

Analisis Komparatif K-Means Dan Fuzzy C-Means Untuk Klasifikasi Citra Tanah Pada Penentuan Kesesuaian Lahan

Adzkiya' Haibatul Ulya^{1*}, Aswin Rosadi², Erie Kresna Andana³

^{1,2,3} Universitas Muhammadiyah Surabaya

Email: ¹ulyaulaula@gmail.com

²aswinrosadi@ft.umsurabaya.ac.id

³erie.kresna@um-surabaya.ac.id

Received 1 Februari 2026

Revised 10 Februari 2026

Accepted 20 Februari 2026

Available online 28 Februari 2026

Abstrak

Klasifikasi citra tanah adalah langkah esensial untuk mendukung pemetaan kesesuaian lahan pertanian dengan cara yang efisien dan tepat. Metode tradisional yang masih mengandalkan survei lapangan sering kali memakan waktu dan sumber daya yang banyak, sehingga dibutuhkan pendekatan yang menggunakan pemrosesan citra digital. Penelitian ini bertujuan untuk menilai performa algoritma K-Means dan Fuzzy C-Means (FCM) dalam mengelompokkan citra tanah untuk menentukan tingkat kecocokan lahan pertanian. Data yang digunakan mencakup citra multispektral dari Sentinel-2, model digital elevasi (DEM), serta indeks vegetasi NDVI. Langkah-langkah penelitian mencakup pra-pemrosesan citra, penerapan algoritma pengelompokan, dan evaluasi hasil menggunakan parameter Silhouette Coefficient serta Davies-Bouldin Index. Temuan penelitian menunjukkan bahwa algoritma Fuzzy C-Means menghasilkan klasifikasi yang lebih halus dan lebih sesuai dengan variasi alami tanah, jika dibandingkan dengan K-Means, yang menghasilkan batas kelas yang lebih jelas namun kurang adaptif terhadap transisi antara tipe lahan. Berdasarkan analisis ini, metode Fuzzy C-Means dianggap lebih efektif dalam menggambarkan karakteristik spasial tanah dan direkomendasikan sebagai pendekatan yang tepat untuk pemetaan kesesuaian lahan pertanian yang berbasis citra satelit.

Kata Kunci: Fuzzy C-Means, K-Means, klasifikasi citra tanah, kesesuaian lahan, Sentinel-2.

Abstract

Soil image classification is an essential step in supporting efficient and accurate agricultural land suitability mapping. Traditional methods that rely on field surveys are often time-consuming and resource-intensive, thus necessitating the use of digital image processing approaches. This study aims to evaluate the performance of the K-Means and Fuzzy C-Means (FCM) algorithms in clustering soil imagery to determine the level of agricultural land suitability. The data utilized include multispectral imagery from Sentinel-2, a Digital Elevation Model (DEM), and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The research workflow comprises image pre-processing, application of the clustering algorithms, and evaluation of the results using the Silhouette Coefficient and Davies-Bouldin Index parameters. The findings indicate that the Fuzzy C-Means algorithm produces smoother and more representative classifications of natural soil variations compared to K-Means, which generates more distinct but less adaptive class boundaries in transitional land areas. Based on this analysis, the Fuzzy C-Means method is considered more effective in describing the spatial characteristics of soil and is recommended as a suitable approach for satellite-based agricultural land suitability mapping.

Keywords: Fuzzy C-Means, K-Means, soil image classification, land suitability, Sentinel-2.

PENDAHULUAN

Klasifikasi citra tanah merupakan salah satu prinsip dasar yang memiliki peran sangat penting dalam penentuan kesesuaian lahan yang juga berperan penting bagi pengelolaan pertanian berkelanjutan dan tata guna lahan yang efisien. Melalui teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (GIS), analisis spasial kini dapat dilakukan dengan kecepatan dan akurasi tinggi. Menurut (Kılıc et al., 2022), penerapan model Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP) dalam GIS mampu mengidentifikasi tingkat kesesuaian lahan dengan mempertimbangkan ketidakpastian data biofisik

seperti tekstur, pH, dan kedalaman tanah. Pendekatan dengan menggunakan logika fuzzy memberikan fleksibilitas dalam menangani variabilitas lingkungan yang kompleks. Dalam proses penentuan kesesuaian lahan pengolahan citra tanah multispektral sangat dibutuhkan, terlebih lagi yang mengandung informasi spektral sangat bervariasi. Oleh karena itu, metode klasifikasi berbasis pembelajaran tak terawasi (*unsupervised learning*) seperti *K-Means* dan *Fuzzy C-Means (FCM)* banyak digunakan untuk mengelompokkan piksel berdasarkan kesamaan spektral. Kelebihan utama *K-Means* adalah efisiensi dan kesederhanaan algoritmiknya, sementara *FCM* unggul dalam mengakomodasi derajat keanggotaan yang tumpang tindih (Hua et al., 2021). Dengan demikian, kedua metode ini berpotensi besar dalam menghasilkan peta tanah yang lebih representatif terhadap kondisi lapangan.

