

Evolusi dan Tipologi Data *OpenStreetMap* di Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2015–2025

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/progresif.v22i2.3937>

Creative Commons License 4.0 (CC BY –NC)



Totok Wahyu Wibowo^{1*}, Purwanto², Ahmad Haikal³

^{1,3}Program Studi Kartografi dan Penginderaan Jauh, Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

² Program Studi Informatika, STMIK Tunas Bangsa, Banjarnegara, Indonesia

*e-mail Corresponding Author: totok.wahyu@ugm.ac.id

Abstract

OpenStreetMap (OSM) data in the Special Region of Yogyakarta grew rapidly during 2015–2025, but the distribution of this growth across object types and administrative areas remains insufficiently understood. This study aims to examine the evolution of road networks, buildings, and points of interest (POIs), develop a cross-object growth typology, and evaluate the relative structure of OSM data. Historical data were obtained through the ohsome API and aggregated at the subdistrict/kemantren level. The analysis covered absolute change, growth rates, percentile-rank scores, and the Road–Building Ratio (RBR), Building–POI Ratio (BPR), and Amenity–Tourism Ratio (ATR). Buildings showed the strongest growth, roads developed through coverage expansion and segment refinement, while POIs grew more moderately despite sharp increases in shop and tourism features. The typology identified multi-object growth, road-dominant, building-dominant, POI-dominant, and low-growth patterns. Structural ratios indicated the growing dominance of buildings and an imbalance between physical objects and functional information.

Keywords: Special Region of Yogyakarta; spatio-temporal evolution; *OpenStreetMap*; POI; growth typology

Abstrak

*Data OpenStreetMap (OSM) di Daerah Istimewa Yogyakarta berkembang pesat selama 2015–2025, tetapi pemerataan pertumbuhan antarobjek dan antarwilayah belum dipahami secara sistematis. Penelitian ini bertujuan menganalisis evolusi jaringan jalan, bangunan, dan *points of interest* (POI), menyusun tipologi pertumbuhan lintas objek, serta mengevaluasi struktur relatif data OSM. Data historis diperoleh melalui ohsome API dan diagregasikan pada tingkat kecamatan/kemantren. Analisis mencakup perubahan absolut, laju pertumbuhan, skor percentile rank, serta *Road–Building Ratio* (RBR), *Building–POI Ratio* (BPR), dan *Amenity–Tourism Ratio* (ATR). Hasil menunjukkan bahwa bangunan tumbuh paling kuat, jaringan jalan berkembang melalui perluasan cakupan dan pendetailan segmen, sedangkan POI tumbuh lebih moderat meskipun kategori shop dan tourism meningkat tajam. Tipologi menghasilkan pola *multi-object growth*, *road-dominant*, *building-dominant*, *POI-dominant*, dan *low-growth*. Rasio struktural menunjukkan penguatan dominasi bangunan dan ketidakseimbangan antara objek fisik dan informasi fungsi ruang.*

Kata kunci: Daerah Istimewa Yogyakarta; evolusi spasio-temporal; *OpenStreetMap*; POI; tipologi pertumbuhan

1. Pendahuluan

Kehadiran *Volunteered Geographic Information* (VGI) telah mengubah proses produksi data spasial karena memungkinkan individu dan komunitas menyumbangkan informasi geografis melalui platform digital [1], [2]. *OpenStreetMap* (OSM) merupakan salah satu bentuk VGI yang paling banyak digunakan karena menyediakan data geospasial terbuka, dapat diperbarui secara kolaboratif, dan terus berkembang mengikuti aktivitas kontributornya [3], [4],

[5]. Karakter tersebut menjadikan OSM digunakan dalam berbagai kebutuhan, termasuk transportasi, perencanaan wilayah, mitigasi bencana, mobilitas, dan analisis perkotaan. Namun demikian, proses produksi data yang terbuka juga menyebabkan tingkat kelengkapan dan kualitas OSM dapat berbeda antarobjek dan antarwilayah [6], [7], [8].

Perbedaan tersebut berpotensi menjadi persoalan karena penambahan data OSM tidak selalu identik dengan perubahan fisik wilayah. Peningkatan jumlah fitur dapat berasal dari digitasi objek yang sebelumnya belum terpetakan, perbaikan geometri, perubahan segmentasi, atau penyesuaian tag. Selain itu, jaringan jalan, bangunan, dan *points of interest* (POI) memiliki karakter representasi yang berbeda: jalan menggambarkan konektivitas, bangunan merepresentasikan struktur fisik kawasan terbangun, sementara POI menggambarkan fungsi ruang dan aktivitas sosial-ekonomi. Di Indonesia, OSM telah banyak dimanfaatkan untuk pemetaan partisipatif, penyusunan basis data desa, perencanaan evakuasi bencana, sistem informasi pertanahan, dan pengelolaan informasi geospasial [9], [10], [11], [12]. Meskipun demikian, kajian yang menelusuri evolusi beberapa kelompok objek secara bersamaan dalam rentang waktu panjang masih terbatas. Beberapa penelitian sebelumnya berfokus pada pemanfaatan data, penilaian kualitas, atau satu kelompok objek tertentu.

Mencoba menjawab persoalan tersebut, penelitian ini mengusulkan analisis historis multi-objek yang tidak hanya mengukur penambahan data, tetapi juga membandingkan cakupan, kedetailan, pola pertumbuhan, dan struktur relatif antarobjek. Data historis OSM dapat ditelusuri melalui *OpenStreetMap History Database* (OSHDB) dan ohsome API berdasarkan unit wilayah, waktu, serta filter tematik tertentu [13]. Pendekatan tersebut diterapkan di Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), yang memiliki kombinasi kawasan perkotaan, peri-urban, pendidikan, pariwisata, pertanian, perbukitan, dan pesisir. Keragaman wilayah tersebut memungkinkan analisis terhadap perbedaan perkembangan jalan, bangunan, dan POI. Untuk memperoleh pembacaan yang terpadu, perubahan setiap objek dilengkapi dengan tipologi pertumbuhan lintas objek serta rasio struktural antara jalan, bangunan, dan kategori POI.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis evolusi spasio-temporal data OSM di DIY selama 2015–2025 melalui: (1) evaluasi perkembangan jaringan jalan, bangunan, dan POI; (2) perbandingan pola pertumbuhan antarobjek dan antarwilayah; (3) penyusunan tipologi pertumbuhan data OSM lintas objek; serta (4) evaluasi struktur relatif data menggunakan *Road–Building Ratio* (RBR), *Building–POI Ratio* (BPR), dan *Amenity–Tourism Ratio* (ATR). Analisis ketiga kelompok objek secara bersamaan memperluas pembacaan evolusi OSM yang selama ini lebih sering dilakukan secara terpisah menurut jenis objek. Tipologi pertumbuhan dan rasio struktur selanjutnya digunakan untuk membedakan wilayah yang berkembang secara menyeluruh dari wilayah yang pertumbuhannya terkonsentrasi pada objek tertentu, serta untuk menghindari penyamaan langsung antara pertumbuhan data OSM.

2. Tinjauan Pustaka

Penilaian kualitas *OpenStreetMap* (OSM) pada awalnya banyak dilakukan dengan membandingkan data OSM terhadap sumber resmi atau data referensi. Pendekatan ekstrinsik tersebut memungkinkan pengukuran kelengkapan dan akurasi posisi secara langsung, misalnya melalui perbandingan jaringan jalan OSM dengan data *Ordnance Survey* [2]. Namun, penerapannya bergantung pada ketersediaan data referensi yang mutakhir, dapat diakses, dan memiliki kualitas memadai. Keterbatasan tersebut mendorong pengembangan pendekatan intrinsik yang memanfaatkan karakter internal serta riwayat penyuntingan OSM. Salah satu kerangka intrinsik yang dikembangkan menggunakan lebih dari 25 indikator untuk memperkirakan kualitas data tanpa bergantung pada sumber eksternal [14]. Kedua pendekatan tersebut menunjukkan bahwa metode penilaian kualitas perlu disesuaikan dengan jenis objek, dimensi kualitas, dan tujuan penggunaan data [7].

Pada data jaringan jalan, indikator yang berbeda dapat menghasilkan pembacaan kualitas yang berbeda pula. Kelengkapan cakupan dapat diperkirakan melalui perkembangan panjang kumulatif jaringan dan tingkat kejenuhannya [15]. Struktur jaringan juga dapat diperiksa melalui beberapa indikator yang menggambarkan sifat geometrik dan topologinya, bukan hanya panjang atau jumlah fitur [16]. Kajian yang lebih baru memperluas evaluasi tersebut dengan mengukur kelengkapan dan akurasi posisi terhadap data referensi pada tingkat wilayah [17]. Selain geometri, kelengkapan atribut seperti kelas jalan, batas kecepatan, dan akses turut menentukan kesesuaian data untuk kebutuhan navigasi [18]. Rangkaian kajian tersebut

memperlihatkan bahwa penambahan jumlah fitur belum tentu menunjukkan perluasan jaringan karena dapat pula terjadi akibat pemecahan segmen atau penyempurnaan topologi. Atas dasar tersebut, penelitian ini menggunakan jumlah fitur dan panjang jalan secara bersamaan untuk membedakan pendetailan data dari perluasan cakupan.

Permasalahan serupa ditemukan pada data bangunan, meskipun bangunan memiliki karakter geometrik yang berbeda dari jaringan jalan. Kelengkapan dan akurasi tapak bangunan dapat dinilai melalui perbandingan geometrik dengan data referensi [19]. Ketika data referensi tidak tersedia secara memadai, jumlah penduduk dapat digunakan sebagai variabel pendukung untuk memperkirakan kelengkapan bangunan OSM [20]. Pada skala global, pemodelan *machine learning* terhadap 13.189 aglomerasi perkotaan menunjukkan kesenjangan besar dalam cakupan bangunan OSM antarwilayah [21]. Pendekatan partisipatif berbasis citra juga telah digunakan untuk mengidentifikasi area yang telah terpetakan lengkap dan yang masih membutuhkan pemetaan melalui MapSwipe [22]. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan bangunan OSM tidak selalu identik dengan pembangunan fisik baru, tetapi dapat pula mencerminkan digitasi objek lama, perbaikan geometri, atau pengisian kesenjangan data. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan jumlah dan luas bangunan untuk menangkap perubahan unit objek sekaligus perkembangan cakupan geometrinya.

Berbeda dari jalan dan bangunan, *points of interest* (POI) lebih merepresentasikan fungsi ruang dan aktivitas yang berlangsung pada suatu lokasi. Perubahan temporal POI OSM telah dimanfaatkan untuk membaca dinamika perkotaan dengan membandingkannya terhadap sumber VGI lain [23]. POI juga dapat dikelompokkan berdasarkan aktivitas untuk membangun ukuran daya tarik lokasi dalam model permintaan perjalanan [24]. Meskipun demikian, perbandingan dengan data survei menunjukkan bahwa tingkat kelengkapan POI berbeda menurut kategori dan wilayah [25]. Perbedaan tersebut menyebabkan nilai POI total berpotensi menyembunyikan perubahan komposisi tematik. Atas pertimbangan tersebut, kategori *amenity*, *shop*, dan *tourism* dalam penelitian ini dianalisis secara terpisah sebelum diintegrasikan dalam analisis pertumbuhan lintas objek.

