



Analisis Klasterisasi Wilayah sebagai Upaya Perluasan Transformasi Digital di Provinsi Papua berdasarkan Infrastruktur Teknologi Informasi

Endah Setyowati

Institut Agama Islam Negeri Ponorogo

Muhammad Nasrudin

Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Rahmad Adi Subektianto

Badan Pusat Statistik Provinsi Papua

Korespondensi penulis: endahsetyowati@iainponorogo.ac.id

Abstract. *This research discusses efforts to expand information technology infrastructure in Papua Province by increasing the digital economy based on information technology infrastructure indicators. This analysis was preceded by clustering areas in Papua Province to determine the similarities in the infrastructure characteristics of each district/city. This cluster analysis uses the K-Means and K-Medoids approaches. The information technology infrastructure indicators used are the percentage of BTS existence, the percentage of good signal strength, the rate of internet signal reception, HDI, and the ratio of information and communication productivity. The results of the cluster analysis show the formation of two clusters, namely Cluster 1 with good information technology infrastructure, and Cluster 2 with poor infrastructure. Districts/cities in cluster 1 have an average value of BTS existence, good signal strength, internet signal reception, HDI, and the ratio of information and communication productivity that is much higher than districts/cities in cluster 2. With this difference, of course, the government in Papua Province must remain consistent in implementing equitable infrastructure development as well as a form of economic equality and expansion of the digital economy. The practical implications of this study indicate that the clustering results can be a basis for the Papua Provincial Government in determining spatial digital infrastructure development priorities through data-based policy design in the provision of BTS, improving signal quality, and expanding inclusive internet access that focuses interventions on districts/cities with poor infrastructure to accelerate equitable digital economic transformation throughout Papua.*

Keywords: *Cluster Analysis, Information Technology, Infrastructure, Papua,*

Abstrak. Penelitian ini membahas mengenai upaya perluasan infrastruktur teknologi informasi di Provinsi Papua kaitannya dengan peningkatan eksistensi ekonomi digital berdasarkan indikator infrastruktur teknologi informasi. Upaya ini didahului dengan melakukan klasterisasi wilayah di Provinsi Papua guna mengetahui kemiripan karakteristik infrastruktur setiap kabupaten/kota. Analisis klaster ini menggunakan pendekatan *K-Means* dan *K-Medoids*. Indikator infrastruktur teknologi informasi yang digunakan berupa variabel persentase keberadaan BTS, persentase kekuatan sinyal yang baik, persentase penerimaan sinyal internet, IPM, dan rasio produktivitas informasi dan

Received September 20, 2024; Revised November 06, 2024; Accepted November 12, 2025

*Endah Setyowati, endahsetyowati@iainponorogo.ac.id

komunikasi. Hasil analisis klaster menunjukkan terbentuknya dua klaster yaitu klaster 1 dengan infrastruktur teknologi informasi yang baik dan klaster 2 dengan infrastruktur yang kurang baik. Kabupaten/kota yang berada pada klaster 1 memiliki nilai rata-rata keberadaan BTS, kekuatan sinyal baik, penerimaan sinyal internet, IPM, dan rasio produktivitas informasi dan komunikasi yang jauh lebih tinggi daripada kabupaten/kota pada klaster 2. Dengan adanya perbedaan ini tentu pemerintah di Provinsi Papua tetap harus konsisten untuk melaksanakan pemerataan pembangunan infrastruktur sekaligus sebagai bentuk pemerataan ekonomi dan perluasan ekonomi digital. Implikasi praktis dari penelitian ini menunjukkan bahwa hasil klasterisasi dapat menjadi dasar bagi pemerintah Provinsi Papua dalam menetapkan prioritas pembangunan infrastruktur digital secara spasial melalui perancangan kebijakan berbasis data dalam penyediaan BTS, peningkatan kualitas sinyal, serta perluasan akses internet yang inklusif yang memfokuskan intervensi pada kabupaten/kota dengan infrastruktur kurang baik guna mempercepat transformasi ekonomi digital yang merata di seluruh wilayah Papua.

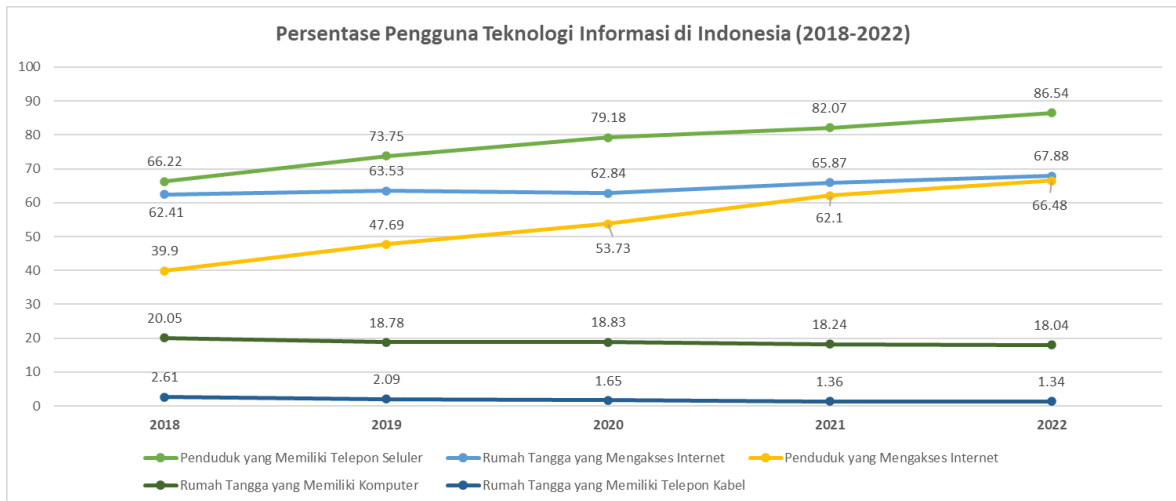
Kata kunci: Analisis Klaster, Infrastruktur, Papua, Teknologi Informasi

LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi kini semakin berkembang pesat seiring dengan semakin tingginya kebutuhan masyarakat dengan akses digital. Secara umum, teknologi informasi dapat diartikan sebagai suatu teknologi apapun yang mampu membantu manusia dalam mengelola dan menyebarkan informasi. Selanjutnya, dalam proses penyebaran informasi dibutuhkan suatu infrastruktur yang membantu proses tersebut agar berjalan lancar, yang selanjutnya disebut dengan infrastruktur teknologi informasi (Arifin & Nugroho, 2020). Infrastruktur teknologi informasi memiliki peran penting dan menjadi pondasi untuk infrastruktur lain seperti *data center*, bangunan, layanan publik, dan lain sebagainya (Robertson et al., 2004). Sehingga keberadaan infrastruktur teknologi informasi yang baik, juga akan meningkatkan peran dan fungsi dari infrastruktur lain yang saling berkaitan.

Peran teknologi informasi yang semakin berkembang diduga juga mempengaruhi terhadap perkembangan berbagai bidang kehidupan, salah satunya bidang ekonomi. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa perkembangan teknologi informasi memberikan dampak yang baik bagi perekonomian di Indonesia (Libraningrum & Santoso (2023) dan Bangsawan et al., (2023)). Terlebih setelah dimulainya kegiatan ekonomi kreatif, kini menyebabkan sistem perekonomian di Indonesia dalam bentuk dukungan sistem digitalisasi semakin dikembangkan oleh beberapa pelaku ekonomi. Ekonomi kreatif merupakan perwujudan nilai tambah dari suatu ide atau gagasan kekayaan intelektual yang mengandung keorisinalan, lahir dari kreativitas intelektual

manusia, berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi, keterampilan, serta warisan budaya (Peraturan Presiden Republik Indonesia No 142 Tahun 2018 Tentang Rencana Induk Pengembangan Ekonomi Kreatif Nasional Tahun 2018-2025). Keberlangsungan kegiatan ekonomi kreatif tentu sangat tergantung dengan keberadaan infrastruktur teknologi informasi di setiap wilayah, termasuk di Indonesia.



Sumber : Survei Sosial Ekonomi Nasional BPS (2018-2022)

Gambar 1. Persentase Pengguna Teknologi Informasi di Indonesia (2018-2022)

Berdasarkan survei yang diadakan oleh Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII), pada tahun 2024 persentase pengguna internet di Indonesia telah mencapai angka 79% dari jumlah penduduk Indonesia sekitar 278 juta jiwa. Persentase tersebut mengalami kenaikan dari tahun sebelumnya sebesar 1,4% (Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII), 2024). Apabila ditinjau dari perkembangan penggunaan teknologi informasi di Indonesia dapat dikatakan selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya. Gambar 1 menunjukkan bagaimana perkembangan penggunaan teknologi di Indonesia pada tahun 2018 hingga 2022. Penduduk dan rumah tangga yang mengakses internet cenderung naik setiap tahunnya, begitupun dengan kepemilikan telepon seluler. Namun, seiring kenaikan tersebut, persentase kepemilikan komputer dan telepon kabel semakin menurun (Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS) Badan Pusat Statistik (BPS) 2018-2022). Meskipun persentase pengguna internet di Indonesia sudah cukup tinggi, namun pemerataan teknologi informasi ini belum sepenuhnya terlaksana dengan baik. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2021 dan 2022 diketahui bahwa rata-rata proporsi desa/kelurahan pada pulau besar di Indonesia telah mendapatkan sinyal telepon yang kuat

lebih dari 50%, kecuali pada pulau Maluku dan Papua (Gambar 2). Bahkan untuk pulau Jawa hampir dipastikan seluruh desa/kelurahan telah memiliki kekuatan sinyal telepon yang kuat. Namun hal ini berbeda dengan Pulau Maluku dan Papua yang cenderung memiliki kekuatan sinyal telepon yang lemah bahkan lebih dominan tidak ada sinyal (BPS, 2022).



Sumber : Badan Pusat Statistik (2022)

Gambar 2. Proporsi Desa/Kelurahan yang Mendapatkan Sinyal Telepon (2020-2021)

Pulau Papua merupakan pulau paling timur sesuai letak geografis di Indonesia. Pulau Papua awalnya terdiri dari dua provinsi, yaitu Provinsi Papua dan Papua Barat, sebelum adanya pemekaran menjadi enam provinsi pada tahun 2022. Secara demografi, di Provinsi Papua terjadi kesenjangan kepadatan penduduk antara perkotaan dan perdesaan, terutama pada Kota Jayapura sebagai ibukota Provinsi Papua. Hal ini berkaitan pula dengan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Provinsi Papua yang cenderung masih rendah. Kondisi ini dapat disebabkan oleh berbagai hal, salah satunya adalah sulitnya akses konektivitas (PUPR, 2022). Sehingga tantangan utama untuk menaikkan kualitas sumber daya manusia di Provinsi Papua adalah dengan pembangunan infrastruktur yang merata di seluruh wilayah Provinsi Papua. Pembangunan infrastruktur ini juga termasuk perbaikan terhadap infrastruktur teknologi informasi. Kondisi infrastruktur teknologi informasi termasuk keberadaan *Base Transceiver Station* (BTS) dan kekuatan sinyal yang kuat masih terpusat di Kota Jayapura saja (Survei Sosial

