

Klasterisasi Kinerja *Mobile Broadband* Kabupaten/Kota di Indonesia Menggunakan Algoritma *K-Means*

Nasrulloh Isnain¹, Rahmatika², Tri Yani Akhirina³

Teknik Informatika, FTIK, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, Indonesia^{1,2,3}

*Email Korespondensi: nasrullohisnain@gmail.com

Sejarah Artikel:

Diterima 14-08-2026
Disetujui 22-08-2026
Diterbitkan 24-08-2026

ABSTRACT

Mobile broadband performance is an important dimension of digital connectivity because network availability does not necessarily indicate uniform service performance across regions. This study aims to analyze mobile broadband performance, determine the optimal number of clusters, classify Indonesian regencies and cities, and characterize the resulting regional groups based on average download and upload speeds. Secondary data for 2025 were obtained from the Ministry of Communication and Digital Affairs of the Republic of Indonesia. Of 511 regencies and cities in the initial dataset, 345 with complete download and upload measurements were analyzed. The data were standardized using StandardScaler and clustered using K-Means, while the optimal number of clusters was evaluated using the Elbow Method and Silhouette Score. The results identified two clusters, with the highest Silhouette Score of 0.4033 at K=2. The Higher Performance cluster comprised 149 regions (43.19%), with centroid download and upload speeds of 84.272 Mbps and 29.780 Mbps, respectively. The Lower Performance cluster comprised 196 regions (56.81%), with corresponding centroids of 57.233 Mbps and 19.914 Mbps. These findings reveal heterogeneous mobile broadband performance across the analyzed regions and provide a data-driven mapping for evaluating regional disparities in digital connectivity.

Keywords: *K-Means; mobile broadband; regional clustering*

ABSTRAK

Kinerja *mobile broadband* merupakan salah satu dimensi penting konektivitas digital karena ketersediaan jaringan tidak selalu menunjukkan keseragaman performa layanan antarwilayah. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja *mobile broadband*, menentukan jumlah cluster optimal, mengelompokkan kabupaten/kota di Indonesia, serta mengidentifikasi karakteristik kelompok berdasarkan rata-rata kecepatan *download* dan *upload*. Data sekunder tahun 2025 diperoleh dari Kementerian Komunikasi dan Digital Republik Indonesia. Dari 511 kabupaten/kota pada dataset awal, sebanyak 345 wilayah dengan data *download* dan *upload* lengkap dianalisis. Data distandardisasi menggunakan *StandardScaler* dan dikelompokkan menggunakan K-Means, sedangkan jumlah cluster optimal dievaluasi melalui *Elbow Method* dan *Silhouette Score*. Hasil menunjukkan bahwa dua cluster merupakan konfigurasi terbaik dengan *Silhouette Score* 0,4033. Cluster *Higher Performance* terdiri atas 149 wilayah (43,19%) dengan centroid *download* 84,272 Mbps dan *upload* 29,780 Mbps, sedangkan cluster *Lower Performance* mencakup 196 wilayah (56,81%) dengan centroid masing-masing 57,233 Mbps dan 19,914 Mbps. Temuan ini menunjukkan heterogenitas performa *mobile broadband* pada wilayah yang dianalisis serta memberikan pemetaan berbasis data untuk mengevaluasi disparitas konektivitas digital antarwilayah.

Katakunci: K-Means; *mobile broadband*; klasterisasi wilayah

Bagaimana Cara Sitasi Artikel ini:

Isnain, N., Rahmatika, R., & Akhirina, T. Y. . (2026). Klasterisasi Kinerja Mobile Broadband Kabupaten/Kota di Indonesia Menggunakan Algoritma K-Means. Jejak Digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 2(5), 10024-10037. <https://doi.org/10.63822/kvrp1k21>

PENDAHULUAN

Mobile broadband memiliki peran penting dalam mendukung transformasi digital seiring dengan meningkatnya ketergantungan masyarakat terhadap konektivitas internet bergerak. Infrastruktur ini mendukung berbagai aktivitas digital, mulai dari komunikasi, pembelajaran daring, layanan publik, perdagangan elektronik, hingga pemanfaatan *cloud services* yang membutuhkan konektivitas internet secara berkelanjutan. Perkembangan *mobile broadband* tidak hanya memperluas cara masyarakat mengakses informasi dan layanan digital, tetapi juga berkontribusi terhadap aktivitas ekonomi dan inovasi berbasis teknologi. Dalam konteks tersebut, keberhasilan pembangunan konektivitas digital tidak cukup dinilai berdasarkan ketersediaan akses jaringan. Kualitas konektivitas yang diterima pengguna, termasuk performa *download* dan *upload*, juga menjadi dimensi penting dalam mengevaluasi kemampuan jaringan untuk mendukung berbagai aktivitas digital.

Kondisi *mobile broadband* di Indonesia menghadapi tantangan pemerataan yang berkaitan dengan karakteristik wilayah kepulauan dan perbedaan perkembangan infrastruktur digital antardaerah. Kondisi tersebut menyebabkan akses dan kualitas konektivitas tidak berkembang secara seragam pada seluruh wilayah. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kesenjangan digital di Indonesia masih memiliki dimensi spasial yang kuat, termasuk perbedaan antara wilayah perkotaan dan perdesaan serta antara kawasan dengan tingkat pembangunan digital yang berbeda (Anugrah et al., 2025; Kartiasih et al., 2022). Peningkatan jumlah pengguna dan semakin luasnya akses internet juga tidak secara otomatis menunjukkan keseragaman kualitas layanan yang diterima masyarakat. Dalam konteks *mobile broadband*, perbedaan tersebut dapat tercermin pada performa jaringan, termasuk kemampuan *download* dan *upload* antarwilayah. Oleh karena itu, evaluasi konektivitas pada tingkat kabupaten/kota diperlukan untuk mengidentifikasi variasi performa yang berpotensi tidak terlihat apabila analisis hanya dilakukan pada tingkat agregat.

