

SMART ECONOMY-BASED MSME SPATIAL MODELING USING HYBRID VARIATIONAL GRAPH AUTOENCODER AND K-MEANS WITH WEBGIS

PERMODELAN SPASIAL UMKM BERBASIS *SMART ECONOMY* MENGGUNAKAN *HYBRID VARIATIONAL GRAPH AUTOENCODER* DAN *K-MEANS* DENGAN WEBGIS

Anastasya Rakasiwi Nugroho^{1‡}, Eneng Tita Tosida², and
 Gustian Rama Putra³

^{1,2,3}Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
 Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia

[‡]corresponding author: anastasya.raka@apps.ipb.ac.id

Copyright © 2026 Anastasya Rakasiwi Nugroho, Eneng Tita Tosida, and Gustian Rama Putra. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) are a primary driver of Indonesia's economy. However, their uneven spatial distribution remains a critical challenge for effective government policy targeting. To address this problem, this study proposes a hybrid spatial modeling approach integrating a Variational Graph Autoencoder (VGAE) and K-Means Clustering to map MSME potential in Kemang Sub-district, Bogor Regency. The dataset incorporates MSME attributes and supporting village facilities. During the modeling process, the VGAE architecture encodes a graph structure representing the spatial adjacency of MSME nodes into an 8-dimensional latent space, preserving topological neighborhood relationships prior to clustering. The K-Means algorithm then partitions these latent representations into 4 optimal clusters, determined by the Elbow Method. Evaluation results demonstrate that the proposed hybrid model achieves a Silhouette Score of 0.5659 and a Davies-Bouldin Index (DBI) of 0.7698, significantly outperforming the conventional K-Means baseline (0.4169 and 1.0122, respectively). Derived from these clustering results, the Economic Capacity Index (ECI) and Regional Capacity Index (RCI) were calculated to categorize the villages into four priority status categories: Stable (Kemang, Semplak Barat), Buffer (Pabuaran, Tegal), Alert (Pondok Udik, Bojong), and Emergency (Jampang, Atang Senjaya, Parakan Jaya). The final classifications are visualized through a web-based

Geographic Information System (WebGIS). The implementation of this WebGIS practically enables government stakeholders to objectively identify priority areas for economic intervention, specifically intended to foster a sustainable MSME-based smart economy ecosystem.

Keywords: K-Means Clustering, MSME Mapping, Spatial Modeling, Variational Graph Autoencoder, WebGIS, Smart Economy.

Abstrak

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) merupakan penggerak utama perekonomian Indonesia. Namun, ketidakmerataan sebaran spasialnya menjadi tantangan kritis dalam penentuan kebijakan pemerintah yang tepat sasaran. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan pemodelan spasial hybrid yang mengintegrasikan *Variational Graph Autoencoder* (VGAE) dan *K-Means Clustering* untuk memetakan potensi UMKM di Kecamatan Kemang, Kabupaten Bogor. Data yang digunakan meliputi atribut profil UMKM dan ketersediaan fasilitas desa pendukung. Pada tahap pemodelan, arsitektur VGAE mengkode struktur graf ketetanggaan spasial *node* UMKM ke dalam ruang laten berdimensi 8 guna mempertahankan relasi topologisnya. Representasi laten tersebut kemudian dipartisi oleh algoritma *K-Means* ke dalam 4 cluster optimal berdasarkan *Elbow Method*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model *hybrid* ini mencapai *Silhouette Score* sebesar 0,5659 dan *Davies-Bouldin Index* (DBI) sebesar 0,7698, mengungguli performa *baseline K-Means* konvensional (0,4169 dan 1,0122). Berdasarkan hasil klasterisasi tersebut, dilakukan perhitungan Indeks Kapasitas Ekonomi (IKE) dan Indeks Kapasitas Wilayah (IKW) untuk mengkategorikan desa ke dalam empat kategori status prioritas: Stabil (Kemang, Semplak Barat), Penyangga (Pabuaran, Tegal), Waspada (Pondok Udik, Bojong), dan Darurat (Jampang, Atang Senjaya, Parakan Jaya). Hasil pemetaan wilayah ini selanjutnya divisualisasikan melalui platform Sistem Informasi Geografis berbasis web (WebGIS). Implementasi WebGIS ini secara praktis memungkinkan pemangku kepentingan pemerintah untuk mengidentifikasi wilayah intervensi ekonomi secara objektif, yang dikhususkan untuk mewujudkan ekosistem *smart economy* berbasis UMKM yang berkelanjutan.

Kata Kunci: *K-Means Clustering*, Pemetaan UMKM, Pemodelan Spasial, *Smart Economy*, *Variational Graph Autoencoder*, WebGIS.

