



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Tipologi Kecamatan di Kota Palu Berdasarkan Karakteristik Demografi dan Ketersediaan Fasilitas Pelayanan Dasar Menggunakan Algoritma *K-Means Clustering*

Typology of Sub-districts in Palu Based on Demographic Characteristics and Availability of Basic Service Facilities Using the K-Means Clustering Algorithm

Rasdiana^{1*}, Yan Radhinal², Adina Khusnudzan Hadid³, Tri Wahyuningsih⁴, Nini Rahayu Nur⁵

¹Program Studi PWK Fakultas Teknik Universitas Tadulako, rasdiana@untad.ac.id

²Program Studi PWK Fakultas Teknik Universitas Tadulako, yanradhinal@untad.ac.id

³Program Studi PWK Fakultas Teknik Universitas Tadulako, adinahadid@gmail.com

⁴Program Studi PWK Fakultas Teknik Universitas Tadulako, triwahyuni@untad.ac.id

⁵Program Studi PWK Fakultas Teknik Universitas Tadulako, ninirahayunur@untad.ac.id

*Corresponding Author: E-mail: rasdiana@untad.ac.id

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 20 Sep, 2025

Revised: 29 Oct, 2025

Accepted: 29 Nov, 2025

Kata Kunci:

K-Means Clustering; Tipologi Wilayah; Kepadatan Penduduk; Fasilitas Pelayanan Dasar; Kota Palu; Elbow Method; Perencanaan Spasial.

Keywords:

K-Means Clustering; Regional Typology; population density; Basic Service Facilities; Palu City; Elbow Method; Spatial Planning.

DOI: 10.56338/jks.v8i11.9267

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis tipologi kecamatan di Kota Palu berdasarkan karakteristik demografi dan ketersediaan fasilitas pelayanan dasar dengan menggunakan algoritma K-Means Clustering. Perubahan struktur ruang pascabencana 2018 memunculkan ketimpangan distribusi layanan publik, sehingga diperlukan pendekatan berbasis data untuk mengidentifikasi kebutuhan masing-masing wilayah. Data sekunder dari BPS mencakup delapan kecamatan dengan empat variabel utama, yaitu kepadatan penduduk, rasio fasilitas pendidikan, kesehatan, dan peribadatan. Setelah proses normalisasi dan penentuan jumlah kluster optimal menggunakan Elbow Method, diperoleh tiga kluster. Kluster 1 terdiri dari lima kecamatan dengan defisit konsisten pada layanan pendidikan; Kluster 0 mencakup wilayah berpenduduk jarang yang menunjukkan fenomena rasio semu; sedangkan Kluster 2, yakni Palu Timur, merepresentasikan pusat kota padat dengan konsentrasi fasilitas peribadatan tertinggi. Hasil penelitian menegaskan perlunya kebijakan spasial yang diferensial sesuai karakteristik masing-masing kluster.

ABSTRACT

This study aims to analyze the typology of sub-districts in Palu based on demographic characteristics and the availability of basic service facilities using the K-Means Clustering algorithm. Post-disaster in 2018 have led to unequal distribution of public services, necessitating a data-driven approach to identify the needs of each region. Data from the Statistics Indonesia (BPS) covers eight sub-districts with four main variables: population density, the ratio of educational facilities, health facilities, and worship facilities. After normalization and determining the optimal number of clusters using the Elbow Method, three clusters were obtained. Cluster 1 consists of five sub-districts with consistent deficits in educational services; Cluster 0 includes populated areas, rarely showing the pseudo-ratio phenomenon; while Cluster 2, East Palu, represents the dense city center with the highest concentration of worship facilities. The results of this study emphasize the need for differential spatial policies according to the characteristics of each cluster.

PENDAHULUAN

Dinamika pembangunan perkotaan kontemporer menuntut adanya integrasi yang presisi antara pertumbuhan populasi dan penyediaan infrastruktur pelayanan dasar. Kota Palu, sebagai pusat strategis di Provinsi Sulawesi Tengah, merepresentasikan sebuah entitas urban yang unik dan kompleks, terutama pasca-peristiwa bencana alam gempa bumi, tsunami, dan likuefaksi pada tahun 2018 yang secara fundamental mengubah struktur ruang dan demografi kota. Pergeseran pola permukiman dari zona merah (zona rawan bencana) menuju wilayah yang dianggap lebih aman, seperti Kecamatan Mantikulore dan Tatanga, telah menciptakan tekanan baru pada distribusi fasilitas pelayanan publik yang sebelumnya terkonsentrasi di wilayah pesisir dan pusat kota lama (Amra, 2024).

Ketimpangan distribusi fasilitas sosial meliputi pendidikan, kesehatan, dan peribadatan seringkali menjadi indikator utama dalam mengukur kualitas hidup masyarakat perkotaan (Herman et al., 2025). Dalam paradigma perencanaan kota modern, ketersediaan fasilitas ini tidak hanya dipandang sebagai pemenuhan kebutuhan fisik semata, melainkan sebagai hak dasar warga negara yang harus dipenuhi sesuai dengan Standar Pelayanan Minimal (SPM) yang ditetapkan pemerintah. Namun, realitas di lapangan seringkali menunjukkan adanya disparitas yang tajam. Kecamatan dengan kepadatan penduduk yang sangat tinggi, seperti Palu Barat dan Palu Timur, menghadapi risiko saturasi layanan di mana kapasitas fasilitas yang ada tidak lagi mampu menampung permintaan yang terus meningkat. Sebaliknya, wilayah peri-urban atau pinggiran kota seringkali mengalami defisit aksesibilitas, meskipun secara statistik rasio fasilitas per kapita mungkin terlihat memadai akibat rendahnya jumlah penduduk.