Perubahan data OSM juga berkaitan dengan aktivitas kontributor. Distribusi kontribusi diketahui tidak merata karena sebagian besar data dapat dihasilkan oleh kelompok pengguna yang relatif kecil, sementara pola ketimpangannya berubah dari waktu ke waktu [26]. Kualitas data juga dapat berubah pada tahapan yang berbeda dalam proses pemetaan partisipatif [8]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa lonjakan atau penurunan jumlah fitur belum tentu berlangsung sejajar dengan perubahan fisik wilayah, tetapi dapat dipengaruhi oleh proyek pemetaan, impor data, koreksi massal, dan perubahan prioritas kontributor. Analisis terhadap dinamika tersebut dimungkinkan melalui *OpenStreetMap History Database* (OSHDB), yang dirancang untuk mengakses dan menganalisis riwayat elemen OSM secara spasio-temporal [13].

Kajian terdahulu telah menyediakan berbagai model untuk menilai jaringan jalan, bangunan, POI, dan aktivitas kontribusi, tetapi masing-masing objek umumnya masih dianalisis secara terpisah. Akibatnya, hubungan perkembangan jalan, bangunan, dan informasi fungsional pada unit wilayah serta rentang waktu yang sama belum banyak dijelaskan. Penelitian ini mempertemukan ketiga kelompok objek tersebut pada tingkat kecamatan/kemantren selama 2015–2025. Perubahan setiap objek selanjutnya dihubungkan melalui tipologi pertumbuhan lintas objek serta rasio *Road–Building Ratio* (RBR), *Building–POI Ratio* (BPR), dan *Amenity–Tourism Ratio* (ATR). Kerangka tersebut memperluas analisis historis OSM dari pengukuran penambahan fitur menuju pembacaan mengenai perluasan cakupan, pendetailan objek, dominasi jenis data, dan perubahan struktur representasi antarwilayah.

3. Metodologi

3.1. Lokasi, Periode, dan Unit Analisis

Penelitian ini dilakukan di DIY, yang terdiri atas Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Kabupaten Bantul, Kabupaten Kulon Progo, dan Kabupaten Gunungkidul. Unit analisis yang digunakan adalah kecamatan/kemantren, yaitu skala yang lebih rinci dibandingkan kabupaten/kota, agar variasi pertumbuhan data OSM antarwilayah dapat terlihat lebih jelas.

Periode pengamatan mencakup tahun 2015–2025. Rentang satu dekade ini dipilih untuk menangkap perubahan temporal pada tiga kelompok objek utama sekaligus, sejalan

dengan karakter OSM sebagai basis data kolaboratif yang terus diperbarui dan tidak berkembang secara seragam antarwilayah maupun antarobjek [2], [13].

3.2. Data dan Variabel Penelitian

Data utama diperoleh melalui *ohsome API*, yang dipilih karena memungkinkan ekstraksi statistik historis OSM berdasarkan batas wilayah, waktu, dan filter tematik tertentu. Layanan ini berbasis pada OSHDB, yang dirancang untuk analisis spasio-temporal data historis OSM [13].

Tiga kelompok objek dianalisis, yaitu jaringan jalan (`tag highway=*`), bangunan (`tag building=*`), dan POI (kategori `amenity=*`, `shop=*`, `tourism=*`). Ketiganya dipilih karena merepresentasikan dimensi yang berbeda dalam basis data OSM. Jalan merepresentasikan konektivitas, bangunan merepresentasikan struktur fisik kawasan terbangun, dan POI merepresentasikan fungsi ruang serta aktivitas sosial-ekonomi. Ketiga objek tersebut juga lazim digunakan dalam studi OSM karena relevansinya untuk analisis wilayah, mobilitas, dan kualitas data terbuka [15], [21], [25]. Variabel penelitian dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel penelitian

Kelompok Objek	Variabel	Keterangan
Jalan	str_len_km	Panjang total jalan OSM (km)
Jalan	num_str	Jumlah fitur/segmen jalan OSM
Bangunan	num_buil	Jumlah fitur bangunan OSM
Bangunan	area_buil	Luas total bangunan OSM (m ²)
POI	num_amen	Jumlah POI dengan tag <i>amenity</i>
POI	num_shop	Jumlah POI dengan tag <i>shop</i>
POI	num_tour	Jumlah POI dengan tag <i>tourism</i>
POI	num_poi	Jumlah elemen unik dengan setidaknya satu dari tiga tag POI di atas

Variabel `num_poi` pada Tabel 1 bukan merupakan penjumlahan dari `num_amen`, `num_shop`, dan `num_tour`, namun keseluruhan data dengan tag POI. Satu elemen OSM dapat memiliki lebih dari satu tag sekaligus, misalnya sebuah objek dengan tag `amenity=restaurant` dan `tourism=hotel` secara bersamaan. Oleh karena itu, `num_poi` dihitung sebagai jumlah elemen unik yang memenuhi filter gabungan `amenity=* OR shop=* OR tourism=*`. Dengan demikian terdapat peluang untuk tumpang tindih ketiga variabel pada variabel `num_poi`. Implikasi angka ini dijelaskan lebih lanjut pada bagian hasil. Variabel akhir disusun dalam bentuk data panel kecamatan/kemantren-tahun untuk periode 2015–2025, lengkap dengan nilai awal dan akhir, perubahan absolut, serta laju pertumbuhan setiap variabel.

3.3. Akuisisi dan Pengolahan Data OSM

Akuisisi data dilakukan menggunakan Python melalui pemanggilan *ohsome API*. Batas administrasi kecamatan/kemantren dikonversi menjadi boundary polygon sebagai parameter *spatial query*, dan setiap *query* dijalankan secara tahunan dari 2015 hingga 2025 pada setiap unit analisis.

Jumlah fitur jalan diperoleh melalui *endpoint elements/count*, sedangkan panjang jalan diperoleh melalui *endpoint elements/length*. Untuk bangunan, jumlah fitur diperoleh melalui *elements/count* dan luas diperoleh melalui *elements/area*. Sementara itu untuk POI, ekstraksi dilakukan secara terpisah untuk `amenity=*`, `shop=*`, dan `tourism=*`, ditambah satu query terpisah dengan filter gabungan OR untuk memperoleh jumlah POI unik sebagaimana dijelaskan pada Subbab 3.2. *Ohsome API* mendukung agregasi statistik jumlah elemen, panjang jalan, dan luas objek, pada *timestamp* tertentu, sehingga sesuai untuk kebutuhan analisis evolusi historis.

Setelah hasil ekstraksi per kecamatan/kemantren digabungkan menjadi satu dataset, kemudian diperiksa dari sisi nama kolom, tipe data numerik, nilai kosong, dan duplikasi sebelum digunakan untuk menghitung perubahan absolut, laju pertumbuhan, skor tipologi pertumbuhan, dan rasio struktur data.

3.4. Analisis Evolusi Temporal Data OSM

Analisis temporal dilakukan untuk mengidentifikasi perkembangan data OSM selama periode 2015–2025. Analisis dilakukan terhadap seluruh variabel yang diekstraksi, yaitu jumlah jalan, panjang jalan, jumlah bangunan, luas bangunan, jumlah *amenity*, jumlah *shop*, jumlah *tourism*, dan jumlah POI total. Untuk setiap variabel, dihitung perubahan absolut dan laju pertumbuhan persentase. Perubahan absolut dihitung dengan persamaan (1).

$$\Delta X = X_{2025} - X_{2015} \quad (1)$$

Dalam hal ini X_{2015} merupakan nilai variabel pada tahun awal dan X_{2025} merupakan nilai variabel pada tahun akhir. Kemudian laju pertumbuhan persentase dihitung menggunakan persamaan (2).

$$GR = \frac{\Delta X}{X_{2015}} \times 100\% \quad (2)$$

Laju pertumbuhan persentase digunakan untuk membandingkan kecepatan tumbuh antarobjek dan antarwilayah, tetapi tidak dijadikan dasar klasifikasi utama karena beberapa wilayah memiliki nilai awal nol atau sangat kecil. Kondisi tersebut dapat bermasalah karena menghasilkan angka pertumbuhan ekstrem sehingga berpotensi menyesatkan interpretasi. Masalah semacam ini cukup umum dalam kajian OSM mengingat kelengkapan awal data dapat sangat berbeda antarwilayah dan antarjenis objek [2], [21].

3.5. Analisis Evolusi Jaringan Jalan, Bangunan, dan POI

Evolusi jaringan jalan dibaca melalui dua indikator, yaitu jumlah fitur (mengukur tingkat segmentasi dan kedetailan representasi) dan panjang total (mengukur cakupan spasial). Pendekatan berbasis panjang jaringan ini merujuk pada temuan bahwa panjang jalan OSM dapat digunakan untuk mengukur perkembangan dan kelengkapan jaringan dalam basis data kolaboratif [15].

Evolusi bangunan dibaca melalui jumlah bangunan (mengukur kedetailan unit objek) dan luas bangunan (mengukur cakupan geometri kawasan terbangun), yaitu indikator yang relevan mengingat data bangunan OSM kerap digunakan dalam analisis kawasan perkotaan meskipun kelengkapannya dapat sangat timpang secara spasial [21].

Evolusi POI dibaca melalui jumlah *amenity*, *shop*, *tourism*, dan POI unik. POI OSM telah banyak dimanfaatkan untuk analisis aktivitas dan model permintaan perjalanan, tetapi kualitas dan kelengkapannya dapat berbeda menurut kategori, sehingga analisis per jenis tag perlu dilakukan secara terpisah [23], [24], [25].

3.6. Tipologi Pertumbuhan Data OSM Lintas Objek

Untuk membandingkan pola pertumbuhan jalan, bangunan, dan POI secara terpadu, penelitian ini membangun tipologi pertumbuhan berbasis tiga skor, yaitu *road score*, *building score*, dan *POI score*, sebagaimana dirumuskan pada persamaan (3), (4), dan (5).

$$RoadScore_i = \frac{PR(\Delta RoadLength_i) + PR(\Delta RoadCount_i)}{2} \quad (3)$$

$$BuildingScore_i = \frac{PR(\Delta BuildingCount_i) + PR(\Delta BuildingArea_i)}{2} \quad (4)$$

$$POIScore_i = \frac{PR(\Delta Amenity_i) + PR(\Delta Shop_i) + PR(\Delta Tourism_i)}{3} \quad (5)$$

PR menunjukkan *percentile rank*, sedangkan i menunjukkan kecamatan/kemantren. Normalisasi *percentile rank* digunakan agar variabel dengan skala besar, seperti jumlah atau luas bangunan, tidak otomatis mendominasi hasil klasifikasi hanya karena satuannya lebih besar.

Setiap kecamatan/kemantren kemudian diklasifikasikan ke dalam lima tipe, yaitu multi-object growth (ketiga skor sama-sama berada di atas atau sama dengan median), road-dominant (skor jalan tertinggi), building-dominant (skor bangunan tertinggi), POI-dominant (skor POI tertinggi), dan low-growth (ketiga skor berada di bawah median). Klasifikasi ini digunakan untuk melihat apakah pertumbuhan OSM di suatu wilayah berlangsung secara menyeluruh atau justru terkonsentrasi pada satu jenis objek.