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki struktur ekonomi yang bergantung pada aktivitas Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM). Dengan jumlah sekitar 66 juta unit usaha dan kontribusi sekitar 61% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), UMKM menjadi tulang punggung perekonomian nasional (Kholifah

& Andini, 2024; Muthmainnah *et al.*, 2023). Namun, permasalahan utama dalam pengembangannya adalah ketidakmerataan akses dan persebaran lokasi yang belum terdata dengan baik. Pemetaan berbasis kewilayahan spasial penting untuk memahami karakteristik UMKM di suatu daerah (Rialmroatus & Reifalindraa, 2025).

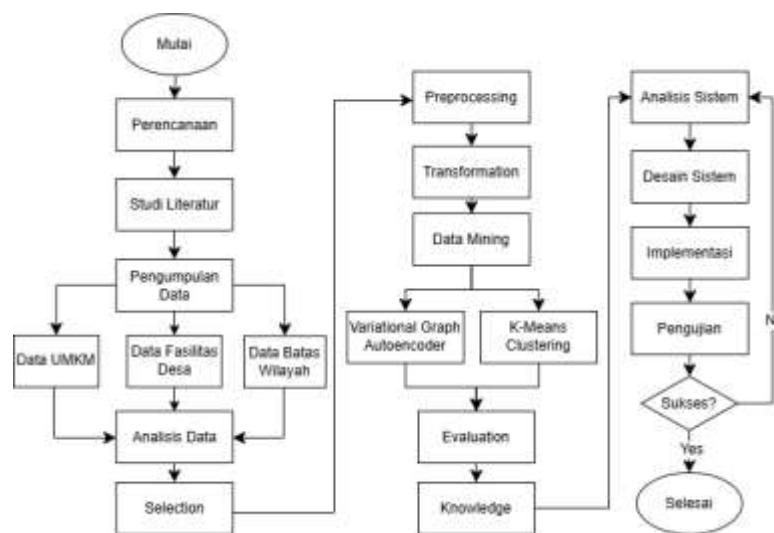
Ekosistem pertumbuhan UMKM sangat dipengaruhi oleh ketersediaan fasilitas pendukung di tingkat desa, seperti akses pendidikan, kesehatan, transportasi, perumahan, bank, pembangunan ekonomi, fasilitas umum, dan internet. Sistem pendataan yang belum mengintegrasikan data UMKM dengan data fasilitas desa secara optimal menyebabkan pemerintah kesulitan menentukan daerah mana yang harus diprioritaskan dalam pengembangan ekonomi lokal (Putri *et al.*, 2026). Pendekatan algoritma *K-Means* konvensional digunakan dalam beberapa penelitian terdahulu, di antaranya untuk membagi kelompok UMKM berdasarkan aset dan omset (Sutramiani *et al.*, 2024) serta membentuk *Cluster* perkembangan bisnis berdasarkan jenis usaha (Sari *et al.*, 2024). Namun, *K-Means* memiliki kelemahan karena bersifat *spatially blind*, hanya mengelompokkan data berdasarkan kemiripan atribut numerik tanpa mempertimbangkan relasi spasial antar lokasi (Mutiah *et al.*, 2024).

Keberlanjutan ekosistem UMKM sangat bergantung pada ketersediaan dan integrasi infrastruktur fasilitas pendukung desa. Dalam hal ini, pengembangan infrastruktur komunitas cerdas (*smart community infrastructures*) berbasis keruangan mutlak diperlukan untuk menjamin kesinambungan *smart economy* di lingkungan pedesaan (Tosida *et al.*, 2024). Pencapaian ekonomi cerdas ini juga secara signifikan didorong oleh program pembangunan desa berbasis teknologi (Tosida *et al.*, 2022) serta kolaborasi strategis antar pemangku kepentingan dalam jaringan ekonomi lokal (Jayawinangun *et al.*, 2024).

Beberapa penelitian sebelumnya mencoba mengatasi kelemahan ini menggunakan pendekatan reduksi *hybrid* konvensional *hybrid* Particle Swarm Optimization (PSO) dan *K-Means* (Sudawati *et al.*, 2026) maupun Deep Autoencoder dengan *K-Means* (Qiao & Luo, 2025). Namun, metode tersebut masih membuang informasi topologi ketetanggaan wilayah sehingga klaster yang dihasilkan rentan terpecah secara geografis. Untuk mengatasi kekurangan tersebut, diperlukan pendekatan yang tidak hanya membaca atribut ekonomi dan fasilitas, tetapi juga memahami topologi keruangan (Supiyandi & Mailok, 2025). Berdasarkan studi komparasi literatur, penggunaan *Variational Graph Autoencoder* (VGAE) terbukti lebih superior dibandingkan Autoencoder tradisional maupun *K-Means* murni dalam mengidentifikasi batas domain spasial secara akurat (Fang *et al.*, 2024). Oleh karena itu, Deep Learning pada algoritma VGAE krusial digunakan untuk mengekstraksi kerumitan data berstruktur graf dengan mempertahankan informasi relasi ketetanggaan lokasi antar UMKM ke dalam ruang laten sebelum diklasterisasi (Zhang *et al.*, 2025).