Fenomena aglomerasi penduduk di wilayah tertentu tanpa diimbangi dengan akselerasi penyediaan sarana pelayanan dasar berpotensi menghambat pertumbuhan ekonomi regional dan menurunkan indeks pembangunan manusia. Teori pusat pertumbuhan (*growth pole theory*) yang diperkenalkan oleh Perroux dan dikembangkan dalam konteks negara berkembang menjelaskan bahwa konsentrasi aktivitas ekonomi dan populasi pada suatu titik geografis tertentu cenderung menarik sumber daya dari wilayah sekitarnya. Namun, jika tidak dikelola dengan baik, hal ini dapat menciptakan efek backwash yang memperlebar jurang ketimpangan antarwilayah, menyedot vitalitas dari daerah pinggiran tanpa memberikan efek tetesan ke bawah (*trickle-down effect*) yang memadai (Nor, 2025). Dalam konteks Kota Palu, pemahaman mengenai tipologi wilayah menjadi sangat krusial untuk merumuskan strategi pembangunan yang inklusif dan berkelanjutan. Pendekatan konvensional yang menyamaratakan kebijakan untuk seluruh kecamatan tidak lagi relevan mengingat heterogenitas karakteristik demografis dan geografis yang dimiliki oleh masing-masing kecamatan, mulai dari wilayah pesisir di Palu Utara hingga dataran tinggi di Ulujadi dan Mantikulore.

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif berbasis data (*data-driven decision making*) dengan memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*), yaitu *K-Means Clustering* untuk menjawab tantangan tersebut. Metode ini dipilih karena kemampuannya yang andal dalam mengelompokkan objek-objek dalam hal ini kecamatan ke dalam beberapa klaster berdasarkan kesamaan karakteristik multivariat tanpa dipengaruhi oleh bias subjektivitas peneliti (Hutabarat et al., 2022). Dengan mengintegrasikan variabel demografis berupa kepadatan penduduk dan variabel infrastruktur berupa rasio ketersediaan fasilitas pendidikan, kesehatan, dan peribadatan, penelitian ini bertujuan untuk memetakan pelayanan publik di Kota Palu. Hasil klusterisasi ini diharapkan dapat memberikan landasan empiris bagi Pemerintah Kota Palu dalam menyusun dokumen perencanaan yang lebih adaptif dan memprioritaskan alokasi anggaran pembangunan pada wilayah-wilayah yang mengalami ketimpangan paling akut.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk mengevaluasi kembali kapasitas daya dukung kota pasca-pemulihan bencana. Ketersediaan fasilitas pelayanan dasar diatur secara ketat dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1733-2004 tentang Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan. Standar ini menetapkan rasio ideal kebutuhan sarana berdasarkan jumlah

penduduk pendukung, misalnya kebutuhan satu unit Sekolah Dasar (SD) untuk setiap 1.600 jiwa atau satu unit sarana kesehatan dasar untuk setiap 30.000 jiwa penduduk (Rotinsulu et al., 2017). Ketidaksiharian antara kondisi eksisting dengan standar ini dapat memicu inefisiensi sosial, seperti tingginya biaya transportasi yang harus dikeluarkan masyarakat untuk mengakses layanan dasar atau menurunnya kualitas layanan akibat antrean yang berlebihan. Oleh karena itu, analisis tipologi wilayah yang dilakukan dalam penelitian ini tidak hanya sekadar latihan statistik, melainkan sebuah upaya diagnostik mendalam untuk mengidentifikasi penyakit ketimpangan spasial di tubuh Kota Palu.

Penerapan algoritma *K-Means Clustering* dalam studi tipologi wilayah telah terbukti efektif dalam berbagai literatur terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Nasution et al. (2022) menunjukkan bahwa K-Means mampu mengelompokkan kelurahan berdasarkan tingkat kepadatan penduduk untuk mitigasi ledakan populasi (Hutabarat et al., 2022). Serupa dengan itu, studi Islami (2021) menggunakan metode ini untuk memetakan fasilitas kesehatan di Karawang, yang berhasil mengidentifikasi zona-zona dengan layanan rendah yang memerlukan intervensi segera (Islami et al., 2021). Keunggulan utama algoritma ini terletak pada efisiensinya dalam memproses dataset dan kemudahannya dalam interpretasi hasil, terutama ketika dikombinasikan dengan metode validasi seperti *Elbow Method* untuk menentukan jumlah kelompok yang paling optimal secara matematis (Maori, 2023).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan desain studi kasus pada wilayah administratif Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah. Kota Palu dipilih sebagai lokasi penelitian karena karakteristiknya yang unik sebagai kota pesisir yang sedang mengalami transformasi pasca-bencana, serta perannya sebagai pusat pemerintahan dan ekonomi regional. Secara geografis, wilayah studi mencakup 8 (delapan) kecamatan, yaitu: Kecamatan Palu Barat, Kecamatan Tatanga, Kecamatan Ulujadi, Kecamatan Palu Selatan, Kecamatan Palu Timur, Kecamatan Mantikulore, Kecamatan Palu Utara, dan Kecamatan Tawaeli.

Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang bersumber dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Palu yang relevan dengan kondisi pasca-bencana. Validitas data sangat krusial untuk memastikan akurasi hasil klusterisasi. Variabel penelitian dikategorikan menjadi dua dimensi utama:

1. Dimensi Demografi:
 - a. Jumlah Penduduk (jiwa): menggambarkan total populasi di setiap kecamatan.
 - b. Luas Wilayah (km^2): menggambarkan luas area administratif kecamatan.
 - c. Kepadatan Penduduk (jiwa/km^2): variabel turunan yang dihitung dengan membagi jumlah penduduk dengan luas wilayah. Variabel ini (X_1) menjadi indikator utama tekanan populasi terhadap ruang.
2. Dimensi Fasilitas Pelayanan Dasar:
 - a. Fasilitas Pendidikan: mencakup total jumlah sekolah (SD, SMP, SMA/ sederajat) di setiap kecamatan. Data ini kemudian dinormalisasi menjadi Rasio Pendidikan (X_2)
 - b. Fasilitas Kesehatan: mencakup total fasilitas kesehatan (Rumah Sakit, Puskesmas, Pustu, Klinik). Data ini dinormalisasi menjadi Rasio Fasilitas Kesehatan (X_3)
 - c. Fasilitas Peribadatan: mencakup total sarana ibadah (Masjid, Gereja, Pura, Vihara, dll). Data ini dinormalisasi menjadi Rasio Peribadatan (X_4)