Ekonomi Nasional (SUSENAS) Badan Pusat Statistik (BPS) 2018-2022). Padahal infrastruktur teknologi informasi yang baik juga akan mempengaruhi terhadap perekonomian di Provinsi Papua. Provinsi ini memiliki potensi sumber daya alam yang sangat besar, diantaranya pada sektor pertambangan, migas, dan pertanian. Namun pemanfaatan teknologi informasi dalam perekonomian masih belum maksimal. Pada data nasional tahun 2021 diketahui bahwa persentase Produk Domestik Bruto (PDB) pada bidang informasi dan komunikasi hanya mencapai 4,41% (BPS, 2022). Keadaan ini juga sejalan dengan persentase PDRB pada bidang informasi dan komunikasi yang masih rendah pula.

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan klusterisasi wilayah berdasarkan infrastruktur teknologi informasi, baik pada level provinsi (Dzikrullah (2022) dan Permatasari et al. (2024)) maupun kabupaten/kota di Indonesia (Rahmawati & Setyowati, 2023). Namun, studi-studi tersebut umumnya masih berfokus pada skala nasional tanpa menyoroti kondisi spesifik di wilayah dengan tantangan geografis dan sosial ekonomi yang kompleks seperti Papua. Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu belum mengaitkan hasil klusterisasi dengan indikator pembangunan ekonomi digital yang lebih luas, seperti produktivitas sektor informasi dan komunikasi atau kualitas hidup manusia. Oleh karena itu, keberadaan penelitian ini dapat membantu mengisi kekosongan tersebut dengan memberikan analisis berbasis data yang lebih mendalam dan terfokus pada wilayah Papua.

Selanjutnya, penelitian ini membahas mengenai upaya perluasan infrastruktur teknologi informasi di Provinsi Papua kaitannya dengan peningkatan eksistensi ekonomi digital di provinsi tersebut. Pada penelitian ini dilakukan klusterisasi wilayah-wilayah yang memiliki kemiripan kondisi infrastruktur teknologi informasi dengan pendekatan metode statistika yaitu *clustering analysis*. Lebih lanjut, pada penelitian ini digunakan beberapa variabel infrastruktur teknologi informasi yang berkaitan dengan bidang ekonomi, diantaranya infrastruktur telekomunikasi, penunjang teknologi, kualitas internet, ukuran pembangunan kualitas hidup manusia, dan rasio produktivitas informasi dan komunikasi (Permatasari et al., 2024). Hasil dari klusterisasi wilayah di Provinsi Papua ini selanjutnya akan dilakukan evaluasi dan rekomendasi kebijakan guna meningkatkan infrastruktur teknologi informasi serta perekonomian digital di Provinsi Papua.

KAJIAN TEORITIS

Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK)

Teknologi informasi memiliki pengertian sebagai kumpulan sumber daya informasi perusahaan, para penggunanya, serta manajemen yang menjalankannya, meliputi infrastruktur dan semua sistem informasi lainnya dalam perusahaan (Turban et al., 2005). Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) memainkan peran penting dalam pembangunan ekonomi dan sosial, terutama di daerah terpencil seperti Papua. TIK mencakup berbagai alat dan infrastruktur yang memungkinkan komunikasi jarak jauh dan akses informasi (Kominfo, 2022). Akses yang memadai terhadap TIK dapat meningkatkan kualitas pendidikan, kesehatan, serta membuka peluang ekonomi baru melalui ekonomi digital (World Bank, 2021). Namun, ketimpangan akses dan fasilitas TIK masih menjadi tantangan di berbagai daerah di Indonesia, termasuk Papua (BPS, 2022).

Analisis Korelasi

Analisis korelasi merupakan salah satu teknik statistika yang digunakan untuk mengukur dan menganalisis hubungan antara dua variabel atau lebih. Korelasi dalam analisis kluster penting untuk memahami sejauh mana variabel-variabel yang digunakan memiliki hubungan linier dan bagaimana hubungan tersebut mempengaruhi proses pengelompokan atau klustering (Hair et al., 2014). Hubungan antara variabel-variabel dapat diukur dengan sebuah nilai yang dikenal sebagai koefisien korelasi. Koefisien ini memiliki rentang nilai dari -1 hingga +1. Ada berbagai metode analisis korelasi yang dapat digunakan, salah satunya adalah korelasi *product moment*, yang juga dikenal sebagai korelasi Pearson. Metode ini diperkenalkan oleh Pearson dan berfungsi untuk menentukan pola hubungan antara dua variabel yang memiliki skala interval atau rasio. Rumus untuk menghitung koefisien korelasi menggunakan korelasi *product moment* dirumuskan sebagai berikut.

$$r_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}} \quad (1)$$

r_{xy} : koefisien korelasi

n : banyak data

x : variabel pertama

y : variabel kedua

Analisis Klaster

Analisis klaster adalah metode statistika yang digunakan untuk mengelompokkan objek-objek ke dalam beberapa kelompok (klaster) berdasarkan kemiripan karakteristik tertentu. Klastering atau pengelompokan data adalah proses yang mempertimbangkan pendekatan penting untuk menemukan kesamaan dalam data dan mengelompokkan data yang serupa ke dalam kelompok-kelompok tertentu. Klastering sering dianggap sebagai bentuk *unsupervised learning* yang paling signifikan, di mana setiap masalah dalam jenis ini terkait dengan upaya untuk menemukan struktur dalam kumpulan data yang tidak berlabel. Klastering membagi kumpulan data ke dalam beberapa kelompok di mana kesamaan dalam kelompok tertentu lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok lainnya (Xu & Tian, 2015).

