentu.

**III. Metodologi Penelitian**

**III.1 Data Penelitian**

Data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Citra foto udara UAV Kelurahan Tembalang
2. Citra WorldView-2 tahun 2016 yang sudah terkoreksi geometrik dari BIG (Badan Informasi Geospasial)
3. Data kepadatan penduduk Kelurahan Tembalang bulan Juli 2019
4. Data survei bangunan tahun 2019 berupa wawancara langsung dengan pihak terkait.

**III.2 Perangkat Penelitian**

Perangkat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

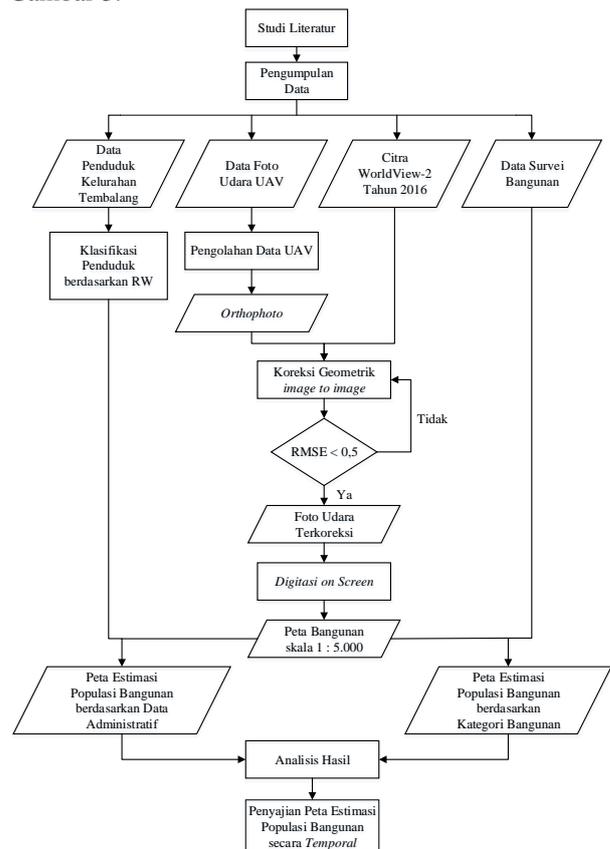
1. Perangkat keras (*hardware*) yang terdiri dari:
  - a. Dji Phantom 4 Professional untuk pengambilan data foto udara UAV.
  - b. Smartphone OPPO A5S untuk pengoperasian UAV melalui *software* DJI GO 4 dan pelaksanaan rencana terbang pada DroneDeploy.
  - c. Workstation Hp untuk pengolahan data foto udara UAV menjadi *orthophoto*.
  - d. Notebook Lenovo ideapad 300S untuk perhitungan populasi bangunan, pembuatan peta estimasi populasi bangunan menggunakan *software* ArcGIS 10.4.1 dan pembuatan laporan.
2. Perangkat lunak (*software*) yang terdiri dari:
  - a. *Software* Drone Deploy untuk pembuatan rencana terbang.
  - b. *Software* DJI GO 4 untuk kalibrasi UAV, penentuan *set home* dan pengaturan pengoperasian UAV.
  - c. *Software* Agisoft Photoscan Metashape untuk pengolahan data foto udara UAV

dari *import photo* hingga pembentukan *orthophoto*.

- d. *Software* Arc Map 10.4.1 untuk pembuatan peta bangunan dengan *digitasi on screen*, *add data* toponimi, pembuatan peta estimasi populasi bangunan dan *layouting* peta.
- e. *Software* Microsoft Word untuk pembuatan laporan tugas akhir.
- f. *Software* Microsoft Excel untuk perhitungan estimasi populasi bangunan.

**III.3 Diagram Alir**

Diagram alir pengolahan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir

**IV. Hasil dan Pembahasan**

**IV.1 Hasil dan Analisis Pembuatan Peta Dasar**

**IV.1.1 Hasil dan Analisis Pembentukan Orthophoto**

Hasil *orthophoto* pada Gambar 4 terbentuk dari 1.543 foto dengan luas area tercakup sebesar 274 Ha. Resolusi *orthophoto* yang dihasilkan dari proses pengolahan foto udara yaitu 0,032 cm/piksel. Secara visual, resolusi spasial tersebut mampu digunakan dalam proses identifikasi bangunan, pengukuran objek jalan hingga mengetahui objek terkecil seperti *benchmark*.