3.7. Analisis Struktur Data OSM

Selain pertumbuhan kuantitatif, struktur internal data OSM dianalisis melalui tiga rasio, yaitu *Building-POI Ratio* (BPR), *Road-Building Ratio* (RBR), dan *Amenity-Tourism Ratio* (ATR), sebagaimana dirumuskan pada persamaan (6), (7), dan (8).

- a. Building-POI Ratio (BPR)

$$BPR_i = \frac{BuildingCount_i}{POICount_i} \quad (6)$$

Rasio ini digunakan untuk menggambarkan hubungan antara representasi lingkungan terbangun dengan aktivitas sosial-ekonomi yang tercermin melalui POI.

- b. Road-Building Ratio (RBR)

$$RBR_i = \frac{RoadLength_i}{BuildingCount_i} \quad (7)$$

Rasio ini digunakan untuk mengevaluasi perkembangan jaringan jalan relatif terhadap pertumbuhan bangunan.

- c. Amenity-Tourism Ratio (ATR)

$$ATR_i = \frac{Amenity_i}{Tourism_i} \quad (8)$$

Rasio ini digunakan untuk membandingkan perkembangan fasilitas pelayanan umum dengan fasilitas atau objek yang terkait aktivitas pariwisata.

Ketiga rasio ini dihitung pada tingkat kecamatan/kemantren untuk setiap tahun pengamatan. Hasil perhitungan rasio divisualisasikan melalui grafik tahunan. Secara lebih detail nilai rasio merupakan rata-rata tidak tertimbang dari rasio seluruh kecamatan/kemantren, bukan nilai yang dihitung langsung dari total agregat DIY (*ratio of sums*). Pendekatan rata-rata per kecamatan ini dipilih agar setiap unit wilayah memiliki bobot yang sama dalam menggambarkan struktur data, sehingga ketimpangan antarwilayah, termasuk pada kecamatan kecil dengan jumlah objek sedikit, tetap dapat terlihat. Konsekuensinya, nilai rata-rata ini dapat berbeda cukup jauh dari rasio total DIY yang dihitung secara langsung, karena kecamatan dengan penyebut kecil dapat menghasilkan rasio individual yang sangat tinggi dan menarik rata-rata ke atas. Dengan demikian nilai rasio pada bagian ini, dibaca sebagai indikator struktur relatif antarwilayah, bukan sebagai rasio total seluruh DIY. Nilai dengan penyebut nol diperlakukan sebagai data kosong, bukan dihitung sebagai nilai tak hingga. Ranking RBR, BPR, dan ATR tahun 2025 digunakan untuk mengidentifikasi wilayah dengan struktur data yang paling menonjol.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Gambaran Umum Perkembangan Data OpenStreetMap di DIY (2015–2025)

Seluruh variabel yang dianalisis menunjukkan kenaikan selama periode 2015–2025, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2, dengan peningkatan terbesar pada data bangunan dan jumlah fitur jalan, sedangkan POI tumbuh lebih moderat namun tetap konsisten arah kenaikannya.

Panjang jalan yang terpetakan naik dari 3.942,40 km pada 2015 menjadi 23.302,70 km pada 2025, bertambah 19.360,30 km atau tumbuh 491,08%. Jumlah fitur jalan naik lebih tajam lagi, dari 6.169 menjadi 136.444 fitur (bertambah 130.275 fitur, tumbuh 2.111,77%). Perbedaan

besar antara laju pertumbuhan panjang dan jumlah fitur ini penting dibaca secara hati-hati karena mengindikasikan bahwa perkembangan data jalan tidak semata soal cakupan jaringan yang meluas, tetapi juga proses pendetailan pemetaan, seperti segmentasi geometri, penambahan atribut, dan penyempurnaan topologi, yang menambah jumlah fitur tanpa harus menambah panjang jalan secara proporsional.

Tabel 2. Gambaran umum perubahan fitur OSM di DIY tahun 2015 dan 2025

Variabel	2015	2025	Perubahan	Pertumbuhan (%)
Panjang jalan (km)	3.942,40	23.302,70	19.360,30	491,08
Jumlah fitur jalan	6.169,00	136.444,00	130.275,00	2.111,77
Jumlah bangunan	53.038,00	1.269.922,00	1.216.884,00	2.294,36
Luas bangunan (m ²)	8.807.985,86	129.665.953,74	120.857.967,88	1.372,14
Amenity	5.467,00	9.403,00	3.936,00	72,00
Shop	182,00	1.929,00	1.747,00	959,89
Tourism	135,00	1.337,00	1.202,00	890,37
POI unik (total)	5.782,00	12.644,00	6.862,00	118,68

Bangunan mengalami lonjakan paling mencolok. Jumlah bangunan naik dari 53.038 menjadi 1.269.922 fitur (bertambah 1.216.884 fitur, tumbuh 2.294,36%). Luas bangunan naik dari 8.807.985,86 m² menjadi 129.665.953,74 m² (bertambah 120.857.967,88 m², tumbuh 1.372,14%). Skala kenaikan ini mengindikasikan pengayaan data bangunan yang sangat besar di OSM DIY sepanjang satu dekade terakhir, baik dari sisi jumlah objek maupun cakupan area yang terdigitasi.

POI unik bertambah dari 5.782 menjadi 12.644 fitur (bertambah 6.862 fitur, tumbuh 118,68%), jauh lebih lambat dibandingkan jalan dan bangunan. Namun, laju pertumbuhan per kategori menunjukkan pola yang berbeda. Shop melonjak dari 182 menjadi 1.929 fitur (959,89%), tourism dari 135 menjadi 1.337 fitur (890,37%), sedangkan amenity, yaitu kategori dengan basis data terbesar sejak awal, hanya tumbuh 72,00% (dari 5.467 menjadi 9.403). Pola ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan POI di DIY selama periode penelitian lebih banyak didorong oleh penguatan representasi aktivitas perdagangan dan pariwisata, sementara fitur pelayanan umum sudah relatif matang sejak awal periode pengamatan.

Secara ringkas, data OSM di DIY tidak hanya bertambah dalam satu dekade terakhir, tetapi juga berubah dari sisi cakupan dan tingkat kedetailannya. Perubahan yang terjadi bukan hanya melalui penambahan jumlah fitur, tetapi juga melalui perluasan cakupan spasial, terutama pada jalan dan bangunan. Meskipun demikian, laju pertumbuhan antarjenis objek jelas tidak seragam, yang mana bangunan dan fitur jalan tumbuh paling agresif, sedangkan POI berkembang lebih selektif, terutama pada kategori perdagangan dan pariwisata. Ketidakteraturan ini konsisten dengan konsep kualitas intrinsik OSM, yaitu bahwa histori pertumbuhan dapat memberikan petunjuk mengenai keterisian data, tetapi tidak secara langsung membuktikan kelengkapan terhadap kondisi dunia nyata [13], [14], sekaligus mendukung pandangan Senaratne dkk. (2017) bahwa kualitas VGI perlu dibaca berdasarkan jenis data dan tujuan penggunaannya [7]. Oleh karena itu, pertumbuhan pada Tabel 2 digunakan sebagai indikator evolusi representasi OSM, bukan sebagai ukuran langsung perubahan fisik wilayah, dan pola inilah yang menjadi dasar pembahasan lebih rinci pada subbab berikutnya.

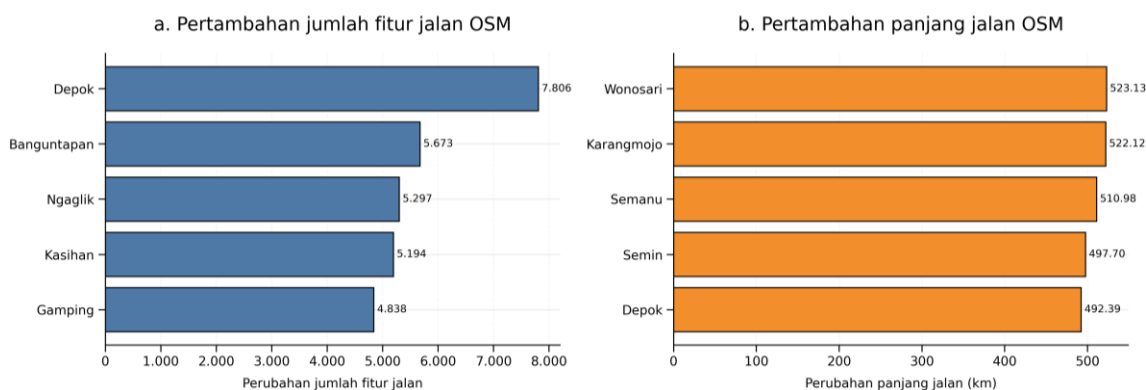
4.2. Evolusi Data Jaringan Jalan

Berdasarkan hasil pada Tabel 2, selisih besar antara pertumbuhan jumlah fitur (2.111,77%) dan panjang jalan (491,08%) menegaskan bahwa evolusi data jalan OSM di DIY berjalan melalui dua mekanisme sekaligus, yaitu perluasan cakupan jaringan dan pendetailan struktur data. Dalam basis data OSM, kenaikan jumlah fitur dapat terjadi melalui pemecahan ruas jalan menjadi segmen yang lebih rinci, perbaikan geometri di persimpangan, penambahan atribut, atau penyempurnaan topologi, bukan semata karena pembangunan jalan baru, sedangkan panjang jaringan lebih dekat merepresentasikan cakupan spasial. Karakter ini konsisten dengan sifat OSM sebagai data kolaboratif yang terus diperbarui dan tidak seragam kelengkapannya antarwilayah [2], [5], [13], sekaligus mendukung temuan Moradi dkk. (2021)

dan Li dkk. (2025) bahwa kualitas jaringan jalan OSM tidak dapat diwakili oleh satu indikator saja, karena jumlah fitur sensitif terhadap pemecahan segmen dan perubahan topologi [16], [17].

Berdasarkan penambahan jumlah fitur, lima kecamatan teratas adalah Depok, Banguntapan, Ngaglik, Kasihan, dan Gamping (Gambar 4a). Seluruhnya merupakan kawasan urban dan peri-urban yang berasosiasi kuat dengan perkembangan metropolitan Yogyakarta. Wilayah dengan kepadatan aktivitas tinggi, mobilitas tinggi, serta fungsi permukiman dan jasa yang intensif tampaknya lebih rentan mengalami pendetailan data jalan.

Pola yang berbeda muncul apabila indikatornya diganti dengan penambahan panjang jalan (Gambar 4b). Urutan teratas bergeser ke Wonosari, Karangmojo, Semanu, Semin, dan Depok, dengan empat di antaranya merupakan kecamatan di Kabupaten Gunungkidul. Dominasi Gunungkidul pada Gambar 4b menunjukkan bahwa ekspansi cakupan data jalan juga terjadi kuat pada wilayah yang lebih luas dan kemungkinan memiliki tingkat kelengkapan awal yang lebih rendah. Dapat digarisbawahi bahwa pertumbuhan panjang jalan lebih mencerminkan perluasan cakupan pemetaan, sedangkan pertumbuhan jumlah fitur lebih mencerminkan pendetailan dan segmentasi jaringan yang sudah ada. Perbedaan ini sejalan dengan penekanan studi kualitas jalan OSM bahwa kelengkapan jaringan sebaiknya dibaca melalui beberapa indikator sekaligus, seperti panjang jaringan, kepadatan jalan, dan ketepatan representasi spasial, bukan hanya jumlah entitas geometrinya [16], [17].