Kecepatan *download* dan *upload* merupakan dua indikator penting dalam mengevaluasi performa konektivitas internet karena merepresentasikan kemampuan jaringan dalam menerima dan mengirimkan data. Kedua indikator tersebut semakin relevan seiring berkembangnya aktivitas digital yang bersifat dua arah, seperti konferensi video, pembelajaran daring, layanan kesehatan digital, penggunaan *cloud services*, serta pertukaran konten berbasis internet. Evaluasi yang hanya menitikberatkan pada ketersediaan akses internet tanpa mempertimbangkan performa jaringan berpotensi memberikan gambaran yang kurang komprehensif mengenai kualitas konektivitas yang diterima pengguna. Alford-Teaster et al. (2023) menunjukkan bahwa variasi kualitas dan kecepatan konektivitas dapat memengaruhi kemampuan masyarakat dalam memanfaatkan layanan digital, termasuk layanan *telehealth*. Selain itu, penggunaan indikator *download* dan *upload* secara simultan memungkinkan identifikasi karakteristik performa yang tidak selalu terlihat apabila analisis hanya menggunakan satu indikator (Onuean et al., 2025). Oleh karena itu, analisis multidimensi terhadap kedua indikator tersebut diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai variasi performa *mobile broadband* antarwilayah.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa ketimpangan digital di Indonesia telah dianalisis menggunakan berbagai indikator dan pendekatan metodologis. Yudistira dan Maulana (2025) mengidentifikasi perbedaan karakteristik teknologi informasi dan komunikasi antarkabupaten/kota menggunakan K-Means dan menghasilkan tiga cluster dengan tingkat perkembangan TIK yang berbeda. Dari perspektif yang lebih luas, Jaya et al. (2024) menggunakan Indeks Masyarakat Digital Indonesia (IMDI) untuk memetakan perkembangan masyarakat digital dan menemukan adanya variasi capaian digital antarwilayah. Ketimpangan tersebut tidak hanya berkaitan dengan aspek teknologi, tetapi juga berinteraksi dengan kondisi sosial dan ekonomi. Tuychiyev et al. (2024) menunjukkan pentingnya kebijakan

pembangunan broadband dalam mengurangi kesenjangan digital, sedangkan Kartiasih et al. (2022) menemukan adanya pola spasial perkembangan digital di Indonesia serta menunjukkan keterkaitannya dengan karakteristik sosial ekonomi, termasuk pendidikan dan PDRB per kapita. Temuan-temuan tersebut memperlihatkan bahwa meskipun perkembangan digital terus berlangsung, disparitas antarwilayah masih menjadi isu penting dalam pembangunan konektivitas dan pemanfaatan teknologi digital di Indonesia.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji kesenjangan digital di Indonesia, sebagian besar studi terdahulu berfokus pada aspek akses dan penetrasi internet, cakupan jaringan, indeks pembangunan digital, indikator teknologi informasi dan komunikasi, serta keterkaitan broadband dengan kondisi sosial ekonomi (Jaya et al., 2024; Tuychiyev et al., 2024). Kajian yang secara khusus mengelompokkan kinerja *mobile broadband* pada tingkat kabupaten/kota berdasarkan kombinasi indikator teknis berupa kecepatan *download* dan *upload* masih relatif terbatas. Padahal, kedua indikator tersebut dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemampuan jaringan dalam menerima dan mengirimkan data serta mengungkap variasi performa yang tidak selalu terlihat melalui indikator akses atau cakupan jaringan. Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut dengan menerapkan K-Means untuk mengidentifikasi kelompok kabupaten/kota berdasarkan kemiripan multidimensi pada rata-rata kecepatan *download* dan *upload mobile broadband* tahun 2025. Berbeda dengan pendekatan pemeringkatan yang menilai wilayah secara individual berdasarkan satu indikator, clustering memungkinkan identifikasi kelompok wilayah yang memiliki karakteristik performa serupa secara simultan. Selain itu, jumlah cluster tidak ditentukan secara subjektif, tetapi dievaluasi menggunakan kombinasi *Elbow Method* dan *Silhouette Score* untuk memperoleh struktur pengelompokan yang paling sesuai dengan karakteristik data.

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kinerja *mobile broadband* pada tingkat kabupaten/kota di Indonesia berdasarkan rata-rata kecepatan *download* dan *upload*, menentukan jumlah cluster optimal, mengelompokkan kabupaten/kota menggunakan algoritma K-Means, serta mengidentifikasi karakteristik dan distribusi wilayah dari cluster yang terbentuk. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi berupa pemetaan berbasis data mengenai heterogenitas performa *mobile broadband* pada tingkat kabupaten/kota, sehingga dapat memberikan perspektif yang lebih terperinci dibandingkan analisis yang hanya menggunakan agregasi wilayah atau satu indikator konektivitas. Hasil pengelompokan juga dapat digunakan sebagai informasi awal untuk mengidentifikasi wilayah dengan karakteristik performa jaringan yang berbeda dan mendukung evaluasi lebih lanjut terhadap disparitas kualitas konektivitas digital antarwilayah di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *unsupervised machine learning* untuk mengelompokkan kinerja *mobile broadband* pada tingkat kabupaten/kota di Indonesia. Algoritma yang digunakan adalah K-Means Clustering karena mampu mengelompokkan objek berdasarkan kemiripan karakteristik numerik tanpa memerlukan label kelas sebelumnya. Unit analisis penelitian adalah kabupaten/kota yang memiliki data pengukuran kecepatan *mobile broadband* pada tahun 2025.

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang bersumber dari Kementerian Komunikasi dan Digital Republik Indonesia melalui portal Satu Data Indonesia, yaitu dataset Kecepatan Internet Jaringan Pitalbar Bergerak (Mobile Broadband) Tahun 2025. Dataset memuat hasil pengukuran kinerja jaringan *mobile broadband* pada wilayah kabupaten/kota di Indonesia. Dari dataset tersebut digunakan dua indikator

utama, yaitu rata-rata kecepatan *download* dan rata-rata kecepatan *upload*, yang dinyatakan dalam megabit per detik (Mbps).