Resolusi *orthophoto* yang baik berkaitan dengan hasil RMSE pada pengolahan foto udara. Nilai RMSE didapatkan dari hasil koreksi geometrik dengan metode *image to image* menggunakan citra resolusi tinggi yang sudah terkoreksi geometrik. Proses koreksi geometrik dilakukan menggunakan *software* ArcGIS

10.4.1 dengan menentukan 16 titik kontrol yang tersebar merata di seluruh area penelitian. Nilai RMSE dari koreksi geometrik menggunakan Citra WorldView-2 dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4 Hasil Orthophoto  
Tabel 2 Nilai RMSE

No	Residual X (m)	Residual Y (m)	RMSE
1	0,117	0,576	0,588
2	0,352	-0,703	0,786
3	-0,082	-0,746	0,751
4	-0,211	0,000	0,211
5	-0,330	0,326	0,464
6	0,090	-0,095	0,131
7	-0,027	-0,405	0,406
8	0,147	0,452	0,475
9	0,044	0,000	0,044
10	-0,352	-0,108	0,368
11	0,000	0,000	0,000
12	-0,186	0,709	0,733
13	0,111	0,000	0,111
14	0,377	-0,130	0,399
15	-0,175	-0,174	0,247
16	0,129	0,288	0,316
Total RMSE:			0,447

Total RMSE horizontal yang dihasilkan pada proses pengolahan adalah sebesar 0,447 m. Hasil RMSE menunjukkan bahwa *orthophoto* telah terkoreksi geometrik dengan baik karena hasil selisih dari proses transformasi koordinat foto ke koordinat lapangan yang dilakukan menghasilkan nilai 7 mm secara horizontal.

IV.1.2 Hasil dan analisis ketelitian *orthophoto*

Hasil dan analisis ketelitian foto udara digunakan untuk mengetahui kualitas dari *orthophoto* yang dibentuk dari hasil pengolahan. Hasil perhitungan nilai CE90 dapat dilihat pada Tabel 3.

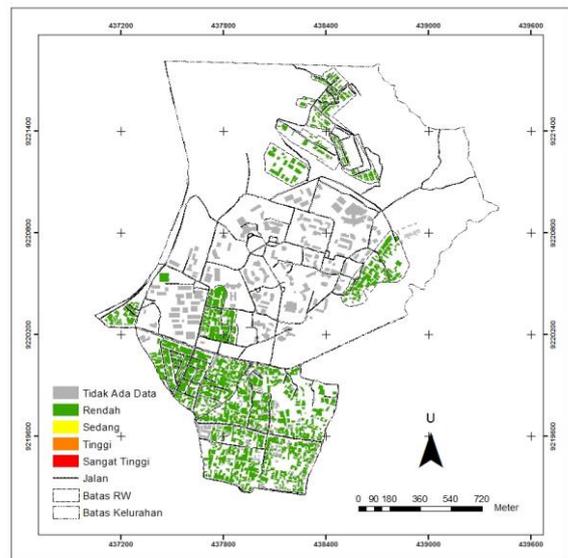
Tabel 3 Hasil Perhitungan CE90

RMSE (m)	CE90 (m)	Skala Peta	Kelas
0,447	0,678	1 : 5.000	1

Hasil perhitungan CE90 menunjukkan bahwa ketelitian geometrik secara horizontal telah memenuhi standar ketelitian kelas 1 dengan nilai kurang dari 1 untuk peta skala 1:5.000. Oleh karena itu, ketelitian peta estimasi populasi bangunan skala 1:5.000 sesuai dengan ketelitian *orthophoto* yaitu ketelitian kelas 1. Hal ini menunjukkan bahwa sedikitnya 90% kesalahan atau pergeseran posisi objek pada peta estimasi populasi bangunan tersebut tidak lebih dari 1 meter untuk posisi horizontal.