Gambar 4. Kecamatan dengan pertumbuhan data jaringan jalan OSM tertinggi, 2015-2025

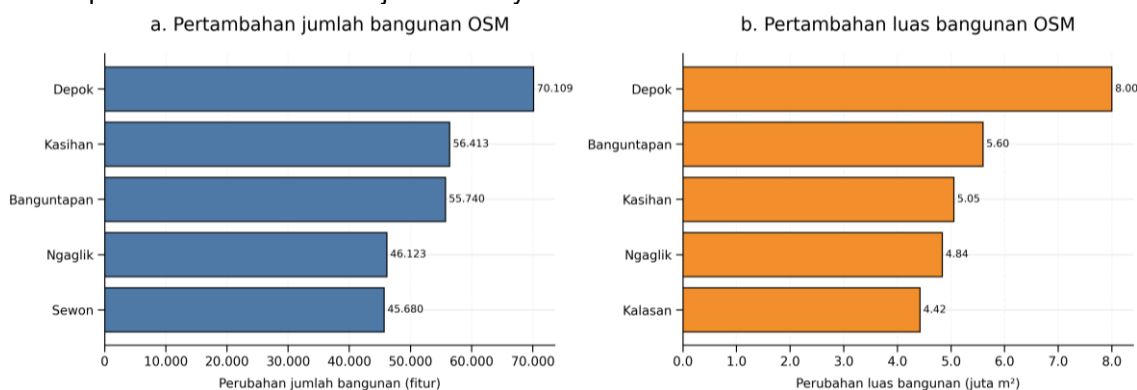
Meskipun demikian, peningkatan panjang dan jumlah fitur belum cukup untuk menyimpulkan bahwa data jalan telah memenuhi seluruh kebutuhan penggunaan. Dalam kerangka *fitness for use*, data yang memadai untuk analisis cakupan belum tentu memiliki atribut yang memadai untuk navigasi, seperti kelas jalan, batas kecepatan, akses, atau permukaan jalan [18], [27]. Dengan demikian, hasil penelitian ini terutama menjawab tujuan mengenai arah dan pola pertumbuhan jaringan, bukan akurasi posisi atau kelengkapan atributnya.

4.3. Evolusi Data Bangunan

Perkembangan bangunan pada Tabel 2 menunjukkan jumlah bangunan tumbuh lebih cepat dibandingkan luasnya (2.294,36% berbanding 1.372,14%). Pola ini mengarah pada kesimpulan yang serupa dengan jaringan jalan, yaitu bahwa perkembangan data bangunan bukan hanya soal kawasan terbangun yang meluas, tetapi juga peningkatan kedetailan representasi objek. Penambahan fitur bangunan dapat berasal dari digitasi bangunan yang sebelumnya belum terpetakan, pemisahan objek yang semula tergeneralisasi menjadi unit-unit terpisah, atau perbaikan geometri tapak. Kajian terdahulu memang menunjukkan bahwa kelengkapan data bangunan OSM sangat dipengaruhi oleh variasi spasial, intensitas pemetaan, dan kondisi awal ketersediaan data di setiap wilayah [19], [20], [21].

Berdasarkan penambahan jumlah, lima kecamatan teratas adalah Depok, Kasihan, Banguntapan, Ngaglik, dan Sewon (Gambar 5a). Seluruh kecamatan tersebut merupakan kawasan urban dan peri-urban yang terhubung erat dengan pusat aktivitas Yogyakarta, konsisten dengan konsentrasi permukiman, pendidikan, perdagangan, jasa, dan mobilitas harian yang tinggi. Sementara itu berdasarkan pertambahan luas, urutannya sedikit berbeda,

yaitu Depok, Banguntapan, Kasihan, Ngaglik, dan Kalasan (Gambar 5b). Empat kecamatan pertama yang muncul pada kedua daftar, menandakan bahwa wilayah tersebut mengalami penambahan jumlah fitur sekaligus ekspansi luasan geometri yang besar. Kalasan menarik untuk dicermati karena masuk lima besar luas bangunan tetapi tidak masuk lima besar jumlah fitur, yang mengindikasikan bahwa pertumbuhannya lebih berkaitan dengan objek bangunan berukuran relatif besar atau peningkatan cakupan digitasi pada area terbangun yang luas, bukan penambahan unit dalam jumlah banyak.



Gambar 5. Kecamatan dengan pertumbuhan data bangunan OSM tertinggi, 2015-2025

Jumlah dan luas bangunan pada dasarnya menangkap dimensi yang berbeda. Jumlah lebih peka terhadap kedetailan unit objek, sehingga wilayah dengan bangunan kecil dan rapat akan tampak dominan. Di sisi lain luas bangunan lebih menunjukkan cakupan fisik geometri yang sudah tergambar, sehingga wilayah dengan objek besar atau area terbangun luas akan lebih menonjol. Keduanya perlu dibaca bersamaan untuk memahami representasi kawasan terbangun secara utuh.

Secara spasial, pertumbuhan data bangunan terkonsentrasi jelas di sekitar kawasan metropolitan Yogyakarta, yaitu Depok, Banguntapan, Kasihan, Ngaglik, Sewon, dan Kalasan, berbeda dari data jalan yang panjangnya juga menunjukkan ekspansi kuat di wilayah-wilayah luas seperti Gunungkidul (Subbab 4.2). Pola ini menegaskan bahwa pertumbuhan bangunan OSM lebih dekat berkaitan dengan dinamika urbanisasi dan kepadatan permukiman, dibandingkan ekspansi cakupan pemetaan di wilayah yang lebih luas dan jarang penduduk.

Konsentrasi pertumbuhan bangunan pada kawasan metropolitan Yogyakarta sejalan dengan temuan Zhang dkk. (2022) dan Herfort dkk. (2023) bahwa cakupan bangunan OSM cenderung tidak merata secara spasial [20], [21]. Akan tetapi, penelitian ini menambahkan dimensi penting bahwa ketimpangan tersebut berkembang melalui kombinasi perubahan jumlah dan luas geometri. Kemunculan Depok, Banguntapan, Kasihan, dan Ngaglik pada kedua indikator menunjukkan intensifikasi representasi bangunan, sedangkan perbedaan posisi Kalasan antara jumlah dan luas memperlihatkan bahwa pertumbuhan unit objek tidak selalu sejalan dengan perluasan cakupan geometri.

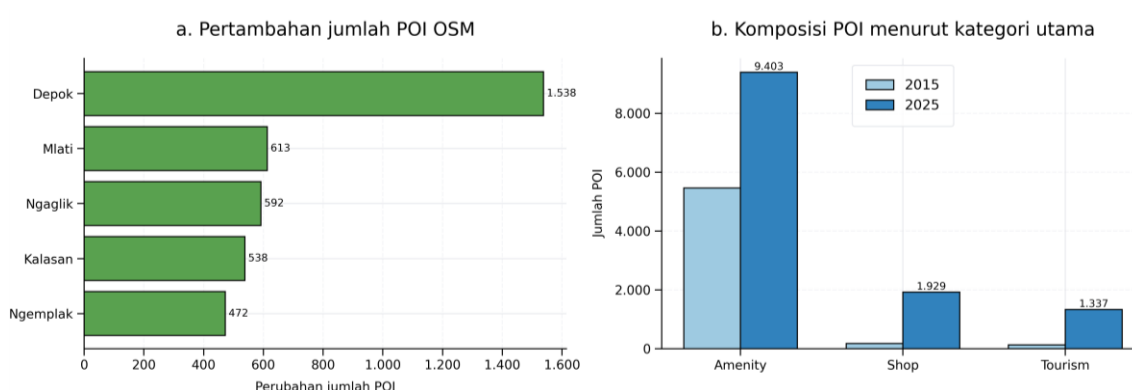
Pola tersebut juga perlu dibaca dalam konteks perilaku kontributor. Xu dan Zhou (2019) menemukan bahwa pemutakhiran bangunan OSM cenderung terkonsentrasi di sekitar pusat aktivitas, kawasan komersial, universitas, simpul transportasi, dan lokasi yang dianggap penting oleh kontributor [28]. Dengan demikian, dominasi kawasan peri-urban Yogyakarta dapat mencerminkan perkembangan kawasan terbangun sekaligus selektivitas aktivitas pemetaan. Hasil penelitian ini belum membedakan kedua mekanisme tersebut, tetapi tipologi lintas objek membantu mengidentifikasi wilayah tempat pertumbuhan bangunan berjalan bersama atau terpisah dari perkembangan jalan dan POI.

4.4. Evolusi Points of Interest (POI)

Evolusi Points of Interest (POI) OpenStreetMap (OSM) di Daerah Istimewa Yogyakarta menunjukkan peningkatan yang lebih moderat dibandingkan jaringan jalan dan bangunan, tetapi tetap penting karena POI merepresentasikan aktivitas, layanan, dan fungsi ruang wilayah. Secara total, jumlah POI meningkat dari 5.782 fitur pada tahun 2015 menjadi 12.644 fitur pada tahun 2025, atau bertambah 6.862 fitur dengan pertumbuhan sebesar 118,68% (Tabel 2).

Berbeda dari jalan dan bangunan yang utamanya merepresentasikan struktur fisik wilayah, POI lebih berkaitan dengan fungsi, layanan, dan aktivitas sosial-ekonomi. Oleh karena itu pertumbuhannya lebih tepat dibaca sebagai indikator meningkatnya representasi aktivitas wilayah dalam OSM, bukan semata perluasan fisik kawasan. Pembacaan ini relevan dengan studi yang menempatkan POI OSM sebagai sumber data penting untuk membaca daya tarik lokasi, struktur aktivitas, dan kebutuhan pemodelan perjalanan, meskipun kelengkapannya bervariasi menurut kategori dan wilayah [24], [25].

Lima kecamatan dengan penambahan POI unik tertinggi adalah Depok, Mlati, Ngaglik, Kalasan, dan Ngemplak (Gambar 6a). Depok paling menonjol, naik dari 387 menjadi 1.925 fitur atau bertambah 1.538 POI unik, konsisten dengan posisinya yang juga terdepan pada data jalan dan bangunan (Subbab 4.2 dan 4.3), semakin memperkuat indikasi bahwa kecamatan ini menjadi pusat intensifikasi pemetaan OSM di DIY secara keseluruhan. Mlati, Ngaglik, Kalasan, dan Ngemplak menyusul di belakangnya, menandakan bahwa kawasan peri-urban Sleman menjadi pusat kedua perkembangan representasi aktivitas wilayah. Komposisi POI menurut kategori utama untuk tahun 2015 dan 2025 disajikan pada Gambar 6b.



