



TIPOLOGI MORFOLOGI KAWASAN PERMUKIMAN DENGAN METODE SPASIAL *HIBRIDA CROSS-SECTIONAL* DI KAPANEWON SLEMAN KABUPATEN SLEMAN

TYPOLOGY OF SETTLEMENT MORPHOLOGY THROUGH A CROSS-SECTIONAL HYBRID SPATIAL APPROACH IN SLEMAN DISTRICT, SLEMAN REGENCY

Cantika Dwi Juita¹, Fahril Fanani^{*}, Iwan Aminto Ardi¹

¹Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Indonesia

*Korespondensi: fahril.fanani@itny.ac.id

Info Artikel:

- Artikel Masuk: 06/02/2026
- Artikel diterima: 23/09/2026
- Tersedia Online: 30/09/2026

ABSTRAK

Pemahaman konvensional mengenai morfologi kota sering kali terjebak pada analisis fisik statis yang gagal menangkap dinamika aktivitas manusia, terutama di kawasan peri-urban. Penelitian ini bertujuan merumuskan tipologi morfologi permukiman di Kapanewon Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, guna mengisi kekosongan metode kuantitatif dalam identifikasi kawasan transisi desa-kota. Pendekatan yang digunakan adalah metode spasial hibrida cross-sectional yang mengintegrasikan data raster intensitas cahaya malam (Night Time Light/NTL) dari satelit VIIRS-DNB (VNP46A4) sebagai proksi aktivitas antropogenik, dan data vektor tapak bangunan dari OpenStreetMap. Melalui analisis statistik spasial dan Multi-ring Buffer, penelitian ini mengungkap konfigurasi polarisasi spasial yang membentuk kontinum desa-kota yang spesifik. Uji Goodness of Variance Fit (GVF = 0,89) memvalidasi pembagian wilayah studi ke dalam empat zona morfologi utama: (1) Zona Kota di Tridadi dengan karakter kompak-padat (rasio terbangun 14,06%) dan vitalitas ekonomi tinggi; (2) Zona Sub-Kota yang terbukti secara spasial mengalami perkembangan pita (ribbon development) agresif, di mana lebih dari 68% bangunan terkonsentrasi pada radius <200 meter dari koridor jalan utama; (3) Zona Pinggiran dengan pola permukiman terfragmentasi (leapfrog); dan (4) Zona Desa yang mempertahankan resistensi spasial dengan pola menyebar. Temuan ini memberikan justifikasi empiris bahwa integrasi matriks NTL-Vektor efektif mendelineasi batas fungsional perkotaan tanpa bergantung pada data demografi tradisional. Studi ini merekomendasikan reorientasi kebijakan tata ruang, khususnya pengetatan zonasi dan disinsentif pajak di koridor transisi guna mencegah perembetan perkotaan yang tidak terkendali.

Kata Kunci: Morfologi Permukiman, Night Time Light, Pola Spasial, Urbanisasi Fungsional, Kapanewon Sleman

ABSTRACT

Conventional understanding of urban morphology is often trapped in static physical analysis, failing to capture the dynamics of human activity, especially in peri-urban areas. This study aims to formulate a settlement morphology typology in Sleman District, Special Region of Yogyakarta, addressing the methodological gap in quantitatively identifying rural-urban transition zones. The study employs a cross-sectional hybrid spatial approach integrating Night Time Light (NTL) raster data from the VIIRS-DNB (VNP46A4) satellite as a proxy for anthropogenic activity, and building footprint vector data from OpenStreetMap. Utilizing spatial statistics and Multi-ring Buffer analysis, this research reveals a spatial polarization configuration that forms a distinct rural-urban continuum. The Goodness of Variance Fit test (GVF = 0.89) validates the categorization of the study area into four main morphological zones: (1) Urban Zone in Tridadi characterized by compact-density (built-up ratio of 14.06%) and high economic vitality; (2) Sub-Urban Zone spatially proven to experience aggressive ribbon development, with over 68% of buildings concentrated within a < 200-meter radius from the main road corridor; (3) Fringe Zone with fragmented (leapfrog) settlement patterns; and (4) Rural Zone maintaining spatial resistance with dispersed patterns. These findings provide empirical justification that NTL-Vector matrix integration effectively delineates functional urban boundaries independently of traditional demographic data. The study recommends spatial planning policy reorientation, specifically stricter zoning and tax disincentives in transition corridors to prevent uncontrolled urban sprawl.

Keywords: Settlement Morphology, Night Time Light, Spatial Pattern, Functional Urbanization, Sleman District

1. PENDAHULUAN

Studi mengenai morfologi perkotaan telah bergeser dari sekadar analisis bentuk fisik menuju pemahaman interaksi keruangan yang dinamis. Rapoport (1977) menekankan bahwa wujud fisik ruang merupakan cerminan langsung dari nilai dan aktivitas antropogenik. Merespons pergeseran paradigma tersebut, penelitian ini memfokuskan analisis pada konsep Morfologi Permukiman (*Settlement Morphology*), yang didefinisikan secara spesifik sebagai integrasi struktural antara wadah fisik spasial (kepadatan tapak bangunan) dan intensitas aktivitas manusia di dalamnya (Gauthier & Gilliland, 2005). Pendekatan dinamis ini menjadi krusial mengingat metode evaluasi morfologi kota konvensional Conzen (1960); Krier & Rowe C. (1979) yang bertumpu pada analisis peta rencana kota (*town-plan analysis*) cenderung bersifat statis dan gagal menangkap denyut kehidupan sosial-ekonomi secara real-time (Ayudya & Ikaputra, 2022; Dibble et al., 2019; Wang et al., 2023; Zhang et al., 2023).

Kebutuhan akan pembaruan instrumen analisis morfologi tersebut menjadi sangat mendesak ketika dihadapkan pada fenomena transformasi keruangan di kawasan peri-urban. Sebagai wilayah transisi, kawasan peri-urban merupakan arena kontestasi ruang yang masif antara fungsi ekologis perdesaan dan desakan ekspansi ekonomi perkotaan (Dieleman, 2011; Yunus, 2008). Un-Habitat (2016) mencatat bahwa kecepatan perembetan perkotaan (*urban sprawl*) di negara berkembang sering kali melampaui kapasitas adaptasi instrumen perencanaan tata ruang, menghasilkan ketidakteraturan konfigurasi permukiman yang sulit diprediksi jika perumusan kebijakannya hanya bersandar pada siklus rilis data demografi konvensional.

Kondisi empiris ini terepresentasikan secara nyata di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), dengan Kabupaten Sleman bertindak sebagai kawasan penyangga (*buffer zone*) utama di sisi utara. Studi terdahulu merekam pergerakan masif urbanisasi dari pusat Kota Yogyakarta menuju wilayah pinggiran (Arif & Toersilowati, 2024; Devi et al., 2020; Dewa et al., 2025; Divigalpitiya & Handayani, 2015). Kajian Cahyani dan Giyarsih (2024) di Sinduadi, serta Warsono (2006) di koridor Jalan Kaliurang, membuktikan adanya perembetan kawasan terbangun yang memicu fragmentasi lahan pertanian kritis (Dewa et al., 2025; Divigalpitiya & Handayani, 2015). Tekanan aglomerasi dari selatan ini secara langsung mempengaruhi Kapanewon Sleman. Sebagai ibu kota kabupaten sekaligus pusat pelayanan regional, Kapanewon Sleman mengalami lonjakan konversi lahan dan kepadatan penduduk yang signifikan. Berdasarkan data BPS dalam publikasi Kecamatan Sleman Dalam Angka 2024, laju pertumbuhan penduduk di Kapanewon Sleman mencapai 1,15% per tahun. Seiring pertumbuhan tersebut, luas lahan terbangun di wilayah ini meningkat menjadi 986,5 hektare, yang kini telah mengambil alih sekitar 31,5% dari total luas wilayah kapanewon. Tingginya dinamika ini memunculkan tantangan pengendalian ruang. Fanani (2014, 2026) mengibaratkan situasi pertumbuhan tanpa arah ini sebagai hilangnya peran "nakhoda kota" dalam tata ruang, memicu perkembangan pita (*ribbon development*) acak yang mengancam keberlanjutan sabuk hijau.

Untuk memecahkan tantangan identifikasi kawasan tersebut, diperlukan terobosan metodologis. Berbagai studi morfologi terkini umumnya masih bergantung pada klasifikasi tutupan lahan optis (Ariyadi, 2014; Wulandari & Pradoto, 2018) atau integrasi data sensus demografi dengan *Point of Interest* (PoI). Kesenjangan utamanya adalah: data optis tidak mampu mengukur tingkat aktivitas "di dalam" bangunan, sementara data sensus bersifat lambat (siklus sepuluh tahunan) dan tidak merepresentasikan batas fungsional keruangan (*blurred boundary*). Sebagai solusi, pemanfaatan citra *Night Time Light* (NTL) dari sensor VIIRS-DNB terbukti memiliki korelasi linear yang kuat dalam mendeteksi intensitas aktivitas ekonomi dan batas fungsional perkotaan (Afrianto & Rendra Graha, 2023; B. K. Elvidge et al., 2021; C. D. Elvidge et al., 1997; Levin et al., 2020; Zhao et al., 2020). Integrasi NTL dengan data tapak bangunan (*building footprints*) dari *OpenStreetMap* (OSM) menawarkan presisi spasial tinggi (Boeing, 2017; Haklay, 2010). Penggunaan data partisipatif OSM di wilayah Jawa dan DIY telah mencapai tingkat kelengkapan dan akurasi geometri yang sangat memadai untuk skala analisis meso, yang validitasnya dapat diuji-silang dengan citra satelit resolusi tinggi.

