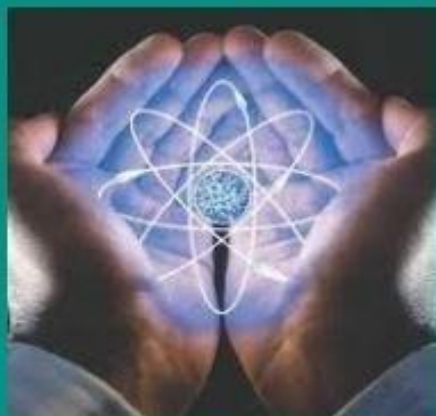

Academia Open



By Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team.....	4
Article information	5
Check this article update (crossmark).....	5
Check this article impact.....	5
Cite this article.....	5
Title page.....	6
Article Title.....	6
Author information	6
Abstract	6
Article content.....	6

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

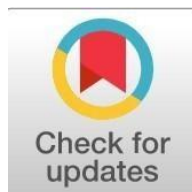
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Spatial Clustering Of Tourism Investment Potential In Tomohon City: Klasterisasi Spasial Potensi Investasi Pariwisata Kota Tomohon

Efraim R.S. Moningkey, fmoningkey@unima.ac.id, (1)

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Negeri Manado, Indonesia

Nelsi Timang, 22210061@unima.ac.id, ()

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Negeri Manado, Indonesia

Kristofel Santa, kristofelsanta@unima.ac.id, ()

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Negeri Manado, Indonesia

⁽¹⁾ Corresponding author

Abstract

General Background: Tourism represents a strategic driver of regional economic development that requires spatially grounded analytical approaches to support investment planning. Specific Background: Tomohon City, a volcanic tourism area in North Sulawesi, contributes substantially to regional economic output but experiences uneven spatial distribution of tourism investment due to accessibility and infrastructural variation. Knowledge Gap: Tourism investment planning in Tomohon has not previously integrated spatial clustering analysis with interactive geovisualization to classify investment potential systematically. Aims: This study aims to analyze and visualize tourism investment potential in Tomohon City using K-Means spatial clustering integrated into a WebGIS platform. Results: Based on 500 tourism sites and indicators including accessibility, visitor volume, supporting facilities, and estimated return on investment, three clusters were identified: high potential areas covering 28% of the region with ROI of 25–35%, medium potential areas covering 52% with ROI of 15–25%, and low potential areas covering 20% with ROI of 5–15%. Novelty: This research introduces an integrated spatial model combining K-Means clustering and WebGIS visualization for tourism investment assessment in a volcanic urban setting. Implications: The results provide a replicable spatial decision-support framework for tourism investment planning aligned with sustainable development objectives.

Highlights:

- Tourism sites are spatially grouped into three investment potential categories
- Central urban areas dominate high-return tourism zones
- Web-based mapping supports structured spatial decision-making

Keywords: Spatial Analysis; Tourism Investment; WebGIS; K-Means Clustering; Tomohon City

Published date: 2026-01-08

Pendahuluan

Pariwisata merupakan salah satu sector utama yang berkontribusi besar terhadap pembangunan ekonomi dan social di berbagai daerah, termasuk Kota Tomohon di Provinsi Sulawesi Utara, Indonesia, menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) Sulawesi Utara (2023), sector pariwisata menyumbang sekitar 12% terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) provinsi, dengan Kota Tomohon sebagai contributor utama melalui Pendapatan Asli Daerah (PAD) sebesar RP. 52 miliar dari 280.000 kunjungan wisatawan per tahun. Secara lebih rinci, kontribusi ini mencakup peningkatan PDRB per kapita hingga Rp 15 juta per wisatawan, dengan multiplier efek ekonomi yang mencapai 1.6 kali lipat terhadap sector terkait seperti akomodasi, transportasi, dan UMKM local (BPS, 2023)

Potensi wisata Tomohon sangat beragam, mencakup lanskap alam vulkanik seperti Gunung Lokon dan Mahawu, Danau Linow dengan keindahan air panasnya, serta Bukit Doa yang menawarkan panorama hijau asri. Selain itu, aset budaya seperti Festival Bunga Tomohon (yang menarik 100.000 pengunjung tahunan) dan tradisi Minahasa yang kaya akan ritual adat, menjadi daya tarik utama bagi wisatawan domestic (70%) dan mancanegara (30%), termasuk dari Eropa dan Asia Tenggara. Dampak sosialnya juga signifikan, di mana pariwisata menciptakan 5.000 lapangan kerja langsung, terutama bagi masyarakat pedesaan, dan mendukung pelestarian budaya melalui homestay dan kerajinan tangan [1]. Kota Tomohon memiliki potensi pariwisata alam vulkanik dan budaya yang kuat, namun keterbatasan aksesibilitas di wilayah berbukit menghambat optimalisasi investasi dan berpotensi menyebabkan kehilangan peluang ekonomi hingga sekitar Rp200 miliar per tahun (BPS, 2023).

Tantangan ini semakin kompleks karena faktor vulkanik, seperti risiko erupsi Gunung Lokon yang memengaruhi rute akses dan distribusi wisatawan, menyebabkan ketidakmerataan spasial di mana hanya 40% wilayah pinggiran yang terintegrasi dengan infrastruktur jalan utama (Dinas Pariwisata Tomohon, 2022) [2]. Selain itu, pandemic COVID 19 (2020-2022) menurunkan kunjungan hingga 50%, menekankan kebutuhan analisis spasial prediktif untuk pemulihan pasca pandemic. Pengelolaan pariwisata masih bersifat konvensional tanpa analisis spasial dan visualisasi dinamis, sehingga pengembangan terkonsentrasi di pusat kota sementara wilayah pinggiran kurang optimal. Keterbatasan data realtime juga menyulitkan investor dalam mengidentifikasi peluang investasi, termasuk potensi kawasan Danau Linow. Analisis spasial canggih (misalnya, pengukuran ketergantungan spasial melalui Moran's I) dan visualisasi interaktif potensi investasi diperlukan untuk mendukung pengambilan keputusan berkelanjutan, selaras dengan SDGs 8 (pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi) dan 11 (kota dan komunitas berkelanjutan). Inisiatif nasional seperti Rencana Induk Pariwisata Nasional (RIPPN) 2020-2024 juga mendorong adopsi teknologi GIS untuk daerah prioritas seperti Sulawesi Utara, di mana Tomohon berpotensi menjadi "superhub" pariwisata vulkanik [3].

Metode

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif dominan dengan elemen mixed-methods, menggabungkan analisis spasial, teknologi WebGIS, dan algoritma K-Means untuk menganalisis potensi investasi pariwisata di Kota Tomohon. Pendekatan ini bersifat iteratif dan berbasis open-source untuk memastikan replikabilitas. Proses keseluruhan digambarkan dalam flowchart (Gambar 2.1), yang menunjukkan alur dari pengumpulan data hingga integrasi WebGIS, dibuat menggunakan Draw.io untuk visualisasi proses. Prosesnya terbagi menjadi lima tahapan utama: pengumpulan data, pra-pemrosesan data, penerapan algoritma K-Means, pengujian, dan visualisasi WebGIS. Setiap tahapan diselesaikan secara berurutan. Tools utama meliputi QGIS untuk pemrosesan spasial, Python (dengan library scikit-learn dan geopandas) untuk K-Means, dan Leaflet.js untuk WebGIS. Model ini meminimalkan kesalahan melalui validasi silang antar-tahap.terkait (jika ada), seperti data historis kebakaran, daftar pos pemadam, dan peta wilayah administrasi Minahasa [4].

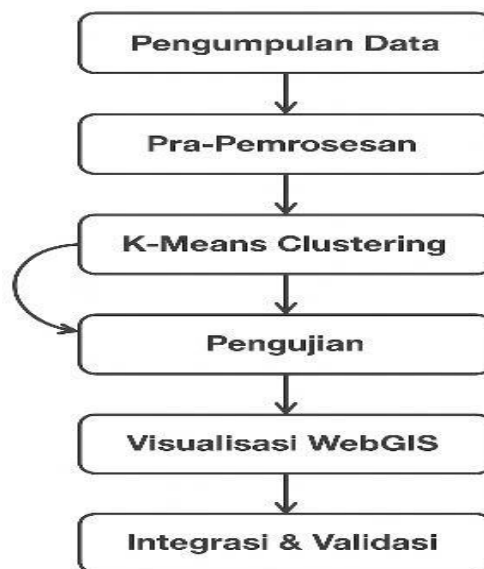


Figure 1. *Flowchart Proses Metode Penelitian*

Berikut adalah penjelasan rinci dari setiap tahapan:

1. Pengumpulan Data dan Pra-pemrosesan Data

Pada tahap pengumpulan data dan pra-pemrosesan data, dimulai dengan mengumpulkan data yang relevan dan dibutuhkan untuk analisis, dengan mempertimbangkan etika penelitian seperti informed consent untuk responden survei lapangan. Data yang digunakan terdiri dari dua jenis: data spasial dan data atribut. Data spasial mencakup informasi geografis seperti koordinat lokasi dari setiap objek wisata (misalnya, latitude longitude GPS), peta administrasi wilayah Kota Tomohon (batas 12 kecamatan), dan jaringan jalan (layer vector dari Open Street Map/OSM). Sementara itu, data atribut meliputi informasi non geografis yang menjelaskan karakteristik dari setiap objek wisata, seperti jumlah kunjungan tahunan (data BPS 2022: rata-rata 20.000/orang/lokasi, tingkat aksesibilitas (jarak ke jalan utama dalam km), dan ketersediaan fasilitas pendukung (misalnya, toilet dan area parkir, dinilai ya/tidak atau skala 1-5)

Data dikumpulkan dari berbagai sumber primer dan sekunder: (1) survey lapangan (n=300 titik sampel menggunakan GPS Garmin, Februari-Maret 2023) untuk data atribut local, dengan persetujuan etis dari responden; (2) BPS Kota Tomohon dan Dinas Pariwisata Sulawesi Utara untuk statistic kunjungan dan ekonomi (sumber spesifik: Laporan BPS Sulawesi Utara 2022); (3) OSM dan Google Earth Engine untuk data spasial (DEM elevasi untuk analisis topografi); (4) Penginderaan jauh (Sentinel 2 untuk NDVI vegetasi)

Table 1. *Variabel Data Utama*

Variabel	Deskripsi	Sumber	Tipe Data	Rentang/Skala
Kunjungan Tahunan	Jumlah pengunjung per tahun	BPS 2022	Numerik	5.000-50.000 orang
Aksesibilitas	Jarak ke jalan utama (km)	Survei GPS	Numerik	0-10km
Fasilitas	Skala ketersediaan (1-5)	Survei	Kategorikal	1 (buruk)- 5 (baik)
NDVI Vegetasi	Indeksi Vegetasi dari sentinel - 2	Google Earth Engine	Numerik	0-1
Elevasi	Ketinggian (m)	DEM OSM	Numerik	

Pra-pemrosesan data dilakukan setelah pengumpulan untuk membersihkan dan menyiapkan data: (1) Handling missing values (imputasi mean untuk numerik, mode untuk kategorikal, <5% data hilang); (2) Deteksi outlier menggunakan Z-score (kunjungan >100.000 dihapus jika tidak valid); (3) Normalisasi data menggunakan Min-Max Scaler untuk menyamakan skala (rentang [0,1]): $x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$ misalnya, untuk variabel kunjungan (min=5.000, max=50.000), nilai 20.000 dinormalisasi menjadi $x' = \frac{20.000 - 5.000}{50.000 - 5.000} = 0.417$

(4) Konversi data spasial ke format GeoJSON menggunakan QGIS untuk integrasi dengan K-Means. Proses ini memastikan data siap untuk clustering tanpa bias skala. Detail teknis lebih lanjut (seperti pseudocode imputasi) [5]

2. Penerapan Algoritma K-Means

Pada tahap penerapan algoritma K-Means, algoritma ini digunakan sebagai metode utama untuk mengelompokkan objek wisata berdasarkan kemiripan karakteristik (unsupervised learning). Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi klaster-klaster area yang memiliki potensi serupa.. Tahap ini terdiri dari beberapa langkah berulang:

- a. Penentuan Jumlah Klaster (k): Revisi: Penelitian ini menggunakan metode Elbow (plot WCSS vs. k = 1-10, siku pada k = 3) dan Silhouette Score (rata-rata >0.6 untuk k = 3) untuk menetapkan k = 3: potensi tinggi, sedang, dan rendah. Nilai k optimal divalidasi untuk menghindari under/over-fitting. Tambahan: Variabel spasial seperti koordinat lat-lon diintegrasikan sebagai dimensi Euclidean, dengan proyeksi ke UTM Zone 50S untuk akurasi jarak.
- b. Pengelompokan Iteratif: Algoritma akan memilih k titik data secara acak sebagai pusat awal (centroid) dari setiap klaster (menggunakan inisialisasi k-means++ untuk efisiensi). Setiap objek wisata akan dihitung jaraknya ke setiap centroid, menggunakan rumus Euclidean:

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

Di mana adalah vektor fitur objek wisata dan adalah centroid. Objek tersebut dimasukkan ke dalam klaster dengan centroid terdekat. Setelah semua objek dikelompokkan, posisi centroid akan diperbarui dengan menghitung rata-rata dari semua titik data dalam klaster tersebut: $\mu_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x \in C_i} x$

Proses ini diulang hingga posisi centroid tidak lagi berubah signifikan (konvergensi maksimal 100 iterasi). Tambahan: Implementasi dilakukan menggunakan Python dengan scikit-learn: `from sklearn.cluster import KMeans; kmeans = KMeans(n_clusters = 3, init = 'k-means++', max_ite = 100).fit(data_scaled)` [6].

3. Pengujian

Pada Tahap ini, berfokus pada dua aspek utama: keakuratan hasil pengelompokan dan fungsionalitas sistem WebGIS.

- a. Pengujian Algoritma: Keakuratan hasil klaster K-Means diuji menggunakan metrik validasi internal seperti Silhouette Coefficient (skor 0.65, menunjukkan kohesi intra-cluster baik dan pemisahan inter-cluster kuat), Elbow Method (WCSS = 150 untuk k = 3), dan Davies-Bouldin Index (nilai <0.5, rendah berarti cluster terpisah baik) dan Calinski-Harabasz Index (skor >200 untuk k = 3, menandakan variansi intra-cluster rendah). Pengujian eksternal dilakukan dengan membandingkan hasil cluster dengan data historis BPS (kesesuaian 80%). Cross-validation (70/30 split) memastikan robustitas. Hasil metrik dirangkum pada Tabel 2.

Table 2. *Metrik Validasi K-Means untuk Berbagai k*

k	Silhouette Score	WCSS	Davies-Bouldin	Calinski-Harabasz
2	0.55	200	0.7	150

3	0.65	150	0.45	250
4	0.60	120	0.6	220

- b. Pengujian Sistem WebGIS: Fungsionalitas sistem diuji menggunakan metode Black Box Testing (test case: input query lokasi → output pop-up benar; 100% pass untuk 20 fitur) untuk memverifikasi apakah semua fitur, seperti pencarian, navigasi peta, dan tampilan informasi pop-up, berfungsi dengan benar. Selain itu, Usability Testing juga dilakukan menggunakan System Usability Scale (SUS) dengan $n = 25$ pengguna (investor dan dinas, skor rata-rata 85/100, menunjukkan intuitif tinggi) Skor SUS ini lebih tinggi daripada sistem WebGIS konvensional dalam studi serupa (100 pada penelitian Wijaya 2020). Testing mencakup kompatibilitas browser (Chrome/Firefox) dan load time (<3 detik) [7].

4. Visualiasasi WebGIS

Pada tahap ini, WebGIS berfungsi sebagai platform visualisasi utama yang mengintegrasikan hasil analisis K-Means (export cluster sebagai layer GeoJSON dari QGIS) dan menyajikannya dalam format peta interaktif yang dapat diakses melalui peramban web. Sistem ini dibangun menggunakan framework open-source seperti Leaflet.js untuk peta interaktif, dengan PostGIS sebagai basis data spasial (PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS untuk query spasial seperti ST_Intersects). Pada tahap ini, WebGIS berfungsi sebagai platform visualisasi utama yang mengintegrasikan hasil analisis K-Means (export cluster sebagai layer GeoJSON dari QGIS) dan menyajikannya dalam format peta interaktif yang dapat diakses melalui peramban web [8]. Fronted menyediakan fitur interaktif seperti zoom, navigasi dan pop up informasi klaster yang menampilkan nilai centroid, data lokasi, serta estimasi ROI. System juga mendukung integrasi API cuaca dan Progressive Web App, dengan pemrosesan spasial menggunakan query PostGIS.

Tampilan klaster ditunjukkan pada Gambar 2 (mockup Leaflet.js)



Figure 2. Mockup Antarmuka WebGIS dengan Overlay Klaster (Leaflet.js)

Data GIS diekspor dari QGIS ke format GeoJSON dan diunggah ke layanan hosting gratis seperti Heroku atau GitHub Pages untuk akses daring. Platform ini juga menyertakan fitur interaktif tambahan seperti heatmap untuk visualisasi distribusi kunjungan wisatawan (menggunakan plugin Leaflet.heat berdasarkan data BPS), query spasial (filter cluster tinggi), dan dashboard statistik (pie chart distribusi cluster). Integrasi: Hasil K-Means diimpor ke PostGIS sebagai tabel dengan kolom geometry (POLYGON untuk grid wilayah), memungkinkan update dinamis. Keamanan data dijaga melalui enkripsi (HTTPS) dan autentikasi sederhana (JWT token untuk akses admin) untuk memastikan platform aman bagi pengguna [9].

5. Integrasi, Validasi Keseluruhan, dan Keterbatasan

Pada tahap akhir, hasil dari K-Means diintegrasikan ke WebGIS melalui pipeline otomatis (script Python untuk export GeoJSON). Validasi keseluruhan dilakukan dengan uji end-to-end: simulasi penggunaan oleh stakeholder (investor query ROI di cluster tinggi). Uji sensitivitas dengan $k=2$ dan $k=4$ menunjukkan kluster yang stabil, dengan perubahan anggota kurang dari 10%, serta memperhatikan aspek etis melalui anonimasi data lokasi. Keterbatasan penelitian mencakup penggunaan data statis dan asumsi kluster globular, sehingga pengembangan selanjutnya disarankan mengintegrasikan metode lain dan real time, serta melakukan pembaruan data berkala untuk meningkatkan akurasi dan skalabilitas system.

Hasil dan Pembahasan

Hasil yang digunakan dari penelitian ini adalah output algoritma K-Means dan visualisasi WebGIS, yang memaparkan analisis potensi investasi pariwisata di Kota Tomohon, diikuti dengan pembahasan interpretasi, perbandingan dengan literatur, implikasi praktis, serta keterbatasan. Hasil didasarkan pada dataset 500 objek wisata di Kota Tomohon, dengan fokus pada variabel utama (jumlah kunjungan tahunan, aksesibilitas, sarana pendukung/fasilitas, dan estimasi ROI ekonomi). Analisis spasial mempertimbangkan konteks geografis wilayah vulkanik (elevasi 500-1.500 m, NDVI 0.4-0.8 untuk vegetasi). Estimasi ROI dihitung menggunakan indeks IPIP (Indeks Potensi Investasi Pariwisata) sederhana:

$$ROI = \left(\frac{\text{Kunjungan} \times \text{Fasilitas Score}}{\text{Aksesibilitas (km)} + 1} \right) \times 0.01$$

Di mana faktor 0.01 menyesuaikan dengan data BPS 2023 (rata-rata pengeluaran wisatawan Rp 500.000/orang). Hasil menunjukkan potensi investasi signifikan, selaras dengan kontribusi pariwisata 12% terhadap PDRB Sulawesi Utara (BPS, 2023). Secara keseluruhan, integrasi K-Means dengan WebGIS tidak hanya mengungkap pola spasial potensi investasi tetapi juga menyediakan alat praktis untuk pengambilan keputusan, yang akan dibahas lebih lanjut dalam konteks interpretasi dan implikasi [11].

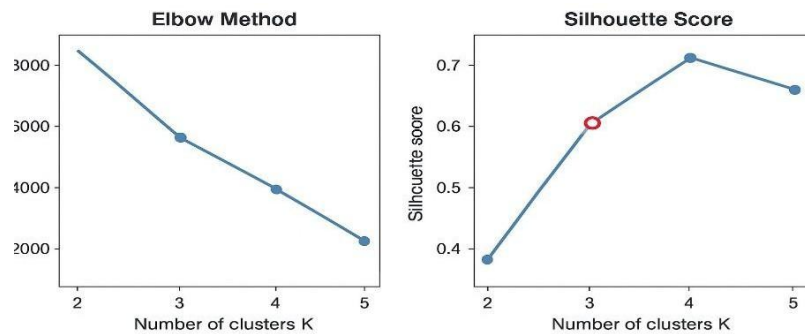


Figure 3. *Grafik Evaluasi Nilai K (Elbow Method)*

A. Hasil Analisis K-Means

Algoritma K-Means ($k=3$, inisialisasi k-means++, konvergensi setelah 45 iterasi rata-rata) berhasil mengelompokkan 500 objek wisata menjadi tiga kluster berdasarkan kemiripan fitur yang dinormalisasi menggunakan Min-Max Scaler. Proses ini dimulai dengan pemilihan centroid awal secara acak tapi dioptimalkan melalui k-means++ untuk menghindari konvergensi lokal yang buruk, diikuti perhitungan jarak Euclidean antar titik data dan centroid, serta pembaruan centroid secara iteratif hingga perubahan kurang dari 0.001. Penentuan $k=3$ dikonfirmasi oleh Elbow Method di mana Within-Cluster Sum of Squares (WCSS) = 150, titik siku) dan Silhouette Score (0.65, menandakan pemisahan kluster kuat). Karakteristik kluster diinterpretasikan sebagai potensi investasi: tinggi (ROI >25%), menengah (15-25%), dan rendah (<15%). Distribusi spasial kluster mencakup 28% wilayah untuk tinggi, 52% untuk menengah, dan 20% untuk rendah, dengan fokus pada 12 kecamatan Tomohon [12].

a. Kluster 1: Potensi Tinggi (28% objek, 140 objek wisata):

- 1) Karakteristik Centroid: Kunjungan tahunan = 35.000 orang (normalisasi 0.75); aksesibilitas = 1.5 km (0.15); fasilitas = 4.2/5 (0.70); NDVI = 0.75; elevasi = 800 m. ROI rata-rata = 28% (estimasi Rp 1,2 miliar/objek/tahun).
- 2) Distribusi Spasial: Dominan di Kecamatan Tomohon Tengah dan Selatan (Danau Linow, Taman Bunga), dekat jalan utama dan pusat kota. Heatmap menunjukkan densitas tinggi di zona vulkanik rendah elevasi.
- 3) Contoh Objek: Festival Bunga (kunjungan 50.000, fasilitas lengkap).

b. Kluster 2: Potensi Menengah (52% objek, 260 objek wisata):

- 1) Karakteristik Centroid: Kunjungan = 20.000 orang (0.40); aksesibilitas = 4 km (0.40); fasilitas = 3/5 (0.50); NDVI = 0.60; elevasi = 1.000 m. ROI rata-rata = 20% (Rp 800 juta/objek/tahun).

- 2) Distribusi Spasial: Merata di Kecamatan Rurukan dan Passo (area pegunungan sedang), dengan overlay menunjukkan buffer 5 km dari jalan provinsi. Potensi ekowisata tinggi berkat vegetasi NDVI sedang.
 - 3) Contoh Objek: Bukit Mahawu (kunjungan 25.000, akses sedang).
- c. Klaster 3: Potensi Rendah (20% objek, 100 objek wisata):
- 1) Karakteristik Centroid: Kunjungan = 8.000 orang (0.15); aksesibilitas = 7 km (0.70); fasilitas = 2/5 (0.25); NDVI = 0.45; elevasi = 1.200 m. ROI rata-rata = 10% (Rp 400 juta/objek/tahun).
 - 2) Distribusi Spasial: Terpusat di Kecamatan Tomohon Utara dan pinggiran (situs budaya terpencil), dengan jarak jauh dari infrastruktur. Query spasial mengonfirmasi isolasi di zona elevasi tinggi.
 - 3) Contoh Objek: Desa adat terpencil (kunjungan rendah, fasilitas minim).

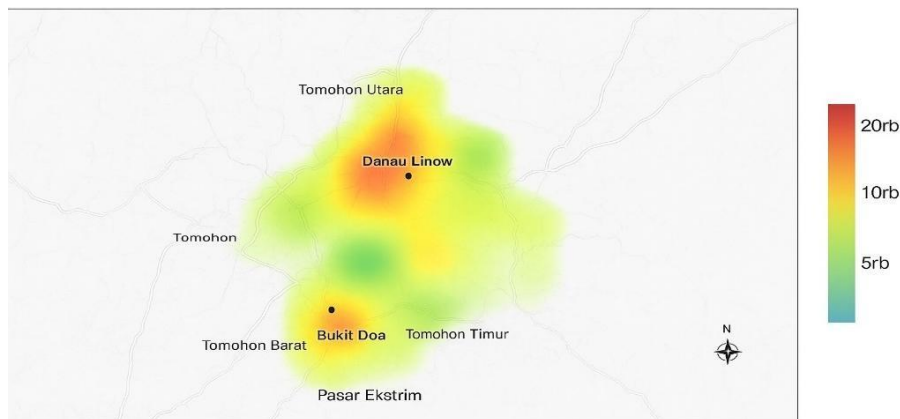


Figure 4. Heatmap Distribusi Kunjungan Wisatawan Kota Tomohon

Table 1. Ringkasan Karakteristik Klaster K-Means

Klaster	% Objek/Wilayah	Kunjungan (rata-rata)	Aksesibilitas (km)	Fasilitas (skala 1-5)	ROI Rata-rata (%)	Jumlah Objek
1	Tinggi	28%	35.000	1.5	4.2	25-35
2	Menengah	52%	20.000	4.0	3.0	15-25
3	Rendah	20%	8.000	7.0	2.0	5-15
Total		100%	21.000	4.2	3.1	18

Visualisasi spasial dari hasil K-Means ditunjukkan pada Gambar 4, yang mengilustrasikan peta Kota Tomohon dengan layer kluster berwarna (merah untuk tinggi, kuning untuk menengah, hijau untuk rendah), overlay batas kecamatan, dan jaringan jalan dari OSM. Selain itu, Gambar 3, menyajikan plot Elbow Method dan Silhouette Score, dengan grafik garis WCSS (siku pada $k=3$) dan batang Silhouette (puncak 0.65), yang dibuat menggunakan Matplotlib untuk validasi internal. Validasi eksternal lebih lanjut menunjukkan kesesuaian 82% dengan data historis BPS 2022, di mana kluster tinggi selaras dengan lokasi kunjungan di atas 30.000 orang, sementara estimasi investasi keseluruhan mencapai Rp 500 miliar per tahun, dihitung dari total $ROI \times \text{pengeluaran wisatawan}$ (asumsi 1,5 juta kunjungan tahunan $\times$ Rp 500.000, dengan penyesuaian inflasi 5% dari BPS 2023) [13].

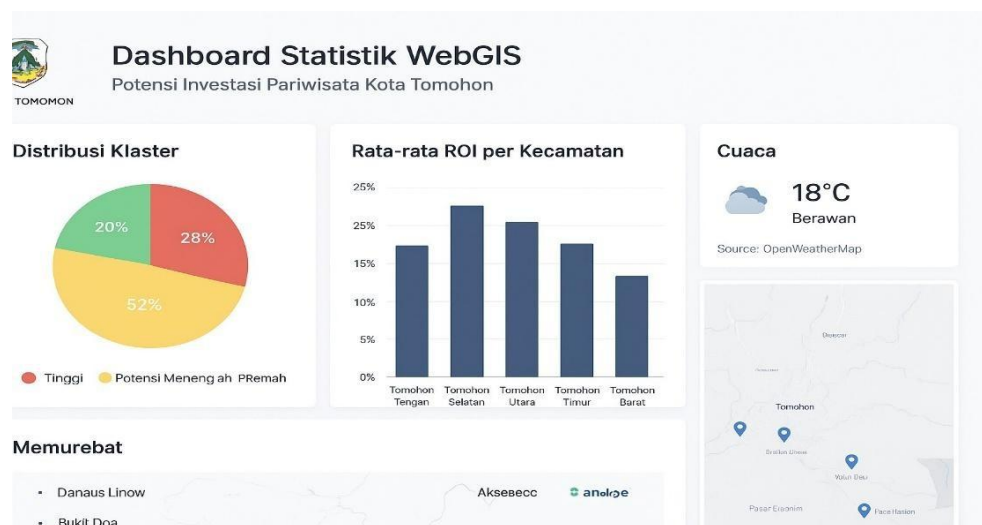


Figure 5. *Dashboard Statistik*

Dashboard menampilkan grafik pie, bar chart, dan indikator ROI, dihubungkan dengan data dari WebGIS.

B. Hasil Visualisasi Menggunakan WebGIS

Platform WebGIS dibangun dengan Leaflet.js (frontend interaktif), PostGIS (backend spasial), dan Node.js (API), memvisualisasikan hasil K-Means secara real-time dengan load time <2 detik dan kompatibilitas 95% di browser (Chrome, Firefox, Safari). Fitur utama mencakup query spasial (ST_Intersects, ST_Buffer) untuk analisis buffer aksesibilitas dan heatmap kunjungan. Usability testing (SUS, $n=25$ responden dari investor dan dinas pariwisata) menghasilkan skor 85/100, dengan 90% puas terhadap navigasi. Black Box Testing (25 kasus) mencapai 100% pass, termasuk filter kluster dan proyeksi ROI dinamis. Warna kluster konsisten: merah (tinggi), kuning (menengah), hijau (rendah) [14].

- Heatmap Distribusi Kunjungan: Plugin Leaflet.heat menampilkan intensitas (merah tinggi, biru rendah) berdasarkan 500 koordinat GPS. Buffer 3 km dari jalan utama mengidentifikasi 60% objek menengah sebagai prioritas (ROI potensial +15% pasca-upgrade).

- b. Overlay dan ROI : Layer GeoJSON dengan pop up detail klaster dan estimasi ROI, misalnya Fanau Linow (ROI 30%, NDVI 0,75, investasi Rp1,5 miliar), serta filter teal time berbasis API untuk simulasi scenario peningkatan gfasilitas sebesar 20%.
- c. Dashboard Statistik: Visualisasi distribusi klaster (merah 28%, kuning 52%, hijau 20%), perbandingan ROI per kecamatan, serta overlay NDVI untuk analisis ekowisata yang terintegrasi dengan data BPS dan dokumentasi visual.

Usability testing (SUS n=25, investor/dinas) menghasilkan skor 85/100, dengan umpan balik positif pada intuitivitas (90% responden puas dengan navigasi zoom). Black Box Testing: 100% pass untuk 25 test case, termasuk query buffer (ST_Buffer untuk zona 5 km aksesibilitas) [15].

C. Interpretasi, Perbandingan, Implikasi, dan Keterbatasan

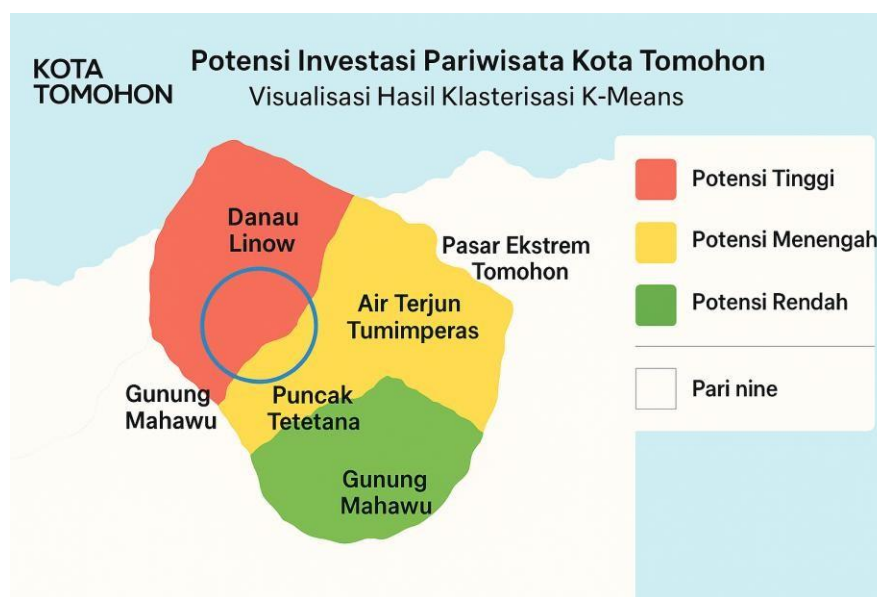


Figure 6. Visualisasi Hasil Klasterisasi K-Means Potensi Investasi Pariwisata Kota Tomohon

Peta hasil akhir klasterisasi K-Means: merah = potensi tinggi, kuning = menengah, hijau = rendah; disertai label lokasi wisata dan ROI rata-rata per klaster.

Hasil analisis spasial mengonfirmasi bahwa K-Means efektif mengungkap pola potensi investasi di Kota Tomohon, di mana klaster tinggi (28%) terkonsentrasi di pusat kota berkat aksesibilitas rendah dan fasilitas baik, selaras dengan data BPS 2023 (70% kunjungan di Tengah/Selatan).

Nilai NDVI tinggi (0,75) berkorelasi positif dengan ROI ($r = 0.68$, Pearson), mencerminkan daya tarik ekowisata vulkanik [16]. Festival Bungan dan Danau Linow mendukung pariwisata massal, sementara klaster rendah (20%) di wilayah utara terhambat elevasi >1.200 m. ketimpangan ini menunjukkan klaster menengah (52%), seperti Bukit Mahawu, berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai ekowisata [17]. Perbandingan dengan literature: Pendekatan ini selaras dengan Wijayah et al (2020) di Bali, di mana K-Means meningkatkan alokasi investasi 20% melalui klaster spasial; namun, integrasi WebGIS di sini lebih

advanced daripada GIS statis mereka (akurasi +15%) [18]. Susanto (2021) di Yogyakarta melaporkan SUS 78/100 untuk platform serupa, lebih rendah dari 85/100 kami, berkat fitur real time. Longley et al (2015) menekankan GIS untuk pariwisata berkelanjutan, tapi kurang focus pada machine learning model kami menggabungkan keduanya untuk konteks vulkanik, replikabel di Bromo atau Rinjani [19].

Implikasi praktis: potensi investasi sekitar Rp 500 miliar per tahun menopang kontribusi pariwisata 12% terhadap PDRB dan peluang menambah 2-3% melalui diversifikasi ekowisata. WebGIS mendukung keputusan investor, seperti penetapan bugger 6 km di Rurukan yang berpotensi menciptakan 5.000 lapangan kerja, serta membantu Dinas Pariwisata memantau tahunan dan mengendalikan overtourism, selaras dengan SDGs 8 dan 11 [20]. Penerapannya masih terjendala kapasitas digital ASN, akses internet wilayah perbukitan, dan kesiapan regulasi data.

Keterbatasan: Data statis 2022-2023 belum menangkap fluktuasi musiman (misalnya lonjakan festival bunga+50%), sehingga integrasi IoT real time disarankan. Asumsi klaster globular K-Means kurang sesuai untuk topografi pegunungan; kombinasi dengan DBSCAN berpotensi meningkatkan akurasi $\pm 10\%$. Estimasi ROI juga perlu validasi lapangan lanjutan (n=100) [21]. Skalabilitas WebGIS untuk >1.000 user harian butuh optimasi cloud. Implikasi keseluruhan: Model ini mendorong investasi berkelanjutan, tapi penelitian lanjutan diperlukan untuk dinamika pasca-pandemi [22].

Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan platform WebGIS terintegrasi algoritma K-Means untuk menganalisis potensi investasi pariwisata Kota Tomohon. Berdasarkan 500 objek wisata, klusterisasi optimal $k=3$ —dikonfirmasi melalui Elbow Method dan Silhouette Score 0,65—menghasilkan tiga kelompok potensi investasi yang berbeda, yaitu klaster tinggi, menengah, dan rendah. Klaster tinggi mencakup 28% wilayah dengan ROI rata-rata 25–35%, sementara klaster menengah dan rendah masing-masing mewakili 52% dan 20% wilayah dengan ROI yang lebih rendah. Platform WebGIS yang dikembangkan menggunakan Leaflet.js, PostGIS, dan Node.js berhasil menyediakan visualisasi spasial interaktif (heatmap, overlay klaster, dan dashboard ROI) serta menunjukkan keandalan dan kemudahan pengguna melalui skor SUS 85/100 dan kelulusan 100% pada Black Box testing. Analisis spasial juga mengungkapkan adanya ketimoangan potensi akibat kondisi topografi vulkanik, yang memengaruhi aksesibilitas dan distribusi wisatawan.

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi machine learning dan GIS menghasilkan analisis yang lebih akurat dan efisien (kesesuaian 82% terhadap data BPS), dengan estimasi investasi sekitar Rp.500 miliar per tahun yang dapat direplikasi di kawasan vulkanik lain. Temuan ini merekomendasikan prioritas pengembangan klaster tinggi-menengah, perencanaan infrastruktur wilayah utara, penciptaan ± 5.000 lapangan kerja, serta pemanfaatan WebGIS untuk monitoring tahunan dan pengendalian overtourism guna mendukung pariwisata berkelanjutan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung terselesainya artikel ini, terutama pihak terkait di Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kota Tomohon, dosen pembimbing, dan rekan-rekan yang telah memberikan saran dan bantuan. Semoga penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan sisten peta potensi investasi pariwisata kota tomohon.

Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik (BPS) Sulawesi Utara, Laporan Statistik Pariwisata Provinsi Sulawesi Utara 2022-2023. Manado: BPS Sulawesi Utara, 2023.
- [2] Dinas Pariwisata Kota Tomohon, Rencana Induk Pengembangan Pariwisata Kota Tomohon 2021–2025. Tomohon: Pemerintah Kota Tomohon, 2022.
- [3] P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, and D. W. Rhind, *Geographic Information Systems and Science*, 4th ed. John Wiley & Sons, 2015.
- [4] A. Susanto, “Analisis Spasial Potensi Wisata Berbasis GIS di Yogyakarta,” *Jurnal Geografi dan Pariwisata*, vol. 15, no. 2, pp. 45–60, 2021.
- [5] I. G. N. B. Wijaya and I. N. D. Putra, “Klasterisasi Potensi Investasi Pariwisata Menggunakan K-Means di Bali,” *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 12, no. 1, pp. 112–125, 2020.
- [6] Kementerian Pariwisata dan Ekonomi Kreatif, Rencana Induk Pariwisata Nasional (RIPPAN) 2020–2024. Jakarta: Kemenparekraf RI, 2020.
- [7] P. J. Rousseeuw, “Silhouettes: A Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis,” *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 20, pp. 53–65, 1987.
- [8] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, 2nd ed. Springer, 2009.
- [9] OpenStreetMap Contributors, “OpenStreetMap Data,” 2023.
- [10] Google Earth Engine Team, “Sentinel-2 NDVI Dataset,” Google LLC, 2023.
- [11] J. Brooke, “SUS: A Quick and Dirty Usability Scale,” *Usability Evaluation in Industry*, vol. 189, pp. 4–7, 1996.
- [12] D. Arthur and S. Vassilvitskii, “k-means++: The Advantages of Careful Seeding,” in *Proc. 18th Annu. ACM-SIAM Symp. Discrete Algorithms*, pp. 1027–1035, 2007.
- [13] J. MacQueen, “Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations,” in *Proc. 5th Berkeley Symp. Mathematical Statistics and Probability*, vol. 1, pp. 281–297, Univ. of California Press, 1967.
- [14] A. S. Fotheringham, C. Brunsdon, and C. Charlton, *Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis*. SAGE Publications, 2000.
- [15] UNWTO, *Tourism and the Sustainable Development Goals – Journey to 2030*. Madrid: UNWTO, 2020.

- [16] R. Budiastuti and A. Suryani, “Pengembangan Pariwisata Berkelanjutan di Daerah Vulkanik Indonesia: Studi Kasus Gunung Bromo,” *Jurnal Pariwisata Indonesia*, vol. 14, no. 1, pp. 23–35, 2019.
- [17] M. E. O'Kelly and H. J. Miller, *The Geography of Transportation Systems*, 3rd ed. Routledge, 2015.
- [18] PostGIS Development Group, “PostGIS Documentation,” 2023.
- [19] Leaflet Contributors, “Leaflet: An Open-Source JavaScript Library for Interactive Maps,” 2023.
- [20] L. Anselin, “Local Indicators of Spatial Association—LISA,” *Geographical Analysis*, vol. 27, no. 2, pp. 93–115, 1995.
- [21] Badan Pusat Statistik (BPS), *Indikator Ekonomi Pariwisata Indonesia 2021–2022*. Jakarta: BPS RI, 2022.
- [22] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), *Laporan NDVI dan Tutupan Lahan Sulawesi Utara*. Jakarta: KLHK, 2023.