IV.2 Hasil dan Analisis Pembuatan Peta Estimasi Populasi Bangunan berdasarkan Data Administratif

Pembuatan peta estimasi populasi bangunan berdasarkan data administratif mengacu pada Persamaan 1. Batas administratif yang digunakan dalam penelitian ini adalah batas RW 1 hingga RW 8 Kelurahan Tembalang. Kelas interval populasi bangunan diklasifikasikan menjadi 4 menggunakan metode statistik *natural breaks (jenks)*. Tabel kelas interval populasi bangunan berdasarkan data administratif dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil peta estimasi populasi bangunan berdasarkan data administratif dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Hasil Peta Estimasi Populasi Bangunan berdasarkan Data Administratif

Tabel 4 Kelas Interval Populasi Bangunan berdasarkan Data Administratif

Populasi Bangunan	Kelas
0	Tidak Ada Data
1 – 75	Rendah
76 – 233	Sedang
234 – 503	Tinggi
504 - 1100	Sangat Tinggi

Estimasi populasi bangunan berdasarkan data administratif menggunakan data kependudukan yang tersedia pada laporan monografi Kelurahan Tembalang bulan Agustus 2019. Perhitungan estimasi populasi bangunan dilakukan dengan mengidentifikasi jumlah bangunan yang ada pada wilayah administratif RW. Proses identifikasi dilakukan untuk mengetahui

jumlah dan luas area bangunan. Kemudian, data kependudukan per RW dibagi rata ke semua bangunan yang memenuhi kategori. Perhitungan estimasi populasi bangunan menggunakan fungsi pada *software* Microsoft Excel. Hasil estimasi populasi bangunan per RW dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5** Hasil Estimasi Populasi Bangunan berdasarkan Data Administratif

Wilayah Admin	Populasi Bangunan			Jumlah Bangunan
	Min	Maks	Rata <sup>2</sup>	
RW 1	1	32	1	774
RW 2	1	14	3	360
RW 3	1	7	1	597
RW 4	1	20	4	215
RW 5	1	10	2	208
RW 6	3	6	4	60
RW 7	1	23	3	298
RW 8	1	15	2	315

Wilayah administratif Kelurahan Tembalang memiliki area bangunan seluas 1.331.728,26 m<sup>2</sup> dengan total 2.973 bangunan berdiri di atasnya. Nilai rata-rata populasi bangunan dari semua RW berada pada kelas rendah. Rata-rata populasi dengan nilai paling besar adalah RW 4 dan RW 6 yaitu 4 jiwa/bangunan. Rata-rata populasi dengan nilai paling kecil adalah RW 1 dan RW 3 yaitu 1 jiwa/bangunan. Namun jika diperhatikan kembali, jumlah bangunan terbanyak ada di wilayah RW 1 dan jumlah bangunan paling sedikit ada di wilayah RW 6. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak bangunan yang berdiri di suatu wilayah, semakin rendah tingkat kepadatan populasi bangunan di wilayah tersebut.

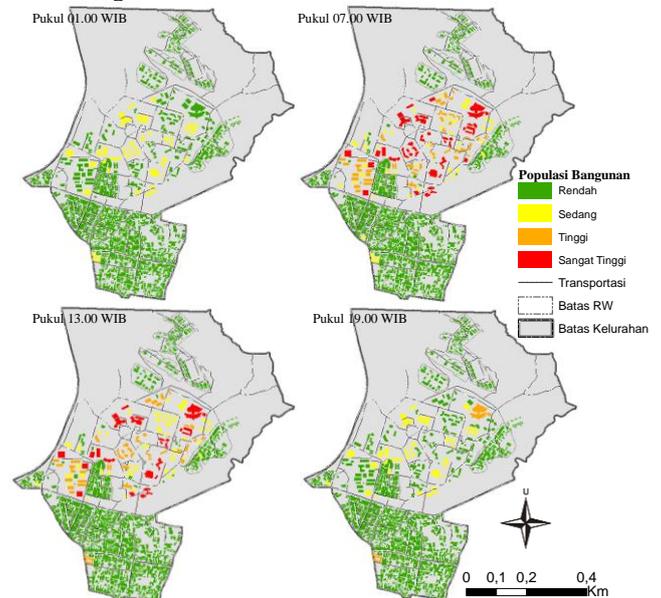
**IV.3 Hasil dan Analisis Pembuatan Peta Estimasi Populasi Bangunan berdasarkan Kategori Bangunan**

Pembuatan peta estimasi populasi bangunan dapat ditampilkan berdasarkan kategori bangunan secara *temporal* dengan tetap memperhitungkan wilayah administratifnya sehingga aspek spasial dan aspek temporal dari data yang sudah terkumpul dapat digabungkan untuk melengkapi peta estimasi populasi. Peta *time series* total estimasi populasi bangunan berdasarkan kategori bangunan per 6 jam dapat dilihat pada Gambar 6.