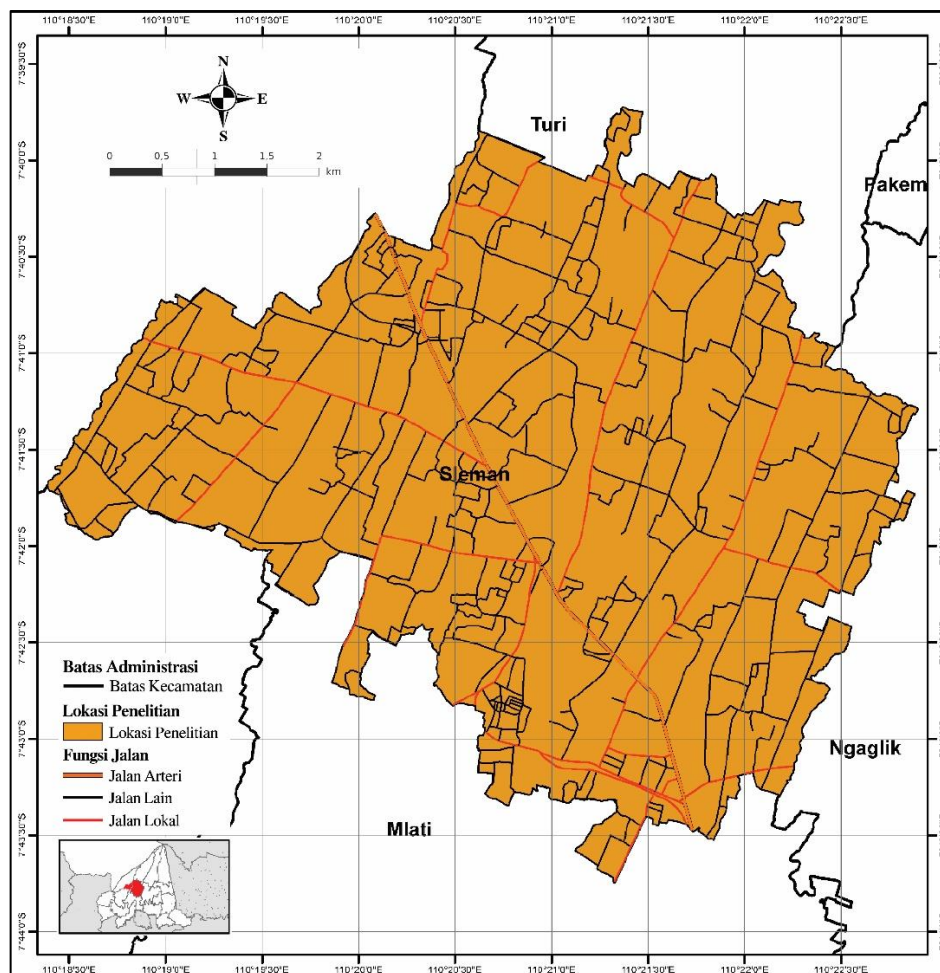
Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merumuskan klasifikasi tipologi morfologi permukiman di Kapanewon Sleman secara kuantitatif. Kebaruan (*novelty*) studi ini terletak pada ekstraksi matriks spasial hibrida yang menyilangkan data raster dinamis (NTL) dan vektor fisik (OSM) tanpa bergantung pada data

demografi tradisional (Wang et al., 2023). Melalui metode ini, penelitian tidak hanya mendeskripsikan wujud fisik, tetapi secara empiris mendeliniasi struktur *rural-urban continuum* (Pahl, 1966). Temuan klasifikasi ini diharapkan memberikan landasan metodologis baru dalam studi morfologi kota, sekaligus memberikan implikasi taktis bagi perumusan kebijakan pengendalian zonasi tata ruang yang adaptif, sesuai dengan amanat (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang, 2007).

2. DATA DAN METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan secara spasial pada seluruh wilayah administrasi Kapanewon Sleman, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pemilihan Kapanewon Sleman sebagai lokus studi (*study area*) didasarkan pada karakteristik uniknya sebagai kawasan *peri-urban interface* yang menghubungkan pusat aglomerasi Kota Yogyakarta di bagian selatan dengan bentang ekologis perdesaan di bagian utara. Secara administratif dan fungsional, wilayah ini mengemban peran ganda: sebagai ibu kota kabupaten yang memusatkan kegiatan pelayanan regional, sekaligus sebagai wilayah penyangga (*buffer zone*) yang menerima tekanan ekspansi demografis secara masif.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Kondisi geografis tersebut menjadikan Kapanewon Sleman sebagai representasi ideal dari ruang spasial yang dinamis. Wilayah ini dicirikan oleh percampuran penggunaan lahan (*mixed land-use*) yang intens, di mana fungsi agraris secara gradual terdesak oleh penetrasi kawasan terbangun dan permukiman komuter akibat pergerakan nilai pasar lahan. Dinamika keruangan yang pesat ini merepresentasikan spektrum

kontinuum desa-kota secara utuh, mulai dari titik aglomerasi kompak perkotaan hingga pola permukiman perdesaan. Oleh karena itu, Kapanewon Sleman dapat menjadi lokasi penelitian yang secara spasial sangat representatif untuk mengidentifikasi keberagaman tipologi morfologi permukiman transisional.

2.2. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif geospasial dengan metode analisis spasial multi-skala. Pemilihan pendekatan ini didasarkan pada kebutuhan untuk menerjemahkan konfigurasi morfologi perkotaan yang kompleks ke dalam variabel yang terukur secara matematis (Dibble et al., 2019; Fleischmann et al., 2022; Gauthier & Gilliland, 2005; Gil et al., 2011). Berbeda dengan tradisi morfologi klasik Conzenian (Conzen, 1960; Krier & Rowe, 1979) yang sangat bertumpu pada interpretasi visual peta rencana kota (*town-plan analysis*) yang bersifat kualitatif, penelitian ini menawarkan kebaruan metodologis. Kebaruan tersebut terletak pada ekstraksi kuantitatif matriks hibrida yang menggabungkan data raster dinamis (aktivitas manusia) dan data vektor statis (fisik bangunan) tanpa harus bergantung pada data sensus demografi tradisional.

Untuk menjamin presisi, penelitian ini menetapkan unit analisis pada dua skala keruangan (Fleischmann et al., 2020; Vanderhaegen & Canters, 2017). Skala mikro diterapkan pada level piksel (resolusi 500×500 meter) untuk menganalisis gradasi intensitas pancaran cahaya malam. Sementara itu, skala meso menggunakan batas administrasi kalurahan sebagai unit *Zonal Statistics* untuk diagregasi dengan persentase kepadatan bangunan fisik (Herold et al., 2003). Pendekatan ini dirancang untuk mendeliniasi struktur ruang Kapanewon Sleman sebagai spektrum *rural-urban continuum* (Pahl, 1966; Yunus, 2008).

2.3. Data dan Teknik Akuisisi

Kualitas ekstraksi morfologi sangat bergantung pada resolusi dan validitas data keruangan. Penelitian ini mengintegrasikan data penginderaan jauh dan data geospasial partisipatif yang direkam pada satu periode observasi (*cross-sectional*) untuk mencegah bias temporal. Rincian spesifikasi data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Data Spasial Penelitian

No.	Jenis Data	Format	Sumber & Spesifikasi Teknis	Fungsi dalam Analisis
1	Night Time Light (NTL)	Raster (.tif)	NOAA/VIIRS (Produk: VNP46A4 Annual Composite, Tahun 2023, Resolusi Spasial: 500 m)	Proksi aktivitas antropogenik dan vitalitas ekonomi pada level (Elvidge et al., 2021).
2	Building Footprints	Vektor (.shp)	OpenStreetMap / OSM (Ekstraksi: Overpass API, Kondisi Data: Januari 2025)	Variabel utama (poligon) untuk menghitung persentase lahan terbangun dan pola kepadatan
3	Jaringan Jalan	Vektor (.shp)	OpenStreetMap / OSM	Variabel pusat (<i>centerline</i>) untuk analisis <i>buffer</i> pertumbuhan memita (<i>ribbon development</i>).
4	Batas Administrasi	Vektor (.shp)	Badan Informasi Geospasial (BIG)	Unit pembatas poligon agregasi untuk Zonal Statistics di tingkat Kalurahan