Dataset awal terdiri atas 511 kabupaten/kota dari 38 provinsi. Pemeriksaan kelengkapan data menunjukkan bahwa 345 kabupaten/kota memiliki nilai rata-rata *download* dan *upload* yang lengkap, sedangkan 166 kabupaten/kota memiliki nilai yang tidak lengkap. Penelitian menerapkan *complete-case analysis*, sehingga proses clustering dilakukan terhadap 345 kabupaten/kota dengan kedua indikator tersedia. Observasi yang dianalisis mencakup 37 provinsi, sedangkan Papua Barat tidak memiliki observasi dengan kedua indikator yang lengkap.

Variabel Penelitian

Penelitian menggunakan dua variabel numerik sebagai dasar pembentukan cluster, yaitu rata-rata kecepatan *download* ((X₁)) dan rata-rata kecepatan *upload* ((X₂)). Kecepatan *download* merepresentasikan kemampuan jaringan dalam menerima atau mengambil data dari jaringan menuju perangkat pengguna, sedangkan kecepatan *upload* merepresentasikan kemampuan jaringan dalam mengirimkan data dari perangkat pengguna menuju jaringan.

Secara matematis, setiap kabupaten/kota direpresentasikan sebagai vektor:

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2})$$

dengan (x_{i1}) merupakan rata-rata kecepatan *download* dan (x_{i2}) merupakan rata-rata kecepatan *upload* pada kabupaten/kota ke-(i).

Prapemrosesan Data

Tahap prapemrosesan dilakukan sebelum proses clustering untuk memastikan bahwa data yang dianalisis memiliki struktur yang sesuai. Tahapan ini meliputi pemeriksaan struktur dataset, identifikasi *missing values*, pemilihan observasi dengan data lengkap, analisis statistik deskriptif, pemeriksaan nilai ekstrem, dan standarisasi variabel.

Observasi yang tidak memiliki nilai rata-rata *download* dan *upload* tidak diimputasi karena tidak tersedianya hasil pengukuran tidak dapat diasumsikan mewakili nilai rata-rata populasi. Oleh karena itu, hanya observasi dengan kedua indikator lengkap yang digunakan dalam analisis.

Pemeriksaan nilai ekstrem dilakukan menggunakan pendekatan *Interquartile Range* (IQR). Nilai yang berada di luar batas:

$$\text{Lower Bound} = Q_1 - 1.5(IQR)$$

Dan

$$\text{Upper Bound} = Q_3 + 1.5(IQR)$$

diidentifikasi sebagai nilai ekstrem. Nilai ekstrem yang ditemukan tidak secara otomatis dihapus karena dapat merepresentasikan variasi aktual kinerja jaringan antarwilayah dan merupakan informasi yang relevan dalam pembentukan cluster. Karena kecepatan *download* dan *upload* memiliki skala serta variasi yang berbeda, kedua variabel distandarisasi menggunakan *StandardScaler*. Standarisasi dilakukan menggunakan persamaan:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j}$$

dengan (z_{ij}) merupakan nilai hasil standardisasi observasi ke-(i) pada variabel ke-(j), (x_{ij}) merupakan nilai asli, (μ_j) merupakan rata-rata variabel, dan (σ_j) merupakan standar deviasi variabel. Setelah standardisasi, masing-masing variabel memiliki rata-rata mendekati nol dan standar deviasi sebesar satu.

Penentuan Jumlah Cluster Optimal

Jumlah cluster optimal ditentukan menggunakan kombinasi *Elbow Method* dan *Silhouette Score*. Pengujian dilakukan untuk jumlah cluster ($K=2$) sampai ($K=8$). *Elbow Method* mengevaluasi perubahan *Within-Cluster Sum of Squares* (WCSS) atau *inertia* pada setiap nilai (K). WCSS dihitung menggunakan:

$$WCSS = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2$$

Dengan (C_k) merupakan cluster ke-(k), (x_i) merupakan observasi, dan (μ_k) merupakan centroid cluster. Untuk memperkuat pemilihan jumlah cluster, digunakan *Silhouette Score* yang mengukur tingkat kohesi observasi di dalam cluster dan separasi terhadap cluster lainnya. Nilai *silhouette* untuk observasi ke-(i) dihitung menggunakan:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}$$

dengan $(a(i))$ merupakan rata-rata jarak observasi terhadap anggota cluster yang sama dan $(b(i))$ merupakan rata-rata jarak minimum terhadap anggota cluster lainnya. Nilai *Silhouette Score* yang lebih tinggi menunjukkan struktur cluster yang relatif lebih baik.

K-Means Clustering

Setelah jumlah cluster optimal ditentukan, pengelompokan dilakukan menggunakan algoritma K-Means. Algoritma ini mengalokasikan setiap observasi ke centroid terdekat berdasarkan jarak Euclidean. Jarak antara observasi (x_i) dan centroid (μ_k) dihitung menggunakan:

$$d(x_i, \mu_k) = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{ij} - \mu_{kj})^2}$$

Proses K-Means dilakukan secara iteratif melalui tahap inisialisasi centroid, pengalokasian setiap observasi ke centroid terdekat, perhitungan kembali centroid berdasarkan anggota cluster, dan pengulangan proses sampai keanggotaan cluster mencapai kondisi konvergen. Implementasi K-Means menggunakan parameter `random_state=42` untuk menjaga reproduktibilitas hasil dan `n_init=10` untuk melakukan beberapa inisialisasi centroid sehingga mengurangi kemungkinan diperolehnya solusi lokal yang kurang optimal.

Evaluasi dan Interpretasi Cluster

Hasil clustering dievaluasi berdasarkan *Silhouette Score*, jumlah anggota cluster, centroid, serta karakteristik rata-rata kecepatan *download* dan *upload* pada setiap cluster. Nomor cluster yang dihasilkan

algoritma tidak secara langsung dianggap menunjukkan tingkatan kinerja. Interpretasi diberikan setelah membandingkan centroid dalam skala asli.