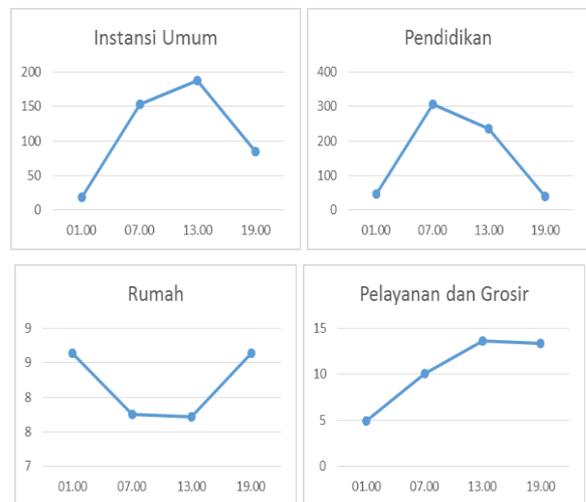
Hasil peta estimasi populasi bangunan dapat divisualisasikan per kategori untuk mengidentifikasi kategori bangunan yang manakah yang memiliki tingkat kenaikan populasi paling signifikan di Kelurahan Tembalang. Kategori bangunan pada Gambar 7 dan Gambar 8 dikelompokkan menjadi dua, yaitu: rumah dan pekerjaan. Kategori pekerjaan merupakan gabungan dari kategori pendidikan, instansi umum dan pelayanan dan grosir. Populasi di kategori bangunan rumah pada setiap parameter waktu berada pada kelas yang sama yaitu rendah. Namun, terjadi penurunan angka populasi dari pukul 07.00 – 19.00 WIB meskipun masih dalam kelas yang sama. Penurunan angka populasi rumah dapat diidentifikasi dengan klasifikasi *natural breaks (jenks)* untuk menghasilkan kelas baru berdasarkan variasi data pada

rumah. Peta estimasi populasi bangunan kategori rumah dapat dilihat pada Gambar 7.

Kategori bangunan pekerjaan pada Gambar 8 menunjukkan hasil yang lebih variatif dengan kelas interval yang sama. Pola aktivitas pada setiap kategori bangunan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 9. Pola aktivitas ini dipengaruhi oleh aktivitas pekerja dan pelajar yang tinggal di Kelurahan Tembalang.