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan model *hybrid* VGAE sebagai pendukung ekstraksi ruang laten spasial yang mengintegrasikan data profil UMKM dengan data fasilitas desa, yang kemudian dikelompokkan oleh algoritma *K-Means Clustering*. Hasil akhir pemodelan diimplementasikan ke dalam Sistem Informasi Geografis berbasis web (WebGIS) yang bertindak sebagai representasi infrastruktur *e-village* spasial guna memfasilitasi Pemerintah Kecamatan Kemang dalam menentukan prioritas bantuan dan intervensi *smart economy* secara objektif dan berkelanjutan.

2. Metodologi



Gambar 1: Metode Penelitian.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Knowledge Discovery in Databases* (KDD) pada Gambar 1 yang terdiri atas enam tahap: pemilihan data (*data selection*), pembersihan data (*data preprocessing*), transformasi data (*data transformation*), penggalian data (*data mining*), evaluasi data (*data evaluation*), dan pengetahuan (*knowledge*). Penelitian difokuskan pada Kecamatan Kemang, Kabupaten Bogor, yang terdiri dari 8 desa dan 1 kelurahan dengan luas wilayah 33,60 km² (Badan Pusat Statistik, 2024).

2.1 Dataset dan Pemilihan Data

Dataset yang digunakan terdiri dari dua sumber: (1) data profil UMKM Kecamatan Kemang dengan 13 variabel atribut meliputi variabel identitas usaha dan variabel ekonomi yang di dapatkan di Dinas Koperasi dan UMKM Kab. Bogor, dan (2) data fasilitas desa dengan 8 variabel, yaitu fasilitas pendidikan, kesehatan, transportasi, perumahan, bank, pembangunan ekonomi, fasilitas umum, dan internet dari berbagai sumber Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor, Dapodik Kemendikbud, Profil Desa/Kecamatan Bestie BogorKab & Situs Desa, Puskesmas Kemang,

Google Maps, dan *OpenStreetMap*.

2.2 Preprocessing dan Transformation Data

Tahap pembersihan data mencakup penghapusan duplikasi, perbaikan format teks tidak konsisten menggunakan *Regular Expression* (Regex), serta penanganan *missing values* pada atribut keuangan dengan pengisian nilai tengah (median) untuk menjaga stabilitas distribusi. Selanjutnya, fitur kategorikal diubah menggunakan Label Encoding. Untuk mengatasi rentang nilai ekstrem (*outlier*), fitur keuangan ditransformasikan menggunakan *logaritma natural* ($\ln(1+x)$). Seluruh 19 fitur dinormalisasi ke rentang $[0,1]$ menggunakan *Min-Max Scaler*.

Tahap pembentukan struktur topologi graf dilakukan berdasarkan jarak *Euclidean* titik koordinat. Menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) dengan $K=6$, sistem menghasilkan matriks ketetanggaan A di mana setiap UMKM terhubung dengan 5 tetangga spasial terdekatnya diberi bobot 1.

2.3 Variational Graph Autoencoder (VGAE)

VGAE adalah pengembangan *Variational Autoencoder* (VAE) untuk data berstruktur graf, yang mempelajari representasi (*embedding*) *laten node* dengan mempertimbangkan *Adjacency Matrix* dan fitur node secara simultan (Fan et al., 2024). Encoder VGAE terdiri dari dua *Graph Convolutional Network* (GCN) yang menghitung mean (μ) dan log standard deviation ($\log \sigma$) dari distribusi laten:

$$\mu = GCN_{\mu}(X, A) \quad \log \sigma = GCN_{\sigma}(X, A) \quad (1)$$

Representasi laten Z diambil menggunakan *Reparameterization Trick* untuk memungkinkan *backpropagation*:

$$Z = \mu + \sigma \odot \epsilon \in \text{dim} \quad (2)$$

Dengan ϵ adalah *noise* acak dari distribusi normal standar. Decoder merekonstruksi graf asli menggunakan *Inner Product*:

$$\hat{A} = \sigma(Z \cdot Z^T) \quad (3)$$

Parameter terbaik VGAE ditentukan melalui evaluasi menggunakan *Mean Squared Error* (MSE) rekonstruksi, menghasilkan MSE terendah (Xu et al., 2023; Hodson, 2022).