Sumber: Peneliti, 2025

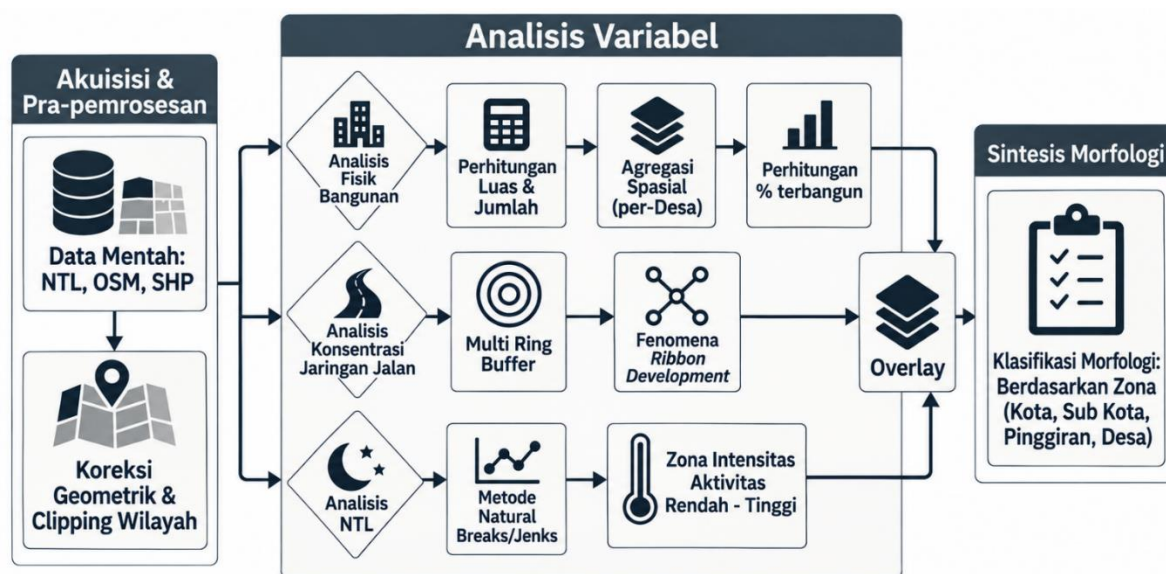
- Citra Night Time Light (NTL) Data intensitas cahaya malam diperoleh dari sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) tipe VNP46A4 yang merupakan komposit tahunan rata-rata untuk meminimalisasi gangguan awan (*cloud-free*). Pemilihan NTL didasarkan pada riset (Elvidge et al., 2021; Elvidge et al., 1997) yang membuktikan adanya korelasi linear positif antara pancaran radian cahaya dengan tingkat kepadatan aktivitas komersial dan konsumsi energi. Data ini mampu memetakan batas fungsional wilayah yang tidak terdeteksi oleh tutupan lahan optis (Afrianto & Graha, 2023). Mengingat wilayah utara Kapanewon Sleman seperti Caturharjo dan Trimulyo masih didominasi lahan agraris, nilai

radian NTL yang bernilai negatif atau mendekati nol dikalibrasi (dianggap nol/gelap) untuk menghilangkan distorsi *background noise* dari sensor, sehingga pendaran cahaya murni merepresentasikan objek antropogenik riil.

- b) Data Bangunan dan Jaringan Jalan (*OpenStreetMap*) Tapak bangunan dan jaringan jalan diekstraksi dari basis data *OpenStreetMap* menggunakan kueri Overpass API. Penggunaan data geospasial partisipatif ini dijustifikasi oleh tingkat kelengkapan dan presisi pemetaan OSM di wilayah Jawa dan Daerah Istimewa Yogyakarta yang telah memadai untuk analisis skala meso. Untuk mencegah ketimpangan (*bias coverage*), validasi geometri dilakukan secara acak (*random sampling* uji petik) silang dengan citra satelit resolusi tinggi pada perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Memperhatikan sifat data OSM yang *crowdsourced*, operasi uji validitas (*quality control*) dilakukan secara acak pada 100 sampel blok permukiman di Kalurahan Tridadi dan Triharjo menggunakan overlay visual dengan citra *Google Earth* (perekaman 2024). Hasil uji silang menunjukkan tingkat akurasi geometri yang sangat memadai (mengikuti pola tapak riil) untuk agregasi pada tingkat kalurahan.

2.4. Metode Analisis Data

Proses analisis dilakukan melalui tahapan terstruktur yang dimulai dari pra-pemrosesan data hingga sintesis morfologi. Alur kerja penelitian divisualisasikan pada Gambar 1.



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 2. Tahapan Analisis Spasial Morfologi Permukiman

a) Klasifikasi Zona Aktivitas (*Natural Breaks*)

Data raster NTL diklasifikasikan ke dalam kelas intensitas (Rendah hingga Tinggi) menggunakan algoritma *Natural Breaks* (Jenks). Metode statistik ini meminimalkan varians internal kelas dan memaksimalkan perbedaan antar-kelas secara natural (Danoedoro, 2012). Algoritma ini diatur secara spesifik untuk membagi kelas menjadi 4 (empat) kategori absolut guna merepresentasikan tipologi morfologi sasaran: Tinggi (Kota), Sedang (Sub-Kota), Rendah (Pinggiran), dan Sangat Rendah (Desa). Untuk memastikan 4 kelas pembagian ini valid untuk wilayah Sleman, indeks *Goodness of Variance Fit* (GVF) dihitung berulang (*iterative*) hingga ditemukan ambang batas (*threshold*) yang menghasilkan varians internal kelas terendah dan varians antar-kelas tertinggi:

$$GVF = \frac{SDAM - SDCM}{SDAM}$$

Keterangan: *SDAM* adalah *Sum of Squared Deviations from the Array Mean* dan *SDCM* adalah *Sum of Squared Deviations from the Class Means*. Nilai *GVF* yang mendekati 1 (atau > 0.8) membuktikan bahwa rentang kelas *NTL* yang dihasilkan valid dan bukan pembagian acak.

b) Analisis Tingkat Keterbangunan (*Physical Analysis*)

Data vektor bangunan diolah menggunakan teknik *Spatial Join* dan *Zonal Statistics* untuk menghitung akumulasi luas tapak dasar di setiap unit kalurahan. Selanjutnya, operasi *Spatial Join* dan *Zonal Statistics* diaplikasikan dengan menggunakan poligon batas 5 kelurahan (Tridadi, Triharjo, Pandowoharjo, Caturharjo, Trimulyo) sebagai unit pembatas. Algoritma SIG secara otomatis mengakumulasi total luasan tapak bangunan yang jatuh (berinterseksi) di dalam setiap kelurahan. Kepadatan dihitung menggunakan rumus Persentase Lahan Terbangun (*Percentage of Built-up Area*):

$$P_b = \left(\frac{\sum A_{bid}}{A_{total}} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

- P_b : Persentase lahan terbangun (%)
- $\sum A_{bid}$: Total luas tapak bangunan dalam unit analisis (m^2)
- A_{total} : Luas total wilayah administrasi desa/kelurahan (m^2)

Indikator ini relevan untuk mengukur tingkat kekompakan (*compactness*) dan densifikasi fisik yang menjadi ciri utama transisi dari wilayah *rural* ke *urban* (Ariyadi, 2014; Bobkova et al., 2021; Çalışkan et al., 2025; Herold et al., 2003; Schwarz, 2010).

c) Analisis Konsentrasi Jaringan Jalan (*Multi-ring Buffer*)

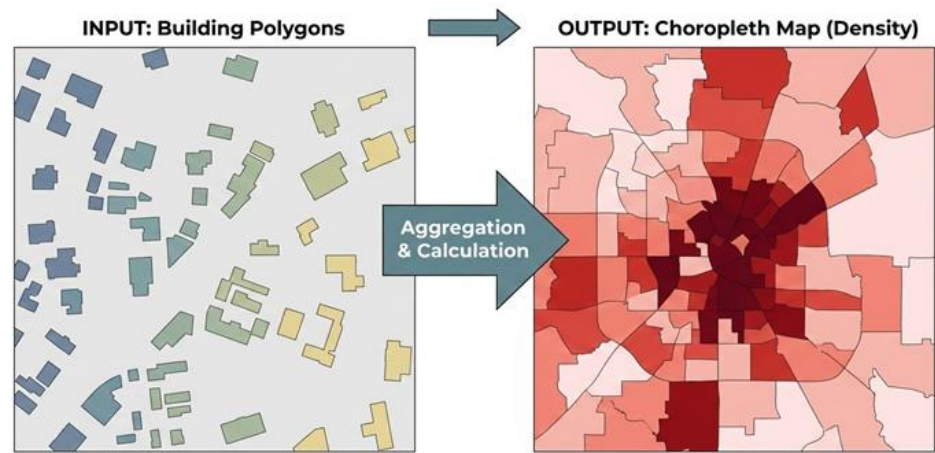
Untuk merespons identifikasi fenomena *ribbon development*, metode *Multi-ring Buffer* diaplikasikan pada garis tengah (*centerline*) jalan arteri dan kolektor primer, khususnya Jalan Magelang. Zona *buffer* ditarik pada interval radius proksimitas 100 m, 300 m, dan 500 m. Setelah poligon cincin terbentuk, fitur *Clip/Intersect* diaplikasikan pada data tapak bangunan, sementara *Zonal Statistics as Table* diaplikasikan pada raster *NTL*. Proses ini secara operasional akan menghitung berapa persentase massa bangunan dan seberapa tinggi rata-rata intensitas cahaya yang "terperangkap" di dalam setiap zona radius tersebut, sehingga pergeseran konsentrasi kepadatan dari tepi jalan utama menuju bagian belakang blok (*hinterland*) dapat diukur secara empiris (Araldi & Fusco, 2019; Divigalpitiya & Handayani, 2015; Vanderhaegen & Canters, 2017).

d) Sintesis Zonasi Morfologi

Tahap akhir melibatkan sintesis antara zonasi aktivitas (*NTL*) dan kepadatan bangunan. Klasifikasi morfologi didasarkan pada matriks hubungan spasial (Berghauser Pont et al., 2019; Devi et al., 2020; Fleischmann et al., 2022; Gil et al., 2011) yang mengacu pada karakteristik kawasan *peri-urban* Hudalah & Firman (2012); Yunus (2008) serta pola interaksi keruangan (Bintarto, 1989). Wilayah dikategorikan menjadi empat zona morfologi utama:

1. Zona Kota: Aktivitas Tinggi dan Kepadatan Tinggi (Pola Kompak).
2. Zona Sub-Kota: Aktivitas Sedang dan Kepadatan Sedang-Tinggi (Pola Linear/Transisi).
3. Zona Pinggiran: Aktivitas Rendah dan Kepadatan Sedang (Pola Mengelompok Terpisah).
4. Zona Desa: Aktivitas Sangat Rendah dan Kepadatan Rendah (Pola Menyebarkan).