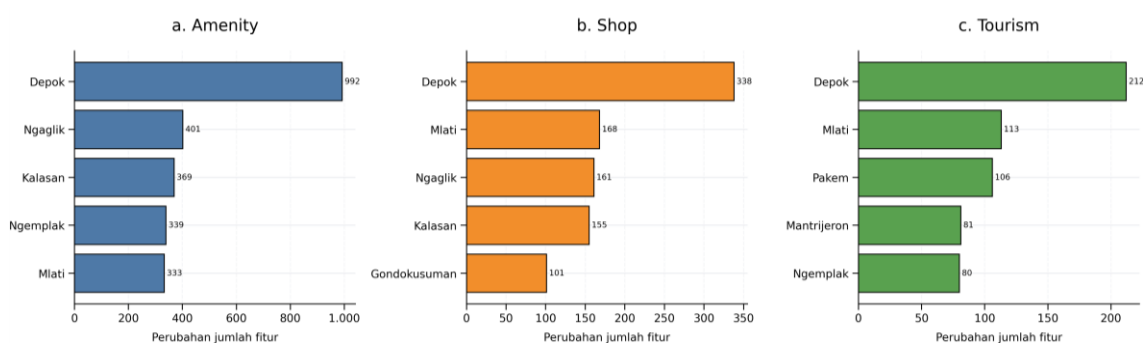
Gambar 6. Pertumbuhan dan Komposisi POI OSM di DIY, 2015-2025

Dilihat per kategori, pertumbuhan *amenity* terkonsentrasi di Depok, Ngaglik, Kalasan, Ngemplak, dan Mlati (Gambar 7a). Kelima wilayah tersebut memiliki intensitas permukiman, pendidikan, layanan publik, dan aktivitas harian yang tinggi. *Amenity* sendiri merupakan kategori yang luas cakupannya, mencakup fasilitas pendidikan, kesehatan, tempat ibadah, layanan umum, dan fasilitas sosial lain, sehingga pertumbuhannya di kawasan peri-urban menandakan penguatan representasi fasilitas dasar dalam OSM.

Kategori *shop* terkonsentrasi pada wilayah yang serupa, yaitu Depok, Mlati, Ngaglik, Kalasan, dan Gondokusuman (Gambar 7b). Depok mencatat pertambahan terbesar (338 fitur), diikuti Mlati (168), Ngaglik (161), dan Kalasan (155). Kemunculan Gondokusuman menarik untuk dicermati karena, berbeda dari empat wilayah lain yang berada di peri-urban Sleman, Gondokusuman merupakan kawasan pusat kota. Hal ini menandakan bahwa area pusat tetap memiliki peran penting dalam representasi aktivitas komersial, meskipun pertumbuhan total POI secara umum lebih dominan di peri-urban.

Kategori *tourism* menunjukkan sebaran yang agak berbeda, yaitu Depok, Mlati, Pakem, Mantrijeron, dan Ngemplak merupakan lima urutan teratas (Gambar 7c). Pakem berkaitan dengan kawasan wisata dan rekreasi lereng Merapi, sedangkan Mantrijeron berdekatan dengan kawasan wisata dan aktivitas perkotaan di selatan Kota Yogyakarta. Dengan demikian pertumbuhan *tourism*, tidak sekadar mengikuti pola peri-urban umum, tetapi juga terkait erat dengan lokasi yang memiliki fungsi wisata, rekreasi, dan akomodasi.

Pertumbuhan *shop* dan *tourism* yang lebih cepat daripada *amenity* mendukung temuan Klinkhardt dkk. (2023) bahwa kelengkapan POI bersifat spesifik menurut kategori [25]. Konsekuensinya, penggunaan POI total saja dapat menyembunyikan perubahan komposisi tematik. Pada kasus DIY, peningkatan POI total yang relatif moderat berlangsung bersamaan dengan penguatan representasi perdagangan dan pariwisata. Temuan ini memperluas kajian Zhang dan Pfoser (2019) dengan menunjukkan bahwa perubahan POI tidak hanya dapat digunakan untuk membaca dinamika perkotaan, tetapi juga untuk mengidentifikasi pergeseran jenis aktivitas yang semakin direpresentasikan dalam basis data [23].



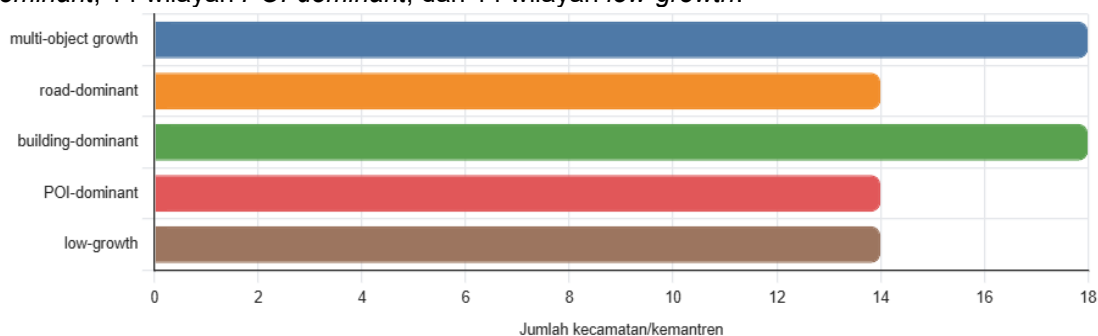
Gambar 7. Kecamatan dengan pertumbuhan POI tertinggi menurut kategori, 2015-2025

Cangkringan mengalami penurunan total POI unik dari 4.033 fitur pada 2015 menjadi 962 fitur pada 2025, berkurang 3.071 fitur, terutama akibat merosotnya kategori amenity dari 4.032 menjadi 930 fitur, sementara shop dan tourism justru meningkat. Penurunan semacam ini menegaskan bahwa POI merupakan jenis data OSM yang jauh lebih sensitif terhadap perubahan tag, koreksi klasifikasi, penghapusan data ganda, atau penyuntingan massal dibandingkan jalan dan bangunan, sejalan dengan analisis Elias dkk. (2023) bahwa pola temporal OSM dapat dipengaruhi oleh impor data, kontribusi massal, dan kegiatan pemetaan kolektif [29]. Berkurangnya jumlah POI di suatu wilayah, dengan demikian, tidak otomatis berarti penurunan aktivitas di lapangan, tetapi dapat menandai restrukturisasi data, bukan sekadar kehilangan objek.

Secara umum, evolusi POI di DIY menunjukkan representasi aktivitas wilayah yang terus berkembang, tetapi pertumbuhannya bersifat selektif secara spasial dan tematik. Kawasan peri-urban Sleman, yaitu Depok, Mlati, Ngaglik, Kalasan, dan Ngemplak, menjadi pusat utama pertumbuhan POI unik, *amenity*, dan *shop*, sementara *tourism* memperlihatkan pola tersendiri yang lebih terkait dengan fungsi wisata dan rekreasi, seperti pada Pakem dan Mantriweron. Apabila jalan dan bangunan menggambarkan struktur fisik wilayah dan terutama memperkuat representasi struktur ruang, POI menggambarkan intensitas fungsi dan aktivitas yang direpresentasikan komunitas OSM, dengan prioritas tematik yang lebih jelas terhadap fasilitas, perdagangan, dan pariwisata. Perbedaan karakter inilah yang menjadi alasan POI tidak digabungkan begitu saja dengan objek fisik, tetapi dianalisis per kategori dan selanjutnya dimasukkan ke dalam skor pertumbuhan lintas objek.

4.5. Tipologi Pertumbuhan Data OSM Lintas Objek

Kombinasi *road score*, *building score*, dan *POI score* menghasilkan klasifikasi lima tipe pertumbuhan untuk 78 kecamatan/kemantren di DIY, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, yaitu 18 wilayah *multi-object growth*, 18 wilayah *building-dominant*, 14 wilayah *road-dominant*, 14 wilayah *POI-dominant*, dan 14 wilayah *low-growth*.



Gambar 8. Tipologi pertumbuhan data OSM di DIY, 2015-2025

Wilayah *multi-object growth* (Depok, Kasihan, Ngaglik, Banguntapan, Kalasan) mengalami pertumbuhan tinggi secara serentak pada jalan, bangunan, dan POI, sehingga dapat dibaca sebagai kawasan dengan proses pemetaan yang paling komprehensif (Tabel 3). Kelimanya berada di kawasan urban dan peri-urban yang terhubung erat dengan pusat

pertumbuhan Yogyakarta, memperkuat pola yang telah muncul pada subbab-subbab sebelumnya, yaitu bahwa kawasan peri-urban dengan kombinasi kepadatan permukiman, mobilitas tinggi, aktivitas ekonomi, dan kebutuhan informasi spasial yang besar cenderung menjadi pusat evolusi data.

Tabel 3. Contoh kecamatan/kemantren representatif menurut tipologi pertumbuhan data OSM

Tipe Pertumbuhan	Contoh Wilayah Representatif	Interpretasi
<i>Multi-object growth</i>	Depok, Kasihan, Ngaglik, Banguntapan, Kalasan	Pertumbuhan kuat pada jalan, bangunan, dan POI; menunjukkan intensifikasi pemetaan menyeluruh
<i>Road-dominant</i>	Wonosari, Semin, Karangmojo, Semanu, Playen	Ekspansi data jalan lebih menonjol dibanding bangunan dan POI
<i>Building-dominant</i>	Umbulharjo, Tempel, Jetis (Bantul), Pandak, Sentolo	Pertumbuhan data bangunan lebih kuat dibanding objek lain
<i>POI-dominant</i>	Gondokusuman, Mantrijeron, Mergangsan, Gondomanan, Kotagede	Pertumbuhan informasi aktivitas/fungsi ruang lebih dominan
<i>Low-growth</i>	Danurejan, Tanjungsari, Rongkop, Purwosari, Girisubo	Pertumbuhan relatif rendah pada ketiga kelompok objek

Wilayah *road-dominant* (Wonosari, Semin, Karangmojo, Semanu, Playen), yang seluruhnya berada di Gunungkidul, menunjukkan pola sebaliknya, yaitu peningkatan panjang jalan yang besar tanpa diikuti pertumbuhan bangunan dan POI yang sebanding. Karakter ini kemungkinan lebih merepresentasikan proses "*catching up*" data jaringan transportasi pada wilayah luas, bukan indikasi lonjakan aktivitas urban. Setiap jenis objek OSM memang memiliki dinamika keterisian tersendiri dan tidak selalu tumbuh secara paralel [2], [5], [13].

Tipe *building-dominant* (Umbulharjo, Tempel, Jetis (Bantul), Pandak, Sentolo) menandakan fase intensifikasi pemetaan kawasan terbangun, ketika digitasi bangunan meningkat lebih cepat daripada penambahan informasi aktivitas. Wilayah semacam ini dapat memiliki representasi fisik yang semakin lengkap tetapi masih menyimpan kekurangan pada informasi fungsi ruang, sejalan dengan temuan bahwa kelengkapan bangunan OSM sangat bervariasi secara spasial dan dipengaruhi oleh intensitas pemetaan serta karakter wilayah [20], [21].