Cluster dengan centroid rata-rata *download* dan *upload* yang lebih tinggi diinterpretasikan sebagai Higher Mobile Broadband Performance, sedangkan cluster dengan centroid yang lebih rendah diinterpretasikan sebagai Lower Mobile Broadband Performance. Distribusi keanggotaan cluster selanjutnya dianalisis secara deskriptif berdasarkan provinsi dengan mempertimbangkan tingkat ketersediaan data (*data coverage*) pada masing-masing provinsi. Seluruh proses pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan Python dengan pustaka Pandas untuk pengelolaan data, NumPy untuk operasi numerik, Scikit-learn untuk standardisasi, K-Means, dan evaluasi *Silhouette Score*, serta Matplotlib untuk visualisasi hasil analisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Data Mobile Broadband

Dataset awal mencakup 511 kabupaten/kota dari 38 provinsi di Indonesia. Pemeriksaan kelengkapan data menunjukkan bahwa 345 kabupaten/kota memiliki data rata-rata kecepatan *download* dan *upload* yang lengkap, sedangkan 166 kabupaten/kota tidak memiliki nilai lengkap pada kedua indikator tersebut. Dengan demikian, sebanyak 345 observasi atau 67,51% dari keseluruhan data digunakan pada tahap clustering. Observasi tersebut berasal dari 37 provinsi, sedangkan Papua Barat tidak memiliki observasi dengan nilai *download* dan *upload* yang lengkap.

Statistik deskriptif terhadap 345 observasi menunjukkan adanya variasi kinerja *mobile broadband* yang cukup besar antarwilayah. Rata-rata kecepatan *download* mencapai 68,910 Mbps dengan standar deviasi 19,479 Mbps, sedangkan rata-rata kecepatan *upload* sebesar 24,175 Mbps dengan standar deviasi 7,238 Mbps. Statistik deskriptif selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Kinerja Mobile Broadband

Statistik	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
N	345	345
Mean	68,910	24,175
Standard deviation	19,479	7,238
Minimum	2,320	2,198
Q1 (25%)	55,201	19,243
Median (50%)	67,213	23,620
Q3 (75%)	80,466	28,270
Maximum	145,797	46,648

Nilai minimum dan maksimum memperlihatkan rentang yang cukup lebar pada kedua indikator. Kecepatan *download* berkisar antara 2,320 hingga 145,797 Mbps, sedangkan kecepatan *upload* berkisar antara 2,198 hingga 46,648 Mbps. Median *download* sebesar 67,213 Mbps relatif dekat dengan nilai rata-rata 68,910 Mbps. Pola serupa terlihat pada *upload*, dengan median 23,620 Mbps dan rata-rata 24,175 Mbps.

Pemeriksaan menggunakan *Interquartile Range* dan boxplot menunjukkan keberadaan beberapa observasi ekstrem, terutama pada kecepatan *download*. Observasi tersebut dipertahankan dalam analisis karena merepresentasikan variasi aktual yang terdapat pada dataset dan berpotensi memberikan informasi

mengenai disparitas kinerja jaringan antarwilayah. Sebelum clustering dilakukan, kedua indikator distandardisasi sehingga masing-masing memiliki rata-rata mendekati nol dan standar deviasi sebesar satu. Standardisasi memastikan bahwa perbedaan skala dan variasi antara *download* dan *upload* tidak menyebabkan salah satu variabel mendominasi perhitungan jarak pada K-Means.

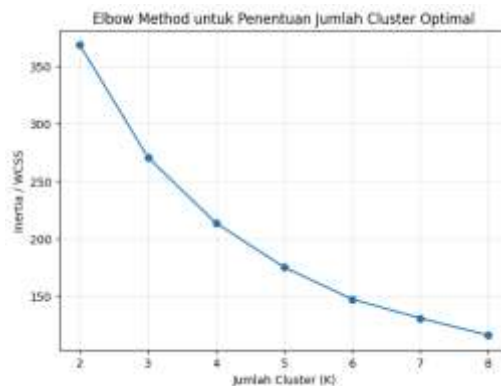
Penentuan Jumlah Cluster Optimal

Jumlah cluster optimal dievaluasi untuk nilai (K=2) hingga (K=8) menggunakan *Elbow Method* dan *Silhouette Score*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *inertia* menurun seiring dengan bertambahnya jumlah cluster. Pada (K=2), nilai *inertia* sebesar 368,677 dan menurun menjadi 270,753 pada (K=3), 213,385 pada (K=4), hingga 115,764 pada (K=8).

Tabel 2. Evaluasi Jumlah Cluster

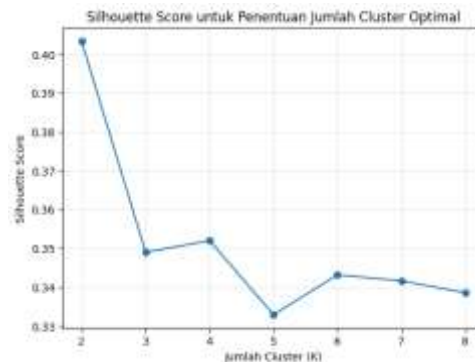
K	Inertia/WCSS	Silhouette Score
2	368,677	0,4033
3	270,753	0,3490
4	213,385	0,3520
5	175,097	0,3329
6	147,203	0,3431
7	130,637	0,3416
8	115,764	0,3385

Kurva *Elbow Method* memperlihatkan penurunan WCSS yang relatif besar pada jumlah cluster awal dan kemudian semakin melandai ketika jumlah cluster bertambah. Namun, titik siku pada kurva tidak menunjukkan pemisahan yang sepenuhnya tegas. Oleh karena itu, *Silhouette Score* digunakan sebagai kriteria tambahan dalam menentukan jumlah cluster.