2.4 K-Means Clustering

K-Means adalah algoritma *unsupervised learning* yang mempartisi data ke dalam K *Cluster* dengan meminimalkan jarak antara data dengan pusat *Cluster* (*centroid*) menggunakan *Euclidean Distance* (Kustiyahningsih et al., 2024).

Jumlah *Cluster* optimal ditentukan menggunakan *Elbow Method* berdasarkan titik penurunan grafik inersia yang paling tajam. Evaluasi kualitas *Cluster* dilakukan menggunakan dua metrik: *Davies-Bouldin Index*

(DBI) mengukur nilai semakin kecil mendekati 0 menunjukkan *cluster* yang lebih padat dan terpisah baik (Syafudin et al., 2025) dan *Silhouette Coefficient*, mengukur kualitas cluster dengan menilai seberapa baik suatu objek dikelompokkan dibandingkan cluster lain. Nilai berkisar -1 hingga 1 (Erda et al., 2023).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pembersihan dan Transformasi Data

Tahap *preprocessing* pada penanganan kekosongan nilai 117 entri UMKM yang tidak memiliki Nama Usaha, 30 entri tanpa keterangan Desa, serta 8 entri dengan Alamat Usaha yang kosong. Seluruh kekosongan tersebut berhasil ditangani oleh sistem melalui teknik imputasi teks yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Hasil Sebelum dan Sesudah *Preprocessing*.

Atribut Data	Jumlah Data Awal	Data Lengkap	Data Missing	Data Setelah Preprocessing
Nama Usaha	2016	1899	117	2016
Desa	2016	1986	30	2016
Alamat Usaha	2016	2008	8	2016

Hasil transformasi logaritma dan normalisasi *Min-Max* terhadap fitur keuangan ditunjukkan pada Tabel 2. Transformasi logaritma $\ln(1+x)$ efektif mereduksi skewness pada distribusi nilai keuangan yang sangat tidak merata, sebelum dinormalisasi ke rentang $[0,1]$.

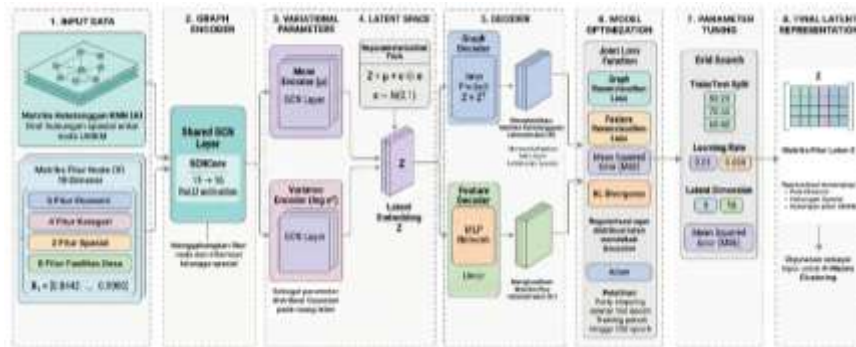
Tabel 2: Hasil Transformasi Logaritma dan Normalisasi Data.

Atribut Fitur	Nilai Asli (Setelah cleaning)	Transformasi Logaritma ($\ln(1+x)$)	Normalisasi (Min-Max Scaler)
Modal (Keuangan)	200000000	19.1138	1.0000
Aset (Keuangan)	400000000	19.8070	0.7364
...	...	...	...
Fasilitas Umum	61	-	1.0000
Fasilitas Internet	5	-	1.0000

3.2 Hasil Pelatihan VGAE

Proses pelatihan model VGAE berhasil mereduksi 19 dimensi fitur awal menjadi ruang laten (Z) berdimensi 8, mengompresi struktur topologi geografis dan profil ekonomi ke dalam format optimal untuk tahap

Clustering pada Gambar 2 menunjukkan arsitektur model. Model dilatih selama 150 epoch sebagai *early stopping*, dan dilakukan retrain menggunakan 100% data 250 epoch untuk menghasilkan *Latent Space* yang utuh.



Gambar 2: Arsitektur VGAE (Sumber: <https://www.mdpi.com/>).