Pemilihan algoritma klastering sangat bergantung pada jenis data yang ada serta tujuan dan aplikasi yang diinginkan. Jika analisis klaster digunakan sebagai alat deskriptif atau eksplorasi, maka mencoba beberapa algoritma pada data yang sama dapat membantu dalam mengungkap pola yang terdapat dalam data tersebut. Secara umum, metode clustering dapat dikategorikan ke dalam beberapa kelompok, salah satunya adalah metode partisi. Metode partisi ini dimulai dengan menentukan jumlah kelompok awal, kemudian objek-objek tersebut secara iteratif direalokasi untuk mengidentifikasi kembali kelompok-kelompok yang berada dalam satu cluster (Aggarwal & Reddy, 2016). Dua algoritma yang populer dalam penerapan metode partisi ini adalah algoritma K-Means dan K-Medoid.

K-Means

K-Means klastering adalah metode analisis klaster yang bertujuan untuk membagi objek-objek menjadi k klaster, di mana setiap objek dikelompokkan berdasarkan jarak rata-rata terdekatnya. Algoritma ini dikenal sebagai salah satu metode pembelajaran yang sederhana dan mudah dipahami untuk menyelesaikan masalah pengelompokan dalam suatu dataset. *K-Means* merupakan algoritma evolusi, di mana cara kerjanya sesuai dengan nama algoritmanya. Algoritma ini mengelompokkan pengamatan ke dalam sejumlah k kelompok, di mana k adalah parameter input. Setiap data kemudian dialokasikan ke dalam klaster berdasarkan kedekatannya dengan nilai rata-rata dari klaster tersebut. Nilai rata-rata ini kemudian dihitung kembali secara berulang pada setiap tahap awal proses. Adapun langkah-langkah dalam melakukan K-Means klastering adalah sebagai berikut:

1. Tentukan nilai k sebagai pusat kluster awal secara acak.
2. Setiap data dalam dataset dikelompokkan ke dalam k kluster berdasarkan jarak Euclidean antara setiap titik dengan pusat kluster.

Rumus perhitungan Jarak *Euclidean* ditunjukkan pada persamaan (2) berikut:

$$d(x, y) = \|x - y\|^2 \quad (2)$$

dengan:

d = jarak data ke pusat kluster

x = data pengamatan

y = titik pusat

3. Setiap pusat kluster dihitung ulang berdasarkan dari nilai rata-rata dalam kluster yang didapatkan.
4. Langkah 2 dan 3 ulangi sampai kelompok tersebut sesuai. Perulangan dapat didefinisikan secara berbeda tergantung pada implementasi, tetapi biasanya pada proses langkah 2 dan 3 dapat diulangi apabila kelompok kluster masih mengalami perubahan dan proses akan berhenti apabila tidak ada perubahan antar material dalam kluster.

K-Medoids

Algoritma PAM (*Partitioning Around Medoids*) atau biasa juga disebut dengan algoritma *K-Medoids*, merupakan algoritma yang diwakili oleh kluster yaitu medoid. Perbedaan antara algoritma *K-Medoids* dengan algoritma *K-Means* yaitu algoritma *K-Medoids* menggunakan objek sebagai perwakilan (*medoid*) pusat cluster untuk tiap kluster, sementara algoritma *K-Means* membutuhkan nilai rata-rata (*mean*) sebagai pusat kluster. Langkah-langkah penyelesaian *K-Medoids* adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasikan pusat kluster sebanyak jumlah cluster (k).
2. Setiap data atau objek dialokasikan ke cluster terdekat menggunakan persamaan ukuran jarak *Euclidean* dengan rumus persamaan (2).
3. Pilih objek pada masing-masing cluster secara acak sebagai kandidat medoid baru.
4. Hitung jarak setiap objek yang terdapat pada masing-masing kluster dengan calon *medoid* baru.
5. Hitung total simpangan (S) dengan menghitung nilai total jarak baru – total jarak lama. Jika didapatkan $S < 0$, tukarlah objek dengan data kluster untuk membuat sekumpulan k objek baru sebagai *medoid*.

6. Ulangi langkah 3 sampai dengan 5 hingga tidak terjadi perubahan medoid, sehingga diperoleh kluster serta anggota kluster masing-masing.