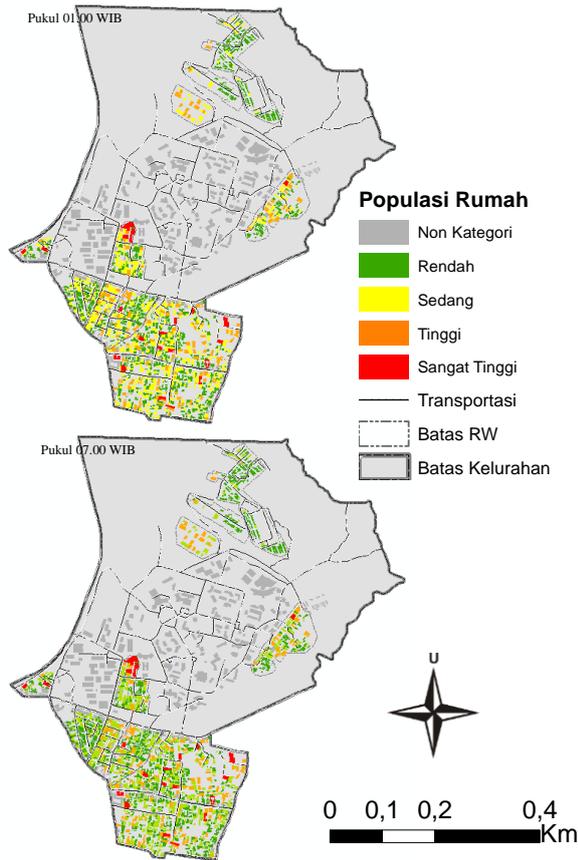


**Gambar 6** Time Series Estimasi Populasi Bangunan berdasarkan Kategori Bangunan

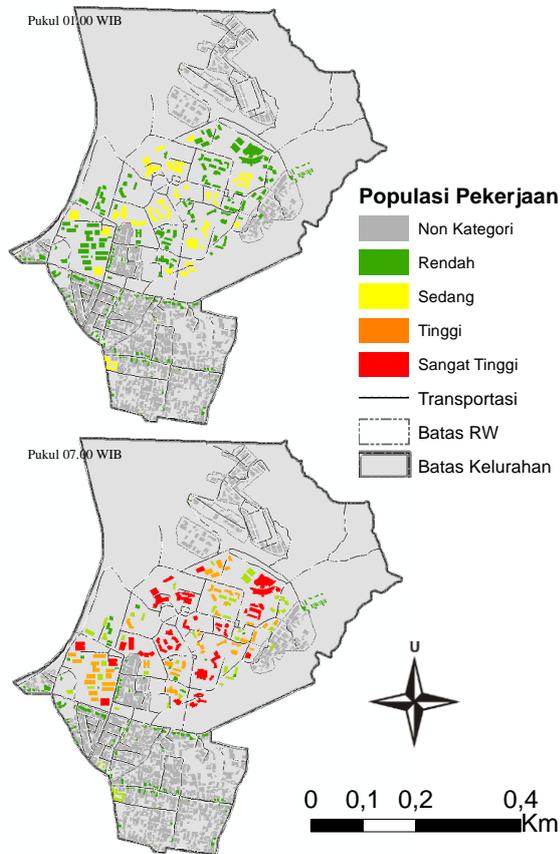


**Gambar 9** Grafik Populasi Bangunan

Populasi pada kategori bangunan pendidikan mengalami puncak kenaikan pada pukul 07.00 – 13.00 WIB dengan nilai rata-rata populasi 305 jiwa/bangunan. populasi pada kategori bangunan rumah memiliki perubahan populasi yang cenderung konstan dengan rata-rata populasi 9 jiwa/bangunan pada pukul 19.00 – 07.00 WIB dan 8 jiwa/bangunan pada pukul 07.00 – 19.00 WIB. Nilai rata – rata populasi bangunan per kategori waktu dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 7 Peta Estimasi Populasi Bangunan Kategori Rumah



Gambar 8 Peta Estimasi Populasi Bangunan Kategori Pekerja

Tabel 6 Estimasi Populasi Bangunan berdasarkan Kategori Bangunan

Kategori	Rata-rata Populasi Bangunan				Jumlah Bangunan
	01.00	07.00	13.00	19.00	
Instansi Umum	19	154	187	85	6
Pelayanan dan Grosir	5	10	14	13	164
Pendidikan	46	305	235	39	146
Rumah	9	8	8	9	1998

IV.4 Analisis Spatio-temporal Peta Estimasi Populasi Bangunan berdasarkan Data Administratif terhadap Data Kategori Bangunan

Peta estimasi populasi bangunan berdasarkan data administrasi pada Gambar IV-2 menunjukkan bahwa secara administratif, wilayah Kelurahan Tembalang didominasi oleh warna hijau yang berarti wilayah dengan tingkat populasi rendah. Namun, peta estimasi populasi bangunan berdasarkan kategori bangunan dengan tambahan aspek temporal menghasilkan data yang lebih beragam. Kategori bangunan rumah akan memuat data populasi yang lebih tinggi pada pukul 19.00 – 07.00 WIB sedangkan kategori bangunan pekerjaan akan memuat data populasi yang lebih tinggi pada pukul 07.00 – 19.00 WIB. Kategori Pendidikan dan Instansi Umum memuat bangunan dengan layanan 24 jam sehingga tampak selalu memiliki populasi dengan nilai tinggi pada setiap parameter waktu. Persentase kenaikan populasi berdasarkan data administratif terhadap kategori bangunan secara temporal dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Persentase Kenaikan Populasi Bangunan

Kategori	Persentase Kenaikan (%)			
	01.00-07.00	07.00 - 13.00	13.00 - 19.00	19.00 - 01.00
Instansi Umum	8,50	75,83	92,50	21,25
Pelayanan dan Grosir	1,90	4,95	6,99	4,62
Pendidikan	100,88	677,70	520,38	193,10
Rumah	3,17	2,74	2,73	2,02
Rata-rata:	28,61	190,30	155,65	55,25

Berdasarkan Tabel 7 dapat ditarik kesimpulan bahwa kategori bangunan pendidikan adalah kategori bangunan yang paling mempengaruhi kenaikan populasi yang ada di Kelurahan Tembalang.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah:

1. Hasil peta estimasi populasi bangunan berdasarkan data admin menunjukkan bahwa Kelurahan Tembalang memiliki tingkat

populasi bangunan pada kelas rendah. Rentang angka populasi bangunan paling kecil adalah 0 dan tertinggi 32 jiwa. Rata-rata populasi bangunan paling kecil adalah RW 1 dan RW 3 yaitu 1 jiwa dengan jumlah bangunan 774 dan 597 sedangkan rata-rata populasi bangunan paling besar adalah RW 4 dan RW 6 yaitu 4 jiwa dengan jumlah bangunan 215 dan 60. Maka, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin banyak bangunan yang berdiri di suatu area administratif semakin rendah tingkat kepadatan populasi di wilayah tersebut.