Tahapan Analisis Data dan Algoritma

Proses analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis sebagai berikut: sebelum data dimasukkan ke dalam algoritma, dilakukan tahap pra-pemrosesan untuk memastikan kualitas data. Tahap ini meliputi pembersihan data (*data cleaning*) dari nilai yang hilang (*missing values*) atau

anomali (*outliers*). Normalisasi ini sangat vital dalam algoritma K-Means yang berbasis jarak (*distance-based*), karena rentang nilai kepadatan penduduk sangat jauh berbeda dengan rasio fasilitas. Tanpa normalisasi, variabel kepadatan penduduk akan mendominasi perhitungan jarak Euclidean, sehingga variabel rasio fasilitas dianggap tidak signifikan oleh algoritma (Islami et al., 2021). Rumus normalisasi yang digunakan adalah:

$$X_{norm} = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})}$$

Penentuan Jumlah Kluster Optimal (*Elbow Method*)

Salah satu tantangan utama dalam K-Means adalah menentukan jumlah kluster (k) yang paling optimal. Penelitian ini menggunakan Metode Elbow (*Elbow Method*) untuk menjawab tantangan tersebut. Metode ini bekerja dengan menghitung nilai *Sum of Squared Errors* (SSE) atau inersia untuk berbagai nilai k (misalnya $k=1$ hingga $k=7$). SSE merepresentasikan jumlah kuadrat jarak antara setiap titik data dengan pusat klusternya (centroid) (Maori, 2023).

Penerapan Algoritma K-Means Clustering

Proses iterasi algoritma adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi: Memilih titik centroid awal secara acak dari dataset.
2. Assignment: Menghitung jarak Euclidean antara setiap data kecamatan dengan ketiga centroid tersebut dan Setiap kecamatan kemudian dialokasikan ke dalam kluster dengan centroid terdekat dengan menggunakan persamaan:

$$d(x, c) = \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^n (x_i - c_i)^2 \right\}}$$

3. Update: Menghitung ulang posisi centroid baru dengan mencari rata-rata (*mean*) dari seluruh atribut data anggota kluster yang bersangkutan.
4. Iterasi: Mengulangi langkah 2 dan 3 hingga posisi centroid tidak lagi berubah (*konvergen*) atau perubahan nilai SSE berada di bawah ambang batas toleransi (Ardi et al., 2024).

Visualisasi dan Interpretasi

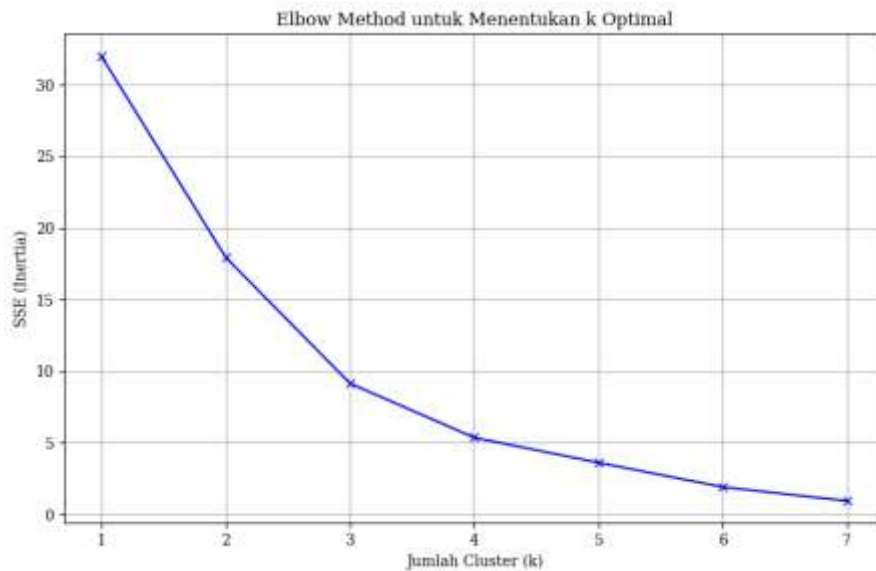
Hasil klusterisasi divisualisasikan menggunakan peta spasial dan scatter plot untuk melihat sebaran data pada dimensi yang berbeda, yaitu hubungan antara Kepadatan Penduduk terhadap masing-masing Rasio Fasilitas (Sekolah, Kesehatan, Peribadatan). Analisis deskriptif kemudian dilakukan untuk memberikan makna pada setiap kluster yang terbentuk dan menghubungkannya dengan kondisi riil di lapangan serta implikasi kebijakannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Melalui penerapan algoritma K-Means Clustering, kompleksitas data multivariat direduksi menjadi pola tipologi wilayah yang dapat diinterpretasikan, mengungkap struktur tersembunyi (*latent structure*) dari interaksi antara tekanan densitas penduduk dan kapasitas pelayanan publik. Pembahasan akan bergerak dari identifikasi karakteristik fisik dan sosial masing-masing kecamatan menuju sintesis klusterisasi, yang bertujuan tidak hanya untuk mengelompokkan wilayah secara administratif, melainkan untuk mendiagnosis ketimpangan spasial (*spatial inequality*) dan disparitas yang menjadi tantangan utama dalam rehabilitasi kota pasca-bencana.

Analisis Jumlah Kluster Optimal

Berdasarkan hasil analisis *Elbow Method* yang dihasilkan dalam penelitian ini terlihat penurunan tajam dari $k=1$ ke $k=2$, dan mulai melandai pada $k=3$. Penurunan SSE setelah $k=3$ cenderung tidak signifikan, yang mengindikasikan bahwa penambahan jumlah kluster lebih lanjut tidak memberikan keuntungan informasi yang berarti dan justru berpotensi menyebabkan *overfitting* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Titik di mana penurunan nilai SSE mulai melandai secara drastis dan membentuk sudut menyerupai siku lengan (*elbow*) dipilih sebagai nilai k optimal (Permadi et al., 2023). Oleh karena itu, ditetapkan $k=3$ sebagai jumlah kluster optimal.

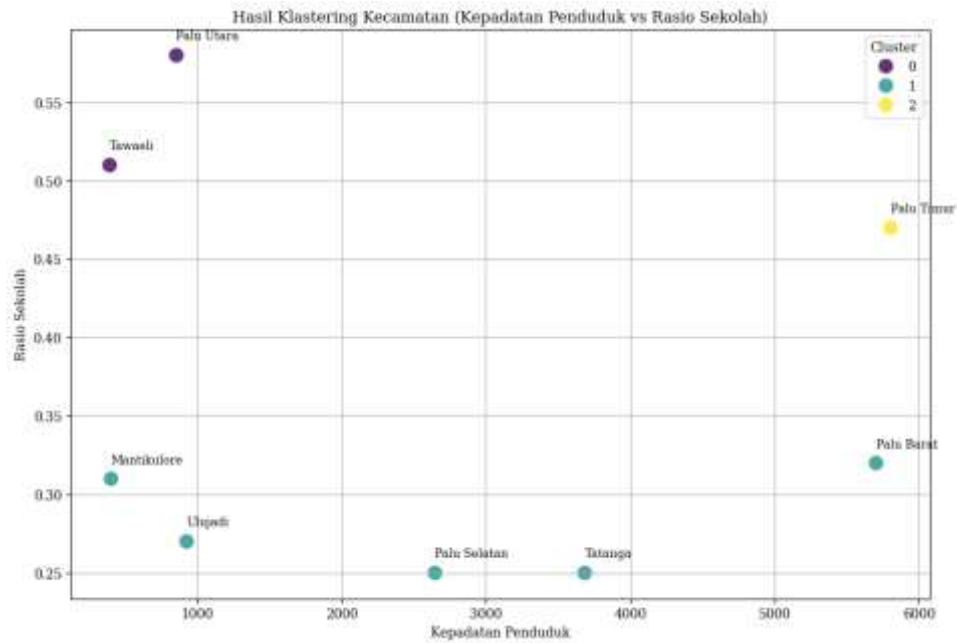


Gambar 1. Grafik *Elbow Method*

Analisis Pola Hubungan Antar Variabel (*Scatter Plot*)

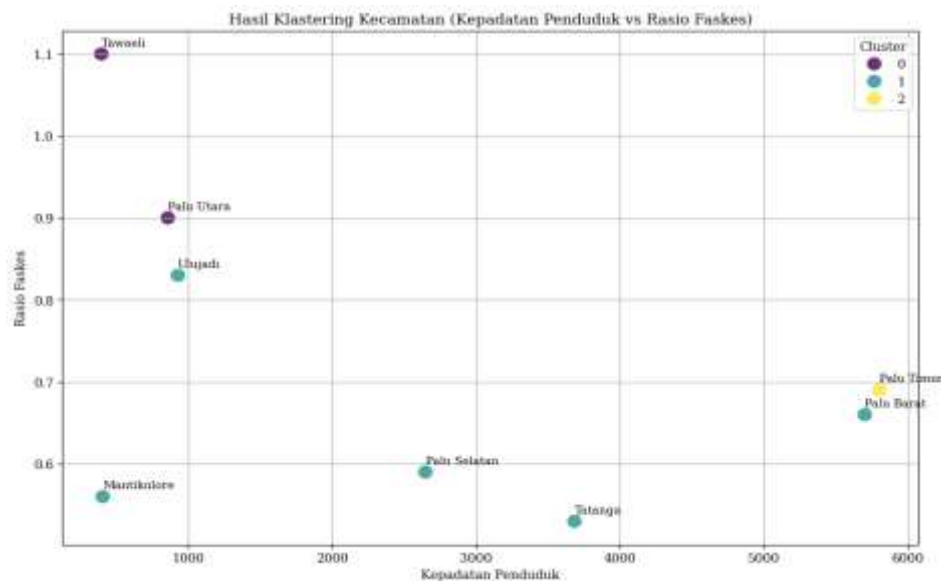
Sebelum mendalami karakteristik setiap kluster, analisis visual dilakukan melalui scatter plot untuk memetakan korelasi antara tekanan demografis (kepadatan penduduk) dengan kinerja pelayanan publik. Visualisasi ini mempertegas pembagian kluster berdasarkan posisi data terhadap sumbu X (Kepadatan) dan sumbu Y (Rasio Fasilitas).

Hasil analisis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 dapat diinterpretasikan adanya polarisasi yang nyata pada layanan pendidikan. Kluster 1 (titik hijau), yang meliputi wilayah padat seperti Palu Barat hingga wilayah pengembangan seperti Mantikulore, mengelompok secara konsisten di bagian bawah grafik (rasio $< 0,35$). Hal ini memvisualisasikan temuan utama penelitian mengenai "Defisit Pendidikan" yang bersifat lintas wilayah; baik kecamatan padat maupun kecamatan baru sama-sama mengalami kekurangan fasilitas sekolah relatif terhadap jumlah penduduknya. Sebaliknya, Kluster 0 (Tawaeli dan Palu Utara) berada di posisi kiri atas, menunjukkan rasio tinggi yang dipengaruhi oleh penyebut populasi yang kecil.



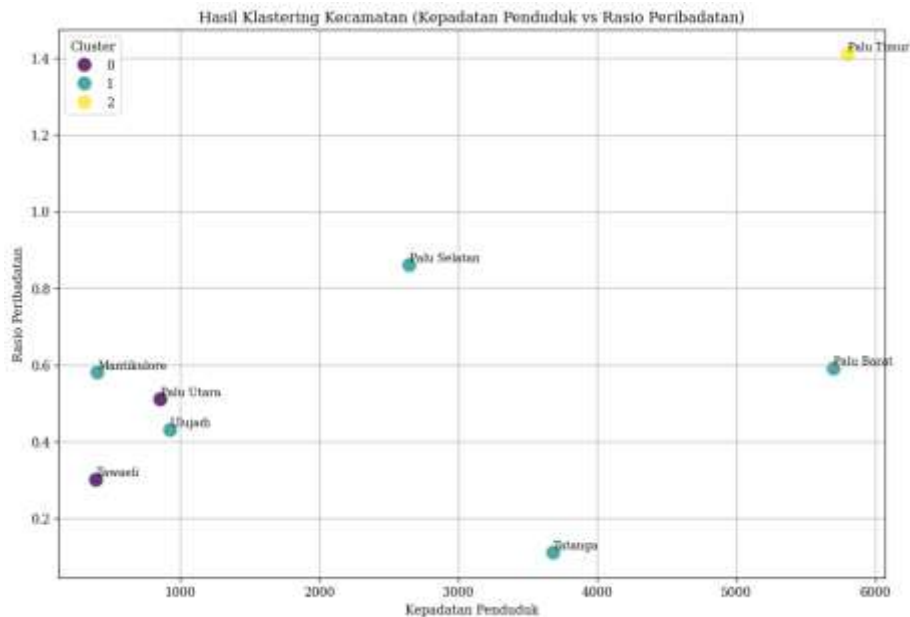
Gambar 2. Distribusi Klaster Berdasarkan Kepadatan Penduduk terhadap Rasio Pendidikan

Pada sektor kesehatan (Gambar 3), terlihat fenomena Rasio Semu yang sangat menonjol pada Klaster 0 (titik ungu). Kecamatan Tawaeli dan Palu Utara menempati posisi kiri atas grafik secara ekstrem. Posisi ini mengonfirmasi bahwa tingginya rasio faskes di wilayah ini (mencapai > 0,9) adalah artifisial matematis akibat rendahnya densitas penduduk (sumbu X rendah), bukan karena surplus infrastruktur fisik yang masif. Sementara itu, Klaster 1 menunjukkan sebaran yang lebih variatif namun tetap berada pada level rasio yang moderat hingga rendah (0,5 - 0,8).



Gambar 3. Distribusi Klaster Berdasarkan Kepadatan Penduduk Terhadap Rasio Fasilitas Kesehatan

Gambar 4 menunjukkan adanya anomali spasial yang unik pada Klaster 2 (titik kuning) yaitu Kecamatan Palu Timur. Wilayah ini terpisah jauh di sudut kanan atas, menjadi satu-satunya wilayah yang memiliki kepadatan penduduk sangat tinggi namun tetap memiliki rasio fasilitas peribadatan yang ekstrem (1,4). Hal ini memvalidasi teori *urban path dependence*, di mana pusat kota lama mengakumulasi fasilitas sosial-keagamaan sepanjang sejarah. Kontras tajam terlihat pada Kecamatan Tatanga (bagian dari Klaster 1) yang berada di titik terendah grafik, mengindikasikan ketimpangan fasilitas sosial yang paling akut di Kota Palu.



Gambar 4. Distribusi Klaster Berdasarkan Kepadatan Penduduk terhadap Rasio Fasilitas Peribadatan

Analisis Klasterisasi (*Clustering Analysis*)

Hasil pengolahan data menggunakan algoritma K-Means menghasilkan tiga kluster distingtif yang menggambarkan tipologi kecamatan di Kota Palu. Masing-masing kluster memiliki karakteristik unik yang mencerminkan interaksi antara demografi, sejarah perkembangan kota, dan dampak kebijakan pascabencana.

Tabel 1. Hasil Klasterisasi Kecamatan di Kota Palu

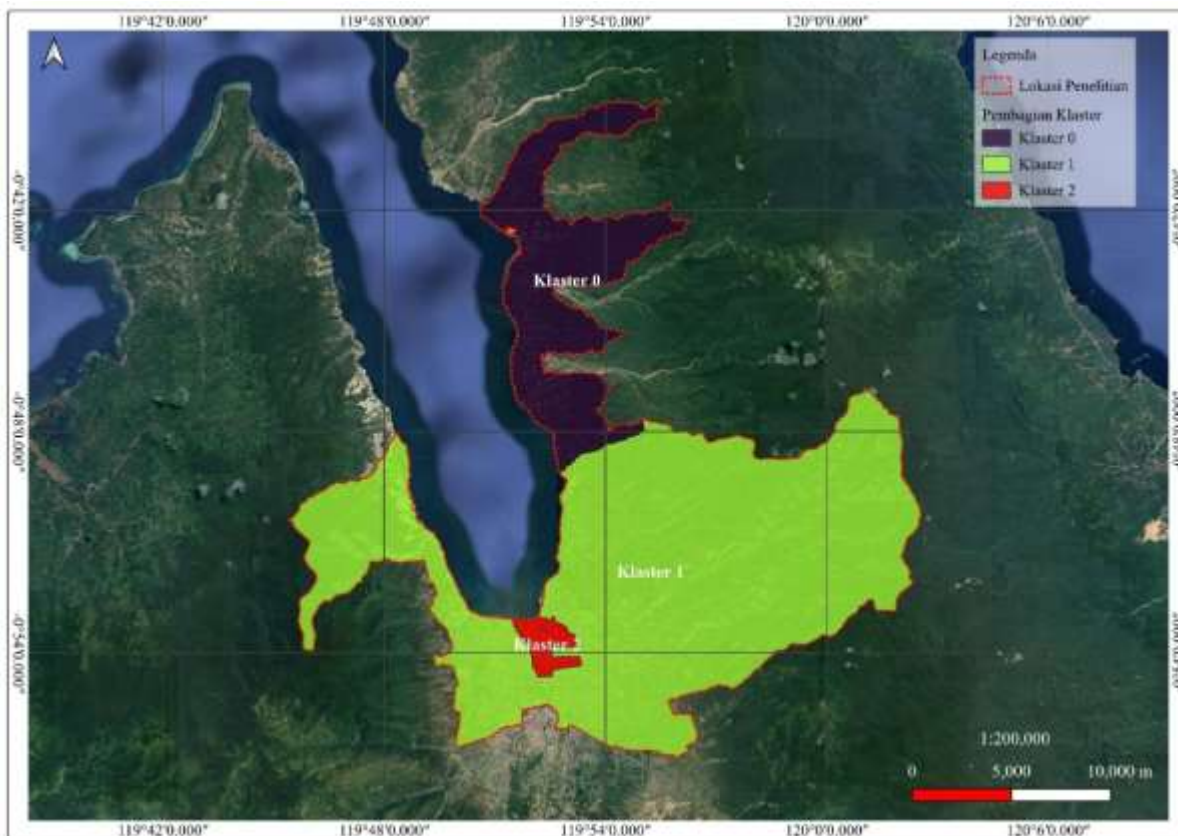
No	Kecamatan	Kepadatan Penduduk (jiwa/km ²)	Rasio Pendidikan	Rasio Fasilitas Kesehatan	Rasio Peribadatan	Klaster
1	Palu Barat	5701.33	0.32	0.66	0.59	1
2	Tatanga	3684.22	0.25	0.53	0.11	1
3	Ulujadi	927.80	0.27	0.83	0.43	1
4	Palu Selatan	2647.81	0.25	0.59	0.86	1
5	Palu Timur	5802.59	0.47	0.69	1.41	2
6	Mantikulore	405.15	0.31	0.56	0.58	1
7	Palu Utara	857.38	0.58	0.90	0.51	0
8	Tawaeli	395.00	0.51	1.10	0.30	0

Sumber: Hasil Analisis Data, 2025

Dari sisi fasilitas, Kecamatan Palu Selatan memiliki jumlah total fasilitas peribadatan sebanyak 62 unit dan kesehatan 43 unit yang tergolong cukup tinggi, sebanding dengan jumlah penduduknya yang besar yaitu 72.497 jiwa. Namun, jika dilihat dari kacamata rasio, cerita yang berbeda muncul.

Kecamatan Tawaeli, yang memiliki jumlah penduduk terendah yaitu 23.601 jiwa dan jumlah fasilitas yang secara nominal sedikit, justru seringkali mencatatkan rasio pelayanan yang tinggi. Hal ini menunjukkan fenomena rasio semu di wilayah berpenduduk jarang, di mana satu fasilitas melayani sedikit orang, namun belum tentu mudah diakses secara jarak fisik.

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2 yang merupakan hasil pengolahan data menggunakan algoritma K-Means dengan k=3, terbentuk tiga tipologi kecamatan dengan karakteristik yang unik. Distribusi anggota klaster mengalami perubahan yang menarik dan memberikan wawasan baru terkait pola pelayanan publik di Kota Palu. Berikut adalah detail pembagian klaster berdasarkan hasil analisis:



Gambar 5. Peta Hasil Klasifikasi Klaster
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Klaster 0: Wilayah Penyangga Utara dengan Rasio Statistik Tinggi

Klaster 0 terdiri dari Kecamatan Palu Utara dan Tawaeli. Karakteristik utama klaster ini adalah kepadatan penduduk yang relatif rendah (395 - 857 jiwa/km²) namun memiliki rasio fasilitas yang sangat tinggi secara statistik, terutama untuk fasilitas kesehatan (mencapai 1,10 di Tawaeli) dan pendidikan (0,58 di Palu Utara).

Tingginya angka rasio ini perlu diinterpretasikan secara kritis sebagai "Rasio Semu" (*Pseudo-Ratio*). Dalam analisis fasilitas publik, ketersediaan spasial (*spatial availability*) yang tinggi secara statistik seringkali gagal menangkap realitas aksesibilitas spasial (*spatial accessibility*) yang sebenarnya di lapangan akibat hambatan jarak. Fenomena ini bukan diakibatkan oleh agregat jumlah fasilitas yang masif, melainkan merupakan konsekuensi aritmatika dari jumlah populasi (Van Meter et al., 2011).

Selain itu, rasio yang tinggi ini bisa jadi menyesatkan (*misleading ratio*) jika tidak mempertimbangkan kualitas layanan. Fasilitas di wilayah peri-urban sering kali memiliki kelengkapan alat dan tenaga medis yang lebih rendah dibandingkan fasilitas di pusat kota. Oleh karena itu, kebijakan pembangunan di Klaster 0 tidak boleh terjebak pada angka statistik semata. Strategi intervensi fisik berupa pembangunan gedung baru secara masif dinilai tidak efisien untuk klaster ini karena akan menyebabkan *oversupply* atau *underutilization*. Pendekatan yang lebih disarankan adalah peningkatan konektivitas jaringan transportasi untuk mereduksi friksi jarak, serta inovasi model pelayanan berbasis mobilitas (*mobile services*) seperti puskesmas keliling atau layanan administrasi kependudukan jemput bola guna menjangkau kantong-kantong permukiman yang tersebar (Liu et al., 2021).

Klaster 1: Wilayah Permukiman Utama dengan Defisit Pendidikan

Klaster 1 adalah kelompok terbesar yang mencakup lima kecamatan: Palu Barat, Tatanga, Ulujadi, Palu Selatan, dan Mantikulore. Klaster ini menaungi mayoritas populasi Kota Palu dan merepresentasikan wilayah dengan dinamika permukiman paling tinggi. Karakteristik paling menonjol dan mengkhawatirkan dari klaster ini adalah defisit konsisten pada layanan pendidikan, dengan rasio berkisar pada angka kritis 0,25 hingga 0,32.

Temuan ini mengungkap fenomena spasial yang menarik di mana kawasan padat penduduk lama (Palu Barat, Tatanga) berada dalam satu tipologi masalah dengan kawasan ekspansi baru (Mantikulore, Ulujadi). Faktor determinan yang menyatukan wilayah-wilayah yang secara morfologis berbeda ini adalah ketidakmampuan infrastruktur pendidikan mengimbangi kebutuhan penduduk. Kecamatan Mantikulore dan Palu Selatan yang merupakan lokasi utama Hunian Tetap (Huntap) pascabencana seperti Huntap Tondo dan Talise mengalami ketimpangan laju urbanisasi. Relokasi ribuan penyintas bencana ke wilayah ini menciptakan lonjakan permintaan layanan pendidikan yang mendadak. Studi evaluasi pasca-huni (*post-occupancy evaluation*) di Huntap Tondo menunjukkan bahwa ketersediaan fasilitas pendidikan, khususnya SD, masih sangat kurang memadai dibandingkan dengan jumlah unit hunian yang dibangun. Banyak anak-anak penghuni Huntap yang terpaksa bersekolah jauh di lokasi asal mereka atau di pusat kota, menambah beban biaya transportasi keluarga dan risiko keselamatan di jalan (Yulianti et al., 2024). Hal ini adalah contoh nyata dari *infrastructural backlog* dalam proyek rekonstruksi pascabencana.

Sementara itu, di wilayah padat lama seperti Palu Barat dan Tatanga, rendahnya rasio pendidikan lebih disebabkan oleh saturasi lahan. Dengan kepadatan mencapai 5.701 jiwa/km² di Palu Barat, ketersediaan lahan kosong untuk membangun sekolah baru sangat terbatas. Hal ini menciptakan tekanan luar biasa pada sekolah-sekolah yang ada, yang mungkin mengalami kelebihan kapasitas (*overcrowding*) dalam ruang kelas.

Perhatian khusus perlu diarahkan pada Kecamatan Tatanga yang memiliki kerentanan ganda: densitas tinggi dan rasio fasilitas peribadatan terendah (0,11). Rendahnya rasio tempat ibadah di kawasan padat berpotensi memicu friksi sosial atau penggunaan ruang publik yang tidak semestinya untuk kegiatan keagamaan. Dalam konteks sosiologis Indonesia, masjid atau tempat ibadah bukan hanya tempat ritual, tetapi juga pusat kohesi sosial. Kurangnya fasilitas ini di wilayah yang padat dapat mengurangi modal sosial masyarakat (Warnis et al., 2024).

Klaster 2: Pusat Kota Historis

Klaster 2 hanya terdiri dari satu anggota, yaitu Kecamatan Palu Timur. Wilayah ini merupakan *spatial outlier* yang merepresentasikan pusat kota lama yang telah mencapai tahap kematangan urban (mature urban area). Dengan kepadatan penduduk tertinggi (5.802 jiwa/km²), Palu Timur memiliki profil fasilitas yang unik: rasio pendidikan dan kesehatan moderat, namun rasio peribadatan sangat tinggi (1,41).

Tingginya rasio fasilitas peribadatan ini mengindikasikan adanya akumulasi historis infrastruktur keagamaan. Pusat kota di Indonesia secara tradisional dibangun dengan pola alun-alun yang dikelilingi oleh masjid agung, kantor pemerintahan, dan pasar. Struktur ini cenderung bertahan

(*persist*) meskipun kota berkembang modern. Literatur mengenai *urban path dependence* menjelaskan bahwa investasi infrastruktur awal (seperti masjid besar atau gereja tua) cenderung menarik investasi lanjutan dan aktivitas di sekitarnya, menciptakan pola spasial yang sulit diubah (Yanase, 2023).

Fasilitas peribadatan di Palu Timur kemungkinan besar berfungsi sebagai fasilitas skala kota atau regional, bukan hanya melayani penduduk kecamatan setempat. Masjid Raya atau gereja utama di pusat kota menarik jemaah dari seluruh penjuru Palu, terutama pada hari-hari besar atau salat Jumat. Oleh karena itu, rasio statistik 1,41 tidak boleh diartikan sebagai kelebihan pasokan (*oversupply*) lokal semata, melainkan cerminan fungsi sentralitas wilayah tersebut.

Berbeda dengan Klaster 1 yang mengalami krisis pendidikan, Palu Timur menunjukkan ketahanan infrastruktur (*infrastructure resilience*) yang lebih baik dengan rasio pendidikan 0,47. Sebagai pusat kota lama, wilayah ini diuntungkan oleh keberadaan sekolah-sekolah favorit dan legendaris yang telah terbangun sejak lama (*legacy assets*). Namun, tantangan di sini adalah pemeliharaan dan adaptasi bangunan tua agar tahan gempa, serta manajemen lalu lintas akibat tarikan perjalanan siswa dari luar kecamatan yang bersekolah di sana.

Implikasi Kebijakan untuk Perencanaan Kota Adaptif

Hasil klasterisasi menunjukkan bahwa pendekatan kebijakan yang seragam (*one size fits all*) tidak lagi relevan. Pemerintah Kota Palu perlu menerapkan strategi yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing wilayah. Pada Zona Pengembangan Baru (Mantikulore, Palu Selatan), fokus utamanya adalah ekstensifikasi. Pembangunan unit sekolah baru harus menjadi prioritas dalam perencanaan anggaran daerah. Tahap lanjutan pengembangan Huntap wajib memasukkan penyediaan lahan sekolah sejak perencanaan awal, bukan sebagai tambahan di kemudian hari. Model sekolah terpadu satu atap (SD dan SMP) juga dapat menjadi alternatif untuk optimalisasi penggunaan lahan. Sebaliknya, pada Zona Padat Lama (Palu Barat, Tatanga), strategi yang diperlukan adalah intensifikasi. Keterbatasan lahan menjadikan pengembangan vertikal penambahan lantai pada sekolah yang ada sebagai solusi utama. Selain itu, penggabungan beberapa sekolah kecil yang berdekatan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas layanan.

Indikator pembangunan untuk Klaster 0 (Palu Utara, Tawaeli) perlu bergeser dari sekadar jumlah fasilitas yang dibangun menuju penilaian indeks kemudahan akses. Intervensi tidak harus selalu berupa pembangunan fisik, tetapi dapat diwujudkan melalui berbagai layanan pendukung seperti penyediaan bus sekolah gratis atau bersubsidi yang menghubungkan permukiman tersebar dengan sekolah yang ada. Pada sektor kesehatan, solusi efektif dapat berupa layanan klinik bergerak maupun *telemedicine* yang diperkuat oleh peningkatan kualitas jaringan internet, selaras dengan tren digitalisasi pelayanan kesehatan pascapandemi. Perbaikan jalan poros antarkelurahan juga penting untuk mengurangi waktu tempuh masyarakat ke layanan dasar.

Untuk wilayah Kecamatan Palu Timur, kebijakan perlu difokuskan pada revitalisasi kawasan serta pengelolaan beban aktivitas. Pemerintah daerah harus memastikan bahwa gedung ibadah dan sekolah yang sudah berusia tua telah melalui audit struktur dan, bila perlu, dilakukan penguatan terhadap risiko gempa. Manajemen lalu lintas di sekitar area dengan aktivitas tinggi menjadi penting untuk mencegah kemacetan. Selain itu, menjaga keberadaan permukiman di pusat kota perlu diperhatikan agar kawasan tidak berubah sepenuhnya menjadi area komersial, sehingga tetap menjadi *living city* yang berfungsi aktif sepanjang hari.

Penelitian ini menegaskan pentingnya pemanfaatan data dalam mengidentifikasi pola spasial yang tidak tampak secara kasat mata. Ke depan, Bappeda serta perangkat daerah terkait perlu mengembangkan sistem pemantauan spasial berbasis GIS yang diperbarui secara terus-menerus. Integrasi data kependudukan *real-time* (Disdukcapil), data perizinan bangunan, dan informasi kebencanaan akan memperkuat kemampuan pemerintah dalam mendeteksi potensi ketimpangan (*spatial mismatch*) sejak dini. Pelaksanaan klasterisasi secara berkala misalnya setiap tahun dapat

menjadi instrumen monitoring dan evaluasi yang efektif untuk menilai dampak kebijakan pembangunan.