Pendekatan sintesis ini memungkinkan identifikasi fenomena *urban sprawl* maupun *ribbon development* yang sering terjadi di koridor jalan utama seperti Jalan Magelang (Kamal et al., 2025; Warsono, 2006).



Gambar 3. Ilustrasi Metode Analisis Aggregation & Calculation

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Polarisasi Spasial Aktivitas Antropogenik Berbasis NTL

Temuan pertama penelitian ini mengungkap adanya polarisasi spasial yang tajam dalam distribusi intensitas aktivitas manusia. Berdasarkan klasifikasi *Natural Breaks* pada citra VIIRS-DNB, Kapanewon Sleman tidak menunjukkan struktur wilayah yang homogen, melainkan membentuk gradasi intensitas dari Selatan (perkotaan) menuju Utara (perdesaan).

Untuk memastikan bahwa kelas morfologi yang terbentuk bersifat valid secara statistik dan bukan partisi arbitrer, uji *Goodness of Variance Fit* (GVF) diaplikasikan. Hasil perhitungan menghasilkan skor GVF absolut sebesar 0,89 (mendekati 1), yang mengonfirmasi bahwa varians intensitas cahaya antar-kelas sangat maksimal sementara varians di dalam kelas sangat minimal. Parameter kuantitatif dari klasifikasi ini disajikan pada Tabel 2.

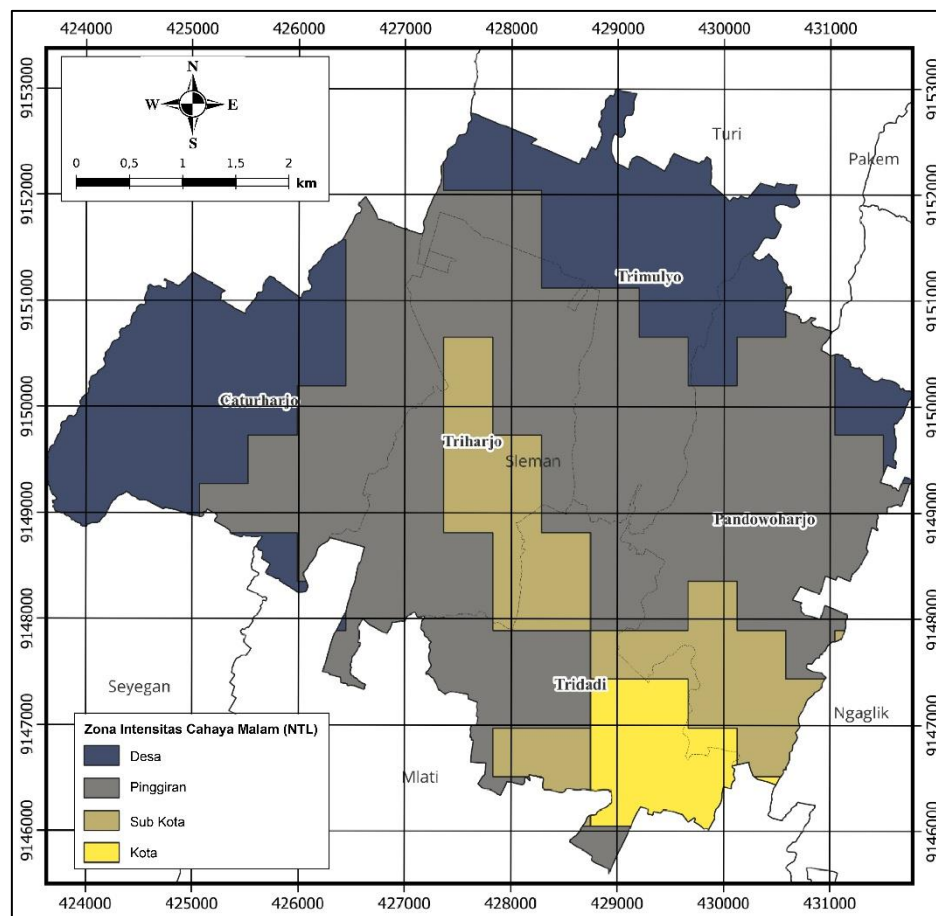
Tabel 2. Klasifikasi dan Distribusi Spasial Intensitas NTL

Zona Aktivitas	Rentang Nilai Radian ($nW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$)	Karakteristik Sebaran	Luas Wilayah (km^2)
Intensitas Tinggi (Kota)	> 35,50	Aglomerasi masif terpusat	4,25
Intensitas Sedang (Sub-Kota)	15,20 – 35,50	Memanjang (linear) pada koridor	7,12
Intensitas Rendah (Pinggiran)	5,50 – 15,19	Titik-titik (klaster) terisolasi	10,85
Sangat Rendah (Desa)	< 5,50	Pendaran gelap (dark pixel)	9,06

Sumber: Peneliti, 2025

a) Gradasi Intensitas Cahaya: Dari Inti ke Pinggiran

Secara visual-spasial, zona dengan intensitas NTL tertinggi (*High Intensity*) terkonsentrasi secara masif di Kalurahan Tridadi. Fenomena ini mengonfirmasi peran Tridadi sebagai pusat pemerintahan Kabupaten Sleman dan simpul aktivitas ekonomi regional. Tingginya pendaran cahaya di zona ini, merujuk pada Elvidge et al. (2021), merepresentasikan tingginya konsumsi energi listrik yang berkorelasi lurus dengan densitas aktivitas komersial dan jasa yang beroperasi hingga larut malam (Levin et al., 2020; Zhao et al., 2020). Sebaliknya, intensitas cahaya meredup secara nyata saat bergerak ke arah utara menuju Caturharjo dan Trimulyo, yang diidentifikasi sebagai zona dengan intensitas aktivitas terendah.



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 4. Peta Zona Intensitas Cahaya Malam (NTL) di Kapanewon Sleman

Gambar 4 memvisualisasikan gradasi warna dari kuning terang di selatan yaitu Kalurahan Tridadi yang memudar menjadi biru gelap di utara, merepresentasikan penurunan intensitas aktivitas antropogenik. Gradasi ini membuktikan bahwa urbanisasi di Sleman tidak menyebar secara merata ke segala arah (isotropic), melainkan mengikuti pola sumbu tertentu. Konsentrasi cahaya yang memanjang di sebagian wilayah Kalurahan Triharjo dan Pandowoharjo menunjukkan adanya pengaruh koridor transportasi utama yaitu Jalan Magelang yang bertindak sebagai magnet aktivitas. Dalam perspektif teori Hoyt (1939), fenomena ini memperkuat argumen *sectoral growth*, di mana aksesibilitas transportasi menjadi determinan utama arah pemekaran kota (Araldi & Fusco, 2019; Divigalpitiya & Handayani, 2015).

Namun, berbeda dengan kota-kota di negara maju yang memiliki batas tegas antara kota dan desa, pola NTL di Kapanewon Sleman menunjukkan *blurred boundary*. Zona dengan intensitas menengah atau *medium intensity* tersebar cukup luas di area transisi, menandakan adanya perembetan aktivitas perkotaan ke wilayah pinggiran yang belum sepenuhnya matang. Hal ini merupakan karakteristik khas wilayah *peri-urban* di negara berkembang sebagaimana dijelaskan oleh Hudalah & Firman (2012) dan Yunus (2008), di mana fungsi lahan bercampur aduk antara hunian, pertanian, dan komersial skala kecil.

b) NTL sebagai Indikator Vitalitas Ekonomi

Temuan ini sejalan dengan studi (Afrianto & Graha, 2023) di Kota Malang, yang menemukan bahwa NTL mampu mendeliniasi batas fungsional kota atau *urban functional area* (UFA) secara lebih akurat dibandingkan batas administrasi. Di Kapanewon Sleman, data NTL mengungkap bahwa aktivitas ekonomi "hidup" tidak selalu berhimpitan dengan kepadatan permukiman. Ada wilayah di Pandowoharjo yang secara fisik padat bangunan, namun intensitas NTL pada lokasi tersebut dalam kategori rendah. Ini mengindikasikan

fungsi kawasan sebagai *dormitory town*, di mana penduduk bekerja di luar wilayah atau di Kota Yogyakarta pada siang hari dan hanya menggunakan wilayah tersebut untuk istirahat di malam hari, sehingga konsumsi energi dan aktivitas ekonomi malam hari relatif minim.

3.2. Konsentrasi Keterbangunan dan Analisis Jaringan Jalan

Analisis terhadap elemen fisik bangunan memperkuat dan melengkapi temuan pada analisis aktivitas dari data NTL. Perhitungan statistik spasial terhadap data vektor bangunan *OpenStreetMap* menunjukkan ketimpangan *built-up ratio* antarwilayah kalurahan yang cukup mencolok. Analisis terhadap elemen fisik (vektor bangunan) memberikan lapisan pembuktian empiris kedua. Hasil ekstraksi persentase lahan terbangun (P_b) menunjukkan ketimpangan spasial, di mana Tridadi menempati rasio tertinggi (14,06%), diikuti Triharjo (12,83%), Pandowoharjo (8,22%), Caturharjo (7,45%), dan Trimulyo (6,37%) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi Tingkat Keterbangunan Wilayah Kapanewon Sleman

No.	Kalurahan	Jumlah Bangunan (Unit)	Luas Bangunan (m ²)	Luas Wilayah (m ²)	Persentase Terbangun (%)
1	Tridadi	6.358	707.622	5.035.292	14,06
2	Triharjo	9.029	738.500	5.756.013	12,83
3	Pandowoharjo	6.583	596.306	7.256.160	8,22
4	Caturharjo	5.257	554.016	7.439.438	7,45
5	Trimulyo	3.456	367.292	5.766.434	6,37

Sumber: Analisis Data Spasial OSM & BPS, 2025

Untuk membuktikan klaim pertumbuhan memita (*ribbon development*) yang sebelumnya dikritik hanya berdasarkan observasi visual, penelitian ini mengeksekusi metode *Multi-ring Buffer* pada as jalan (*centerline*) arteri dan kolektor primer, khususnya Jalan Magelang. Hasil perhitungan spasial menunjukkan anomali yang sangat spesifik di Kalurahan Triharjo: lebih dari 68% total luas tapak bangunan dan sebaran piksel NTL berintensitas menengah-tinggi terkonsentrasi secara solid pada radius proksimitas 0 – 200 meter dari as jalan utama.