Gambar 1. Elbow Method untuk Penentuan Jumlah Cluster Optimal

Hasil *Silhouette Score* memberikan bukti yang lebih jelas. Nilai tertinggi diperoleh pada ($K=2$), yaitu sebesar 0,4033. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan ($K=3$) sebesar 0,3490, ($K=4$) sebesar 0,3520, maupun konfigurasi cluster lainnya. Berdasarkan kombinasi kedua pendekatan tersebut, ($K=2$) dipilih sebagai konfigurasi akhir K-Means. Nilai *silhouette* sebesar 0,4033 menunjukkan bahwa struktur cluster memiliki tingkat pemisahan moderat, sehingga terdapat pola pengelompokan yang dapat diidentifikasi meskipun sebagian observasi masih berada pada area peralihan antarkelompok.



Gambar 2. Silhouette Score Berdasarkan Jumlah Cluster

Hasil K-Means Clustering

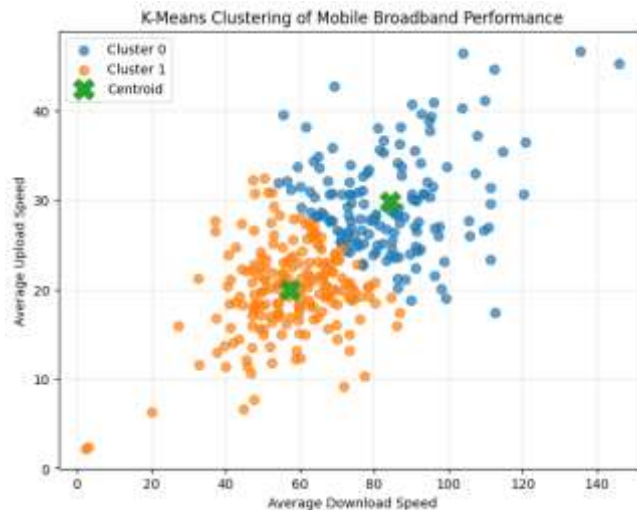
Implementasi K-Means dengan ($K=2$) menghasilkan dua kelompok kinerja *mobile broadband*. Cluster 0 terdiri atas 149 kabupaten/kota atau sekitar 43,19% dari 345 observasi yang dianalisis, sedangkan Cluster 1 terdiri atas 196 kabupaten/kota atau sekitar 56,81%. Interpretasi cluster dilakukan berdasarkan centroid yang dikembalikan ke skala asli. Cluster 0 memiliki centroid *download* sebesar 84,272 Mbps dan *upload* sebesar 29,780 Mbps. Sebaliknya, Cluster 1 memiliki centroid *download* sebesar 57,233 Mbps dan *upload* sebesar 19,914 Mbps. Berdasarkan karakteristik tersebut, Cluster 0 diinterpretasikan sebagai Higher Mobile Broadband Performance, sedangkan Cluster 1 sebagai Lower Mobile Broadband Performance.

Tabel 3. Karakteristik Hasil K-Means Clustering

Karakteristik	Higher Performance	Lower Performance
Jumlah kabupaten/kota	149	196
Persentase	43,19%	56,81%
Mean Download (Mbps)	84,272	57,233
SD Download	15,790	12,757
Mean Upload (Mbps)	29,780	19,914
SD Upload	5,722	5,030

Perbedaan centroid menunjukkan bahwa kedua indikator berkontribusi dalam membedakan karakteristik cluster. Kelompok *Higher Performance* memiliki rata-rata *download* sekitar 27,039 Mbps lebih tinggi dan rata-rata *upload* sekitar 9,866 Mbps lebih tinggi dibandingkan kelompok *Lower Performance*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa segmentasi tidak hanya terbentuk berdasarkan satu dimensi performa jaringan, tetapi berdasarkan kombinasi kemampuan menerima dan mengirim data.

Visualisasi hasil clustering memperlihatkan bahwa observasi *Higher Performance* cenderung terkonsentrasi pada nilai *download* dan *upload* yang lebih tinggi, sedangkan *Lower Performance* terkonsentrasi pada bagian yang lebih rendah. Meskipun demikian, terdapat area tumpang tindih pada nilai menengah. Pola ini konsisten dengan *Silhouette Score* sebesar 0,4033 yang menunjukkan pemisahan cluster pada tingkat moderat.



Gambar 3. Hasil K-Means Clustering Kinerja Mobile Broadband Kabupaten/Kota

Keanggotaan cluster juga memperlihatkan bahwa tingginya salah satu indikator tidak selalu menyebabkan suatu wilayah masuk kelompok *Higher Performance*. Sebagai contoh, Simeulue memiliki rata-rata *download* sebesar 77,345 Mbps, tetapi rata-rata *upload* hanya 10,293 Mbps sehingga tergolong *Lower Performance*. Kondisi ini memperlihatkan manfaat penggunaan indikator *download* dan *upload* secara simultan dibandingkan penilaian yang hanya menggunakan satu ukuran kecepatan jaringan.

Variasi Kinerja Mobile Broadband Antarwilayah

Analisis terhadap nilai ekstrem menunjukkan adanya disparitas yang cukup besar antar kabupaten/kota. Kecepatan *download* tertinggi ditemukan di Ketapang, Kalimantan Barat, sebesar 145,797 Mbps, diikuti Asmat, Papua Selatan, sebesar 135,350 Mbps dan Sukabumi, Jawa Barat, sebesar 120,608 Mbps. Sebaliknya, kecepatan *download* terendah ditemukan di Yahukimo, Papua Pegunungan, sebesar 2,320 Mbps, Mappi, Papua Selatan, sebesar 3,065 Mbps, dan Jayawijaya, Papua Pegunungan, sebesar 19,997 Mbps.

Pada indikator *upload*, Asmat memiliki nilai tertinggi sebesar 46,648 Mbps, diikuti Kota Madiun sebesar 46,396 Mbps dan Ketapang sebesar 45,292 Mbps. Sementara itu, nilai *upload* terendah terdapat di Yahukimo sebesar 2,198 Mbps, Mappi sebesar 2,392 Mbps, dan Jayawijaya sebesar 6,276 Mbps. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa disparitas kinerja tidak hanya terjadi antarprovinsi, tetapi juga dapat terjadi di dalam provinsi yang sama. Papua Selatan merupakan contoh yang menonjol. Asmat berada pada kelompok *Higher Performance* dengan *download* 135,350 Mbps dan *upload* 46,648 Mbps, sedangkan Mappi berada pada kelompok *Lower Performance* dengan *download* hanya 3,065 Mbps dan *upload* 2,392 Mbps. Perbedaan tersebut menunjukkan heterogenitas kinerja *mobile broadband* pada tingkat

kabupaten/kota dan menegaskan pentingnya penggunaan unit analisis yang lebih terperinci daripada agregasi pada tingkat provinsi.

Distribusi cluster menurut provinsi juga menunjukkan variasi yang cukup besar. Jawa Timur memiliki 34 kabupaten/kota dengan data lengkap dari total 38 wilayah atau cakupan data 89,47%. Sebanyak 27 dari 34 wilayah tersebut atau 79,41% tergolong *Higher Performance*. Jawa Barat memiliki data lengkap untuk seluruh 27 kabupaten/kota, dengan 17 wilayah atau 62,96% berada pada kelompok *Higher Performance*. Sebaliknya, Lampung memiliki cakupan data 100%, tetapi 14 dari 15 kabupaten/kota atau 93,33% berada pada kelompok *Lower Performance*. Sulawesi Selatan juga memiliki cakupan data lengkap untuk seluruh 24 kabupaten/kota, dengan 20 wilayah atau 83,33% termasuk *Lower Performance*.

Interpretasi distribusi berdasarkan provinsi perlu mempertimbangkan kelengkapan observasi. Sebagai contoh, Maluku Utara, Kalimantan Timur, dan Papua masing-masing menunjukkan 100% observasi valid berada pada kelompok *Higher Performance*. Namun, tingkat cakupan datanya masing-masing hanya 40,00%, 20,00%, dan 33,33%. Oleh karena itu, proporsi tersebut tidak dapat langsung diinterpretasikan sebagai representasi keseluruhan kondisi *mobile broadband* pada provinsi terkait. Perbedaan tingkat cakupan data merupakan salah satu batasan penting dalam interpretasi hasil penelitian.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 345 kabupaten/kota yang dianalisis, terbentuk dua kelompok kinerja *mobile broadband*, yaitu *Higher Performance* yang mencakup 149 wilayah (43,19%) dan *Lower Performance* yang terdiri atas 196 wilayah (56,81%). Dominasi kelompok *Lower Performance* menunjukkan bahwa kinerja *mobile broadband* pada wilayah yang dianalisis masih memperlihatkan heterogenitas yang cukup nyata. Perbedaan centroid antara kedua cluster, baik pada kecepatan *download* maupun *upload*, juga menunjukkan adanya variasi kemampuan jaringan dalam menerima dan mengirimkan data antarwilayah. Temuan mengenai ketidakmerataan tersebut relevan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan masih adanya disparitas konektivitas dan infrastruktur digital antarwilayah di Indonesia (Anugrah et al., 2025; Apriliana & Widodo, 2023; Yudistira & Maulana, 2025a). Kondisi ini menunjukkan pentingnya penguatan dan pemerataan infrastruktur digital sebagai salah satu upaya untuk mengurangi kesenjangan konektivitas antarwilayah (Nabila & Mardhotillah, 2025; Novianto et al., 2023).

Penelitian ini memperkuat temuan Kartiasih et al. (2022) mengenai ketimpangan digital di Indonesia dengan menyoroti dimensi yang berbeda, yaitu kinerja aktual *mobile broadband* melalui kecepatan *download* dan *upload*. Kartiasih et al. menemukan adanya disparitas signifikan dalam perkembangan digital antar kabupaten/kota, di mana wilayah metropolitan memiliki indeks perkembangan digital yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah rural dan terpencil. Sementara itu, penelitian ini menunjukkan bahwa ketimpangan tidak hanya terletak pada akses dan infrastruktur, tetapi juga pada kualitas konektivitas internet, yang bervariasi secara regional (Anugrah et al., 2025). Misalnya, kecepatan internet di Jawa jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Papua, yang mencerminkan perlunya perhatian lebih terhadap infrastruktur digital di daerah yang kurang berkembang (Risky & Natalia, 2025). Dengan demikian, hasil penelitian ini menambah pemahaman tentang heterogenitas digital di Indonesia, menekankan pentingnya kualitas layanan dalam upaya pemerataan digital (Yudistira & Maulana, 2025).

Hasil penelitian mengenai *mobile broadband* di wilayah tertinggal Indonesia menunjukkan bahwa evaluasi konektivitas tidak cukup hanya mempertimbangkan cakupan jaringan, tetapi juga perlu memperhatikan dimensi performa, khususnya kecepatan *download* dan *upload*. Ariansyah et al. (2023) menunjukkan bahwa perluasan cakupan *mobile broadband* memiliki keterkaitan dengan pengurangan

ketimpangan pendapatan, tetapi peningkatan cakupan tidak serta-merta menghasilkan kualitas konektivitas yang seragam antarwilayah. Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan adanya perbedaan kinerja *mobile broadband* pada tingkat kabupaten/kota. Penelitian lain juga melaporkan adanya variasi kecepatan internet antarwilayah di Indonesia yang mencerminkan ketidakmerataan kualitas konektivitas digital (Anugrah et al., 2025). Dengan demikian, evaluasi pembangunan konektivitas digital sebaiknya tidak hanya didasarkan pada indikator ketersediaan jaringan, tetapi juga mengintegrasikan ukuran performa aktual jaringan agar disparitas kualitas layanan antarwilayah dapat diidentifikasi secara lebih tepat.

Disparitas kinerja *mobile broadband* tidak hanya terlihat antarprovinsi, tetapi juga ditemukan di dalam provinsi yang sama. Hal ini terlihat pada Papua Selatan, di mana Asmat berada pada kelompok *Higher Performance* dengan rata-rata kecepatan *download* sebesar 135,350 Mbps dan *upload* sebesar 46,648 Mbps, sedangkan Mappi termasuk kelompok *Lower Performance* dengan *download* hanya 3,065 Mbps dan *upload* sebesar 2,392 Mbps. Perbedaan yang sangat lebar tersebut menunjukkan bahwa agregasi data pada tingkat provinsi berpotensi menyembunyikan heterogenitas kinerja jaringan pada tingkat lokal. Temuan ini relevan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kesenjangan digital di Indonesia masih memiliki dimensi kewilayahan, termasuk perbedaan antara wilayah perkotaan dan perdesaan serta antara kawasan dengan tingkat perkembangan digital yang berbeda (Anugrah et al., 2025; Yudistira & Maulana, 2025a). Analisis pada tingkat kabupaten/kota karena itu memberikan resolusi yang lebih terperinci dalam mengidentifikasi variasi konektivitas yang mungkin tidak terlihat ketika data hanya diagregasikan pada tingkat provinsi (Widjaja et al., 2025). Temuan tersebut juga mengindikasikan pentingnya perencanaan pengembangan infrastruktur digital yang mempertimbangkan karakteristik dan kebutuhan masing-masing wilayah, bukan semata-mata menggunakan pendekatan yang seragam pada tingkat provinsi (Dzikrullah, 2022; Risky & Natalia, 2025).

Penggunaan metode K-Means dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pengelompokan berdasarkan lebih dari satu indikator dapat mengidentifikasi pola kinerja *mobile broadband* yang tidak terlihat apabila analisis hanya menggunakan satu ukuran. Sebagai contoh, Simeulue memiliki rata-rata kecepatan *download* sebesar 77,345 Mbps, tetapi kecepatan *upload* hanya 10,293 Mbps, sehingga wilayah tersebut tergolong dalam kelompok *Lower Performance*. Temuan ini memperlihatkan bahwa performa jaringan tidak dapat dinilai secara memadai hanya berdasarkan kecepatan *download*, karena kemampuan *upload* juga menjadi bagian penting dari kualitas konektivitas. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa K-Means dapat digunakan untuk membentuk kelompok wilayah berdasarkan berbagai indikator teknologi informasi dan komunikasi, seperti kepemilikan perangkat, penggunaan internet, dan karakteristik digital lainnya, sehingga membantu mengidentifikasi pola kesamaan maupun kesenjangan antarwilayah (Alfy et al., 2023). Pendekatan serupa juga telah digunakan dalam pengelompokan berdasarkan indikator ekonomi dan digitalisasi, yang menunjukkan kemampuan K-Means dalam mengelompokkan entitas berdasarkan kemiripan karakteristik numerik multidimensi (Arbeit et al., 2025; Simarmata et al., 2024). Dengan demikian, pendekatan clustering dapat memberikan pemetaan yang lebih komprehensif dibandingkan pemeringkatan berbasis satu indikator dan dapat digunakan sebagai dasar awal untuk mengidentifikasi wilayah dengan karakteristik performa digital yang berbeda.

Secara praktis, hasil clustering dapat digunakan sebagai pemetaan awal untuk menentukan wilayah yang memerlukan evaluasi jaringan lebih lanjut. Namun, kategori *Higher* dan *Lower Performance* bersifat relatif terhadap distribusi observasi yang dianalisis dan tidak dapat diperlakukan sebagai standar mutu absolut. Keterbatasan kelengkapan data juga mengharuskan interpretasi dilakukan secara hati-hati.

Penelitian berikutnya dapat mengintegrasikan indikator teknis dan spasial tambahan untuk memperoleh penjelasan yang lebih komprehensif mengenai faktor yang berkaitan dengan disparitas performa mobile broadband.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi pola kinerja *mobile broadband* kabupaten/kota di Indonesia menggunakan algoritma K-Means berdasarkan dua indikator utama, yaitu rata-rata kecepatan *download* dan *upload*. Dari 511 kabupaten/kota yang tersedia dalam dataset tahun 2025, sebanyak 345 wilayah memiliki data lengkap dan digunakan dalam proses clustering. Penentuan jumlah cluster menggunakan *Elbow Method* dan *Silhouette Score* menghasilkan dua cluster sebagai konfigurasi yang paling sesuai, dengan nilai *Silhouette Score* tertinggi sebesar 0,4033. Hasil K-Means menunjukkan bahwa 149 kabupaten/kota (43,19%) tergolong Higher Mobile Broadband Performance, dengan rata-rata *download* 84,272 Mbps dan *upload* 29,780 Mbps, sedangkan 196 kabupaten/kota (56,81%) tergolong Lower Mobile Broadband Performance, dengan rata-rata *download* 57,233 Mbps dan *upload* 19,914 Mbps. Temuan tersebut menunjukkan adanya heterogenitas kinerja *mobile broadband* pada wilayah yang dianalisis serta memperlihatkan bahwa penggunaan indikator *download* dan *upload* secara simultan mampu memberikan segmentasi performa jaringan yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu indikator saja. Variasi yang besar bahkan ditemukan pada kabupaten/kota dalam provinsi yang sama, sehingga analisis pada tingkat kabupaten/kota penting untuk mengidentifikasi disparitas yang dapat tersamarkan oleh agregasi tingkat provinsi. Hasil clustering dapat digunakan sebagai pemetaan awal untuk mengidentifikasi wilayah yang memerlukan evaluasi kualitas jaringan lebih lanjut. Namun, hasil penelitian terbatas pada 345 kabupaten/kota dengan data lengkap sehingga tidak dapat digeneralisasikan secara langsung terhadap seluruh kabupaten/kota di Indonesia. Penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan indikator tambahan seperti *latency*, kekuatan sinyal, cakupan jaringan 4G/5G, ketersediaan infrastruktur telekomunikasi, kepadatan penduduk, dan karakteristik geografis untuk memperoleh pemetaan dan penjelasan disparitas kinerja *mobile broadband* yang lebih komprehensif