KESIMPULAN

Studi ini berhasil memvalidasi utilitas algoritma *K-Means Clustering* dalam mendekonstruksi kompleksitas tipologi kewilayahan Kota Palu dalam konteks pascabencana. Analisis spasial mengklasifikasikan kota ke dalam tiga entitas distingtif yang mengimplikasikan urgensi penerapan kebijakan pembangunan yang bersifat asimetris dan kontekstual.

Pertama, Klaster 1 (Palu Barat, Tatanga, Ulujadi, Palu Selatan, Mantikulore) teridentifikasi sebagai prioritas utama intervensi akibat defisit struktural layanan pendidikan yang akut. Wilayah ini menghadapi krisis ganda: tekanan kepadatan di zona lama dan ketidaksiapan infrastruktur di zona relokasi baru. Kedua, Klaster 0 (Palu Utara, Tawaeli) merepresentasikan tipologi peri-urban yang menunjukkan fenomena Rasio Semu; tingginya angka rasio fasilitas lebih disebabkan oleh rendahnya densitas demografi, sehingga fokus intervensi harus diarahkan pada peningkatan aksesibilitas fisik dan digital, bukan sekadar penambahan fisik bangunan. Terakhir, Klaster 2 (Palu Timur) berfungsi sebagai pusat kota mapan yang memiliki keunggulan komparatif dalam ketersediaan fasilitas sosial-keagamaan warisan sejarah, yang menuntut strategi pemeliharaan kualitas layanan dan manajemen vitalitas kota.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa rekonstruksi pascabencana di Palu tidak boleh berhenti pada penyediaan hunian fisik semata. Tantangan sesungguhnya adalah membangun kembali ekosistem kehidupan kota yang berkeadilan. Ketimpangan akses terhadap layanan dasar, jika dibiarkan, akan menjadi bencana kedua yang menghambat pemulihan sosial-ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, pendekatan perencanaan berbasis data yang sensitif terhadap dinamika spasial mikro seperti yang ditawarkan dalam penelitian ini menjadi prasyarat mutlak bagi pembangunan Kota Palu yang tangguh (*resilient*) dan berkelanjutan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amra, I. (2024). Analisis Potensi Ekonomi Daerah Kota Palu Pasca Bencana Gempa Bumi, Likuefaksi Dan Tsunami Tahun 2018. *Anterior Jurnal*, 23(2), 78–85. <https://doi.org/10.33084/anterior.v23i2.4593>
- Ardi, I. A., Widiastuti, N. R., Hidayati, S. R., & Niken, M. (2024). Indikasi Wilayah Pengembangan (WP) sebagai Pendekatan Perencanaan dan Pengembangan Wilayah di Kabupaten Kebumen . *Prosiding Seminar Nasional ReTII Ke-19 (Edisi Penelitian)* , 9.
- Herman, S. R. W., Takwim, S., Putri Abdi, A., Rasdiana, & Wahyuningsih, T. (2025). Analisis Kesiapan Kebijakan Tata Ruang Kota Palu dalam Mendukung Agenda SDG 11 (Kota Berkelanjutan). *Jurnal Peweka Tadulako*, 4(1), 18–35. <https://doi.org/10.22487/peweka.v4i1.49>
- Hutabarat, L. Y., Gunawan, I., Purnamasari, I., Safii, M., & Saputra, W. (2022). Penerapan Algoritma K-Means Dalam Pengelompokan Jumlah Penduduk Berdasarkan Kelurahan Di Kota Pematangsiantar. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi*, 2(2), 20–26. <https://doi.org/10.35960/ikomti.v2i2.704>
- Islami, B. M., Sukmayadi, C., & Padilah, T. N. (2021). Clustering Fasilitas Kesehatan Berdasarkan Kecamatan Di Karawang Dengan Algoritma K-Means. *Bina Insani ICT Journal*, 8(1), 83. <https://doi.org/10.51211/biict.v8i1.1488>
- Liu, M., Luo, S., & Du, X. (2021). Exploring Equity in Healthcare Services: Spatial Accessibility Changes during Subway Expansion. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(7), 439. <https://doi.org/10.3390/ijgi10070439>
- Maori, N. A. (2023). Metode Elbow Dalam Optimasi Jumlah Cluster Pada K-Means Clustering. *Jurnal SIMETRIS*, 14.
- Nor, M. I. (2025). Exploring the nexus between climate finance, rural–urban disparities, and rural brain drain in Somalia: the mediating role of climate resilience. *Frontiers in Sociology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fsoc.2025.1702333>

- Permadi, V. A., Tahalea, S. P., & Agusdin, R. P. (2023). K-Means And Elbow Method For Cluster Analysis Of Elementary School Data. *Progres Pendidikan*, 4(1), 50–57. <https://doi.org/10.29303/prospek.v4i1.328>
- Rotinsulu, F. A., Franklin, P. J. C., & Sembel, A. S. (2017). Analisis Ketersediaan Dan Kebutuhan Sarana Permukiman di Kecamatan Kalawat. *Jurnal Spasial*, 4(3).
- Van Meter, E., Lawson, A. B., Colabianchi, N., Nichols, M., Hibbert, J., Porter, D., & Liese, A. D. (2011). Spatial accessibility and availability measures and statistical properties in the food environment. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 2(1), 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2010.09.009>
- Warnis, W., Kustini, K., Zuhrah, F., Farida, A., & Atieqoh, S. (2024). The struggle for the construction of places of worship of minority religions in Indonesia. *HTS Teologiese Studies / Theological Studies*, 80(1). <https://doi.org/10.4102/hts.v80i1.9186>
- Yanase, A. (2023). Infrastructure and International Trade Theory: Multiple Equilibria, Trade Patterns, and Nonlinear Dynamics. *The International Economy*, 26(0), ie2023.26.03.ay. <https://doi.org/10.5652/internationaleconomy/ie2023.26.03.ay>
- Yulianti, E., Prasetyo, E., & Dewi, G. C. (2024). Analisa Kinerja Biaya dan Waktu dengan Metode Earned Value Analysis pada Proyek Work For Huntap Tondo Raw Water (Sabodam Modular) di Kota Palu Sulawesi Tengah. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(1), 852–859. <https://doi.org/10.54371/jiip.v7i1.3810>