Sebaliknya, tipe *POI-dominant* (Gondokusuman, Mantrijeron, Mergangsan, Gondomanan, Kotagede) justru menunjukkan pergeseran fokus pemetaan dari objek fisik ke objek fungsional. Sebagian besar wilayah dalam tipe ini berada di kawasan perkotaan yang struktur jalan dan bangunannya sudah relatif matang, sehingga pertumbuhan data selanjutnya lebih banyak terjadi pada layanan, fasilitas, perdagangan, dan pariwisata. Karena POI sering digunakan untuk membaca daya tarik lokasi dan aktivitas sosial-ekonomi, pertumbuhan *POI-dominant* ini berpotensi memperkaya nilai analitis OSM untuk studi mobilitas dan aktivitas perkotaan [24], [25].

Tipe *low-growth* (Danurejan, Tanjungsari, Rongkop, Purwosari, Girisubo) perlu dibaca secara hati-hati, karena tidak selalu berarti wilayah tersebut tidak mengalami perkembangan sama sekali, melainkan pertumbuhannya relatif lebih rendah dibandingkan wilayah lain pada ketiga kelompok objek. Ada dua kemungkinan penyebab yang berbeda arah. Pertama, wilayah pusat kota kecil yang sudah matang sejak awal sehingga ruang pertumbuhannya memang terbatas. Kedua, wilayah yang jauh dari pusat aktivitas dengan keterisian data yang masih minim karena kurang menarik minat kontributor. Kategori *low-growth*, oleh karena itu, tidak dapat langsung dimaknai sebagai indikator rendahnya kualitas data tanpa mempertimbangkan konteks wilayahnya.

Tipologi tersebut memperlihatkan bahwa tingginya pertumbuhan satu objek tidak selalu diikuti objek lain, sesuai dengan karakter VGI sebagai data yang produksinya dipengaruhi oleh pilihan dan perhatian kontributor. Thebault-Spieker dkk. (2018) menemukan bahwa kontributor OSM cenderung konsisten dalam memilih lokasi dan jenis wilayah yang dipetakan, yang dapat membentuk bias cakupan perkotaan dan sosial-ekonomi [30], sementara Yang dkk. (2016) menunjukkan bahwa sebagian besar kontribusi dapat terkonsentrasi pada kelompok pengguna yang relatif kecil [26]. Dalam konteks DIY, kecenderungan tersebut tercermin pada dominasi pertumbuhan multi-objek di kawasan peri-urban dan pertumbuhan jalan di sejumlah kecamatan Gunungkidul.

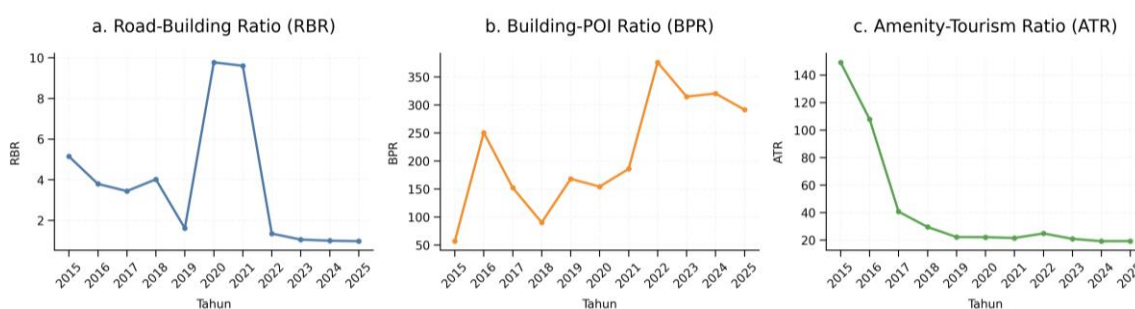
Meski demikian, tipologi ini tidak dimaksudkan untuk menentukan kualitas data secara absolut. Kategori *multi-object growth* menunjukkan pertumbuhan relatif tinggi pada ketiga kelompok objek, bukan jaminan bahwa data telah lengkap terhadap kondisi lapangan; demikian pula, *low-growth* dapat menunjukkan wilayah yang telah relatif matang sejak awal atau justru masih kurang memperoleh perhatian pemetaan. Perbedaan tersebut sejalan dengan pendekatan *fitness for use*, yang menempatkan kualitas data dalam hubungan dengan kebutuhan pengguna dan konteks penerapannya, bukan sebagai sifat tunggal yang berlaku untuk semua penggunaan [7], [27].

Secara keseluruhan, tipologi pada Gambar 8 dan Tabel 3 menegaskan bahwa evolusi OSM di DIY tidak mengikuti satu pola tunggal. Wilayah peri-urban utama cenderung masuk kategori *multi-object growth* karena pertumbuhan serentak pada struktur fisik dan aktivitas; wilayah luas seperti Gunungkidul cenderung *road-dominant* karena ekspansi jaringan jalan mendominasi; sebagian wilayah lain menunjukkan *building-dominant* sebagai penanda intensifikasi kawasan terbangun; sedangkan kawasan pusat kota tertentu justru *POI-dominant*, mencerminkan pergeseran fokus pemetaan ke fungsi ruang. Dibandingkan penelitian terdahulu yang umumnya menilai satu objek atau satu dimensi kualitas secara terpisah, tipologi lintas objek ini menghubungkan hasil-hasil tersebut ke dalam satu kerangka, sehingga wilayah dengan pertumbuhan menyeluruh dapat dibedakan dari wilayah yang evolusinya terkonsentrasi pada konektivitas, struktur fisik, atau informasi fungsional. Nilai tambahnya bukan pada penggantian metode penilaian kelengkapan, melainkan pada instrumen eksploratif untuk menentukan jenis pemeriksaan kualitas yang perlu diprioritaskan pada setiap wilayah.

4.6. Evolusi Struktur Data OSM Berdasarkan RBR, BPR, dan ATR

Berbeda dari tipologi pertumbuhan pada Subbab 4.5 yang berbasis perubahan absolut, tiga rasio berikut digunakan untuk membaca keseimbangan relatif antarjenis objek dalam basis data OSM. Sebagaimana dijelaskan pada metode penelitian bahwa nilai RBR, BPR, dan ATR tingkat DIY yang dibahas pada bagian ini merupakan rata-rata rasio kecamatan/kemantren, bukan rasio yang dihitung dari total agregat DIY. Oleh karena itu nilai-nilai ini digunakan untuk membaca kecenderungan struktur data pada tingkat unit wilayah. Perkembangan rata-rata RBR, BPR, dan ATR selama 2015–2025 disajikan pada Gambar 9.

Penggunaan rasio pada penelitian ini berangkat dari pandangan bahwa kualitas atau kematangan data tidak hanya berkaitan dengan banyaknya fitur, tetapi juga keseimbangan representasi antarobjek. Dalam kerangka *fitness for use*, ketimpangan komposisi dapat membatasi pemanfaatan data meskipun salah satu jenis objek telah tersedia dalam jumlah besar [27]. RBR, BPR, dan ATR karena itu diperlakukan sebagai indikator diagnostik untuk membaca struktur relatif data, bukan ukuran kelengkapan atau akurasi.



Gambar 9. Evolusi struktur data OSM DIY berdasarkan RBR, BPR, dan ATR, 2015-2025

Nilai rata-rata RBR mengalami penurunan dari 5,15 pada 2015 menjadi 0,97 pada 2025, menandakan bahwa di sebagian besar wilayah, jumlah bangunan yang terpetakan tumbuh jauh lebih cepat dibandingkan panjang jalan (Gambar 9). Penurunan ini mengindikasikan pergeseran struktur data OSM, dari konfigurasi yang relatif lebih didominasi jaringan jalan menuju basis data yang semakin kaya representasi bangunan, sejalan dengan temuan pada Subbab 4.3 bahwa pertumbuhan bangunan merupakan salah satu komponen paling kuat dalam evolusi OSM DIY.

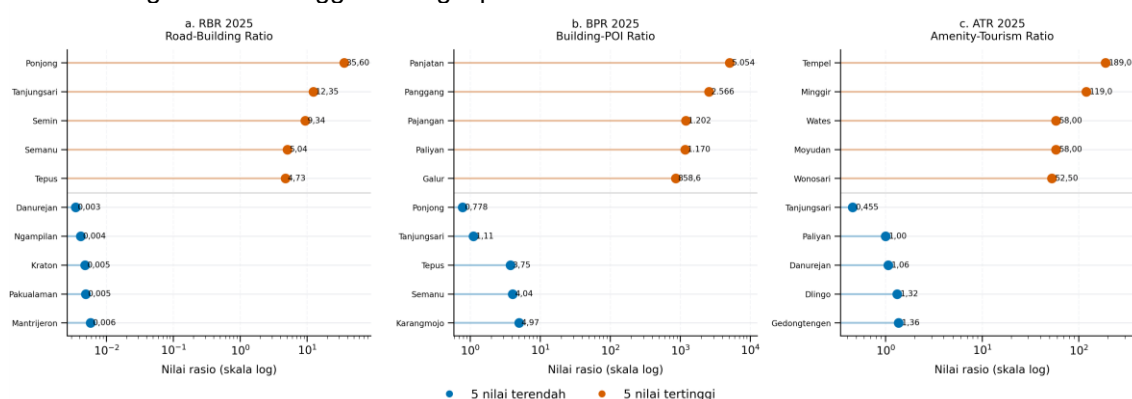
Rata-rata BPR pada Gambar 9 justru naik tajam, dari 57,07 pada 2015 menjadi 291,74 pada 2025, menunjukkan bahwa di sebagian besar kecamatan, jumlah bangunan bertambah jauh lebih cepat dibandingkan POI. Bangunan dan POI memiliki makna analitis yang berbeda, yaitu bangunan merepresentasikan struktur fisik, sedangkan POI merepresentasikan aktivitas dan layanan. Kenaikan BPR ini berarti representasi fisik kawasan terbangun berkembang sangat pesat, sementara informasi fungsi ruang belum tumbuh secara sebanding.

Rata-rata ATR pada Gambar 9 menurun tajam, dari 149,21 pada 2015 menjadi 19,26 pada 2025. Penurunan ini bukan berarti jumlah *amenity* berkurang, melainkan menunjukkan bahwa *tourism* tumbuh jauh lebih cepat dibandingkan *amenity* di sebagian besar kecamatan, sehingga struktur POI menjadi lebih beragam pada akhir periode pengamatan. Apabila pada awal periode POI sangat didominasi oleh *amenity*, pada 2025 kontribusi *tourism* menjadi jauh lebih terlihat, sejalan dengan temuan pada Subbab 4.4 bahwa pertumbuhan relatif *shop* dan *tourism* jauh melampaui *amenity*.

Perubahan ketiga rasio menunjukkan bahwa pertumbuhan kuantitatif dapat menghasilkan struktur data yang semakin tidak seimbang. Penurunan RBR dan peningkatan BPR memperlihatkan bahwa pertumbuhan bangunan melampaui jalan dan POI, sejalan dengan temuan Herfort dkk. (2023) mengenai cepatnya pertumbuhan bangunan OSM, namun memperlihatkan konsekuensi tambahan pada tingkat struktur data: penguatan representasi fisik belum otomatis disertai penguatan informasi fungsi ruang [21]. Penambahan bangunan, dengan demikian, meningkatkan kedetailan bentuk kawasan, tetapi belum tentu meningkatkan kemampuan data untuk menjelaskan aktivitas di dalamnya.