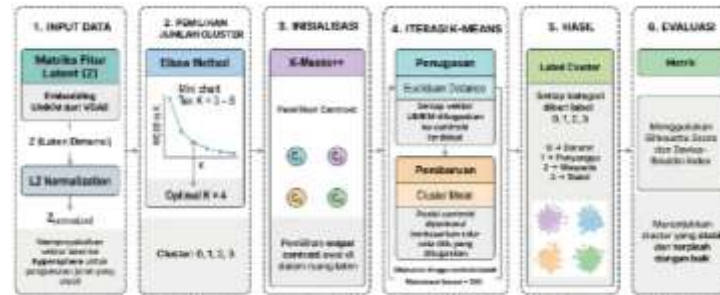
Model dilatih selama 150 *epoch* sebagai bentuk *early stopping* karena grafik umumnya sudah mencapai konvergensi pada titik. Parameter yang diuji meliputi komposisi *split*, *learning rate*, dan dimensi laten akhir (*latent dimension*). Tabel 3 menyajikan hasil pengujian berbagai skenario parameter VGAE.

Tabel 3: Perbandingan Parameter Algoritma VGAE.

Split Validasi	Learning Rate	Latent Dimension	MSE
80:20	0,01	8	0,0259
80:20	0,01	16	0,0266
70:30	0,01	8	0,0264
70:30	0,01	16	0,0295
60:40	0,01	8	0.0252 ✓
60:40	0,01	16	0,0256

3.3 Hasil K-Means Clustering

Matriks ruang laten Z berdimensi 8 hasil VGAE dinormalisasi (L2 Normalization) dan digunakan sebagai input *K-Means*. Berdasarkan *Elbow Method*, jumlah *Cluster* optimal adalah K=4, berdasarkan Gambar 3 merupakan arsitektur model. Berdasarkan titik penurunan grafik (inersia) yang paling tajam, teridentifikasi bahwa jumlah *Cluster* optimal untuk penelitian ini adalah K=4.



Gambar 3: Arsitektur K-Means (Sumber: <https://www.ejable.com/>).

3.4 Evaluasi Kualitas Cluster

Perbandingan antara model *hybrid* yang diusulkan dengan baseline *K-Means* konvensional menunjukkan peningkatan signifikan pada kedua metrik evaluasi sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Peningkatan *Silhouette Score* dari 0.4169 menjadi 0.5659 dan Peningkatan DBI dari 1.0122 menjadi 0.7698.

Tabel 4: Perbandingan Evaluasi Kualitas Cluster.

Metrik Evaluasi	<i>K-Means</i> (Baseline)	<i>Hybrid VGAE + K-Means</i>
<i>Silhouette Score</i>	0,4261	0,5275
<i>Davies-Bouldin Index</i>	1,1193	0,8690

3.5 Profil Cluster UMKM dan Pemetaan Status Wilayah

Interpretasi ekonomi terhadap *Cluster* numerik dilakukan melalui perhitungan Indeks Kapasitas Ekonomi (IKE) menggunakan lima indikator finansial yang dinormalisasi. Median IKE tiap *Cluster* digunakan untuk menentukan kategori ekonomi dari terendah hingga tertinggi. Tabel 5 menyajikan profil ekonomi median tiap *Cluster* dan kategori yang ditetapkan.

Tabel 5: Profil Cluster UMKM Berdasarkan Indeks Kapasitas Ekonomi (IKE).

Cluster	Modal (Juta Rupiah)	Aset (Juta Rupiah)	Omset (Juta Rupiah)	Lama Usaha (Thn)	Tenaga Kerja	Nilai IKE	Kategori
0	1	20	5	6	2	1.000000	Darurat
1	2	40	10	6	1	1.500000	Waspada
2	2	40	10	6	2	2.500000	Penyangga
3	3	60	15	6	1	3.000000	Stabil

Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa modal, aset, omset, lama usaha, dan tenaga kerja merupakan faktor penting dalam

kinerja dan keberlanjutan UMKM (Kondolele *et al.*, 2024; Lasar & Utama, 2024; Canberra & Dewi, 2025; Rahmah *et al.*, 2024). Jika penetapan prioritas bantuan hanya didasarkan pada jumlah UMKM, maka Pabuaran yang secara kapasitas lebih lemah justru akan terabaikan. Oleh karena itu, sistem menggunakan Indeks Kapasitas Wilayah (IKW) sebagai indikator prioritas yang lebih komprehensif.

Hasil pemetaan status wilayah desa menggunakan IKW berbasis *rule-based* kuartil ($Q1=0.094602$, $Q2=0.131747$, $Q3=0.239698$) disajikan pada Tabel 6. Hasil pemetaan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa ketersediaan infrastruktur dan ekosistem wilayah berpengaruh terhadap perkembangan UMKM dan ketahanan ekonomi wilayah (Aftitah *et al.*, 2025; Fardani *et al.*, 2024).

Tabel 6: Pemetaan Status Desa Berdasarkan Indeks Kapasitas Wilayah (IKW).

Desa	Total Unit UMKM	Total IKE UMKM	Total Fasilitas	Kapasitas Wilayah Agregat	Nilai IKW	Status
Kemang	433	1732	158	1890.000000	1.000000	Stabil
Semplak Barat	252	756	71	827.000000	0.383053	Stabil
Pabuaran	252	504	76	580.000000	0.239698	Penyangga
Tegal	464	464	100	564.000000	0.230412	Penyangga
Pondok Udik	152	304	90	394.000000	0.131747	Waspada
Bojong	148	296	77	373.000000	0.119559	Waspada
Jampang	212	212	118	330.000000	0.094602	Darurat
Atang Senjaya	67	201	67	268.000000	0.058619	Darurat
Parakan Jaya	36	84	83	167.000000	0.000000	Darurat

Penerapan pemetaan spasial dan penetapan status kewilayahan berdasarkan IKW ini menjadi pilar operasional dalam merancang ekosistem *smart economy* berbasis UMKM yang berkelanjutan di Kecamatan Kemang. Penggabungan komputasi antara kekuatan kapasitas finansial ekonomi dengan ketersediaan fasilitas pendukung wilayah dalam model *hybrid* ini secara empiris berhasil mengoperasionalkan konsep infrastruktur komunitas cerdas yang terintegrasi (Tosida *et al.*, 2024). Berdasarkan hasil *cluster* IKW pada Tabel 6, desa dengan status Darurat seperti Parakan Jaya, Atang Senjaya, dan Jampang teridentifikasi secara presisi sebagai prioritas utama. Dengan demikian, eksekusi pengadaan infrastruktur dapat ditargetkan langsung pada titik-titik rentan tersebut, sehingga percepatan standar pembangunan desa (Tosida *et al.*, 2022) berjalan lebih efisien dan terarah. Sementara itu, kawasan dengan status Stabil seperti Desa Kemang dan Semplak Barat yang telah tervalidasi kesiapan infrastrukturnya oleh luaran model, secara faktual sangat ideal untuk dijadikan pionir percontohan eksekusi kolaborasi antar pemangku

kepentingan dalam perluasan *e-commerce* dan inovasi rantai pasok (Jayawinangun *et al.*, 2024). Visualisasi spasial melalui *platform* WebGIS ini membuktikan bahwa instrumen tata kelola *e-village* spasial dapat diwujudkan secara praktis, memastikan bahwa kebijakan intervensi ekonomi wilayah dieksekusi secara proporsional dan komprehensif, bukan lagi sekadar bergantung pada asumsi kuantitas unit usaha semata. Penetapan status prioritas memperkuat *smart village*. Permodelan kesiapan masyarakat (Tosida *et al.*, 2023), penelitian ini memperluas *smart economy* sebagai sistem yang dapat menghasilkan dalam menentukan prioritas bantuan.

3.6 Implementasi WebGIS

Hasil pemodelan diimplementasikan ke dalam sistem WebGIS berbasis web yang dikembangkan menggunakan PHP dan JavaScript (Leaflet.js). Sistem memiliki dua tingkat akses: *administrator* untuk pengelolaan data dan masyarakat untuk eksplorasi peta serta pengajuan usulan fasilitas. Antarmuka utama sistem mencakup Halaman Peta Wilayah pada Gambar 4 yang menampilkan visualisasi spasial berupa batas desa berdasarkan status IKW (Darurat, Waspada, Penyangga, Stabil) dilengkapi penanda (*marker*) UMKM, filter data, dan peringkat desa. Selain itu, terdapat Halaman *Dashboard* yang menyajikan statistik UMKM per desa dalam bentuk grafik. Sistem juga dilengkapi Halaman Input Data UMKM untuk memfasilitasi *import* data CSV dan eksekusi proses Clustering VGAE dan K-Means secara otomatis.



Gambar 4: Tampilan Halaman Peta Wilayah.

3.7 Pengujian Sistem

Pengujian sistem tervalidasi secara komprehensif melalui tiga tahapan: Uji Coba Struktural yang memastikan aksesibilitas navigasi tanpa error, Uji Coba Fungsional untuk verifikasi fitur impor CSV, Clustering, manajemen fasilitas) serta Uji Coba Validasi yang mengonfirmasi bahwa konsistensi hasil dari sistem telah sesuai dan akurat bila dikomparasikan dengan kalkulasi manual.

4. Simpulan dan Saran

Penelitian ini berhasil mengembangkan model pemodelan spasial *hybrid* menggunakan *Variational Graph Autoencoder* (VGAE) dan *K-Means Clustering* untuk pemetaan potensi UMKM di Kecamatan Kemang, Kabupaten Bogor. Model VGAE berhasil mengompresi 19 dimensi fitur atribut ekonomi dan spasial menjadi ruang laten 8 dimensi dengan MSE rekonstruksi sebesar 0.0252, yang kemudian menghasilkan 4 *Cluster* dengan *Silhouette Score* 0.5659 dan DBI 0.4169, membuktikan bahwa integrasi informasi topologi ketetanggaan spasial melalui VGAE secara nyata meningkatkan kualitas pengelompokan pada konteks data kewilayahan UMKM.

Berdasarkan Indeks Kapasitas Wilayah (IKW), 9 desa di Kecamatan Kemang berhasil dikategorikan ke dalam empat status prioritas: Desa Kemang dan Semplak Barat (Stabil), Desa Pabuaran dan Tegal (Penyangga), Desa Pondok Udik dan Bojong (Waspada), serta Jampang, Atang Senjaya, Parakan Jaya (Darurat). Hasil ini diimplementasikan dalam platform WebGIS yang memungkinkan pemerintah melakukan pengambilan keputusan strategis dan tepat sasaran untuk mewujudkan ekosistem *smart economy* yang berkelanjutan.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk: (1) menambahkan dimensi *time-series* untuk melacak perpindahan kategori UMKM dari tahun ke tahun; dan (2) mengembangkan fitur simulasi pada WebGIS untuk mengukur dampak kebijakan penambahan fasilitas baru sebelum di lapangan.

Daftar Pustaka

- Kholifah, A. N., & Andini, C. T. (2024). *Peran Umkm Terhadap Perekonomian Di Indonesia*. Jurnal Ekonomi, Manajemen dan Akuntansi, 3, 459–466.
- Muthmainnah, Akbar, J., & Ilhadi, V. (2023). Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Berbasis Web untuk Pemetaan Persebaran Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) di Kota Lhokseumawe. Jurnal Imliah Sistem Informasi, 7(2), 1–9.
- Rialmroatus, S., Wulandari, A., Reifalindraa, P., Khoirunnissa, M., & Pujiyanto (2025). Sistem Informasi Geografis Pelaku Usaha UMKM di Kota Baturaja. Jurnal Sistem Informasi Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma. Teknologi Informasi, 9675, 1–11.
- Putri, N, A., Pasaribu, L., Khairunnisa, P., Anisa, N., Erinaldi., & Dumai, S, L, K. (2026). Implementasi Kebijakan Digitalisasi UMKM di Kota Dumai: Studi tentang Efektivitas dan Tantangannya. Jurnal Administrasi Publik, 18(3), 770–782.
- Sutramiani, N. P., Arthana, I. M. T., Lampung, P, F., Aurelia, S., Fauzi, M.,

- Darma, I, W, A, S. (2024). The Performance Comparison of DBSCAN and K-Means Clustering for MSMEs Grouping Based on Asset Value and Turnover. *Jurnal of Information System Engineering and Business Intelligence*, 10(1), 13–24.
- Sari, I., Maulita, Y., Arliana., & Kadim, L, A, N. (2024). Pengelompokan UMKM Kota Binjai Menggunakan Metode Clustering K-Means untuk Mengidentifikasi Pola Perkembangan Bisnis. *Jurnal publikasi Sistem Informasi dan Telekomunikasi*, 3.
- Mutiah, S., Hasnataeni, Y., Fitrianto, A., Erfiani, & Jumansyah, L. M. R. D. (2024). Perbandingan Metode Klastering K-Means Dan Dbscan Dalam Identifikasi Kelompok Rumah Tangga Berdasarkan Fasilitas Sosial Ekonomi Di Jawa Barat. 247–260.
- Tosida, E. T., Herdiyeni, Y., Marimin., Suprehati., Harahap, R. M., & Agustian, S. (2024). Spatial-Based Smart Community Infrastructures Model of Smart Economy Sustainability in Smart Village Environment. *Journal of Sustainability Science and Management*.
- Tosida, E. T., Herdiyeni, Y., Marimin, & Suprehatin, S. (2022). Investigating the effect of technology-based village development towards smart economy: An application of variance-based structural equation modeling. *International Journal of Data and Network Science*.
- Jayawinangun, R., Tosida, E. T., Nugraha, Y. A., Aunnie, D. P., Ardiansyah, D., Sambas, A., & Saputra, J. (2024). Investigating the communication network for batik village tourism stakeholders to support smart economy in Bogor regency, Indonesia. *International Journal of Data and Network Science*.
- Sudawati, L. D. A., Huizen, R. R., & Hostiadi, D. P. (2026). Hybrid Pso K-Means And Robust Sparse K-Means For Employee. *Jurnal Ilmu Teknik dan Komputer*, 11(3), 838–850. <https://doi.org/10.33480/jitk.v11i3.7101.to>
- Qiao, W., & Luo, D. (2025). An autoencoder-based framework for analyzing regional variations in urban green space demand. *Frontiers in Sustainable Cities*, September, 1–21. <https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1642184>
- Supiyandi & Mailok, R. B. (2025). Advances in Spatial Analysis for Land Change Science: A Systematic Review of Geospatial Methodologies. *GeoScience Review*, 4(2), 1085–1103.
- Fang, Z., Liu, T., Zheng, R., Jin, A., Yin, M., & Li, M. (2024). StAA : Adversarial Graph Autoencoder For Spatial Clustering Task Of Spatially Resolved Transcriptomics. 25(1), 1–12.
- Zhang, T., Zhang, X., Wu, Z., Ren, J., Zhongqian, Z., Zhang, H., Wang, G., & Wang, T. (2025). Vgae-Cci : Variational Graph Autoencoder-Based Construction Of 3d Spatial Cell – Cell Communication. 26(1).