METODE PENELITIAN

Data Penelitian

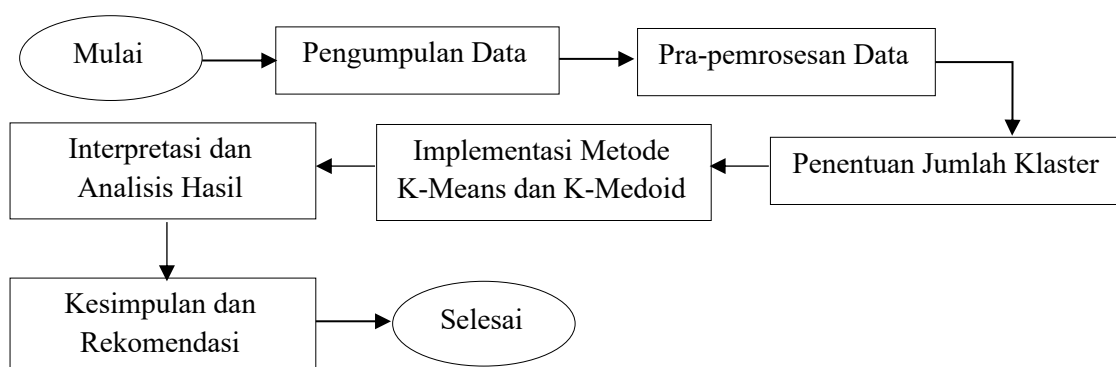
Penelitian ini merupakan jenis analisis terapan berdasarkan kajian teori yang bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada berdasarkan asumsi yang telah ditentukan. Objek penelitian ini adalah 29 kabupaten/kota yang ada di Provinsi Papua dengan 5 variabel yang berkaitan dengan infrastruktur teknologi informasi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh berdasarkan survei dan pendataan yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Nama Variabel	Keterangan	Sumber
Keberadaan BTS	Persentase Desa/Kelurahan yang Memiliki Menara BTS	PODES
Kekuatan Sinyal Baik	Persentase Desa/Kelurahan dengan Penerimaan Sinyal Internet 4G/LTE	PODES
Penerimaan Sinyal Internet	Persentase Rumah Tangga yang Memiliki/Menguasai Telepon Seluler	PODES
IPM	Indeks Pembangunan Manusia (IPM)	BPS
Rasio Produktivitas Informasi dan Komunikasi	Persentase PDRB Kategori J terhadap Total PDRB	BPS

Alur Penelitian

Berikut adalah alur penelitian dalam metodologi penelitian analisis kluster menggunakan metode K-Means dan K-Medoid yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memaparkan mengenai hasil dan pembahasan dari analisis kluster terhadap kabupaten/kota di Provinsi Papua berdasarkan infrastruktur teknologi informasi yang terdiri dari tiga bahasan utama, yaitu karakteristik infrastruktur teknologi informasi di Provinsi Papua, hasil *clustering analysis* kabupaten/kota di Provinsi Papua berdasarkan indikator infrastruktur teknologi informasi, serta evaluasi dan kebijakan pengembangan infrastruktur teknologi informasi di Provinsi Papua.

Karakteristik Infrastruktur Teknologi Informasi di Provinsi Papua

Pulau Papua merupakan pulau paling timur dari gugusan pulau di Indonesia. Meskipun demikian, Pulau Papua memiliki keberagaman sumber daya alam. Pulau Papua awalnya terdiri dari dua provinsi, yaitu Provinsi Papua dan Papua Barat, sebelum adanya pemekaran menjadi enam provinsi pada tahun 2022. Secara demografi, di Provinsi Papua terjadi kesenjangan kepadatan penduduk antara perkotaan dan perdesaan, terutama pada Kota Jayapura sebagai ibukota Provinsi Papua. Kesenjangan tersebut juga dapat dilihat dari bagaimana infrastruktur yang telah terbangun di Provinsi Papua antara kota dan kabupaten. Sebelumnya diketahui bahwa Provinsi Papua terdiri dari 28 wilayah kabupaten dan 1 wilayah kota. Salah satu infrastruktur yang berperan sangat penting adalah infrastruktur teknologi informasi. Infrastruktur ini dapat terdiri dari berbagai alat, sistem, sarana dan prasarana yang mendukung ketersediaan akses teknologi, informasi, dan komunikasi. Dalam hal ini terdapat tiga jenis infrastruktur yang dapat dijadikan acuan sebagai ketersediaan infrastruktur, diantaranya persentase desa/kelurahan yang memiliki menara BTS (persentase keberadaan BTS), persentase desa/kelurahan yang memiliki kekuatan sinyal yang baik, dan persentase desa/kelurahan yang dapat menerima sinyal internet (4G, 3G, maupun 2,5G). Data-data tersebut merupakan data dari Survei Potensi Desa (PODES) yang diadakan oleh Badan Pusat Statistik (BPS).

Berdasarkan data dari BPS tahun 2021 diketahui kondisi dari infrastruktur teknologi informasi yang ada di wilayah kabupaten dan kota di Provinsi Papua disajikan pada Tabel 2. Rata-rata keberadaan BTS wilayah kabupaten di Provinsi Papua baru menyentuh angka 15,17%, sedangkan untuk wilayah kota di Provinsi Papua (Kota Jayapura) telah mencapai 79,49%. Hal ini menunjukkan bahwa memang terdapat kesenjangan infrastruktur teknologi informasi yang ada antara wilayah kota dan kabupaten. Dengan adanya kesenjangan infrastruktur keberadaan BTS ini tentu juga mempengaruhi terhadap kekuatan sinyal yang baik, termasuk keberadaan sinyal internet

telepon seluler. Wilayah kota (Kota Jayapura) hampir 100% wilayah memiliki kekuatan sinyal yang baik, namun hal ini berbeda dengan rata-rata kekuatan sinyal yang baik di kabupaten hanya menyentuh angka 20-30% dari seluruh wilayah kabupaten di Provinsi Papua. Kesenjangan ini dapat disebabkan oleh beberapa hal diantaranya bahwa karena Kota Jayapura merupakan ibukota Provinsi Papua sehingga pusat pemerintahan juga terfokus di Kota Jayapura. Selain itu hal ini juga dipengaruhi oleh kondisi geografis wilayah kabupaten di Provinsi Papua yang cenderung berupa pegunungan dan merupakan tempat pemukiman untuk beberapa suku pedalaman Papua (PUPR, 2022). Sehingga untuk ketersediaan infrastruktur yang baik masih cenderung terpusat pada Kota Jayapura.