Pada tingkat kecamatan, nilai RBR, BPR, dan ATR tahun 2025 memperlihatkan ketimpangan struktur yang tajam antarwilayah (Gambar 10). Ponjong, Tanjungsari, Semin, Semanu, dan Tepus mencatat RBR tertinggi, yaitu panjang jalan yang relatif besar dibandingkan jumlah bangunan yang terpetakan, konsisten dengan kategori *road-dominant* pada Subbab 4.5, terutama untuk beberapa wilayah Gunungkidul yang mengalami ekspansi data jalan besar tetapi belum diikuti pertumbuhan bangunan dan POI yang setara (Gambar 10a). Sebaliknya, RBR terendah ditemukan pada wilayah perkotaan dan peri-urban dengan jumlah bangunan yang jauh lebih besar relatif terhadap panjang jalan, yaitu Danurejan, Ngampilan, Kraton, Pakualaman, dan Mantrijeron. Nilai RBR rendah pada wilayah tersebut tidak berarti kualitas data jalannya buruk, melainkan lebih menunjukkan representasi bangunan yang jauh lebih padat dibandingkan jaringan jalannya. RBR, dengan demikian, membantu membedakan wilayah berkarakter *road-heavy* dari wilayah berkarakter *building-dense*.

BPR tahun 2025 juga memperlihatkan ketimpangan antara representasi fisik dan representasi aktivitas. Panjatan, Panggang, Pajangan, Paliyan, dan Galur mencatat BPR tertinggi, yaitu jumlah bangunan yang jauh lebih besar dibandingkan POI (Gambar 10b). Hal ini mengindikasikan kesenjangan tematik, yaitu objek fisik sudah relatif banyak terpetakan, tetapi informasi aktivitas dan layanan belum mengikuti secara seimbang. Sebaliknya, BPR rendah pada Ponjong, Tanjungsari, Tepus, Semanu, dan Karangmojo perlu dibaca secara hati-hati, karena rendahnya BPR pada wilayah ini tidak selalu berarti POI sudah lengkap. Pada beberapa kasus, nilai ini justru muncul karena jumlah bangunan yang terpetakan masih sangat kecil. BPR, oleh karena itu, lebih tepat digunakan sebagai indikator ketidakseimbangan struktur data, bukan sebagai ukuran tunggal kelengkapan OSM.



Catatan: Sumbu-x menggunakan skala log agar nilai rasio yang sangat timpang tetap terbaca dalam satu panel.

Gambar 10. Kecamatan/kemantren dengan nilai ekstrem RBR, BPR, dan ATR tahun 2025

ATR tahun 2025 menunjukkan bahwa sejumlah wilayah masih sangat didominasi *amenity* dibandingkan *tourism*. Tempel, Minggir, Moyudan, Wates, dan Wonosari mencatat ATR tertinggi, menandakan bahwa struktur POI di wilayah tersebut lebih banyak berisi fasilitas layanan umum dibandingkan objek wisata (Gambar 10c). Sebaliknya, Gedongtengen, Dlingo, Danurejan, Paliyan, dan Tanjungsari mencatat ATR terendah, menunjukkan proporsi *tourism* yang relatif lebih besar terhadap *amenity*. Namun demikian interpretasinya tetap perlu mempertimbangkan jumlah absolut POI yang tersedia di masing-masing wilayah tersebut.

Nilai ekstrem pada Gambar 10 juga menunjukkan kerentanan matematis rasio terhadap penyebut yang kecil. Misalnya BPR rendah di beberapa kecamatan Gunungkidul tidak dengan sendirinya menunjukkan ketersediaan POI yang baik karena jumlah bangunan dan POI dapat sama-sama rendah. Hal serupa berlaku pada ATR ketika jumlah *tourism* hanya satu atau dua fitur. Oleh sebab itu, rasio perlu dibaca bersama nilai absolut dan tipologi pertumbuhan. Kombinasi tersebut mencegah kesimpulan yang hanya bergantung pada angka rasio, dan memperkuat fungsi RBR, BPR, dan ATR sebagai alat eksplorasi struktur data.

Ketiga rasio di atas secara bersama-sama menunjukkan bahwa evolusi OSM DIY tidak hanya ditandai oleh peningkatan jumlah fitur, tetapi juga oleh perubahan struktur internal data: bangunan semakin dominan dalam struktur data OSM (RBR menurun), pertumbuhan bangunan belum diimbangi oleh pertumbuhan POI (BPR meningkat), dan struktur POI menjadi lebih beragam karena *tourism* tumbuh lebih cepat dibandingkan *amenity* (ATR menurun). Dengan demikian, data OSM DIY pada 2025 dapat dikatakan semakin kaya secara fisik terutama melalui bangunan, tetapi masih menunjukkan ketimpangan antara representasi objek fisik dan representasi fungsi ruang. Temuan ini memperkuat hasil pada Subbab 4.5, yaitu bahwa dua wilayah dapat sama-sama mengalami pertumbuhan tinggi tetapi memiliki struktur data yang berbeda: satu wilayah dapat didominasi jalan, wilayah lain didominasi bangunan, sedangkan wilayah lain lebih kuat pada POI. Kombinasi antara tipologi pertumbuhan dan analisis rasio struktur, dengan demikian, memberikan pembacaan yang lebih komprehensif terhadap evolusi OSM DIY dibandingkan hanya menggunakan jumlah fitur total.

4.7. Sintesis Pola Evolusi Data OSM di DIY

Keseluruhan hasil menunjukkan bahwa evolusi OSM di DIY terbentuk melalui tiga mekanisme yang saling berhubungan. Pertama, intensifikasi representasi pada kawasan urban dan peri-urban terlihat dari pertumbuhan tinggi jalan, bangunan, dan POI di Depok, Banguntapan, Ngaglik, Kasihan, Kalasan, Mlati, dan Gamping. Kedua, perluasan cakupan paling jelas terlihat pada jaringan jalan di Wonosari, Karangmojo, Semanu, dan Semin. Ketiga, pendalaman informasi tematik muncul pada beberapa kemantren Kota Yogyakarta yang telah memiliki struktur fisik relatif matang tetapi tetap berkembang melalui POI. Ketiga mekanisme tersebut menjelaskan mengapa pertumbuhan jumlah fitur tidak dapat langsung disamakan dengan perubahan fisik wilayah.

Secara konseptual, pola tersebut memperkuat pandangan bahwa kualitas OSM bersifat heterogen secara spasial, tematik, dan temporal [7], [14]. Pertumbuhan multi-objek pada kawasan peri-urban dapat berkaitan dengan perkembangan wilayah sekaligus besarnya perhatian kontributor, sedangkan pola *road-dominant* di Gunungkidul lebih dekat dengan proses pengisian kesenjangan cakupan. Pola *POI-dominant* di pusat kota menunjukkan bahwa basis data yang relatif matang masih dapat berkembang melalui pendalaman atribut dan fungsi ruang. Dengan demikian, evolusi OSM sebaiknya dipahami sebagai perubahan representasi digital wilayah, bukan cerminan langsung dari satu proses pembangunan.

Penelitian ini memperluas kajian historis OSM dengan menggabungkan tiga tingkat pembacaan. Analisis per objek menjelaskan bentuk perubahan, tipologi lintas objek mengidentifikasi arah dominan pertumbuhan, sedangkan RBR, BPR, dan ATR menunjukkan perubahan keseimbangan internal data. Kombinasi tersebut menawarkan kerangka diagnosis awal untuk mengenali wilayah yang membutuhkan pemeriksaan lebih lanjut terhadap cakupan jalan, keterisian bangunan, atau informasi fungsional. Kerangka ini dapat mendukung pemilihan data OSM secara lebih kritis sesuai tujuan penggunaan dan membantu menentukan prioritas pemutakhiran data pada tingkat wilayah.

4.8. Keterbatasan dan Peluang Penelitian Lanjutan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, perubahan jumlah, panjang, dan luas objek OSM menggambarkan evolusi representasi digital, tetapi belum dapat diperlakukan sebagai perubahan fisik wilayah secara langsung. Sebagian perubahan dapat berasal dari digitasi objek lama, perbaikan geometri, segmentasi ulang, perubahan tag, impor data, atau kegiatan pemetaan massal. Elias dkk. (2023) menunjukkan bahwa pertumbuhan mendadak pada OSM dapat dipengaruhi oleh impor eksternal dan kontribusi kolektif, sedangkan Yang dkk. (2016) memperlihatkan bahwa kontribusi dapat terkonsentrasi pada sebagian kecil pengguna [26], [29]. Penelitian ini belum memasukkan metadata kontributor dan *changeset*, sehingga pengaruh perkembangan wilayah dan aktivitas komunitas belum dapat dipisahkan secara langsung.

Kedua, penggunaan unit kecamatan/kemantren membantu membandingkan seluruh DIY, tetapi dapat menyamarkan variasi internal pada kawasan yang heterogen. Hasil juga dipengaruhi oleh perbedaan luas wilayah dan nilai awal data. Normalisasi *percentile rank* mengurangi pengaruh perbedaan skala, tetapi menghasilkan tipologi yang bersifat relatif terhadap distribusi kecamatan/kemantren di DIY. Karena itu, kategori *multi-object growth* dan *low-growth* tidak dapat langsung digeneralisasi ke wilayah lain tanpa penyesuaian kembali terhadap distribusi datanya.

Ketiga, RBR, BPR, dan ATR merupakan indikator eksploratif yang sensitif terhadap nilai penyebut kecil. Rasio yang tinggi atau rendah harus dibaca bersama nilai absolut dan belum dapat digunakan sebagai ukuran kelengkapan tunggal. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan OSM dengan data referensi resmi, data penduduk, tutupan lahan terbangun, serta citra penginderaan jauh untuk menguji hubungan antara pertumbuhan data dan perkembangan wilayah. Analisis berbasis grid dapat digunakan untuk menangkap variasi lokal, sedangkan integrasi riwayat kontributor dan *changeset* dapat membantu membedakan pertumbuhan yang mengikuti dinamika pembangunan dari pertumbuhan yang lebih dipengaruhi aktivitas komunitas pemetaan.

5. Simpulan

Data *OpenStreetMap* di Daerah Istimewa Yogyakarta mengalami evolusi yang signifikan sepanjang periode 2015–2025, yang bukan hanya mencakup jumlah fitur, tetapi juga cakupan, kedetailan, dan struktur data. Data jalan bertambah baik dari sisi jumlah segmen maupun panjang jaringan. Bangunan tumbuh paling kuat, baik dari jumlah maupun luas geometri. POI berkembang lebih moderat secara keseluruhan, namun menguat tajam pada kategori *shop* dan *tourism*. Dengan demikian, data OSM di DIY semakin kaya sebagai basis data geospasial terbuka, meskipun pertumbuhannya tidak seragam baik antarjenis objek maupun antarwilayah.