DAFTAR PUSTAKA

- Alford-Teaster, J., Wang, F., Moen, E. L., Cowan, L., Smith, R., Tosteson, A. N. A., & Onega, T. (2023). Broadband Data Forensics: Spatiotemporal Variations of the Download/Upload Speed Metric Commonly Used to Evaluate Potential Telehealth Accessibility. *Telemedicine Journal and E-Health*. <https://doi.org/10.1089/tmj.2023.0320>
- Alfy, Z. R., Baihaqie, A. D., & A'ini, Z. F. (2023). Analisis Cluster K-Means pada Indikator Indeks Pembangunan Teknologi, Informasi, dan Komunikasi. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*. <https://doi.org/10.30998/string.v8i2.16638>
- Anugrah, N. S., Adilah, H., Panggabean, D. P., & Laksana, R. P. (2025). Analisis kecepatan internet seluler di indonesia berdasarkan regional. *Journal of Data Analytics Information and Computer Science*, 2(2), 155–158. <https://doi.org/10.70248/jdaics.v2i2.1821>
- Apriliana, T., & Widodo, E. (2023). Analisis Cluster Hierarki untuk Pengelompokan Provinsi di Indonesia berdasarkan Jumlah Base Transceiver Station dan Kekuatan Sinyal. *KONSTELASI: Konvergensi Teknologi Dan Sistem Informasi*. <https://doi.org/10.24002/konstelasi.v3i2.7143>

- Arbeit, A. A., Ferdiansyah, F., Adna, M. B., Ridwan, M., & Vindua, R. (2025). Pemanfaatan Klasterisasi K-Means untuk Pengelompokan Berdasarkan Indikator Ekonomi, Digitalisasi, dan Produksi Komoditas. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(2), 5118–5127. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.1388>
- Ariansyah, K., Barsei, A. N., Syahr, Z. H. A., Damanik, M. P., Perdananugraha, G. M., Dunan, A., Nupikso, D., Darmanto, Hidayat, D., Mudjiyanto, B., Hermawati, I., & Suryanegara, M. (2023). Unleashing the potential of mobile broadband: Evidence from Indonesia's underdeveloped regions on its role in reducing income inequality. *Telematics and Informatics*, 102012. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2023.102012>
- Dzikrullah, A. A. (2022). Pengelompokan Provinsi Berdasarkan Kualitas Jaringan Internet Dengan Metode Centroid Linkage. *JMathCoS (Journal of Mathematics, Computation, and Statistics)*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v5i1.32363>
- Jaya, I. G. N. M., Pahlevi, S. M., Susenna, A., Agustina, L., Kusumasari, D., Sukma, Y. A. A., Hernikawati, D., Rahmi, A., Pravitasari, A. A., & Kristiani, F. (2024). Framework for Monitoring the Spatiotemporal Distribution and Clustering of the Digital Society Index of Indonesia. *Sustainability*, 16(24), 11258. <https://doi.org/10.3390/su162411258>
- Kartiasih, F., Nachrowi, N. D., Wisana, I. D. G. K., & Handayani, D. (2022). Inequalities of Indonesia's regional digital development and its association with socioeconomic characteristics: a spatial and multivariate analysis. *Information Technology for Development*, 1–30. <https://doi.org/10.1080/02681102.2022.2110556>
- Nabila, A. P., & Mardhotillah, B. (2025). Segmentasi Provinsi di Indonesia Menggunakan Metode K-Means Berdasarkan Tujuan Mengakses Internet Tahun 2024. *Jurnal Riset Mahasiswa Matematika*, 5(2), 123–141. <https://doi.org/10.18860/jrmm.v5i2.38985>
- Novianto, M. D., Sumantri, G., & Prihastuti, P. P. (2023). Clustering Provinsi di Indonesia Berdasarkan Indeks Pembangunan Teknologi Informasi dan Komunikasi Menggunakan K-Medoids. *Emerging Statistics and Data Science Journal*, 1(3), 320–331. <https://doi.org/10.20885/esds.vol1.iss.3.art39>
- Onuean, A., Pianprasit, P., Wattanamongkhon, N., Boonsongsrikul, A., & Phakdee, N. (2025). Toward Evaluate Internet Broadband Network Experience in Thailand: NBTC Speed Test Platform. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. <https://doi.org/10.3233/faia241592>
- Risky, R., & Natalia, D. A. (2025). Kesenjangan Ekonomi Digital di Indonesia: Penyusunan Indeks Ekonomi Digital dan Klasifikasi Provinsi Tahun 2024. *Prosiding Seminar Nasional Official Statistics*. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2025i1.2330>
- Simarmata, J. E., Chrisinta, D., & Purnomo, M. (2024). Implementation of K-Means Clustering to Human Development Indicators in East Nusa Tenggara. *Journal of Research in Mathematics Trends and Technology*, 6(2), 46–56. <https://doi.org/10.32734/jormtt.v6i2.17066>
- Tuychiyev, A., Khamdamov, S.-J., Mamadiyarov, Z., Karlibaeva, R., Konturayev, B., Rashidov, S., & Izzatillayev, A. (2024). *Digital Inequality and Efforts to Bridge the Global Digital Divide*. <https://doi.org/10.1145/3726122.3726143>
- Widjaja, I., Isnanto, R. R., Somantri, M., & Nuraya, S. N. (2025). Spatial Recommendation Model for Internet Infrastructure Needs in Indonesia Using GIS. *Jurnal Sistem Informasi Dan Komputer*. <https://doi.org/10.32736/sisfokom.v15i01.2546>
- Yudistira, M. R., & Maulana, R. I. (2025a). Pengelompokan Kabupaten/Kota di Indonesia Berdasarkan Indikator Teknologi Informasi dan Komunikasi Menggunakan Metode K-Means. *Prosiding Seminar Nasional Official Statistics*. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2025i1.2424>
- Yudistira, M. R., & Maulana, R. I. (2025b). Pengelompokan Kabupaten/Kota di Indonesia Berdasarkan Indikator Teknologi Informasi dan Komunikasi Menggunakan Metode K-Means. *Prosiding Seminar Nasional Official Statistics*. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2025i1.2424>