Di luar radius 300 meter (*hinterland* blok jalan), rasio keterbangunan turun drastis di bawah 5% dan didominasi oleh ruang terbuka atau lahan pertanian. Bukti matematis ini secara definitif mengonfirmasi bahwa infrastruktur transportasi bertindak sebagai magnet utama yang menarik konversi lahan, memvalidasi eksistensi *ribbon development* tanpa terjebak pada asumsi visual semata (Warsono, 2006).

a) Kalurahan Tridadi sebagai Inti Morfologi

Kalurahan Tridadi menunjukkan nilai persentase terbangun tertinggi sebesar 14,06%. Angka ini secara kuantitatif memvalidasi statusnya sebagai inti morfologi Kapanewon Sleman. Tingginya rasio bangunan terhadap lahan di wilayah ini mencerminkan kompetisi ruang yang ketat, memaksa pertumbuhan vertikal atau pemadatan bangunan atau *infill development*. Kepadatan ini tidak hanya berupa hunian, tetapi juga didominasi oleh gedung pemerintahan dan fasilitas publik berskala besar, mengingat posisi Kalurahan Tridadi sebagai ibu kota kabupaten. Dalam kerangka teori *Urban Space* (Krier & Rowe, 1979), Kalurahan Tridadi telah membentuk *urban fabric* yang solid, di mana ruang terbuka semakin tereduksi menjadi elemen sirkulasi semata. Fenomena ini secara morfologis mengubah komposisi ruang dari dominasi horizontal-terbuka menjadi struktur vertikal-padat. Kondisi ini membuktikan bahwa gaya sentripetal ekonomi kabupaten terpusat secara absolut di wilayah ini, memicu konversi pemanfaatan ruang yang terpaksa mengorbankan luasan fungsi ekologis demi optimalisasi fungsi komersial dan pelayanan publik.

b) Anomali Morfologi Kalurahan Triharjo

Temuan menarik muncul pada data Kalurahan Triharjo. Wilayah ini memiliki jumlah unit bangunan terbanyak (9.029 unit) dan total luas bangunan terbesar (738.500 m²), bahkan melampaui Kalurahan Tridadi.

Namun, persentase terbangunnya (12,83%) masih di bawah Tridadi. Anomali data ini memberikan petunjuk morfologis yang sangat penting yaitu Kalurahan Triharjo didominasi oleh bangunan dengan *footprint* yang lebih kecil namun jumlahnya masif.

Interpretasi ilmiah atas fenomena ini menunjukkan bahwa Kalurahan Triharjo sedang mengalami fase densifikasi permukiman hunian atau *residential densification* yang intensif. Berbeda dengan Tridadi yang didominasi tapak bangunan masif (skala perkantoran/komersial), tingginya kuantitas bangunan di Triharjo disumbang oleh proliferasi persil hunian berskala sangat kecil (*micro-parcels*) (Bobkova et al., 2021; Çalışkan et al., 2025). Hal ini menjadi indikator spasial yang kuat atas masuknya gelombang pekerja komuter yang memecah lahan-lahan pertanian warisan di belakang koridor jalan utama menjadi permukiman terfragmentasi, sebuah adaptasi rasional terhadap tingginya nilai sewa lahan (*land rent*) di wilayah pusat. Pola ini sesuai dengan deskripsi Rapoport (1969) mengenai bentuk rumah dan budaya, di mana tekanan urbanisasi di pinggiran kota sering kali bermanifestasi dalam bentuk proliferasi perumahan skala menengah-kecil yang memadati lahan-lahan bekas pertanian.

c) Resistensi Ruang di Wilayah Utara

Sebaliknya, Kalurahan Trimulyo di bagian utara hanya memiliki tingkat keterbangunan 6,37%. Rendahnya angka ini bukan indikator keterbelakangan, melainkan fungsi ekologis dan agraris yang masih dominan (Arif & Toersilowati, 2024; Dewa et al., 2025). Resistensi morfologis ini bukan terjadi secara kebetulan, melainkan dipengaruhi secara kuat oleh determinasi bio-geografis, seperti elevasi topografi lereng bawah Gunung Merapi, serta ketegasan regulasi zonasi daerah resapan air (*water catchment area*). Struktur kepemilikan lahan yang masih dipertahankan dalam wujud plot agraris luas secara efektif mengunci wilayah ini dari penetrasi pengembang perumahan skala besar (*large-scale housing*), menjaga ritme keruangan tetap selaras dengan daya dukung alam. Hal ini relevan dengan temuan Kamal et al. (2025) yang menyebutkan bahwa wilayah utara Kapanewon Sleman memiliki resistensi perubahan lahan yang lebih kuat dibanding selatan karena faktor topografi lereng Merapi dan regulasi zonasi konservasi air. Pola bangunan di sini masih sangat dipengaruhi oleh kepemilikan lahan tradisional yang luas, menghambat pembentukan klaster padat.

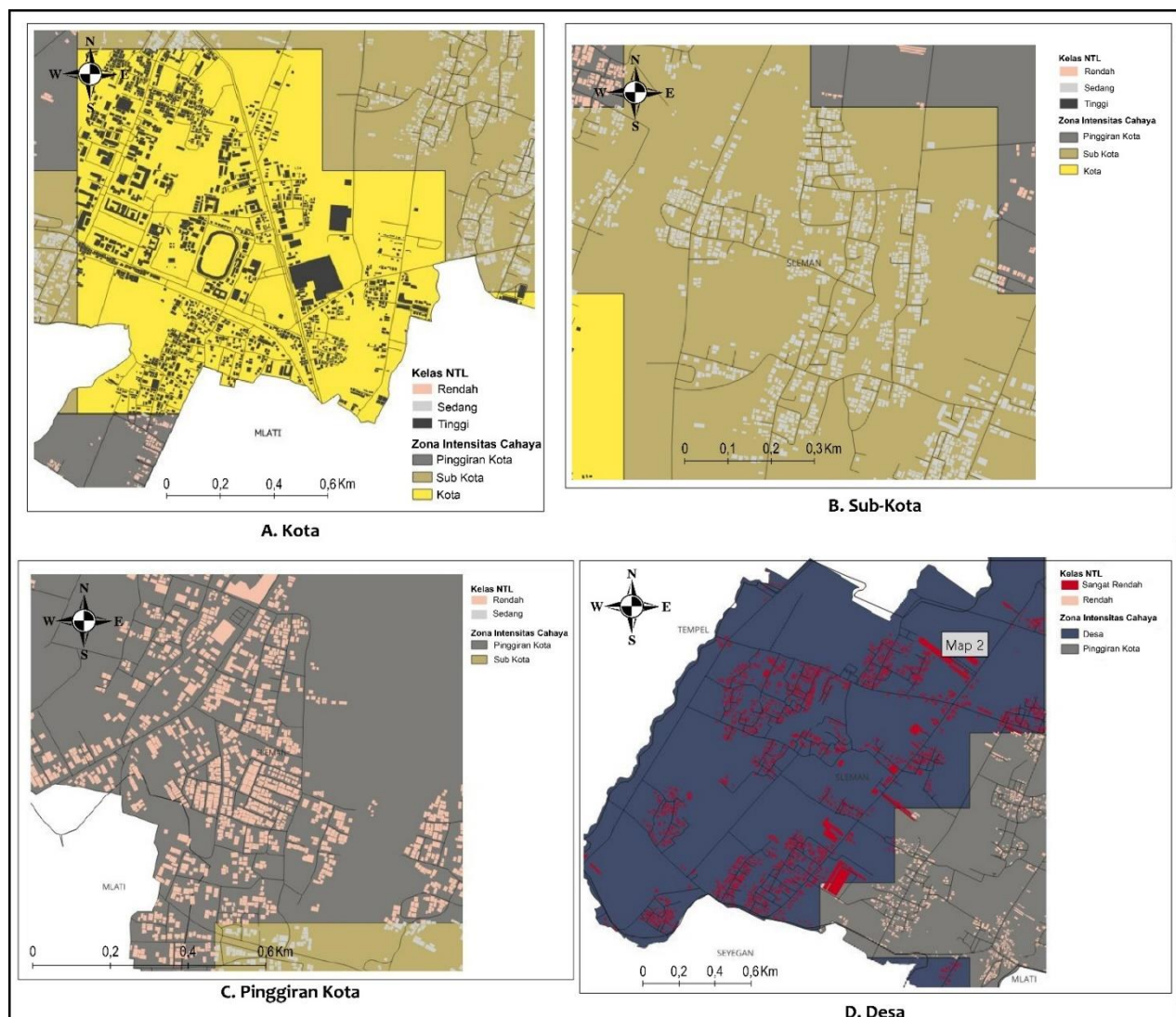
3.3. Karakterisasi Morfologi Permukiman Kapanewon Sleman

Melalui proses *overlay* antara zonasi aktivitas NTL dan pola fisik bangunan, penelitian ini merumuskan empat tipologi morfologi permukiman di Kapanewon Sleman (Berghauser Pont et al., 2019; Fleischmann et al., 2022; Gil et al., 2011; Wang et al., 2023). Klasifikasi ini memperbarui pemahaman tentang struktur ruang lokal yang sebelumnya hanya dilihat dari aspek administratif semata. Gambar 4 menunjukkan karakteristik morfologi permukiman pada setiap zona di lokasi penelitian.

a) Zona Kota: Aglomerasi Kompak Linear

Zona Kota yang berkarakteristik aglomerasi kompak linear mendominasi sebagian besar wilayah Kalurahan Tridadi dan sebagian kecil sisi selatan Kalurahan Triharjo, terbentuk secara definitif dari persilangan matriks kepadatan bangunan tinggi dan intensitas NTL tinggi. Secara keruangan, permukiman di zona ini menampilkan tekstur yang sangat padat dengan jarak antar-massa bangunan saling menempel (kurang dari 2 meter), membentuk blok-blok perkotaan (*urban blocks*) yang solid dengan orientasi grid teratur mengikuti jaringan jalan arteri dan kolektor primer. Kekompakan fisik tersebut berhimpitan langsung dengan pendaran radian aktivitas malam hari yang tak terputus (*continuous bright pixels*), memberikan bukti empiris bahwa saturasi ruang terbangun berbanding lurus dengan intensitas kegiatan sosial-ekonomi. Kondisi ini secara fungsional merepresentasikan entitas "kota" yang sebenarnya, memposisikan Tridadi bukan sekadar kawasan hunian melainkan pusat vitalitas (*vitality center*) kawasan, sejalan dengan prinsip *Compact City* yang digerakkan oleh proksimitas fasilitas publik (Hermawan & Rudiarto, 2023). Integrasi temuan tersebut pada akhirnya menghasilkan rumusan spasial "**Inti Vitalitas Campuran (Mixed-use Vitality Core)**", yakni sebuah postulat yang menegaskan bahwa ketika saturasi fisik dan pendaran NTL telah

mencapai titik maksimal, ruang tersebut terlepas sepenuhnya dari karakter agraris dan bertransformasi absolut menjadi generator aktivitas 24 jam yang saling menopang antara fungsi hunian dan komersial.



Sumber: Peneliti, 2025

Gambar 5. Karakteristik Morfologi Permukiman pada setiap zona di Kapanewon Sleman

b) Zona Sub-Kota: Transisi dan Ribbon Development

Zona Sub-Kota yang berkarakteristik transisi dan *ribbon development* teridentifikasi dominan di wilayah Kalurahan Triharjo, terbentuk dari interseksi matriks antara kepadatan bangunan skala sedang-tinggi dengan intensitas aktivitas (NTL) level sedang. Morfologi kawasan ini dicirikan oleh pola *linear-cluster*, di mana pertumbuhan bangunan berekspansi secara agresif menyusuri koridor jalan utama (*ribbon development*) dan mulai menyebar membentuk klaster-klaster permukiman di lapis kedua (*hinterland blok*), menyisakan ruang-ruang terbuka agraris yang terperangkap di antara persil bangunan. Menariknya, meskipun kuantitas fisik bangunan di zona ini sangat masif, profil pendaran cahaya (NTL) justru tidak merata; aktivitas malam hari hanya terkonsentrasi kuat pada as jalan raya dan memudar drastis di bagian belakang blok. Disparitas ini sejalan dengan studi Warsono (2006) dan Wulandari & Pradoto, (2018) yang menegaskan bahwa infrastruktur transportasi merupakan determinan utama pengubah morfologi yang menjadikan zona ini sebagai area paling dinamis sekaligus rentan (*vulnerable*) terhadap desakan *urban sprawl* dan spekulasi pasar lahan. Mengacu pada fenomena tersebut, matriks ini menghasilkan rumusan "**Koridor Kerentanan**

Spasial (*Spatial Vulnerability Corridor*)", sebuah postulat yang mengonfirmasi bahwa infrastruktur jalan bertindak sebagai vektor (*carrier*) utama perembetan lahan; menciptakan ilusi kepadatan kota secara visual di tepi jalan, namun secara substansial belum didukung oleh kematangan aktivitas ekonomi komprehensif di keseluruhan blok permukiman.

c) Zona Pinggiran: Fragmentasi Klaster (*Leapfrog Development*)

Zona Pinggiran yang bercirikan fragmentasi klaster (*leapfrog development*) teridentifikasi secara dominan di wilayah Kalurahan Pandowoharjo, lahir dari perpotongan matriks antara tingkat kepadatan bangunan skala sedang dan intensitas aktivitas (NTL) yang rendah. Secara morfologis, pertumbuhan fisik di kawasan ini tidak merambat secara merata, melainkan mengelompok padat ke dalam unit-unit pedukuhan yang jaraknya saling terpisah (melompat) oleh bentangan lahan pertanian yang masih luas. Keunikan dari zona ini terletak pada anomali aktivitasnya; meskipun terjadi pemadatan fisik pada klaster-klaster tersebut, pendaran radian NTL justru terisolasi pada level yang sangat rendah. Disparitas spasial ini relevan dengan karakteristik antarmuka peri-urban (Yunus, 2008) yang mengindikasikan bahwa kawasan terbangun secara absolut didominasi oleh fungsi hunian nir-komersial, sementara daya dukung lahan pertanian masih cukup kuat menahan konversi total. Melalui temuan tersebut, matriks ini merumuskan postulat "**Ekspansi Demografis Domestik (*Domestic Demographic Expansion*)**". Postulat ini memberikan legitimasi empiris bahwa urbanisasi spasial di lapis pinggiran murni digerakkan oleh urgensi pemenuhan kebutuhan ruang huni pasif (*dormitory area*), tanpa disertai eksodus fasilitas ekonomi perkotaan ke dalam klaster-klaster tersebut (yang terbukti dari nihilnya jejak pencahayaan komersial).

d) Zona Desa: Pola Sporadis Menyebar

Zona Desa yang merepresentasikan pola sporadis menyebar terekam secara jelas di wilayah Kalurahan Trimulyo dan Caturharjo, dihasilkan dari interseksi matriks antara kepadatan bangunan yang rendah dengan intensitas aktivitas (NTL) yang sangat rendah. Secara fisik, konfigurasi massa bangunan di kawasan ini tumbuh secara sporadis; berdiri sendiri atau berkelompok dalam skala sangat mikro (3-5 rumah) yang dikelilingi oleh dominasi ruang terbuka hijau dan tegalan. Berbeda dengan zona perkotaan, orientasi ruang tidak dikendalikan oleh pola grid jaringan jalan, melainkan terbentuk secara organik mengikuti kontur topografi dan saluran irigasi. Karakter fisik ini tervalidasi secara presisi oleh pendaran cahaya malam (NTL) yang meredup hingga mendekati titik *background noise sensor* (gelap), membuktikan minimnya penetrasi aktivitas ekonomi non-domestik. Konfigurasi tersebut menjadi representasi murni dari lanskap agraris yang belum terintervensi oleh desakan urbanisasi (Bintarto, 1989), sekaligus mengonfirmasi kuatnya determinasi ekologis konservasi air pada lereng gunung berapi (Kamal et al., 2025). Memperhatikan ketahanan struktur keruangan tersebut, persilangan matriks ini melahirkan postulat "**Sabuk Resistensi Ekologis (*Ecological Resistance Belt*)**". Formulasi ini menetapkan prinsip keseimbangan spasial, di mana wilayah pada radius terluar (*hinterland*) terbukti memiliki daya imunitas tinggi terhadap aglomerasi artifisial, sehingga perannya terkunci secara absolut sebagai penyangga tata air, sirkulasi udara mikro, dan lumbung ketahanan pangan bagi kawasan perkotaan di bawahnya.

3.4. Diskusi: Sintesis Teoretis dan Implikasi Kebijakan

a) Dekonstruksi Teori Morfologi Klasik dalam Konteks Lokal

Hasil penelitian ini memberikan perspektif baru dalam memandang teori morfologi kota klasik ketika diterapkan di Indonesia. Jika model konsentris Burgess (1925) mengasumsikan pertumbuhan melingkar yang rapi dari pusat ke luar, temuan di Kapanewon Sleman menunjukkan bahwa morfologi kota di negara berkembang jauh lebih kompleks dan tidak teratur (Ayudya & Ikaputra, 2022; Wang et al., 2023; Zhang et al., 2023).

Pola yang terbentuk di Kapanewon Sleman bukanlah lingkaran sempurna, melainkan bentuk amuboid atau menyerupai ameba yang menjulur mengikuti infrastruktur jalan. Hal ini memberikan dukungan empiris bagi Teori Sektor Hoyt (1939), namun dengan modifikasi lokal. Di Kapanewon Sleman, "sektor" tersebut

bukan hanya zona industri atau elit, melainkan koridor campuran (*mixed-use*) yang membelah lahan pertanian.