2. Hasil peta estimasi populasi bangunan berdasarkan data kategori bangunan menunjukkan bahwa instansi umum dan pelayanan dan grosir mengalami puncak kenaikan populasi pada pukul 13.00 – 19.00 WIB dengan nilai rata – rata populasi 187 jiwa/bangunan dan 14 jiwa/bangunan. Kategori bangunan pendidikan mengalami puncak kenaikan pada pukul 07.00 – 13.00 WIB dengan nilai rata-rata populasi 305 jiwa/bangunan. Kategori bangunan rumah memiliki perubahan populasi yang cenderung konstan dengan populasi tertinggi pada pukul 19.00 – 07.00 WIB sebanyak 9 jiwa/bangunan. Variasi data populasi bangunan dipengaruhi oleh pola aktivitas pekerja dan pelajar yang tinggal di rumah pada wilayah administrasi RW dan pendatang (pekerja dan pelajar) dari luar wilayah administrasi RW di Kelurahan Tembalang. Maka, dapat disimpulkan bahwa kategori rumah memiliki nilai populasi yang berbanding terbalik dengan nilai populasi kategori pekerjaan.
3. Berdasarkan hasil peta estimasi populasi bangunan menggunakan data administratif dan menggunakan kategori bangunan, persentase kenaikan populasi penduduk asli sesuai data administratif terhadap penduduk pendatang diluar administratif dapat diidentifikasi secara temporal. Persentase kenaikan populasi bangunan kategori instansi umum dan pelayanan dan grosir paling tinggi terjadi di RW 3 pada pukul 13.00 -19.00 WIB. Kategori pendidikan paling tinggi terjadi di RW 7 pada pukul 13.00 – 19.00 WIB. Persentase kenaikan populasi bangunan kategori rumah terjadi di RW 3 pada pukul 19.00 – 07.00. Maka, dapat disimpulkan bahwa wilayah yang persentase perubahan populasi bangunannya paling besar adalah RW 3 dengan rata-rata persentase sebesar 6% per 6 jam.

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan wilayah studi yang lebih luas agar variasi hasil estimasi populasi bangunan dapat lebih terlihat.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan parameter lain, seperti misalnya: kerentanan sosial.
3. Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan indikator waktu per jam agar pola aktivitas populasi dalam suatu wilayah dapat diidentifikasi lebih detail.
4. Sebaiknya dilakukan perbandingan hasil antara metode estimasi populasi secara *spatio-temporal* dengan metode estimasi populasi lainnya.
5. Hasil pemetaan dapat diterapkan dalam pembuatan aplikasi berbasis android maupun webGIS.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Azeriansyah, R., Prasetyo, Y., dan Yuwono, B. D. (2017). Analisis Identifikasi Dampak Bencana Tanah Longsor dengan Menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) (Studi Kasus: Kelurahan Ngesrep, Kecamatan Banyumanik). *Jurnal Geodesi Undip*, 6, 474–484.
- Badan Informasi Geospasial. (2018). *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018*.
- Greger, K. (2015). *Spatio-temporal Building Population Estimation for Highly Urbanized Areas using GIS*. *Transactions in GIS*, 19(1), 129–150. <https://doi.org/10.1111/tgis.12086>
- Kay W, A., Guido, R., dan Stefan, S. (2000). *Observing the Rhythms of Daily Life: A six-week travel diary*. *Transportation*.
- Lwin, K. K., dan Murayama, Y. (2009). *A GIS approach to estimation of building population for micro-spatial analysis*. *Transactions in GIS*, 13(4), 401–414. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2009.01171.x>
- Star, J., dan John, E. (1990). *Geographic Information System: An Introduction*. Prentice-Hall.
- Wolf, P. R., Gunadi, Gunawan, T., dan Zuharnen. (1983). *Elemen Fotogrametri: Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh* (Indonesian: Gajah Mada University Press). Yogyakarta.
- Wu, S., Qiu, X., dan Wang, L. (2005). *Population Estimation Methods in GIS and Remote Sensing: A Review*. (1), 80–96.

#### V.2 Saran

Saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu: