



## POLA SPASIAL AKSESIBILITAS FASILITAS PUBLIK KOTA PEKALONGAN: PENDEKATAN *GRID* DAN *MACHINE LEARNING*

Yohanes Eki Apriliawan

Badan Pusat Statistik

Email: [yohanes.apriliawan@bps.go.id](mailto:yohanes.apriliawan@bps.go.id)

Diterima : 01 November 2024

Disetujui : 24 Desember 2024

### Abstract

*This study analyzes infrastructure accessibility patterns in Pekalongan City using a grid-based approach and machine learning methods. By integrating data from BPS, OpenStreetMap, and ESRI 2023, the research employs 100m × 100m grid analysis units to measure accessibility to public facilities such as education, healthcare, and commerce. Analysis using three clustering methods (K-Means, Bisecting K-Means, and Agglomerative) identifies three distinctive accessibility patterns. The first cluster (40.29%) demonstrates optimal accessibility with high road density, predominantly in the city center. The second cluster (31.64%) exhibits moderate accessibility, characterizing transitional areas. The third cluster (32.90%) shows the lowest accessibility, particularly in southern and coastal regions. Machine learning modeling using Catboost achieves the highest accuracy with a logloss value of 0.0091, confirming distance to healthcare and commercial facilities as key determinants of accessibility. These findings provide empirical foundations for more targeted infrastructure development, with policy recommendations tailored to each cluster's characteristics. The developed methodology offers a novel approach to urban accessibility analysis that can be replicated in other cities with similar characteristics.*

**Keywords:** *Accessibility analysis, spatial clustering, machine learning, urban infrastructure, grid-based analysis*

### 1. PENDAHULUAN

Pemerataan akses terhadap infrastruktur dan fasilitas publik telah menjadi salah satu aspek fundamental dalam pembangunan perkotaan berkelanjutan (Tahmasbi et al., 2019). Hal ini terutama sangat penting bagi kota-kota yang sedang mengalami masa transisi dari karakteristik rural menuju urban. Di wilayah perkotaan, kemampuan masyarakat untuk menjangkau berbagai layanan esensial, seperti fasilitas pendidikan, kesehatan, dan perdagangan, memiliki makna yang lebih dalam (Morales et al., 2020). Aksesibilitas ini tidak hanya merefleksikan kualitas hidup masyarakat perkotaan, tetapi juga menjadi cerminan keberhasilan dari proses perencanaan dan pembangunan kota.

Dalam konteks Kota Pekalongan, dinamika perkembangan kota menunjukkan fenomena yang menarik. Dengan populasi yang mencapai 317.524 jiwa pada tahun 2023, kota ini mengalami fenomena *urban sprawl* yang cukup

signifikan (Fatimah & Anwar, 2023). Karakteristik fisik perkotaan secara perlahan namun pasti mulai menyebar dari pusat kota ke daerah pinggiran. Hal ini terlihat jelas dalam pembentukan koridor perkotaan sepanjang jalan nasional Pantura yang kini membentang lebih dari 40 km<sup>2</sup>. Perkembangan ini mencerminkan transformasi Kota Pekalongan dari kota kecil menjadi kota berukuran sedang, sebagaimana diungkapkan dalam studi Mardiansjah & Rahayu (2020).

Pola perkembangan kota yang tidak merata tercermin dari variasi kepadatan penduduk yang cukup mencolok antarkecamatan. Data BPS (2024) menunjukkan kesenjangan yang signifikan dari 10.019 jiwa/km<sup>2</sup> di Kecamatan Pekalongan Barat hingga hanya 5.256 jiwa/km<sup>2</sup> di Kecamatan Pekalongan Selatan. Variasi ini menjadi indikator awal adanya ketidakmerataan dalam pola pembangunan kota.

Perubahan tutupan lahan di Kota Pekalongan menghadirkan dinamika yang perlu

dicermati secara mendalam. Berdasarkan studi historis yang dilakukan oleh Shofiana et al. (2013), wilayah ini telah mengalami perubahan yang substansial selama periode 1999 hingga 2012. Perubahan ini ditandai dengan peningkatan luas lahan genangan air laut sebesar  $\pm 334,91$  hektar, sebagai dampak dari bencana rob, serta pengurangan lahan kosong yang cukup signifikan, mencapai  $\pm 792,86$  hektar.

Saat ini, berdasarkan data tutupan lahan ESRI tahun 2023, wilayah Kota Pekalongan terbagi dalam enam kategori utama, yakni perairan, hutan, area pertanian, area terbangun, lahan kosong, dan padang rumput. Dalam konteks penelitian ini, perhatian difokuskan pada tiga kategori yang memiliki keterkaitan langsung dengan dinamika aktivitas dan kebutuhan aksesibilitas masyarakat yakni area terbangun, lahan kosong, dan area pertanian.

Kondisi infrastruktur di Kota Pekalongan memerlukan perhatian yang serius dan komprehensif. Data BPS (2024) menggambarkan variasi kondisi jaringan jalan yang cukup kontras. Dari total jaringan jalan yang ada, 123,08 km berada dalam kondisi baik. Namun, masih terdapat 24,93 km jalan dalam kondisi rusak hingga rusak berat. Hal ini tentu berpengaruh signifikan terhadap aksesibilitas masyarakat.

Dalam hal penyediaan fasilitas publik, kota ini menunjukkan kompleksitas pelayanan yang menarik untuk dikaji. Sektor pendidikan dilayani oleh 147 sekolah dasar, 41 sekolah menengah pertama, serta 30 sekolah menengah atas. Di bidang kesehatan, terdapat 75 fasilitas yang terdiri dari 8 rumah sakit, 36 puskesmas, dan 31 klinik. Meskipun jumlah ini terlihat memadai, distribusi spasialnya perlu dikaji lebih lanjut.

Dari sisi ekonomi, meski PDRB Kota Pekalongan tahun 2023 telah mencapai Rp 13,74 triliun, masih terdapat 6,81 persen penduduk yang tergolong dalam kategori miskin (BPS, 2024). Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan sosial-ekonomi yang berpotensi mempengaruhi kemampuan masyarakat dalam mengakses berbagai fasilitas publik yang tersedia.

Dalam konteks kebijakan, Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Pekalongan 2009-2029 telah berusaha mengadopsi pendekatan yang seimbang. Peraturan Daerah Kota Pekalongan Nomor 30 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Pekalongan Tahun 2009-2029 menekankan pentingnya keselarasan antara kebutuhan pembangunan dan upaya pelestarian lahan pertanian (Peraturan Daerah Kota Pekalongan Nomor 30 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Pekalongan Tahun 2009-2029, 2011). Meskipun pengembangan infrastruktur perkotaan menjadi prioritas, RTRW dengan bijak menempatkan lahan pertanian sebagai komponen vital dalam kawasan budidaya. Hal ini dipandang penting untuk menjaga ketahanan pangan dan stabilitas lingkungan dalam jangka panjang.

Perlu dicatat bahwa kebijakan tata ruang Kota Pekalongan telah mengalami penyempurnaan melalui Peraturan Daerah Kota Pekalongan 9 Tahun 2020 yang mengubah Peraturan Daerah Nomor 30 Tahun 2011 tentang RTRW Kota Pekalongan 2009-2029. Perubahan ini membawa beberapa penekanan baru dalam strategi penataan ruang, khususnya terkait pengendalian pemanfaatan ruang yang lebih ketat, peningkatan kemitraan antar pemangku kepentingan, dan penguatan pertimbangan aspek lingkungan.

Perubahan kebijakan tata ruang ini memberikan kerangka regulasi yang lebih responsif terhadap dinamika perkembangan kota, termasuk dalam mengelola aksesibilitas di area transisi urban-rural yang menjadi salah satu tantangan utama dalam pengembangan Kota Pekalongan. Implementasi kebijakan ini perlu mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi aksesibilitas di lapangan.

Dinamika aksesibilitas di area transisi urban-rural Kota Pekalongan mencerminkan interaksi yang kompleks antara berbagai faktor. Carlow et al. (2021) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa pengembangan jaringan jalan dan sistem transportasi publik yang baik memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan aksesibilitas. Sistem yang baik ini mampu memfasilitasi pergerakan manusia dan barang antara wilayah urban dan rural secara

lebih efisien. Namun, sebagaimana diidentifikasi oleh Prasada & Masyhuri (2020), kondisi jalan yang kurang memadai dan keterbatasan transportasi publik seringkali menjadi kendala bagi masyarakat perdesaan dalam mengakses berbagai aktivitas ekonomi perkotaan.

Pola pergerakan penduduk (*commuting*) di area transisi menunjukkan karakteristik yang dipengaruhi oleh beragam aspek, mulai dari bentuk perkotaan, karakteristik sosio-ekonomi, hingga ketersediaan sarana transportasi publik. Hasil penelitian Modarres (2011) mengungkapkan sebuah temuan menarik, penduduk yang bergantung pada transportasi umum cenderung menghabiskan waktu perjalanan yang lebih lama, terutama di kawasan pusat kota dengan tingkat kepemilikan kendaraan pribadi yang rendah. Lebih lanjut, Gao et al. (2019) menambahkan bahwa peningkatan kualitas sistem transportasi publik dapat mengubah dinamika *commuting* secara positif dengan menciptakan daya tarik bagi penduduk untuk bermukim di area-area dengan akses transit yang lebih baik.

Tantangan penyediaan infrastruktur di kawasan pertanian Kota Pekalongan memerlukan perhatian khusus. Sebyang et al. (2024) mengungkapkan sebuah temuan penting, yakni infrastruktur jalan yang tidak memadai memiliki dampak signifikan terhadap proses transportasi hasil pertanian. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan potensi kerugian pasca panen, tetapi juga berpengaruh terhadap profitabilitas petani secara keseluruhan.

Lebih jauh lagi, Maksimovich et al. (2023) menekankan pentingnya akses terhadap layanan esensial seperti air, listrik, dan sanitasi di kawasan pertanian. Ketiadaan akses terhadap layanan-layanan dasar ini dapat menurunkan efektivitas praktik pertanian dan dalam jangka panjang mengurangi daya tarik kawasan rural bagi tenaga kerja terampil. Situasi ini menjadi semakin kompleks dengan adanya kendala finansial. Sebagaimana dicatat oleh Kilmanun et al. (2023), banyak petani yang harus beroperasi dengan keterbatasan anggaran yang pada akhirnya mempengaruhi kemampuan mereka untuk mengakses dan meningkatkan kualitas infrastruktur yang diperlukan.

Kompleksitas perkembangan Kota Pekalongan, yang ditandai dengan keberagaman tutupan lahan dan variasi kepadatan penduduk, memerlukan pendekatan analisis yang lebih presisi dan komprehensif. Karakteristik wilayah yang beragam, mulai dari area terbangun yang padat di pusat kota hingga kawasan pertanian di wilayah selatan, menciptakan tantangan tersendiri dalam mengukur dan mengevaluasi aksesibilitas infrastruktur secara akurat.

Pendekatan konvensional yang berbasis unit administratif seringkali tidak mampu menangkap variasi spasial yang detail dalam aksesibilitas infrastruktur. Hal ini terutama terlihat pada area-area transisi antara kawasan terbangun dan pertanian, di mana perubahan karakteristik wilayah terjadi secara gradual dan tidak selalu mengikuti batas administratif. Keterbatasan ini dapat mengakibatkan kesimpulan yang kurang tepat dalam perencanaan pengembangan infrastruktur.

Perkembangan teknologi informasi geografis dan metode analisis spasial modern membuka peluang untuk pendekatan yang lebih baik dalam analisis aksesibilitas perkotaan. Penggunaan unit analisis yang lebih detail memungkinkan identifikasi pola spasial yang lebih akurat, terutama dalam mengukur variasi aksesibilitas pada skala mikro. Beberapa studi terkini telah mendemonstrasikan efektivitas pendekatan berbasis *grid* dalam menganalisis fenomena perkotaan. Sebagai contoh, Wei et al. (2017) menunjukkan bagaimana penggunaan resolusi *grid* yang lebih detail dapat menghasilkan pemahaman yang lebih mendalam tentang pola pertumbuhan dan perkembangan kota.

Pendekatan ini menjadi semakin relevan ketika diintegrasikan dengan analisis tutupan lahan yang memungkinkan identifikasi pola aksesibilitas yang lebih akurat pada area-area dengan karakteristik dan kebutuhan yang beragam.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengembangkan sebuah pendekatan yang mengintegrasikan analisis spasial dan *machine learning* untuk memahami pola aksesibilitas infrastruktur di Kota Pekalongan. Metodologi yang digunakan

memberi perhatian khusus pada karakteristik tutupan lahan wilayah, yang dibagi ke dalam beberapa tahap yang sistematis dan terintegrasi.

**Tabel 1 Data yang Digunakan pada Penelitian**

No.	Data	Sumber
1	Data Wilayah Administratif	BPS
2	Tutupan Lahan	ESRI
3	Infrastruktur Pendidikan	BIG
4	Infrastruktur Kesehatan	BIG
5	Infrastruktur Perdagangan	BIG
6	Infrastruktur Pemerintahan	BIG
7	Jalan	OpenStreetMap

Tahap awal penelitian berfokus pada pengumpulan dan pra-pemrosesan data dari berbagai sumber terpercaya. Data administrasi dan statistik wilayah diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), sementara informasi tutupan lahan diakses melalui ESRI tahun 2023. Dalam menganalisis tutupan lahan, penelitian ini secara khusus memberikan perhatian pada tiga kategori utama yang memiliki relevansi tinggi dengan aktivitas dan kebutuhan masyarakat: area terbangun, lahan kosong, dan area pertanian.



**Gambar 1 Alur Penelitian**

Untuk mendapatkan analisis yang lebih presisi, penelitian ini menggunakan unit analisis berupa *grid* berukuran  $100\text{m} \times 100\text{m}$  yang di-*overlay* dengan peta tutupan lahan. Proses *overlay* ini menghasilkan identifikasi yang detail untuk setiap *grid* dalam tiga kategori

tutupan lahan yang menjadi fokus penelitian. *Grid-grid* yang berada pada kategori tutupan lahan lain, seperti perairan, vegetasi tergenang, dan hutan, dikeluarkan dari analisis untuk memastikan fokus yang lebih terarah pada area-area yang relevan dengan aktivitas manusia dan pembangunan infrastruktur.

Setiap *grid* yang terseleksi kemudian melalui tahap analisis yang mendalam. Dalam tahap ini, beberapa variabel kunci dihitung dan dievaluasi. Salah satu variabel penting adalah kepadatan jaringan jalan, yang dihitung berdasarkan total panjang jalan dalam setiap *grid*. Sementara itu, untuk mengukur aksesibilitas ke fasilitas publik, penelitian ini menggunakan pendekatan analisis jarak jaringan (*network distance*).

Dalam proses pengukuran jarak, penelitian ini menerapkan algoritma *Dijkstra* yang mampu menghitung rute terpendek melalui jaringan jalan yang tersedia. Metode ini dipilih karena memberikan estimasi jarak perjalanan yang lebih mendekati kondisi sebenarnya, mengingat algoritma ini mempertimbangkan ketersediaan dan konektivitas jaringan jalan yang ada. Pendekatan ini menghasilkan perhitungan yang jauh lebih akurat dibandingkan dengan pengukuran jarak lurus (*Euclidean*) sederhana.

Untuk mengidentifikasi pola spasial aksesibilitas, penelitian ini mengaplikasikan tiga metode *clustering* yang berbeda. Metode pertama adalah *K-Means clustering*, yang dipilih karena kemampuannya dalam mengelompokkan data berdasarkan kedekatan karakteristik dalam ruang multidimensi. Algoritma ini bekerja secara iteratif dengan terus memperbarui pusat *cluster* dan mengalokasikan setiap *grid* ke *cluster* terdekat hingga mencapai kondisi yang optimal.

Metode *clustering* kedua menggunakan pendekatan *Bisecting K-Means*, sebuah algoritma yang bekerja dengan cara yang berbeda namun tetap efisien. Algoritma ini secara sistematis membagi data menjadi dua kelompok secara berulang hingga mencapai jumlah *cluster* yang diinginkan. Keunggulan pendekatan ini terletak pada kemampuannya dalam menangkap struktur hierarkis dalam data, sambil tetap mempertahankan efisiensi komputasi yang tinggi.

Sebagai metode ketiga, penelitian ini menggunakan *Agglomerative Clustering* yang menerapkan pendekatan *bottom-up*. Dalam metode ini, setiap *grid* pada awalnya diperlakukan sebagai *cluster* individual. Secara bertahap, *grid-grid* yang memiliki karakteristik serupa digabungkan berdasarkan kedekatan karakteristiknya, membentuk *cluster* yang lebih besar hingga mencapai jumlah *cluster* yang optimal.

Dalam menentukan jumlah *cluster* yang optimal, penelitian ini menggunakan metode *elbow*. Metode ini bekerja dengan menganalisis perubahan inersia (*within-cluster sum of squares*) terhadap jumlah *cluster* yang berbeda-beda. Titik optimal ditentukan pada saat penambahan jumlah *cluster* tidak lagi memberikan pengurangan inersia yang signifikan.

Untuk menjamin konsistensi interpretasi hasil *clustering*, penelitian ini melakukan proses penyelarasan label (*label alignment*) di antara ketiga metode *clustering* yang digunakan. Proses ini menggunakan karakteristik *cluster* sebagai dasar penyelarasan yang memungkinkan perbandingan hasil yang lebih akurat antara berbagai metode. Area-area yang mendapatkan label yang sama dari ketiga metode *clustering* kemudian dipilih sebagai data *training* yang akan digunakan dalam tahap pemodelan berikutnya.

Tahap pemodelan *machine learning* dalam penelitian ini melibatkan empat algoritma yang berbeda: *Catboost*, *Light Gradient Boosting Machine (Light GBM)*, *Extreme Gradient Boost (XGBoost)*, dan *Random Forest*. Pemilihan keempat algoritma ini didasarkan pada kemampuan mereka dalam menangani data spasial dan menghasilkan model yang *robust*. Data *training* yang digunakan berasal dari *grid-grid* yang telah mendapatkan label konsisten dari proses *clustering* sebelumnya. Sementara itu, *grid-grid* lainnya akan diprediksi menggunakan model yang menunjukkan performa terbaik.

Dalam mengevaluasi performa model, penelitian ini menggunakan metrik *logloss*. Pemilihan metrik ini didasarkan pada dua pertimbangan utama. Pertama, kemampuannya dalam mengukur kualitas prediksi probabilistik.

Kedua, sensitivitasnya yang tinggi terhadap kesalahan klasifikasi, yang memungkinkan evaluasi model yang lebih akurat.

Untuk memahami kontribusi setiap variabel dalam proses klasifikasi, penelitian ini melakukan analisis *feature importance*. Analisis ini memberikan wawasan mendalam tentang faktor-faktor yang paling berpengaruh dalam menentukan tingkat aksesibilitas suatu area. Hasil analisis ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk penentuan prioritas dalam pengembangan infrastruktur.

Visualisasi hasil analisis dilakukan untuk menampilkan distribusi spasial tingkat aksesibilitas dan memahami *feature importance* dari variabel-variabel yang digunakan. Hasil akhir analisis memberikan dasar yang kuat untuk perumusan rekomendasi pengembangan infrastruktur yang sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan masing-masing area.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Gambaran Umum Pembangunan Infrastruktur di Kota Pekalongan

Kota Pekalongan, yang terletak strategis di pesisir utara Jawa Tengah, memiliki karakteristik wilayah yang beragam dan kompleks. Pembagian administratif kota ini ke dalam empat kecamatan menghadirkan variasi yang signifikan dalam hal demografi, penggunaan lahan, dan distribusi infrastruktur.

Kecamatan Pekalongan Utara, yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa, memiliki karakteristik yang unik. Dengan luas area 15,40 km<sup>2</sup>, kecamatan ini merupakan yang terluas di Kota Pekalongan. Komposisi tutupan lahannya mencerminkan karakter khas wilayah pesisir, di mana 50,99% wilayahnya berupa perairan, 45,43% area terbangun, dan 2,72% lahan pertanian. Sisanya, sebesar 0,86%, merupakan lahan dengan fungsi lain. Menariknya, meskipun memiliki wilayah terluas, kecamatan ini justru mencatat kepadatan penduduk terendah, yakni 5.256,10 jiwa/km<sup>2</sup>. Kondisi ini menghadirkan tantangan tersendiri dalam konteks pengembangan wilayah pesisir.

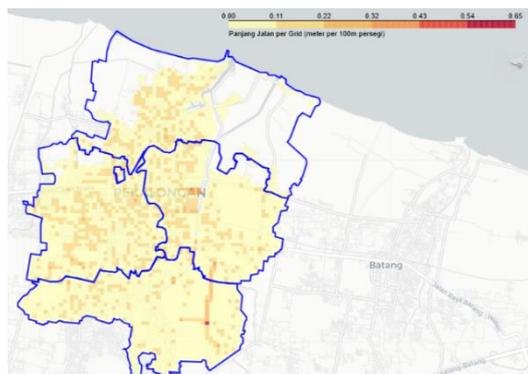
Berbeda dengan Kecamatan Pekalongan Utara, Kecamatan Pekalongan Barat menampilkan karakteristik pusat kota yang

sangat kental. Dalam area yang lebih kecil, yakni 9,70 km<sup>2</sup>, kecamatan ini memiliki kepadatan penduduk tertinggi yang mencapai 10.019,60 jiwa/km<sup>2</sup>. Dominasi area terbangun sangat terlihat di wilayah ini, mencapai 88,83% dari total wilayah. Sisanya terbagi menjadi 4,84% lahan pertanian dan 4,44% perairan. Tingginya kepadatan penduduk dan dominasi area terbangun ini sejalan dengan peran Pekalongan Barat sebagai salah satu pusat aktivitas kota.

Sementara itu, Kecamatan Pekalongan Timur menawarkan keseimbangan yang lebih baik dalam penggunaan lahannya. Dengan luas 9,26 km<sup>2</sup> dan kepadatan penduduk 7.583,80 jiwa/km<sup>2</sup>, wilayah ini terdiri dari 69,97% area terbangun, 25,07% lahan pertanian, dan 4,90% perairan. Komposisi ini menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih beragam dan dinamis.

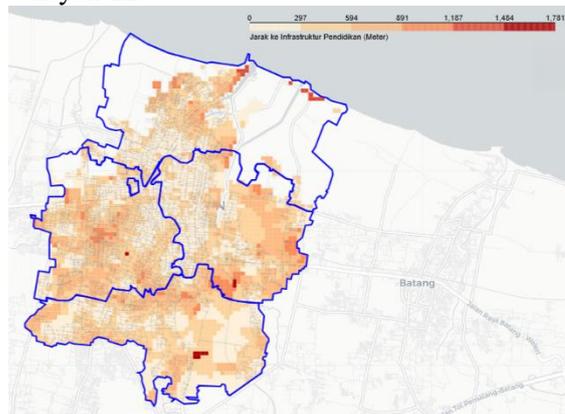
Di sisi lain, Kecamatan Pekalongan Selatan, yang memiliki luas 10,89 km<sup>2</sup> dengan kepadatan penduduk 6.410,47 jiwa/km<sup>2</sup>, menunjukkan dualisme yang menarik antara karakteristik perkotaan dan perdesaan. Hal ini tercermin dari komposisi wilayahnya yang terdiri dari 65,03% area terbangun dan 34,96% lahan pertanian.

Infrastruktur transportasi sebagai urat nadi konektivitas kota menunjukkan pola distribusi yang menarik untuk dicermati. Dari segi panjang jalan, Kecamatan Pekalongan Utara memiliki jaringan jalan terpanjang yakni 44,80 km, diikuti oleh Kecamatan Pekalongan Barat dengan 44,23 km, Kecamatan Pekalongan Timur 38,55 km, dan Kecamatan Pekalongan Selatan 26,03 km. Namun, ketika dilihat dari perspektif analisis densitas per *grid*, pola yang berbeda terungkap.



**Gambar 2 Densitas Jalan di Kota Pekalongan, 2023**

Hasil analisis densitas jalan per *grid* mengungkapkan bahwa Kecamatan Pekalongan Barat justru menunjukkan rata-rata densitas jalan tertinggi, mencapai 0,08 m/100m<sup>2</sup>. Sebaliknya, Kecamatan Pekalongan Selatan mencatat densitas terendah dengan 0,05 m/100m<sup>2</sup>. Temuan ini mengindikasikan bahwa jaringan jalan di Kecamatan Pekalongan Barat terdistribusi lebih merata di setiap *grid* dibandingkan kecamatan lainnya. Yang menarik untuk dicermati adalah variasi standar deviasi densitas jalan yang tertinggi ditemukan di Kecamatan Pekalongan Timur (0,06), menunjukkan adanya ketimpangan distribusi infrastruktur jalan yang lebih signifikan di wilayah ini.

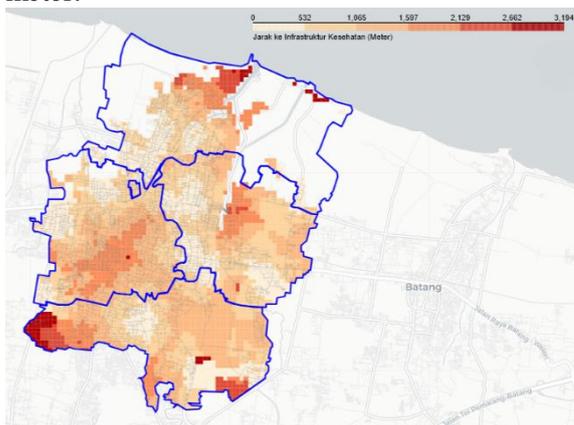


**Gambar 3 Jarak ke Infrastruktur Pendidikan di Kota Pekalongan, 2023**

Dalam hal fasilitas pendidikan, upaya pemerataan akses terlihat dari distribusi yang cukup merata, meskipun masih terdapat beberapa variasi yang signifikan. Pendidikan dasar menunjukkan sebaran yang cukup baik dengan total 147 sekolah, terdiri dari 103

sekolah dasar dan 44 madrasah ibtidaiyah. Kecamatan Pekalongan Barat memiliki konsentrasi tertinggi dengan 45 Sekolah Dasar. Untuk tingkat pendidikan menengah, terdapat total 41 sekolah menengah pertama (30 Sekolah Menengah Pertama dan 11 Madrasah Tsanawiyah) dan 30 sekolah menengah atas (8 Sekolah Menengah Atas, 13 Sekolah Menengah Kejuruan, dan 9 Madrasah Aliyah), dengan pola distribusi yang lebih terkonsentrasi dibanding sekolah dasar.

Analisis jarak mengungkapkan bahwa di antara berbagai fasilitas publik, fasilitas pendidikan memiliki tingkat aksesibilitas terbaik. Rata-rata jarak ke fasilitas pendidikan tercatat 425,55 meter, meskipun Kecamatan Pekalongan Timur menunjukkan jarak rata-rata yang sedikit lebih tinggi, mencapai 449,41 meter.

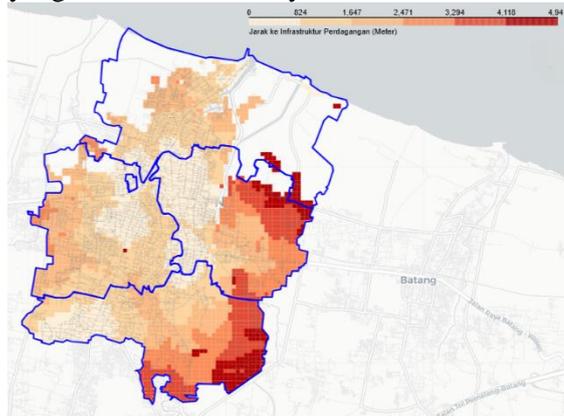


**Gambar 4** Jarak ke Infrastruktur Kesehatan di Kota Pekalongan, 2023

Penyediaan layanan kesehatan di Kota Pekalongan menunjukkan struktur yang menarik untuk dikaji. Jaringan fasilitas kesehatan terdiri dari 8 rumah sakit, 36 puskesmas, dan 31 klinik. Dalam hal distribusi rumah sakit, Kecamatan Pekalongan Timur mencatat konsentrasi tertinggi dengan tiga rumah sakit. Sementara untuk puskesmas, distribusinya relatif merata dengan rentang 7-10 fasilitas di setiap kecamatan.

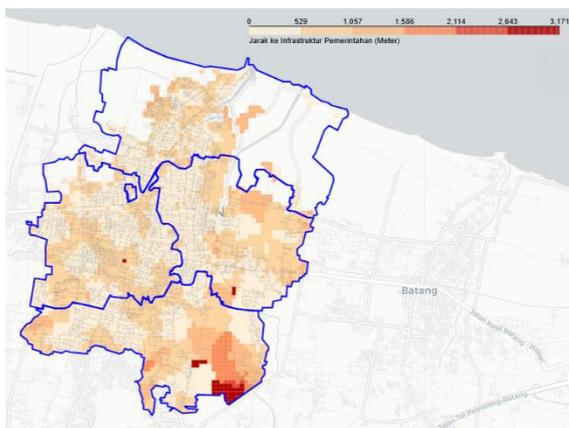
Namun, ketimpangan yang cukup mencolok terlihat dalam distribusi klinik. Kecamatan Pekalongan Barat dan Kecamatan Pekalongan Timur masing-masing memiliki 11 klinik, menunjukkan konsentrasi yang tinggi. Sebaliknya, Kecamatan Pekalongan Selatan hanya memiliki satu klinik yang mencerminkan

kesenjangan yang signifikan dalam penyediaan layanan kesehatan tingkat pertama. Ketika dianalisis dari segi jarak, rata-rata jarak ke fasilitas kesehatan untuk seluruh kecamatan adalah 1.045,45 meter. Variasi tertinggi ditemukan di Kecamatan Pekalongan Selatan dengan rata-rata jarak mencapai 1.193,62 meter dan standar deviasi 651,35 meter yang mengindikasikan adanya tantangan aksesibilitas yang lebih besar di wilayah ini.



**Gambar 5** Jarak ke Infrastruktur Perdagangan di Kota Pekalongan, 2023

Dalam hal fasilitas perdagangan, distribusi 10 pasar tradisional menunjukkan pola yang tidak merata antar *grid*. Menariknya, meskipun Kecamatan Pekalongan Selatan memiliki jumlah pasar terbanyak (empat pasar) dibandingkan kecamatan lain yang masing-masing memiliki dua pasar, analisis jarak menunjukkan hasil yang kontradiktif. Rata-rata jarak ke pasar terdekat di Kecamatan Pekalongan Selatan justru tercatat paling tinggi, mencapai 2.215,30 meter. Sebaliknya, *grid-grid* di Kecamatan Pekalongan Barat menunjukkan aksesibilitas terbaik dengan rata-rata jarak hanya 1.363,14 meter. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun jumlah pasar lebih banyak di Kecamatan Pekalongan Selatan, lokasinya cenderung terkonsentrasi di area-area tertentu yang menyebabkan banyak *grid* yang memiliki jarak tempuh cukup jauh untuk mengakses fasilitas perdagangan.



**Gambar 6** Jarak ke Infrastruktur Pemerintahan di Kota Pekalongan, 2023

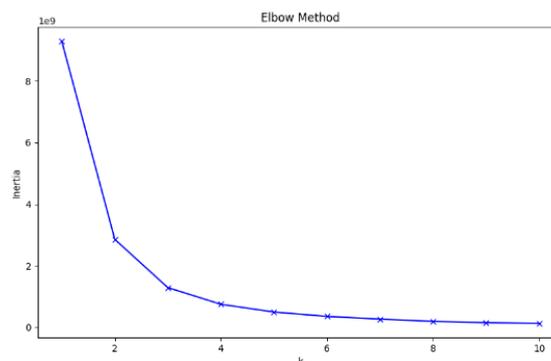
Dalam konteks infrastruktur pemerintahan, pola distribusi yang terlihat mencerminkan hierarki administratif kota yang jelas. Kecamatan Pekalongan Barat dan Kecamatan Pekalongan Timur, sebagai pusat aktivitas kota, masing-masing memiliki konsentrasi kantor pemerintahan tertinggi dengan 18 kantor. Sementara itu, Kecamatan Pekalongan Selatan dan Kecamatan Pekalongan Utara memiliki jumlah yang lebih sedikit, masing-masing 12 dan 11 kantor. Ketika dianalisis dari segi jarak, rata-rata jarak ke fasilitas pemerintahan untuk seluruh kecamatan tercatat 622,82 meter. Namun, sekali lagi Kecamatan Pekalongan Selatan menunjukkan variasi tertinggi dengan rata-rata jarak 791,79 meter dan standar deviasi 576,36 meter.

Dari keseluruhan analisis statistik deskriptif ini, terungkap adanya hubungan yang kompleks antara tiga aspek utama: karakteristik wilayah, kepadatan penduduk, dan distribusi infrastruktur. Meskipun terlihat adanya upaya pemerataan fasilitas publik, masih ditemukan ketimpangan aksesibilitas yang cukup signifikan, terutama di wilayah pesisir utara dan wilayah selatan kota. Variasi ini mencerminkan tantangan yang harus dihadapi dalam upaya menyeimbangkan pembangunan di wilayah-wilayah dengan karakteristik yang berbeda.

### 3.2. Hasil Analisis Cluster dan Pemodelan Machine Learning

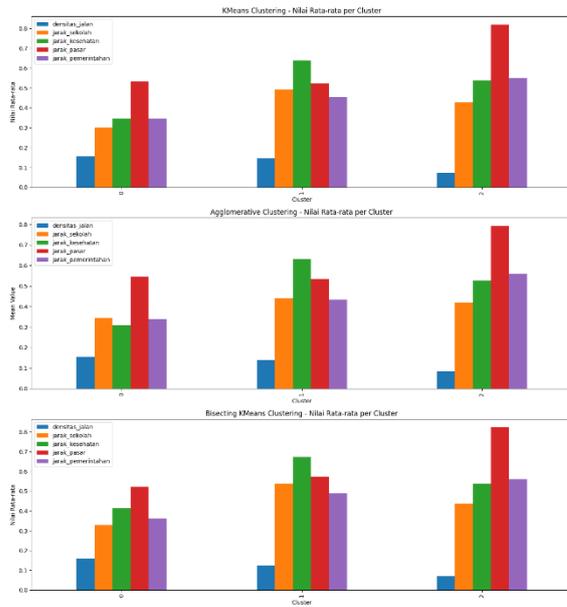
Hasil analisis *clustering* memberikan konfirmasi terhadap temuan awal dari analisis deskriptif mengenai variasi signifikan dalam aksesibilitas antar wilayah. Penentuan jumlah

*cluster* optimal dilakukan melalui metode *elbow* dengan menganalisis perubahan inersia. Visualisasi metode ini menunjukkan penurunan inersia yang tajam hingga jumlah *cluster* mencapai tiga, setelah itu penurunan menjadi lebih landai. Pola ini mengindikasikan bahwa tiga *cluster* merupakan jumlah yang optimal untuk analisis ini.



**Gambar 7** Grafik Penentuan Jumlah Cluster Optimum

Implementasi tiga metode *clustering* menghasilkan pola distribusi yang menarik untuk dicermati. Metode *K-Means clustering* menghasilkan distribusi yang relatif seimbang: 1.293 *grid* pada *cluster 0*, 1.189 *grid* pada *cluster 1*, dan 1.231 *grid* pada *cluster 2*. *Agglomerative clustering* menunjukkan distribusi yang sedikit berbeda dengan 1.061 *grid* pada *cluster 0*, 1.401 *grid* pada *cluster 1*, dan 1.251 *grid* pada *cluster 2*. Sementara itu, *Bisecting K-Means* memberikan distribusi yang lebih bervariasi: 1.842 *grid* pada *cluster 0*, 740 *grid* pada *cluster 1*, dan 1.131 *grid* pada *cluster 2*.



**Gambar 8** Perbandingan Hasil Analisis Cluster

Menariknya, ketiga metode *clustering* menunjukkan karakteristik yang konsisten dalam pengelompokan area. Pada hasil *K-Means*, *cluster 0* menampilkan karakteristik aksesibilitas terbaik. Hal ini tercermin dari rata-rata jarak yang rendah ke fasilitas pendidikan (0,30) dan kesehatan (0,35), ditunjang dengan densitas jalan tertinggi (0,16). *Cluster 1* memperlihatkan karakteristik aksesibilitas menengah dengan rata-rata jarak yang moderat ke berbagai fasilitas. Sementara itu, *cluster 2* menunjukkan tantangan aksesibilitas yang lebih besar, terutama untuk fasilitas perdagangan dengan jarak rata-rata mencapai 0,82 dan densitas jalan terendah (0,07).

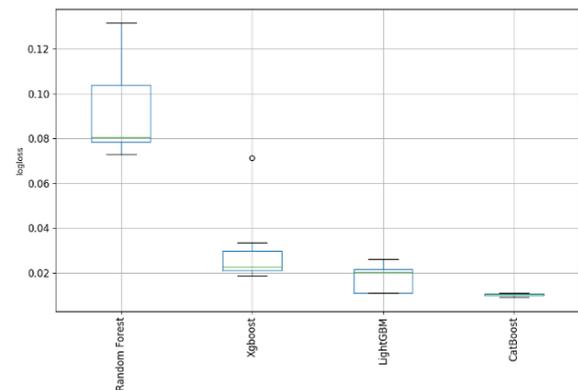
Hasil serupa juga terlihat pada *Agglomerative clustering*. *Cluster 0* konsisten menunjukkan aksesibilitas optimal dengan rata-rata jarak terendah ke fasilitas kesehatan (0,31) dan densitas jalan tertinggi (0,15). *Cluster 1* mempertahankan karakteristik menengah, sedangkan *cluster 2* tetap menunjukkan aksesibilitas terendah dengan jarak terjauh ke fasilitas perdagangan (0,79) dan densitas jalan terendah (0,09).

*Bisecting K-Means* juga menghasilkan pola yang mengonfirmasi temuan dari dua metode sebelumnya. *Cluster 0* tetap menunjukkan aksesibilitas terbaik dengan rata-rata jarak terendah ke berbagai fasilitas dan densitas jalan tertinggi (0,16). *Cluster 1* memperlihatkan

karakteristik aksesibilitas menengah ke rendah, ditandai dengan jarak yang lebih jauh ke fasilitas kesehatan (0,67) dan pendidikan (0,54). *Cluster 2* konsisten menunjukkan aksesibilitas terendah, terutama untuk fasilitas perdagangan (0,82) dengan densitas jalan terendah (0,07).

Ketika membandingkan nilai rata-rata per *cluster* dari ketiga metode, terlihat adanya konsistensi yang kuat dalam pola pengelompokan. Meskipun terdapat sedikit variasi dalam nilai absolut, ketiga metode secara konsisten mengidentifikasi karakteristik yang sama: area dengan densitas jalan tinggi dan jarak yang lebih dekat ke fasilitas selalu terkelompok dalam *cluster* dengan aksesibilitas baik. Sebaliknya, area dengan densitas jalan rendah dan jarak yang lebih jauh ke fasilitas secara konsisten terkelompok dalam *cluster* aksesibilitas rendah.

Proses penyesuaian label (*label alignment*) menunjukkan hasil yang menggembarakan. Tidak diperlukan penyesuaian label antar metode karena *cluster 0*, *1*, dan *2* dari masing-masing metode telah menunjukkan kesesuaian karakteristik yang tinggi. Yang lebih menarik lagi, sebanyak 69,86% *grid* mendapatkan klasifikasi yang sama dari ketiga metode *clustering*. Tingginya tingkat konsensus ini memberikan keyakinan yang kuat terhadap validitas hasil klasifikasi yang diperoleh.

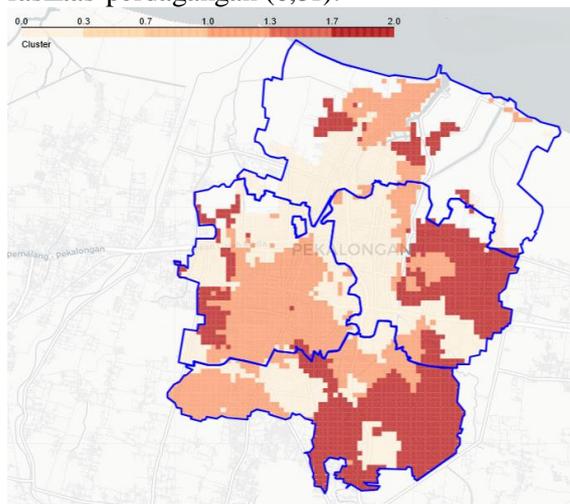


**Gambar 9** Perbandingan Performa Model Machine Learning

Dalam tahap pemodelan *machine learning*, perbandingan empat algoritma menghasilkan temuan yang signifikan. *Catboost* menunjukkan performa yang paling unggul dengan nilai *logloss* terendah sebesar 0,0091. *Light GBM*

menempati posisi kedua dengan nilai *logloss* 0,0111, diikuti oleh *XGBoost* dengan 0,0186. *Random Forest* mencatat performa terendah dengan nilai *logloss* 0,0729. Visualisasi *box plot* performa model memperlihatkan keunggulan *Catboost* tidak hanya dari segi nilai *logloss* terendah, tetapi juga dari konsistensi performa yang ditunjukkan melalui sebaran nilai yang lebih sempit.

Hasil final klasifikasi menggunakan model *Catboost* menghasilkan tiga *cluster* dengan karakteristik yang jelas dan terdiferensiasi. *Cluster 0* menunjukkan aksesibilitas optimal dengan kombinasi densitas jalan tertinggi (0,15) dan jarak terdekat ke berbagai fasilitas. *Cluster 1* memiliki karakteristik menengah dengan densitas jalan moderat (0,14), meskipun menunjukkan jarak yang cukup jauh ke fasilitas kesehatan (0,65). Sementara itu, *cluster 2* merepresentasikan area dengan tantangan aksesibilitas terbesar, ditandai dengan densitas jalan terendah (0,08) dan jarak terjauh ke fasilitas perdagangan (0,81).



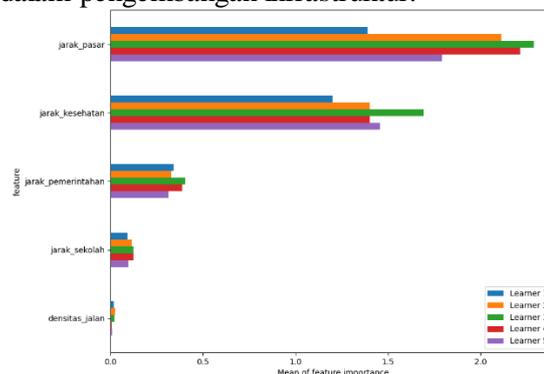
**Gambar 10** Distribusi Spasial Hasil Pemodelan

Distribusi spasial hasil klasifikasi mengungkapkan pola yang menarik di setiap kecamatan. Kecamatan Pekalongan Barat menunjukkan kualitas aksesibilitas yang relatif baik, tercermin dari dominasi *cluster 0* (424 *grid*) dan *cluster 1* (491 *grid*). Pola ini sejalan dengan karakteristik Kecamatan Pekalongan Barat sebagai pusat aktivitas kota dengan tingkat pembangunan infrastruktur yang lebih intensif.

Sebaliknya, Kecamatan Pekalongan Selatan menghadapi tantangan aksesibilitas yang lebih besar. Hal ini terlihat dari tingginya konsentrasi *grid* pada *cluster 2* (597 *grid*), mengindikasikan kebutuhan perhatian khusus dalam pengembangan infrastruktur di wilayah ini. Temuan ini juga memperkuat hasil analisis deskriptif sebelumnya tentang kesenjangan aksesibilitas di wilayah selatan kota.

Kecamatan Pekalongan Timur menampilkan distribusi yang lebih bervariasi dan menarik untuk dicermati. Wilayah ini memiliki dominasi *cluster 0* (478 *grid*) dan *cluster 2* (389 *grid*), menunjukkan adanya dualisme dalam tingkat aksesibilitas. Beberapa area memiliki aksesibilitas yang sangat baik, sementara area lainnya masih menghadapi tantangan signifikan dalam hal aksesibilitas.

Sementara itu, Kecamatan Pekalongan Utara menunjukkan kecenderungan aksesibilitas yang relatif baik dengan dominasi *cluster 0* (350 *grid*). Temuan ini menarik mengingat karakteristik wilayah pesisir yang umumnya menghadapi tantangan lebih besar dalam pengembangan infrastruktur.



**Gambar 11** Analisis *Feature Importance*

Pemahaman mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi aksesibilitas infrastruktur kota dapat diperoleh melalui analisis *feature importance*. Dalam penelitian ini, analisis tersebut dilakukan dengan menggunakan model terbaik (*Catboost*) yang dilakukan dengan *5-fold cross validation*, *Learner 1* sampai 5. Menariknya, kelima model menunjukkan pola hasil yang konsisten, meskipun terdapat variasi kecil dalam besaran nilai *importance* yang diberikan. Konsistensi ini

memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap hasil analisis yang diperoleh.

Dari hasil analisis *feature importance*, jarak ke pasar menunjukkan dominasi yang sangat jelas. Variabel ini mencatatkan nilai *mean importance* tertinggi, yaitu sekitar 2,0; jauh di atas variabel-variabel lainnya. *Learner 3* memberikan bobot tertinggi untuk variabel ini, namun pola dominasinya tetap konsisten di seluruh model yang digunakan. Temuan ini memberikan pemahaman baru tentang bagaimana masyarakat Kota Pekalongan berinteraksi dengan ruang kotanya. Akses terhadap fasilitas perdagangan, dalam hal ini pasar, tampaknya menjadi pertimbangan utama yang mendefinisikan kualitas infrastruktur suatu kawasan.

Faktor kedua yang memiliki pengaruh substantial adalah jarak ke fasilitas kesehatan. Variabel ini memperoleh nilai *mean importance* sekitar 1,5; menunjukkan peran yang signifikan namun tidak sedominan jarak ke pasar. Perbedaan bobot yang diberikan antar model untuk variabel ini cukup menarik untuk dicermati. *Learner 3*, misalnya, memberikan bobot yang lebih tinggi terhadap pentingnya akses kesehatan dibandingkan model-model lainnya. Variasi ini mungkin mencerminkan kompleksitas peran fasilitas kesehatan dalam konteks perkotaan.

Dalam urutan berikutnya, jarak ke fasilitas pemerintahan menempati posisi ketiga dengan nilai *mean importance* sekitar 0,5. Kelima model menunjukkan hasil yang serupa dalam menilai kontribusi variabel ini, terlihat dari nilai *importance* yang relatif stabil antar model. Stabilitas ini mengindikasikan bahwa peran fasilitas pemerintahan dalam menentukan aksesibilitas suatu area cukup jelas dan terdefinisi dengan baik.

Jarak ke sekolah memperlihatkan pola yang cukup berbeda. Dengan nilai *importance* di bawah 0,5; variabel ini memang tidak menunjukkan pengaruh yang terlalu besar. Namun, yang menarik untuk dicermati adalah tingginya konsistensi penilaian antar model terhadap variabel ini. Fenomena ini mungkin mencerminkan keberhasilan program pemerataan akses pendidikan di Kota Pekalongan, di mana distribusi fasilitas

pendidikan yang sudah relatif merata membuat faktor jarak menjadi kurang krusial.

Untuk memberikan konteks yang lebih komprehensif terhadap temuan ini, penting untuk membandingkannya dengan pola aksesibilitas di kota lain yang memiliki karakteristik serupa. Penelitian Faiz (2022) di Kota Semarang menyediakan perbandingan yang relevan, mengingat kedua kota sama-sama menghadapi tantangan dalam pengembangan infrastruktur perkotaan, meskipun dengan skala dan karakteristik yang berbeda.

Temuan mengenai densitas jalan yang memiliki pengaruh relatif kecil di Kota Pekalongan menunjukkan pola yang berbeda dengan hasil penelitian Faiz (2022) di Kota Semarang. Di Kota Semarang, jaringan jalan justru menjadi faktor kritis yang berkontribusi pada tingkat aksesibilitas, terutama karena pemusatan fasilitas yang menciptakan tekanan pada ruas-ruas jalan tertentu. Penelitian tersebut mencatat bahwa lebih dari 15% penduduk Kota Semarang harus menempuh jarak lebih dari 9 kilometer untuk mengakses fasilitas SMK, yang mengakibatkan peningkatan volume perjalanan dan kemacetan di beberapa ruas jalan. Sementara di Kota Pekalongan, meskipun 32,90% area menunjukkan aksesibilitas rendah, faktor yang lebih menentukan adalah distribusi fasilitas kesehatan dan perdagangan, bukan densitas jaringan jalan itu sendiri.

Perbedaan karakteristik ini dapat dijelaskan melalui pola perkembangan kedua kota. Kota Semarang sebagai ibukota provinsi mengalami pertumbuhan yang lebih pesat dengan konsentrasi fasilitas di pusat-pusat aktivitas tertentu, sementara Kota Pekalongan memiliki pola perkembangan yang lebih gradual dengan tantangan utama pada pemerataan distribusi fasilitas. Temuan ini menegaskan bahwa strategi peningkatan aksesibilitas perlu disesuaikan dengan karakteristik masing-masing kota, di mana Kota Pekalongan perlu lebih fokus pada optimalisasi distribusi fasilitas dibandingkan pengembangan jaringan jalan.

Temuan-temuan ini membawa implikasi penting bagi arah pembangunan Kota Pekalongan ke depan. Dalam konteks peningkatan aksesibilitas, fokus utama

sebaiknya diberikan pada optimalisasi distribusi fasilitas perdagangan dan kesehatan, mengingat peran dominan kedua faktor ini. Namun, hal ini tidak berarti mengabaikan faktor-faktor lainnya. Pendekatan yang komprehensif tetap diperlukan, dengan mempertimbangkan bagaimana berbagai fasilitas publik dan jaringan transportasi dapat berinteraksi secara optimal untuk menciptakan sistem perkotaan yang lebih aksesibel.

### 3.3. Analisis Regulasi dan Rekomendasi Kebijakan

Hasil analisis spasial aksesibilitas infrastruktur di Kota Pekalongan mengungkap pola distribusi yang kompleks yang memerlukan tinjauan mendalam dalam konteks regulasi yang berlaku. Identifikasi tiga *cluster* dengan karakteristik aksesibilitas yang berbeda memberikan landasan empiris yang kuat untuk mengevaluasi kesesuaian pembangunan dengan arah kebijakan yang tertuang dalam RTRW Kota Pekalongan 2009-2029 dan perubahannya dalam Peraturan Daerah Kota Pekalongan Nomor 9 Tahun 2020 tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Kota Pekalongan Nomor 30 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Pekalongan Tahun 2009-2029, serta target pembangunan dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) 2021-2026.

Perubahan kebijakan ini membawa tiga implikasi penting bagi pengembangan infrastruktur di masing-masing *cluster*. Pertama, pengendalian pemanfaatan ruang yang lebih ketat dapat membantu mencegah pemusatan berlebihan fasilitas publik di *cluster* 0, sekaligus mendorong distribusi yang lebih merata ke *cluster* 1 dan 2. Kedua, peningkatan kemitraan antar pemangku kepentingan membuka peluang untuk mengoptimalkan penempatan fasilitas baru, terutama di area-area yang saat ini menunjukkan aksesibilitas rendah. Ketiga, penguatan pertimbangan aspek lingkungan membantu memastikan bahwa upaya peningkatan aksesibilitas tidak mengorbankan keberlanjutan ekologis kota.

Analisis pada *cluster* 0 memberikan temuan yang menarik. Area-area dalam *cluster* ini menunjukkan aksesibilitas optimal dengan densitas jalan tinggi (0,15) dan jarak terdekat ke

berbagai fasilitas. Karakteristik ini sejalan dengan arahan RTRW tentang pengembangan pusat-pusat kegiatan kota. Area ini telah berhasil mencerminkan capaian positif dalam penyediaan infrastruktur dasar dan menunjukkan potensi yang signifikan untuk mendukung fungsi Kota Pekalongan sebagai Pusat Kegiatan Wilayah (PKW).

Keberhasilan pengembangan di *cluster* ini juga selaras dengan target RPJMD dalam hal peningkatan kualitas infrastruktur dasar dan implementasi program digitalisasi infrastruktur permukiman. Namun, di balik keberhasilan ini, terdapat tantangan yang perlu diantisipasi. Konsentrasi infrastruktur yang tinggi di area ini mulai menimbulkan tekanan terhadap daya dukung lingkungan dan berpotensi menciptakan ketidakseimbangan dalam pembangunan wilayah secara keseluruhan.

Area yang teridentifikasi dalam *cluster* 1 menghadirkan gambaran yang berbeda. Karakteristik aksesibilitas menengah di area ini mengungkap adanya kesenjangan yang cukup signifikan antara kondisi eksisting dan standar pelayanan minimal yang ditetapkan dalam regulasi. Meskipun memiliki densitas jalan yang moderat (0,14), jarak yang cukup jauh ke fasilitas kesehatan (0,65) mengindikasikan perlunya penyesuaian dalam implementasi program pembangunan infrastruktur.

Kondisi di *cluster* kedua ini bersinggungan langsung dengan program prioritas RPJMD 2021-2026 yang menekankan pentingnya peningkatan akses terhadap layanan dasar dan digitalisasi infrastruktur permukiman. Kesenjangan yang ada menjadi semakin kompleks ketika berhadapan dengan dua tantangan utama yang teridentifikasi dalam dokumen perencanaan: koordinasi antar instansi yang belum optimal dan keterbatasan anggaran pembangunan.

Tantangan terbesar terlihat pada area-area dalam *cluster* 2. *Cluster* ini mencerminkan aksesibilitas terendah dengan densitas jalan hanya 0,08 dan jarak terjauh ke fasilitas perdagangan mencapai 0,81. Kondisi ini menunjukkan kesenjangan yang cukup mencolok dengan target pemerataan pembangunan yang diamanatkan dalam RTRW dan RPJMD.

Kompleksitas penanganan *cluster* 2 semakin bertambah ketika berhadapan dengan kendala klasik pembangunan infrastruktur yang telah teridentifikasi dalam dokumen perencanaan. Tiga kendala utama yang perlu diatasi adalah keterbatasan lahan, keterbatasan anggaran, dan kompleksitas koordinasi antar instansi. Mengingat peran strategis area ini dalam mendukung pemerataan pembangunan kota, diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif dan terintegrasi dalam penanganannya.

Dalam konteks implementasi kebijakan pengembangan infrastruktur, hasil analisis spasial ini memberikan landasan yang kuat untuk menyusun strategi yang lebih terdiferensiasi. Untuk area dengan aksesibilitas tinggi di *cluster* 0, fokus kebijakan sebaiknya diarahkan pada optimalisasi dan peningkatan kualitas infrastruktur yang sudah ada. Pendekatan ini sejalan dengan program digitalisasi infrastruktur dalam RPJMD dan kebutuhan untuk mendukung fungsi Kota Pekalongan sebagai PKW. Untuk memastikan keberlanjutan infrastruktur yang ada, perlu dikembangkan sistem *monitoring* yang efektif dengan tetap mempertimbangkan daya dukung lingkungan.

Area dengan aksesibilitas menengah dalam *cluster* kedua membutuhkan pendekatan yang berbeda dan lebih intensif, terutama dalam pengembangan fasilitas baru dan peningkatan konektivitas. Strategi di area ini perlu diselaraskan dengan standar pelayanan minimal yang telah ditetapkan dalam regulasi, dengan perhatian khusus pada akses terhadap fasilitas kesehatan yang masih menunjukkan kesenjangan signifikan. Program pembangunan di area ini berpotensi untuk diintegrasikan dengan inisiatif *smart city* yang tercantum dalam RPJMD yang memanfaatkan teknologi untuk optimalisasi pelayanan publik dan *monitoring* infrastruktur.

Penanganan area dalam *cluster* 2 yang menunjukkan aksesibilitas terendah memerlukan intervensi kebijakan yang lebih mendasar dan menyeluruh. Tiga pendekatan utama yang perlu diimplementasikan adalah: percepatan pembangunan infrastruktur dasar yang sejalan dengan program prioritas RPJMD

2021-2026, pengembangan pusat-pusat pelayanan baru untuk mengurangi jarak ke fasilitas publik, dan penguatan koordinasi lintas sektor dalam implementasi program pembangunan. Mengingat keterbatasan anggaran yang menjadi salah satu kendala utama, strategi ini perlu didukung oleh mekanisme pendanaan yang inovatif.

Keberhasilan implementasi rekomendasi kebijakan ini sangat bergantung pada dua aspek kunci. Pertama, penguatan koordinasi antar *stakeholder* dan optimalisasi peran sektor swasta, sebagaimana telah ditekankan dalam dokumen perencanaan. Pengalaman Kota Pekalongan dalam penanganan *rob* dan banjir dapat menjadi pembelajaran berharga dalam mengembangkan mekanisme koordinasi yang efektif untuk pembangunan infrastruktur. Kedua, peningkatan keterlibatan sektor swasta melalui skema kemitraan yang inovatif, terutama dalam pengembangan infrastruktur di area-area yang memerlukan investasi besar.

#### 4. KESIMPULAN

Analisis pola spasial aksesibilitas infrastruktur di Kota Pekalongan telah mengungkap adanya variasi yang signifikan dalam distribusi dan akses terhadap fasilitas publik. Melalui pendekatan yang mengintegrasikan analisis berbasis *grid* dengan metode *machine learning*, penelitian ini berhasil mengidentifikasi tiga pola aksesibilitas yang distingtif, masing-masing dengan karakteristik dan tantangan pengembangan yang berbeda.

Hasil analisis *clustering* yang diperkuat dengan pemodelan *machine learning* mengungkap pola yang menarik dan informatif. *Cluster* 0, yang mencakup 1.523 *grid* (40,29%), menunjukkan karakteristik aksesibilitas optimal dengan densitas jalan tinggi (0,15) dan jarak terdekat ke berbagai fasilitas publik. Dominasi *cluster* ini di Kecamatan Pekalongan Barat dan sebagian Kecamatan Pekalongan Timur mencerminkan pola pembangunan yang terkonsentrasi di pusat kota.

*Cluster* 1, yang meliputi 1.196 *grid* (31,64%), memperlihatkan tingkat aksesibilitas menengah. Area ini ditandai dengan densitas jalan moderat sebesar 0,14 meter per 100m<sup>2</sup>.

Karakteristik ini mengindikasikan bahwa area-area tersebut berada dalam tahap transisi perkembangan kota, memerlukan perhatian khusus untuk mencegah penurunan kualitas aksesibilitas di masa mendatang.

Sementara itu, *cluster 2* yang mencakup 1.244 *grid* (32,90%) merepresentasikan area dengan tantangan aksesibilitas terbesar. *Cluster* ini, yang dominan di wilayah Kecamatan Pekalongan Selatan dan sebagian Kecamatan Pekalongan Timur, ditandai dengan densitas jalan rendah (0,08) dan jarak terjauh ke berbagai fasilitas publik. Kondisi ini mengindikasikan kebutuhan akan intervensi yang lebih intensif dalam pengembangan infrastruktur.

Evaluasi performa model *machine learning* pada data validasi menunjukkan hasil yang meyakinkan. *Catboost* memperlihatkan performa terbaik dengan nilai kesalahan (*logloss*) terendah sebesar 0,0091, jauh lebih baik dibandingkan model lainnya. Hasil analisis tingkat *feature importance* mengungkap bahwa jarak ke fasilitas kesehatan dan fasilitas perdagangan menjadi faktor yang paling menentukan dalam pola aksesibilitas. Temuan ini memberikan arah yang jelas untuk prioritas pengembangan infrastruktur ke depan.

Metodologi yang dikembangkan dalam penelitian ini, dengan integrasi analisis spasial, *machine learning*, dan pertimbangan tutupan lahan, menawarkan pendekatan baru yang dapat direplikasi di kota-kota lain dengan karakteristik serupa. Keberhasilan pendekatan ini dalam mengidentifikasi dan mengkarakterisasi pola aksesibilitas memberikan kontribusi metodologis yang signifikan dalam bidang perencanaan kota berbasis data.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Pusat Statistik (BPS), *OpenStreetMap*, ESRI, dan Badan Informasi Geospasial (BIG) atas ketersediaan dan kemudahan akses data yang sangat bermanfaat bagi penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian dan Pengembangan Daerah (Bappeda) Kota Pekalongan yang telah

memberikan ruang untuk mempublikasikan hasil penelitian ini. Harapannya, hasil analisis dalam karya tulis ini dapat memberikan kontribusi konkret sebagai landasan empiris dalam perumusan kebijakan untuk mengatasi tantangan aksesibilitas infrastruktur di Kota Pekalongan, mendukung pemerataan pembangunan, dan mewujudkan visi Kota Pekalongan yang lebih inklusif dan berkelanjutan.

## 6. REFERENSI

- BPS. (2024). *Kota Pekalongan Dalam Angka Tahun 2023*.
- Carlow, V. M., Mumm, O., Neumann, D., Schmidt, N., & Siefer, T. (2021). TOPOI Mobility: Accessibility and settlement types in the urban rural gradient of Lower Saxony – opportunities for sustainable mobility. *Urban, Planning and Transport Research*, 9(1), 207–232. <https://doi.org/10.1080/21650020.2021.1901603>
- Faiz, A. (2022). Data Openstreetmap Untuk Memetakan Aksesibilitas Spasial dan Jangkauan Pelayanan Dasar Pendidikan dan Kesehatan di Kota Semarang. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*, 20(1), 79–96. <https://doi.org/10.36762/jurnaljateng.v20i1.933>
- Fatimah, E., & Anwar, A. C. (2023). Determination of Urban Sprawl Phenomenon in Pekalongan City and Its Surrounding. *Jurnal Pengembangan Kota*, 11(1), 49–57. <https://doi.org/10.14710/jpk.11.1.49-57>
- Gao, Q.-L., Li, Q.-Q., Zhuang, Y., Yue, Y., Liu, Z.-Z., Li, S.-Q., & Sui, D. (2019). Urban commuting dynamics in response to public transit upgrades: A big data approach. *PLOS ONE*, 14(10), e0223650. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223650>
- Kilmanun, J. C., Prahardini, P. E. R., Anita, S., Sutoto, A., Prabowo, J., Saptana, Wahyono, E., & Putri, R. L. (2023). Forecast Based Financing for Precision Agriculture in Indonesia. *BIO Web of Conferences*, 69, 04021.

- <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236904021>
- Maksimovich, K. Yu., Lisitsin, A. E., Aleschenko, V. V., Yakushev, M. A., & Sayfutdinova, M. A. (2023). Rural area infrastructure as a factor in the development of organic farming. *E3S Web of Conferences*, 443, 04003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344304003>
- Mardiansjah, F. H., & Rahayu, P. (2020). Perkembangan Kawasan Perkotaan Kecil di Pinggiran Kota Pekalongan. *Jurnal Geografi Gea*, 20(2), 151–168. <https://doi.org/10.17509/gea.v20i2.25842>
- Modarres, A. (2011). Polycentricity, Commuting Pattern, Urban Form: The Case of Southern California. *International Journal of Urban and Regional Research*, 35(6), 1193–1211. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2427.2010.00994>
- Morales, J., Stein, A., Flacke, J., & Zevenbergen, J. (2020). Predictive land value modelling in Guatemala City using a geostatistical approach and Space Syntax. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(7), 1451–1474. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1725014>
- Peraturan Daerah Kota Pekalongan 9 Tahun 2020 (2020).
- Peraturan Daerah Kota Pekalongan Nomor 30 Tahun 2011 (2011).
- Prasada, I. Y., & Masyhuri, M. (2020). Factors Affecting Farmers' Perception toward Agricultural Land Sustainability in Peri-Urban Areas of Pekalongan City. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 35(2), 203. <https://doi.org/10.20961/carakatani.v35i2.31918>
- Sebayang, I. N., Lindawati, & Badaruddin. (2024). Prioritizing Infrastructure Development to Boost Regional Gross Domestic Product (GDP) in Simalungun Regency, Indonesia. *Asian Journal of Advanced Research and Reports*, 18(7), 90–102. <https://doi.org/10.9734/ajarr/2024/v18i7688>
- Shofiana, R., Subardjo, P., & Pratikto, I. (2013). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di Wilayah Pesisir Kota Pekalongan Menggunakan Data LANDSAT 7 ETM+. *Journal Of Marine Research*, 2(3), 35–43. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jmr>
- Tahmasbi, B., Mansourianfar, M. H., Haghshenas, H., & Kim, I. (2019). Multimodal accessibility-based equity assessment of urban public facilities distribution. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101633. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101633>
- Wei, C., Blaschke, T., Kazakopoulos, P., Taubenböck, H., & Tiede, D. (2017). Is Spatial Resolution Critical in Urbanization Velocity Analysis? Investigations in the Pearl River Delta. *Remote Sensing*, 9(1), 80. <https://doi.org/10.3390/rs9010080>