Lebih jauh, penelitian ini menantang pandangan Conzen (1960) yang sering kali melihat batas morfologi sebagai garis tegas atau seperti tembok kota di Eropa abad pertengahan. Di Kapanewon Sleman, batas morfologi bersifat gradual dan permeabel. Tidak ada titik pasti di mana "kota" berakhir dan "desa" dimulai; yang ada adalah zona transisi (Sub-Kota dan Pinggiran) yang luas dan dinamis. Integrasi NTL terbukti efektif mengisi celah analisis ini, mampu menangkap gradasi aktivitas yang tidak terlihat pada peta administrasi. Temuan ini mendukung argumen Ayudya & Ikaputra (2022), bahwa pemahaman morfologi kota modern harus bersifat multidimensi, menggabungkan bentuk fisik dan denyut aktivitas.

b) Dinamika Rural-urban Continuum

Penelitian ini juga memperkaya diskusi mengenai *rural-urban continuum* (Pahl, 1966). Hasil analisis menunjukkan bahwa Kapanewon Sleman bukan lagi dikotomi desa-kota, melainkan spektrum. Spektrum dalam konteks keruangan ini merujuk pada gradasi transisional yang tidak linear dan saling tumpang-tindih (*overlapping*). Tidak ada demarkasi absolut di mana sifat "kota" berakhir dan "desa" dimulai. Sebaliknya, wilayah ini menunjukkan hibridisasi spasial: karakteristik agraris (seperti keberadaan plot sawah) eksis secara hibrida berdampingan dengan gaya hidup urban (infrastruktur komersial linier) dalam satu matriks ruang yang sama. Fenomena Desa-Kota yang terjadi di Kalurahan Triharjo dan Pandowoharjo sangat mirip dengan konsep Desa-Kota (McGee, 1991). Wilayah ini memiliki campuran aktivitas pertanian dan non-pertanian yang intens, didukung oleh mobilitas tinggi penduduk.

Disparitas antara kepadatan fisik dan aktivitas NTL pada Zona Pinggiran turut mempertegas fenomena urbanisasi demografis yang tidak selalu linier dengan urbanisasi ekonomi. Penduduk bertambah dan persil hunian membelah lahan agraris, namun generator ekonomi utama tetap berada di luar zona tersebut, menciptakan rantai dependensi regional yang kompleks (Devi et al., 2020; Dewa et al., 2025; Divigalpitiya & Handayani, 2015).

c) Implikasi Kebijakan Penataan Ruang

Temuan matriks morfologi spasial ini membawa implikasi serius bagi reorientasi pengendalian pemanfaatan ruang di Kabupaten Sleman, selaras dengan amanat Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang. Implikasi tersebut menuntut intervensi kebijakan yang terkalibrasi secara presisi berdasarkan karakteristik masing-masing tipologi zona. Pada Zona Sub-Kota (Kalurahan Triharjo) yang teridentifikasi mengalami pertumbuhan paling agresif, pemerintah daerah dihadapkan pada urgensi pengendalian *urban sprawl*. Tanpa intervensi zonasi yang ketat, pola *ribbon development* akan terus mengekspansi dan mengonsumsi lahan pertanian produktif di lapisan belakang jalan raya. Merujuk pada konsep kepemimpinan spasial Fanani (2026), pemerintah dituntut bertindak selayaknya "nakhoda kota" yang memegang kendali direktif atas arah pertumbuhan kawasan, bukan sekadar menyerahkan konversi lahan sepenuhnya pada determinasi mekanisme pasar tanah bebas (*unregulated land market dynamics*). Sebagai bentuk ketegasan, penerapan instrumen disinsentif berupa pengenaan pajak lahan progresif terhadap alih fungsi ruang hijau menjadi mutlak untuk dieksekusi (Prayoga et al., 2022).

Secara bersamaan, tingginya konsentrasi aktivitas (NTL) dan saturasi kepadatan fisik di Zona Kota (Kalurahan Tridadi) menuntut peningkatan kualitas infrastruktur utilitas makro yang meliputi sistem drainase, instalasi pengolahan limbah, dan proteksi kebakaran secara proporsional dengan rasio kepadatan kawasan terbangunnya (*built-up density standard*). Sebagai pusat administrasi yang menopang limpahan aglomerasi Yogyakarta, pemadatan spasial (*infill development*) di wilayah ini harus dikalibrasi secara cermat dengan kapasitas utilitas beban puncak (*peak load*). Ketidakseimbangan antara volume kepadatan dan daya tampung infrastruktur berisiko memicu degradasi daya dukung lingkungan perkotaan secara fatal (Puspamika et al., 2023).

Bergeser ke wilayah utara, preservasi karakter morfologi menyebar di Zona Desa (Kalurahan Trimulyo dan Caturharjo) harus dipertahankan secara absolut. Wilayah ini mengemban fungsi ekologis yang sangat vital sebagai daerah resapan air bagi cekungan air tanah Yogyakarta. Oleh karena itu, kebijakan tata ruang harus secara definitif membatasi pembangunan perumahan massal (*large-scale housing*) di zona ini. Sebagai substitusi kegiatan ekonomi, insentif pemanfaatan ruang diarahkan pada pengembangan pariwisata berbasis lingkungan (*eco-tourism*) yang terbukti selaras dengan kelestarian bentang alam (Salsabila & Purwohandoyo, 2020).

Pada tataran institusional dan pengawasan, studi ini memberikan pembuktian metodologis terkait efektivitas integrasi data NTL sebagai alat pemantauan tata ruang yang berbiaya rendah dan cepat (*cost-effective*). Pemerintah daerah sangat direkomendasikan untuk mengadopsi analisis hibrida ini secara berkala sebagai sistem peringatan dini spasial. Instrumen ini mampu mendeteksi embrio pelanggaran zonasi atau proliferasi permukiman liar sebelum perembetan tersebut berubah menjadi struktur fisik permanen yang kompleks dan sulit ditertibkan (Fanani, 2014).

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa morfologi permukiman di Kapanewon Sleman adalah “entitas” yang hidup, terus bergerak dari karakter desa menuju kota, didorong oleh infrastruktur jalan dan tekanan demografi. Pemahaman mendalam tentang zonasi morfologi ini krusial untuk memastikan bahwa transformasi tersebut dapat dikelola, sehingga urbanisasi tidak mengorbankan keberlanjutan lingkungan dan ketahanan pangan wilayah.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merumuskan klasifikasi tipologi morfologi permukiman melalui pendekatan kuantitatif hibrida yang mengintegrasikan data vektor fisik (tapak bangunan) dan raster dinamis (intensitas cahaya malam/NTL). Secara metodologis, ekstraksi matriks spasial ini terbukti tangguh dalam mendeliniasi struktur ruang fungsional tanpa bergantung pada siklus rilis data sensus demografi tradisional. Konfigurasi morfologi di Kapanewon Sleman tidak mengikuti asimetri konsentris klasik, melainkan membentuk spektrum kontinum desa-kota dengan polarisasi yang tervalidasi secara statistik ($GVF = 0,89$).

Hasil integrasi matriks menetapkan empat tipologi kawasan secara definitif. Zona Kota di bagian selatan telah memadat menjadi inti morfologi dengan korelasi linear antara kepadatan fisik dan intensitas aktivitas ekonomi yang persisten. Sebaliknya, Zona Desa di kawasan utara menunjukkan resistensi spasial yang kuat, mempertahankan pola permukiman sporadis dengan pendaran aktivitas artifisial yang sangat minim. Temuan paling krusial teridentifikasi pada area transisi (Zona Sub-Kota dan Zona Pinggiran). Melalui analisis proksimitas spasial, penelitian ini membuktikan secara empiris terjadinya fenomena *ribbon development*, di mana mayoritas pertumbuhan fisik dan aktivitas secara agresif terkonsentrasi pada radius kurang dari 200 meter dari koridor transportasi utama sebelum memudar drastis di area belakang blok (*hinterland*).

Implikasi taktis dari penelitian ini menuntut reorientasi instrumen kebijakan penataan ruang yang lebih antisipatif. Pemerintah Daerah Kabupaten Sleman perlu menerapkan instrumen disinsentif pajak lahan dan pengetatan izin zonasi secara presisi di koridor transisi utama untuk meredam laju fragmentasi lahan agraris. Lebih jauh, metode analisis hibrida NTL dan *OpenStreetMap* yang diajukan dalam studi ini sangat direkomendasikan untuk diadopsi sebagai instrumen audit geospasial periodik oleh instansi tata ruang daerah. Pendekatan ini menawarkan efisiensi tinggi dalam mendeteksi penyimpangan pemanfaatan ruang sejak dini sebelum perembetan kawasan (*urban sprawl*) berubah menjadi struktur permanen yang tidak dapat dikendalikan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY) atas dukungan fasilitas dan iklim akademik yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir. Penghargaan secara khusus juga disampaikan kepada entitas penyedia data terbuka (*open-source data*) atas penyediaan akses citra *Night Time Light* (VIIRS-DNB), serta kepada seluruh komunitas kontributor *OpenStreetMap* atas basis data

geospasial keruangan. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada Editor dan Mitra Bestari (Anonymous Reviewers) atas tinjauan kritis dan saran konstruktif yang sangat fundamental dalam menyempurnakan kualitas naskah ini.