Tabel 2. Rata-Rata Kondisi Infrastruktur Teknologi Informasi di Provinsi Papua Tahun 2021 (Persentase)

Wilayah	Keberadaan BTS	Kekuatan Sinyal Baik	Penerimaan Sinyal Internet
Kabupaten	15,17	22,94	30,58
Kota	79,49	94,87	97,44

Sumber : Badan Pusat Statistik (2021)

Selain pemaparan melalui kondisi infrastruktur teknologi informasi, tentunya pemerataan digitalisasi di suatu wilayah juga dipengaruhi oleh bagaimana kualitas Sumber Daya Manusia (SDM) di wilayah tersebut. Salah satu indeks atau penilaian yang dapat digunakan sebagai ukuran pembangunan kualitas hidup manusia, adalah nilai Indeks Pembangunan Manusia (IPM). Selain itu, pemanfaatan teknologi informasi di suatu wilayah oleh masyarakat dapat diketahui melalui rasio produktivitas informasi dan komunikasi. Rasio tersebut merupakan persentase nilai PDRB kategori J (teknologi, informasi, dan komunikasi) terhadap total PDRB yang selanjutnya disebut dengan %J. Tabel 4.2 menunjukkan rata-rata IPM dan %J pada wilayah kabupaten dan kota di Provinsi Papua. Rata-rata IPM untuk wilayah kabupaten dan kota di Provinsi Papua juga cukup berbeda, Dimana IPM pada Kota Jayapura mencapai 80,11 sedangkan rata-rata IPM pada wilayah kabupaten hanya mencapai 56,90. Begitupun dengan rasio produktivitas informasi dan komunikasi di Kota Jayapura sudah mencapai 14,22%, namun pada wilayah kabupaten hanya mencapai 3,06% saja. Hal ini juga sejalan dengan keberadaan dan ketersediaan infrastruktur teknologi informasi yang tidak seimbang antara wilayah kabupaten dan kota di Provinsi Papua.

Tabel 3. Rata-Rata IPM dan Rasio Produktivitas Informasi dan Komunikasi di Provinsi Papua Tahun 2021

Wilayah		
Kabupaten	56,90	3,06
Kota	80,11	14,22

Sumber : Badan Pusat Statistik (2021)

Clustering Analysis Kabupaten/Kota di Provinsi Papua berdasarkan Karakteristik Infrastruktur Teknologi Informasi

Analisis kluster (*clustering analysis*) adalah metode statistika yang digunakan untuk mengelompokkan objek-objek ke dalam beberapa kelompok (kluster) berdasarkan kemiripan karakteristik tertentu. Dalam konteks penelitian ini, analisis kluster diterapkan untuk mengelompokkan kabupaten/kota di Provinsi Papua berdasarkan karakteristik infrastruktur teknologi informasi guna mengetahui sebaran wilayah dengan kondisi infrastruktur yang relatif baik maupun kurang berkembang. Variabel yang digunakan sebagai dasar pembentukan kluster meliputi persentase keberadaan *Base Transceiver Station* (BTS), persentase kekuatan sinyal yang baik, persentase penerimaan sinyal internet, Indeks Pembangunan Manusia (IPM), serta rasio produktivitas sektor informasi dan komunikasi. Pemilihan variabel-variabel tersebut mencerminkan dimensi penting dari kesiapan digital suatu daerah, yang tidak hanya mencakup aspek fisik infrastruktur, tetapi juga kualitas sumber daya manusia dan kapasitas ekonomi digital.

Tabel 4. Koefisien Korelasi Variabel Infrastruktur Teknologi dan Informasi

	Keberadaan BTS	Kekuatan Sinyal Baik	Penerimaan Sinyal Internet	IPM	Rasio Produktivitas Informasi dan Komunikasi
Keberadaan BTS	1				
Kekuatan Sinyal Baik	0,86	1			
Penerimaan Sinyal Internet	0,82	0,92	1		
IPM	0,75	0,82	0,88	1	
Rasio Produktivitas Informasi dan Komunikasi	0,36	0,33	0,31	0,51	1

Sebelum dilakukan analisis kluster, maka perlu diketahui bagaimana korelasi atau hubungan antar variabel infrastruktur teknologi dan informasi yang diberikan pada Tabel 4. Korelasi antar variabel infrastruktur teknologi informasi memiliki nilai yang tinggi untuk persentase keberadaan BTS, persentase kekuatan sinyal, dan persentase penerimaan sinyal internet. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga variabel tersebut memiliki

keterikatan yang cukup tinggi. Sedangkan untuk nilai korelasi variabel IPM dan rasio produktivitas terhadap ketiga variabel lain cenderung menengah atau tidak memiliki keeratan yang tinggi.

Selanjutnya dalam analisis kluster ini digunakan dua pendekatan yaitu pendekatan *K-Means* dan *K-Medoids*. Perbedaan antara algoritma *K-Medoids* dengan algoritma *K-Means* yaitu algoritma *K-Medoids* menggunakan objek sebagai perwakilan (medoid) pusat cluster untuk tiap kluster, sementara algoritma *K-Means* membutuhkan nilai rata-rata (*mean*) sebagai pusat kluster. Dalam analisis kluster ini digunakan koefisien *Silhouette* sebagai matrik evaluasi yang digunakan untuk menentukan jumlah kluster optimal. Berdasarkan koefisien *Silhouette* ini diperoleh jumlah kluster optimum yaitu 2, sehingga dapat dikelompokkan menjadi kluster infrastruktur baik (C_1) dan infrastruktur belum baik (C_2). Hasil pengelompokan kabupaten/kota di Provinsi Papua berdasarkan variabel infrastruktur teknologi informasi menggunakan pendekatan *K-Means* dan *K-Medoids* diberikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengelompokan Kabupaten/Kota di Provinsi Papua berdasar Variabel Infrastruktur Teknologi dan Informasi

<i>K-Means</i>		<i>K-Medoids</i>	
C_1	C_2	C_1	C_2
Merauke	Jayawijaya	Merauke	Paniai
Jayapura	Paniai	Jayawijaya	Puncak Jaya
Nabire	Puncak Jaya	Jayapura	Asmat
Kepulauan Yapen	Asmat	Nabire	Yahukimo
Biak Numfor	Yahukimo	Kepulauan Yapen	Pegunungan Bintang
Mimika	Pegunungan Bintang	Biak Numfor	Tolikara
Boven Digoel	Tolikara	Mimika	Waropen
Mappi	Waropen	Boven Digoel	Mamberamo Raya
Sarmi	Mamberamo Raya	Mappi	Nduga
Keerom	Nduga	Sarmi	Lanny Jaya
Supiori	Lanny Jaya	Keerom	Mamberamo Tengah
Kota Jayapura	Mamberamo Tengah	Supiori	Yalimo
	Yalimo	Kota Jayapura	Puncak
	Puncak		Dogiyai
	Dogiyai		Intan Jaya
	Intan Jaya		Deiyai
	Deiyai		

Berdasarkan hasil kluster dengan *K-Means* dan *K-Medoids* terdapat perbedaan bahwa Kabupaten Jayawijaya berdasarkan pendekatan *K-Means* masuk ke dalam kluster 2 (C_2), namun hasil pendekatan *K-Medoids* masuk ke dalam kluster 1 (C_1). Karakteristik

dari setiap kluster diberikan pada Tabel 6 yang meliputi nilai rata-rata dari masing-masing variabel penelitian. Berdasarkan karakteristik rata-rata terlihat jelas perbedaan bahwa keanggotaan pada kluster 1 (C₁) memiliki nilai rata-rata keberadaan BTS, kekuatan sinyal baik, penerimaan sinyal internet, IPM, dan rasio produktivitas informasi dan komunikasi yang jauh lebih tinggi daripada keanggotaan pada kluster 2 (C₂). Sehingga hal ini jelas terlihat bahwa kabupaten/kota yang berada pada kluster 1 telah memiliki infrastruktur yang cukup baik. Berbeda dengan kluster 2 yang diketahui bahwa kabupaten/kota memiliki infrastruktur yang kurang baik, bahkan untuk penerimaan sinyal internet baru mencapai persentase 15%.

Tabel 6. Karakteristik Rata-Rata Variabel Setiap Hasil Kluster K-Means dan K-Medoids

Metode	Kluster	Keberadaan BTS (%)	Kekuatan Sinyal Baik (%)	Penerimaan Sinyal Internet (%)	IPM	Rasio Produktivitas Informasi dan Komunikasi
K-Means	C ₁	33,80	44,85	56,99	68,31	7,10
	C ₂	5,80	11,71	15,87	50,21	0,87
K-Medoids	C ₁	30,79	43,37	57,13	67,98	7,30
	C ₂	5,79	11,09	13,97	49,68	0,74

Evaluasi dan Kebijakan Pengembangan Infrastruktur Teknologi Informasi di Provinsi Papua

Hasil dari analisis kluster menunjukkan bahwa kabupaten/kota yang berada di kluster 1 (C₁) yaitu wilayah yang telah memiliki infrastruktur teknologi informasi yang baik merupakan kabupaten/kota yang memiliki letak geografis berbatasan dengan Papua Nugini, seperti Merauke, Boven Digoel, Keerom, dan Kota Jayapura. Kabupaten/kota yang berada di sekitar wilayah tersebut juga memiliki infrastruktur teknologi informasi yang cukup baik juga seperti Mappi, Jayapura, dan Sarmi. Selain itu kabupaten/kota yang berada di pulau-pulau kecil Papua juga memiliki infrastruktur yang cukup baik, seperti Kepulauan Yapen, Supiori, dan Biak Numfor. Sedangkan untuk kabupaten/kota lainnya masuk ke dalam kluster 2 (C₂) yaitu wilayah yang belum memiliki infrastruktur yang memadai. Hal ini juga diduga dipengaruhi oleh kondisi geografis di Papua yang masih sulit untuk dilakukan pemerataan infrastruktur yang memadai. Hal ini dapat didukung dengan hasil analisis kluster bahwa rata-rata persentase desa yang telah memiliki BTS di kluster 2 baru mencapai sekitar 5% saja. Hal ini berdampak juga terhadap kesediaan sinyal yang baik di wilayah-wilayah tersebut.

Pemerintah perlu memprioritaskan pembangunan infrastruktur teknologi informasi di wilayah yang tergolong dalam klaster kurang baik (klaster 2). Dalam hal ini termasuk peningkatan akses internet, jaringan seluler, dan fasilitas teknologi informasi di daerah terpencil dan pedalaman Papua. Selain infrastruktur, penting juga untuk melatih Sumber Daya Manusia (SDM) lokal dalam mengoperasikan dan memelihara fasilitas teknologi yang dikembangkan. Program pelatihan berbasis komunitas dapat membantu mempersiapkan tenaga kerja lokal di sektor teknologi informasi. Kebijakan pengembangan infrastruktur teknologi informasi di Papua harus diselaraskan dengan program nasional seperti Palapa Ring atau program digitalisasi desa untuk memastikan bahwa Papua mendapatkan alokasi sumber daya yang sesuai.