- Badan Pusat Statistik. (2024). <https://bogorkab.bps.go.id/>
- Fan, M., Xia, J., Zhang, H., & Zhang, X. (2024). Fault Location Method of Distribution Network Based on VGAE-GraphSAGE. *Jurnal Teknik Elektro*.
- Xu, X., Zhao, X., Wei, M., & Li, Z. (2023). A Comprehensive Review of Graph Convolutional Networks: Approaches and Applications. *Electronic Research Archive*, 31, 4185–4215. <https://doi.org/10.3934/era.2023213>
- Hodson, T. O. (2022). Root-Mean-Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE): When to Use Them or Not. *Geoscientific Model Development*, 2, 5481–5487.
- Kustiyahningsih, Y., Khozaimi, A., Khotimah, B. K., Ainiyah, A., Sari, M. M., Maghfiroh, I., Insani, A. N., & Luthfiyah, R. D. (2024). Integration K-Means Clustering And Ahp For Recommendations Batik Msmes. 01006, 1–7.
- Syafrudin, T., Hermawan, A., Avianto, D., & Maulana, I. (2025). Analisis Komparasi Algoritma K-Means dan K-Medoids dalam Segmentasi Data untuk Strategi Promosi Mahasiswa Baru di Universitas X. *Jurnal Teknik Informatika*, 14.
- Erda, G., Gunawan, C., & Erda, Z. (2023). Grouping of Poverty in Indonesia Using K-Means. *Jurnal Informatika*, 3(1), 1–6.
- Kondolele, J., Matasik, A. L., & Kannapadang, D. (2024). Pengaruh Modal Kerja terhadap Omset Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) Kabupaten Toraja Utara. *Jurnal Bisnis dan Ekonomi*, 3(6), 2208–2219.
- Lasar, V. E., & Utami, E. S. (2024). Influence Of Total Assets And Number Of Workforce On Msme Turnover (Study At The Sleman Regency Umkm Cooperative Service) Pengaruh Total Aset Dan Jumlah Tenaga Kerja Terhadap Omzet Umkm (Study Pada Dinas Koperasi Umkm Kabupaten Sleman). 7, 6537–6542.
- Canberra, L. G. W., Rencana, G. A. K., & Dewi, S. (2025). Pengaruh Modal Kerja, Lama Usaha, Serta Penggunaan Informasi Akuntansi terhadap Kinerja UMKM Bidang Fashion di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Manajemen UMKM*, 16, 14–25.
- Rahmah, A. Y., Kemala, D. I., Safitri, T., & Basri, H. (2024). Analisis Pengaruh Jumlah Omzet UMKM dan Tenaga Kerja terhadap Pendapatan Asli Daerah di Provinsi Jambi. *Jurnal Ekonomi Daerah*, 1, 108–114.
- Aftitah, F. N., Labana, J., Hasanah, K., & Hadi, N. L. (2025). Pengaruh Umkm Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Di Indonesia Pada Tahun 2023. *Kajian Dan Penalaran Ilmu Manajemen*, 3, 32–43. <https://doi.org/10.59031/jkpim.V3i1.511>
- Fardani, A., Fajri, F. N., Muhsoni, R., Hidayat, F. R., & Nugraha, Y. A. (2024). The Impact Of Umkm Growth And Road Infrastructure On Economic

Growing Impact In The Village Of Korang Mukti. 01(01), 24–36.

Tosida, E. T., Setiawan, R., Anggraeni, I., Jayawinangun, R., Sukono, S., & Saputra, J., (2023). Modelling of Citizen Science Cluster in Making Decision for Readliness Towards Bogor Smart Village: An Application of Fuzzy C-Mans Algorithm. *Decision Science Letters*, 12(3), 617-628.