6. REFERENSI

- Afrianto, F., & Rendra Graha, D. T. (2023). Morfologi Kota Malang: Sebuah Tinjauan dari Nighttime Light Satellite Imagery. *Jurnal Plano Buana*, 3(2), 68–76. <https://doi.org/10.36456/jpb.v3i2.7002>
- Araldi, A., & Fusco, G. (2019). From the Street to the Metropolitan Region: Pedestrian Perspective in Urban Fabric Analysis. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(7), 1243–1263. <https://doi.org/10.1177/2399808319832612>
- Arif, N., & Toersilowati, L. (2024). Monitoring and Predicting Development of Built-Up Area in Sub-Urban Areas: A Case Study of Sleman, Yogyakarta, Indonesia. *Heliyon*, 10(14), e34466. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34466>
- Ariyadi, B. (2014). Analisis Pola Morfologi Dan Interaksi Spasial Perkotaan Di Kota Yogyakarta Dengan Wahana Citra Landsat. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Ayudya, D., & Ikaputra, I. (2022). Memahami Perkembangan Kota Melalui Urban Morphology. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 18(3), 235–245. <https://doi.org/10.14710/pwk.v18i3.36135>
- Berghauser Pont, M., Stavroulaki, G., Bobkova, E., Gil, J., Marcus, L., Olsson, J., Sun, K., Serra, M., Hausleitner, B., Dhanani, A., & Legeby, A. (2019). The Spatial Distribution and Frequency of Street, Plot and Building Types Across Five European Cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(7), 1226–1242. <https://doi.org/10.1177/2399808319857450>
- Bintarto, R. (1989). *Interaksi Desa-Kota dan Permasalahannya*.
- Bobkova, E., Berghauser Pont, M., & Marcus, L. (2021). Towards Analytical Typologies of Plot Systems: Quantitative Profile of Five European Cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(4), 604–620. <https://doi.org/10.1177/2399808319880902>
- Boeing, G. (2017). OSMnx: New Methods for Acquiring, Constructing, Analyzing, and Visualizing Complex Street Networks. *Computers, Environment and Urban Systems*, 65, 126–139. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004>
- BPS Kabupaten Sleman. (2024). *Kapanewon Sleman Dalam Angka 2023*.
- Burgess, E. W. (1925). *The Growth of The City: An Introduction*. Chicago, USA: Sociedad Sociológica Mexicana.
- Cahyani, A., & Giyarsih, S. R. (2024). Urban Sprawl in Yogyakarta: An Analysis of Urban Morphology in Sinduadi Village in 2021. *Jurnal Kawistara*, 14(1), 1. <https://doi.org/10.22146/kawistara.76306>
- Çalışkan, O., Mashhoodi, B., & Akay, M. (2025). Morphological Indicators of The Building Fabric: Towards a Metric Typomorphology. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 18(2), 165–194. <https://doi.org/10.1080/17549175.2022.2123381>
- Conzen, M. R. G. (1960). Alnwick, Northumberland: A Study in Town-Plan Analysis. *Transactions and Papers (Institute of British Geographers)*, (27), iii. <https://doi.org/10.2307/621094>
- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital* (1st ed.). Andi Yogyakarta.
- Devi, M. K., Fitria, L. M., Roychansyah, M. S., & Herwangi, Y. (2020). Measuring Urban Form Units: Alternative for Characterizing Urban Growth Pattern in Yogyakarta Urbanized Areas. *Indonesian Journal of Geography*, 52(2), 219. <https://doi.org/10.22146/ijg.40599>
- Dewa, D. D., Buchori, I., Rudiarto, I., & Sejati, A. W. (2025). Spatiotemporal Variations of Urban Expansion and its Relation with Geomorphological Complexity: a Case Study of the Yogyakarta Urban Region, Indonesia. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 18(1), 22. <https://doi.org/10.1007/s12061-024-09629-z>
- Dibble, J., Prelorendjos, A., Romice, O., Zanella, M., Strano, E., Pagel, M., & Porta, S. (2019). On The Origin of Spaces: Morphometric Foundations of Urban form Evolution. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(4), 707–730. <https://doi.org/10.1177/2399808317725075>
- Divigalpitiya, P., & Handayani, K. N. (2015). Measuring the Urban Expansion Process of Yogyakarta City in Indonesia. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 3(4), 18–32. https://doi.org/10.14246/irspsd.3.4_18
- Elvidge, B. K., Zhizhin, M., Hsu, F. C., & Ghosh T, C. D. (2021). *VIIRS night-time lights* (1st ed.). Routledge.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W., & Davis, E. R. (1997). Mapping City Lights with Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 727–734. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:129800058>

- Fanani, F. (2014). *Kesiapan Pemerintah Daerah Kabupaten Sleman Dalam Penerapan Peraturan Zonasi Sebagai Instrumen Pengendalian Pemanfaatan Ruang di Kawasan Perkotaan Yogyakarta*. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Fanani, F. (2026). *Nakhoda Kota: Paradigma Kepemimpinan dalam Dinamika Perencanaan Wilayah dan Kota Kontemporer* (1st ed., Vol. 1). Selat Media Patners.
- Fleischmann, M., Feliciotti, A., Romice, O., & Porta, S. (2020). Morphological tessellation as a way of partitioning space: Improving consistency in urban morphology at the plot scale. *Computers, Environment and Urban Systems*, 80, 101441. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101441>
- Fleischmann, M., Feliciotti, A., Romice, O., & Porta, S. (2022). Methodological foundation of a numerical taxonomy of urban form. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49(4), 1283–1299. <https://doi.org/10.1177/23998083211059835>
- Gauthier, P., & Gilliland, J. (2005). Mapping urban morphology: a classification scheme for interpreting contributions to the study of urban form. *Urban Morphology*, 10(1), 41–50. <https://doi.org/10.51347/jum.v10i1.3926>
- Gil, J., Beirão, J. N., Montenegro, N., & Duarte, J. P. (2011). On the discovery of urban typologies: data mining the many dimensions of urban form. *Urban Morphology*, 16(1), 27–40. <https://doi.org/10.51347/jum.v16i1.3966>
- Haklay, M. (2010). How Good Is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of Openstreetmap and Ordnance Survey Datasets. *Environment And Planning B: Planning and Design*, 37(4), 682–703. <https://doi.org/10.1068/b35097>
- Hermawan, A. D., & Rudiarto, I. (2023). Daya Dukung Permukiman dan Kesesuaian Pola Ruang Kawasan Permukiman di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 19(1), 48–63. <https://doi.org/10.14710/pwk.v19i1.23914>
- Herold, M., Goldstein, N. C., & Clarke, K. C. (2003). The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 286–302. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00075-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00075-0)
- Hoyt, H. (1939). *The structure and growth of residential neighborhoods in American cities*.
- Hudalah, D., & Firman, T. (2012). Beyond property: Industrial estates and post-suburban transformation in Jakarta Metropolitan Region. *Cities*, 29(1), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.07.003>
- Kamal, M. R. S., Satria, R. A., Pasha, F. G., & Way, B. (2025). Pola dan Pemodelan Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Sleman Sebagai Wilayah Peri-Urban. *Desa-Kota, Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, Dan Permukiman*, 7(1).
- Krier & Rowe C, R. (1979). *Urban Space*.
- Levin, N., Kyba, C. C. M., Zhang, Q., Sánchez de Miguel, A., Román, M. O., Li, X., Portnov, B. A., Molthan, A. L., Jechow, A., Miller, S. D., Wang, Z., Shrestha, R. M., & Elvidge, C. D. (2020). Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111443. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111443>
- McGee, T. (1991). *The emergence of desakota regions in Asia: expanding a hypothesis*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:59884466>
- Pahl, R. E. (1966). *The rural-urban continuum*. Sociologia ruralis.
- Prayoga, Y., Wulandari, A., & Nurhidayati, E. (2022). Pengaruh Ketersediaan Fasilitas Sosial Terhadap Perubahan Tutupan Lahan Pada Kawasan Peri Urban. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, Dan Tambang*, 9(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.26418/jelast.v9i3.57710>
- Puspamika, S., Koesoemawati, D. J., Listyawati, R. N., & Alfiah, R. (2023). Peningkatan Kualitas Lingkungan Permukiman Pada Kawasan Perdagangan dan Jasa Di Kecamatan Kaliwates, Kabupaten Jember. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 19(3). <https://doi.org/10.14710/pwk.v19i3.40322>
- Rapoport, A. (1969). *House form and culture*.
- Rapoport, A. (1977). *Human aspects of urban form: Towards a man–environment approach to urban form and design*. Oxford: Pergamon Press.
- Salsabila, N., & Purwohandoyo, J. (2020). Pengaruh Perkembangan Wilayah Pinggiran Kota Yogyakarta terhadap Perkembangan Desa Wisata Tanjung, Desa Donoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman. *JURNAL PEMBANGUNAN WILAYAH & KOTA*, 16(2), 91–101. <https://doi.org/10.14710/pwk.v16i2.24845>
- Schwarz, N. (2010). Urban form revisited—Selecting indicators for characterising European cities. *Landscape and Urban Planning*, 96(1), 29–47. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.01.007>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang (2007).
- Vanderhaegen, S., & Canters, F. (2017). Mapping urban form and function at city block level using spatial metrics. *Landscape and Urban Planning*, 167, 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.023>
- Wang, J., Fleischmann, M., Venerandi, A., Romice, O., Kuffer, M., & Porta, S. (2023). EO + Morphometrics: Understanding cities through urban morphology at large scale. *Landscape and Urban Planning*, 233, 104691. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104691>

- Warsono, A. (2006). *Perkembangan Permukiman Pinggiran Kota Pada Koridor Jalan Kaliurang Kecamatan Ngaglik Kabupaten Sleman*. Universitas Diponegoro.
- Wulandari, S., & Pradoto, W. (2018). Perubahan Morfologi Ruang pada Segmen I Koridor Sis Al-Jurfri Kota Palu dan Faktor yang Mempengaruhinya. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 14(2), 131. <https://doi.org/10.14710/pwk.v14i2.17640>
- Yunus, H. S. (2008). *Dinamika wilayah peri-urban: determinan masa depan kota*. Pustaka Pelajar.
- Zhang, P., Ghosh, D., & Park, S. (2023). Spatial Measures and Methods in Sustainable Urban Morphology: A Systematic Review. *Landscape and Urban Planning*, 237, 104776. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104776>
- Zhao, M., Zhou, Y., Li, X., Cheng, W., Zhou, C., Ma, T., Li, M., & Huang, K. (2020). Mapping urban dynamics (1992–2018) in Southeast Asia using consistent nighttime light data from DMSP and VIIRS. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111980. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111980>