Pola evolusi jalan menunjukkan dua proses yang berjalan bersamaan, yaitu pendetailan jaringan di kawasan urban dan peri-urban, serta ekspansi cakupan di wilayah yang lebih luas, terutama sejumlah kecamatan Gunungkidul. Pertumbuhan bangunan lebih terkonsentrasi di kawasan urban dan peri-urban, yaitu Depok, Kasihan, Banguntapan, Ngaglik, Sewon, Kalasan, Mlati, dan Gamping. POI menunjukkan pola yang berbeda, yaitu lebih selektif dan tematik, karena lebih dekat merepresentasikan fungsi ruang, aktivitas ekonomi, layanan, dan pariwisata dibandingkan struktur fisik.

Tipologi pertumbuhan lintas objek mengelompokkan wilayah DIY ke dalam lima pola, yaitu *multi-object growth*, *road-dominant*, *building-dominant*, *POI-dominant*, dan *low-growth*. *Multi-object growth* muncul terutama di kawasan peri-urban utama (Depok, Kasihan, Ngaglik, Banguntapan, Kalasan). *Road-dominant* muncul di kawasan dengan ekspansi jaringan jalan yang kuat, mayoritas berada di Gunungkidul. *POI-dominant* muncul di sejumlah kawasan perkotaan yang pertumbuhan informasinya lebih kuat pada fungsi ruang dan aktivitas dibandingkan objek fisik.

Analisis struktur melalui RBR, BPR, dan ATR menunjukkan perubahan keseimbangan internal data OSM. RBR menurun, menandakan bahwa bangunan semakin dominan dibandingkan panjang jalan. BPR meningkat, menandakan bahwa pertumbuhan bangunan belum diimbangi oleh POI. ATR menurun, menandakan bahwa struktur POI semakin beragam karena *tourism* tumbuh lebih cepat dibandingkan *amenity*. Data OSM DIY pada 2025 dapat dikatakan semakin kaya secara fisik, terutama melalui bangunan, tetapi masih menyimpan ketimpangan antara representasi objek fisik dan representasi aktivitas/fungsi ruang.

Secara umum, evolusi OSM di DIY tidak cukup dipahami sebagai sekadar peningkatan jumlah data. Evolusi ini merupakan proses yang melibatkan perluasan cakupan, pendetailan geometri, perubahan struktur, dan selektivitas pemetaan secara bersamaan. Pemanfaatan OSM untuk analisis geospasial ke depan perlu memperhatikan jenis objek, konteks wilayah, dan keseimbangan struktur data, agar interpretasi yang dihasilkan tidak menyederhanakan dinamika yang sebenarnya jauh lebih berlapis.

Daftar Referensi

- [1] M. F. Goodchild, "Citizens as sensors: the world of volunteered geography," *GeoJournal*, vol. 69, no. 4, pp. 211–221, Nov. 2007, doi: 10.1007/s10708-007-9111-y.
- [2] M. Haklay, "How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets," *Environ Plann B Plann Des*, vol. 37, no. 4, pp. 682–703, Aug. 2010, doi: 10.1068/b35097.
- [3] A. Y. Grinberger, M. Minghini, L. Juhász, P. Mooney, and G. Yeboah, "Bridging the Map? Exploring Interactions between the Academic and Mapping Communities in OpenStreetMap," Sep. 2019, doi: 10.5281/ZENODO.3408639.
- [4] P. Mooney and M. Minghini, "A Review of OpenStreetMap Data," in *Mapping and the Citizen Sensor*, Ubiquity Press, 2017, pp. 37–59. doi: 10.5334/bbf.c.
- [5] P. Neis and D. Zielstra, "Recent Developments and Future Trends in Volunteered Geographic Information Research: The Case of OpenStreetMap," *Future Internet*, vol. 6, no. 1, pp. 76–106, Jan. 2014, doi: 10.3390/fi6010076.
- [6] S. Borkowska and K. Pokonieczny, "Analysis of OpenStreetMap Data Quality for Selected Counties in Poland in Terms of Sustainable Development," *Sustainability*, vol. 14, no. 7, p. 3728, Mar. 2022, doi: 10.3390/su14073728.
- [7] H. Senaratne, A. Mobasher, A. L. Ali, C. Capineri, and M. (Muki) Haklay, "A review of volunteered geographic information quality assessment methods," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 31, no. 1, pp. 139–167, Jan. 2017, doi: 10.1080/13658816.2016.1189556.
- [8] G. Yeboah *et al.*, "Analysis of OpenStreetMap Data Quality at Different Stages of a Participatory Mapping Process: Evidence from Slums in Africa and Asia," *IJGI*, vol. 10, no. 4, p. 265, Apr. 2021, doi: 10.3390/ijgi10040265.
- [9] A. N. L. Kusumo, D. Reckien, and J. Verplanke, "Volunteered Geographic Information (VGI) for the Spatial Planning of Flood Evacuation Shelters in Jakarta, Indonesia," in *GIS in Sustainable Urban Planning and Management*, 1st ed., Boca Raton: CRC Press, 2018, pp. 307–324. doi: 10.1201/9781315146638-18.
- [10] I. Meidodga, A. Syahrin, R. T. Putra, F. Warfandu, and A. N. Bimasena, "Pemanfaatan Data Geospasial dalam Mewujudkan Sistem Informasi Pertanahan Multiguna Bagi Multipihak," *WB*, vol. 3, no. 1, pp. 62–80, Jul. 2023, doi: 10.31292/wb.v3i1.51.
- [11] I. E. Noviandi *et al.*, "Mendukung Sistem Basis Data Spasial Desa Cibodas dengan Kegiatan Pemetaan Partisipatif Menggunakan Platform Openstreetmap," *JPIG*, vol. 6, no. 2, pp. 125–133, Sep. 2021, doi: 10.21067/jpig.v6i2.5939.
- [12] B. Pahlupi, L. Afriani, and D. Despa, "Revitalisasi Pengelolaan Data Spasial dalam mewujudkan Penyelenggaraan Informasi Geospasial Berkualitas dan Satu Data Indonesia Provinsi Lampung serta Pelayanan Publik," *JPI Unila*, vol. 5, no. 1, pp. 42–47, Jul. 2024, doi: 10.23960/jpi.v5n1.125.
- [13] M. Raifer *et al.*, "OSHDB: a framework for spatio-temporal analysis of OpenStreetMap history data," *Open geospatial data, softw. stand.*, vol. 4, no. 1, p. 3, Dec. 2019, doi: 10.1186/s40965-019-0061-3.
- [14] C. Barron, P. Neis, and A. Zipf, "A Comprehensive Framework for Intrinsic OpenStreetMap Quality Analysis," *Transactions in GIS*, vol. 18, no. 6, pp. 877–895, Dec. 2014, doi: 10.1111/tgis.12073.
- [15] C. Barrington-Leigh and A. Millard-Ball, "The world's user-generated road map is more than 80% complete," *PLoS ONE*, vol. 12, no. 8, p. e0180698, Aug. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0180698.
- [16] M. Moradi, S. Roche, and M. A. Mostafavi, "Exploring five indicators for the quality of OpenStreetMap road networks: a case study of Québec, Canada," *Geomatica*, vol. 75, no. 4, 2021, doi: <https://doi.org/10.1139/geomat-2021-0012>.

- [17] D. Li *et al.*, "Mapping the Completeness and Positional Accuracy of OpenStreetMap Road Data at the County Level in the Contiguous United States," *Transactions in GIS*, vol. 29, no. 4, p. e70077, Jun. 2025, doi: 10.1111/tgis.70077.
- [18] W. Wang, A. Zipf, and L. Meng, "Intrinsic assessment of the attribute completeness and accuracy in OpenStreetMap road data," *Abstr. Int. Cartogr. Assoc.*, vol. 10, pp. 1–2, Dec. 2025, doi: 10.5194/ica-abs-10-297-2025.
- [19] M. A. Brovelli and G. Zamboni, "A New Method for the Assessment of Spatial Accuracy and Completeness of OpenStreetMap Building Footprints," *IJGI*, vol. 7, no. 8, p. 289, Jul. 2018, doi: 10.3390/ijgi7080289.
- [20] Y. Zhang, Q. Zhou, M. A. Brovelli, and W. Li, "Assessing OSM building completeness using population data," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 36, no. 7, pp. 1443–1466, Jul. 2022, doi: 10.1080/13658816.2021.2023158.
- [21] B. Herfort, S. Lautenbach, J. Porto De Albuquerque, J. Anderson, and A. Zipf, "A spatio-temporal analysis investigating completeness and inequalities of global urban building data in OpenStreetMap," *Nat Commun*, vol. 14, no. 1, p. 3985, Jul. 2023, doi: 10.1038/s41467-023-39698-6.
- [22] T. Ullah, S. Lautenbach, B. Herfort, M. Reinmuth, and D. Schorlemmer, "Assessing Completeness of OpenStreetMap Building Footprints Using MapSwipe," *IJGI*, vol. 12, no. 4, p. 143, Mar. 2023, doi: 10.3390/ijgi12040143.
- [23] L. Zhang and D. Pfoser, "Using OpenStreetMap point-of-interest data to model urban change—A feasibility study," *PLoS ONE*, vol. 14, no. 2, p. e0212606, Feb. 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0212606.
- [24] C. Klinkhardt, T. Woerle, L. Briem, M. Heilig, M. Kagerbauer, and P. Vortisch, "Using OpenStreetMap as a Data Source for Attractiveness in Travel Demand Models," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2675, no. 8, pp. 294–303, Aug. 2021, doi: 10.1177/0361198121997415.
- [25] C. Klinkhardt *et al.*, "Quality Assessment of OpenStreetMap's Points of Interest with Large-Scale Real Data," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2677, no. 12, pp. 661–674, Dec. 2023, doi: 10.1177/03611981231169280.
- [26] A. Yang, H. Fan, N. Jing, Y. Sun, and A. Zipf, "Temporal Analysis on Contribution Inequality in OpenStreetMap: A Comparative Study for Four Countries," *IJGI*, vol. 5, no. 1, p. 5, Jan. 2016, doi: 10.3390/ijgi5010005.
- [27] M. Schott *et al.*, "Analyzing and Improving the Quality and Fitness for Purpose of OpenStreetMap as Labels in Remote Sensing Applications," in *Volunteered Geographic Information*, D. Burghardt, E. Demidova, and D. A. Keim, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 21–42. doi: 10.1007/978-3-031-35374-1_2.
- [28] J. Xu and Q. Zhou, "Temporal-spatial Analysis of Contributors' Mapping Behavior for Building Data in OpenStreetMap," *Proc. Int. Cartogr. Assoc.*, vol. 2, pp. 1–10, Jul. 2019, doi: 10.5194/ica-proc-2-149-2019.
- [29] E. N. N. Elias, F. R. Amorim, M. A. R. Schmidt, and S. P. Camboim, "Exploring spatio-temporal patterns of OpenStreetMap (OSM) contributions in heterogeneous urban areas," *Bol. Ciênc. Geod.*, vol. 29, no. 2, p. e2023005, 2023, doi: 10.1590/s1982-21702023000200005.
- [30] J. Thebault-Spieker, B. Hecht, and L. Terveen, "Geographic Biases are 'Born, not Made': Exploring Contributors' Spatiotemporal Behavior in OpenStreetMap," in *Proceedings of the 2018 ACM Conference on Supporting Groupwork*, Sanibel Island Florida USA: ACM, Jan. 2018, pp. 71–82. doi: 10.1145/3148330.3148350.