Di wilayah dengan kondisi infrastruktur yang baik, pemerintah perlu memastikan pemeliharaan berkala dan peningkatan kapasitas infrastruktur sesuai dengan perkembangan teknologi. Fokus pada pemanfaatan infrastruktur teknologi informasi yang ada untuk sektor pendidikan, kesehatan, dan ekonomi digital. Pengembangan aplikasi berbasis teknologi untuk mendukung aktivitas ekonomi dan layanan publik bisa mempercepat pemanfaatan teknologi, seperti pengembangan *smart city* dapat diterapkan guna mendorong digitalisasi layanan publik, transportasi, dan keamanan. Dalam hal ini, pengembangan teknologi yang berkelanjutan juga akan meningkatkan kondisi perekonomian dan meningkatkan eksistensi ekonomi digital di Provinsi Papua.

KESIMPULAN DAN SARAN

Klasterisasi wilayah di Provinsi Papua ini didasarkan pada kemiripan kondisi infrastruktur teknologi informasi berupa variabel persentase keberadaan BTS, persentase kekuatan sinyal yang baik, persentase penerimaan sinyal internet, IPM, dan rasio produktivitas informasi dan komunikasi. Analisis klaster ini menggunakan pendekatan *K-Means* dan *K-Medoids* dan diperoleh dua klaster yaitu klaster 1 dengan infrastruktur teknologi informasi yang baik dan klaster 2 dengan infrastruktur yang kurang baik. Kabupaten/kota yang berada pada klaster 1 memiliki nilai rata-rata keberadaan BTS, kekuatan sinyal baik, penerimaan sinyal internet, IPM, dan rasio produktivitas informasi dan komunikasi yang jauh lebih tinggi daripada kabupaten/kota pada klaster 2. Di wilayah dengan kondisi infrastruktur yang baik, pemerintah perlu memastikan pemeliharaan berkala dan peningkatan kapasitas infrastruktur sesuai dengan perkembangan teknologi. Sedangkan untuk wilayah yang memiliki infrastruktur kurang

baik. dalam hal ini pemerintah diharapkan dapat meningkatkan akses internet, jaringan seluler, dan fasilitas teknologi informasi di daerah terpencil dan pedalaman Papua sebagai bentuk perbaikan kondisi perekonomian dan peningkatan eksistensi ekonomi digital di Provinsi Papua.

DAFTAR REFERENSI

- Aggarwal, C. C., & Reddy, C. K. (2016). *Data Clustering: Algorithms and Applications*. CRC Press.
- Arifin, Z., & Nugroho, K. (2020). *Dasar Infrastruktur Teknologi Informasi*. Universitas Terbuka.
- Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII). (2022). *Hasil Survei Penetrasi Internet Indonesia 2024*.
- Bangsawan, Nuryartono, N., & Pasaribu, S. H. (2023). Dampak Teknologi Informasi Dan Komunikasi Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Kawasan Barat Dan Timur Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Kebijakan Pembangunan*, 12(2), 146–158. <https://doi.org/10.29244/jekp.12.2.2023.146-158>
- BPS. (2022). *Statistik Telekomunikasi Indonesia 2022*.
- BPS. (2022). *Statistik Indonesia: Penggunaan TIK di Indonesia*. Badan Pusat Statistik.
- Dzikrullah, A. A. (2022). Pengelompokan Provinsi Berdasarkan Kualitas Jaringan Internet Dengan Metode Centroid Linkage. *Journal of Mathematics Computations and Statistics*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v5i1.32363>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Data Analysis (7th ed.)*. Pearson Education Limited.
- Kominfo. (2022). *Pengembangan Infrastruktur dan Akses Teknologi Informasi dan Komunikasi di Indonesia*. Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia.
- Libraningrum, D., & Santoso, D. B. (2023). Analisis Dampak Pembangunan Teknologi Informasi Dan Komunikasi Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Indonesia. *Journal of Development Economic and Social Studies*, 2(3), 600–607. <http://dx.doi.org/10.21776/jdess.2023.02.3.11>
- Peraturan Presiden Republik Indonesia No 142 Tahun 2018 tentang Rencana Induk Pengembangan Ekonomi Kreatif Nasional Tahun 2018-2025.
- Permatasari, N. P., Wijayanto, A. W., & Marsisno, W. (2024). Analisis Cluster Kondisi Keterampilan , Akses dan Fasilitas Teknologi Informasi dan Komunikasi di Indonesia Cluster. 13(148). <https://doi.org/10.34010/komputika.v13i1.10796>
- PUPR. (2022) *Sinkronisasi Program dan Pembiayaan Pembangunan Jangka Pendek 2018-2020 Kepulauan Maluku dan Pulau Papua*.
- Rahmawati, A., & Setyowati, E. (2023). Analisis Cluster K-Means untuk Pengelompokan Kabupaten/Kota di Provinsi Bengkulu berdasarkan Jumlah Base Transceiver Station dan Kekuatan Sinyal Telepon Seluler. *Journal of Computing Engineering, System*

and Science), 8(1), 184–196.

Robertson, B., Sribar, V., & Sribar, V. (2004). *The Adaptive Enterprise: IT Infrastructure Strategies to Manage Change and Enable Growth*. Intel Press.

Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS) Badan Pusat Statistik (BPS) 2018-2022.

Turban, E., Rainer, R. K., & Potter, R. E. (2005). *Introduction to Information Technology*. John Wiley & Sons.

World Bank. (2021). *Indonesia's Digital Economy: Opportunities and Challenges*. World Bank Group.

Xu, D., & Tian, Y. (2015). A Comprehensive Survey of Clustering Algorithms. *Annals of Data Science*, 2(2), 165–193.