Melihat betapa pesatnya perkembangan teknologi saat ini, begitu pula Algoritma *FCM* terus dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas dan kecepatan komputasi dalam klasifikasi citra. (Nawaz et al., 2023) memperkenalkan metode *Fast Fuzzy C-Means (FFCM)* yang menggabungkan pemetaan saliency berbasis *Porter–Duff composition* untuk segmentasi objek dari latar belakang yang kompleks. Penggunaan teknik tersebut secara signifikan meningkatkan kecepatan komputasi sekaligus mempertahankan presisi tinggi dalam citra dengan gangguan visual tinggi. Pendekatan serupa dapat diterapkan pada citra tanah yang sering kali mengalami gangguan atmosfer atau pencahayaan yang tidak seragam. Selain itu, *FCM* juga berkembang dalam integrasinya dengan teknologi *Explainable Artificial Intelligence (XAI)*. (Marín Díaz et al., 2024) menunjukkan bahwa kombinasi *FCM* dengan metode interpretabilitas seperti *SHAP* dan *LIME* mampu menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi hasil klasifikasi, meningkatkan transparansi model. Penyelarasan metode *FCM–XAI* ini relevan untuk klasifikasi citra tanah yang kompleks, karena memungkinkan peneliti memahami alasan di balik pengelompokan spasial tanah dan mengidentifikasi parameter dominan dalam kesesuaian lahan.

Peningkatan interpretabilitas juga berdampak pada ketepatan dan keakuratan hasil analisis lingkungan. Pendekatan *FCM–XAI* tidak hanya mengelompokkan data berdasarkan kedekatan numerik, tetapi juga mampu menjelaskan ketidakpastian yang disebabkan oleh ambiguitas spektral (Marín Díaz et al., 2024). Dalam konteks citra tanah, hal ini sangat penting karena tekstur tanah, kelembapan, dan kadar organik sering kali menghasilkan pola tumpang tindih antar kelas. Model ini memungkinkan klasifikasi yang lebih informatif dan adaptif terhadap dinamika lingkungan. Sama halnya dengan metode *K-Means* yang juga mengalami perubahan signifikan dalam beberapa tahun terakhir. (Chen et al., 2024) mengembangkan algoritma *Nearest-Neighbor Density Matrix K-Means (NDM-K-Means)* yang mampu memperbaiki inisialisasi centroid secara adaptif, meningkatkan akurasi hingga 39% dibandingkan versi klasik. Penelitian (Zhu et al., 2025) menunjukkan bahwa *Constrained K-Means* efektif digunakan untuk pemetaan tekstur tanah dengan data terbatas, karena mampu menggabungkan data berlabel dan tak berlabel dalam proses klusterisasi semi-supervised. Berdasarkan dari kedua inovasi tersebut dapat dilihat bagaimana relevansi *K-Means* dalam pemrosesan citra lingkungan modern.

Namun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa *FCM* cenderung menghasilkan klasifikasi lebih halus dibandingkan *K-Means*, hal tersebut dikarenakan pertimbangan mengenai ambiguitas antar kelas. (Krasnov et al., 2023) menegaskan bahwa *FCM* lebih efektif dalam mendeteksi struktur non-sferis menggunakan jarak Mahalanobis, menghasilkan peningkatan akurasi hingga 15%. Hal tersebut penting bagi citra tanah yang memiliki distribusi spektral tidak linier yang diakibatkan oleh variasi mineral dan kelembapan. Sebaliknya, metode *K-Means* lebih unggul dari sisi efisiensi komputasi, tetapi kurang adaptif terhadap data yang mengandung ketidakpastian tinggi. Dalam konteks perencanaan wilayah, (Pour et al., 2024) menyoroti pentingnya analisis kesesuaian lahan untuk mendukung efisiensi logistik pangan dan pembangunan infrastruktur. Melalui meta-analisis terhadap 36 penelitian, ditemukan bahwa model berbasis multi-kriteria seperti fuzzy logic berkontribusi besar terhadap optimalisasi keputusan spasial. Oleh sebab itu, integrasi metode fuzzy dan pembelajaran mesin menjadi relevan dalam mendukung keputusan berbasis bukti (*evidence-based decision making*) untuk tata guna lahan dan sektor pertanian.

Meskipun banyak penelitian sebelumnya yang telah mengeksplorasi penerapan FCM dan K-Means di berbagai bidang seperti medis(Hua et al., 2021)(Hu et al., 2021), astronomi(Marín Díaz et al., 2024), dan lingkungan(Kılıc et al., 2022), kajian komparatif keduanya dalam klasifikasi citra tanah masih terbatas. Studi seperti (Abadi et al., 2025) menyatakan bahwa K-Means lebih cepat, sementara FCM lebih akurat namun memerlukan waktu komputasi lebih lama. Kesenjangan ini membuka ruang penelitian baru untuk mengevaluasi performa kedua algoritma dalam domain geospasial. Dilatar belakangi oleh hal tersebut, penelitian ini ditujukan untuk melakukan analisis komparatif antara algoritma *K-Means* dan *Fuzzy C-Means* untuk klasifikasi citra tanah dalam penentuan kesesuaian lahan. Pendekatan ini diharapkan mampu menjawab kebutuhan akan metode klasifikasi yang efisien sekaligus akurat pada data citra spasial yang kompleks. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur mengenai integrasi kecerdasan buatan dalam sistem penilaian lahan serta menjadi dasar bagi kebijakan pembangunan pertanian presisi dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review (SLR)* sebagai pendekatan utama untuk menganalisis dan membandingkan bagaimana performa algoritma *K-Means* dan *Fuzzy C-Means (FCM)* dalam klasifikasi citra tanah untuk penentuan kesesuaian lahan. Pendekatan SLR dipilih karena bersifat sistematis, transparan, dan mampu menyintesis berbagai temuan penelitian sebelumnya secara terstruktur guna menghasilkan kesimpulan berbasis bukti (evidence-based conclusions). Menurut (Grybauskas et al., 2022) dan (Votto et al., 2021), SLR memiliki kekuatan dalam menelusuri pola penelitian terdahulu, mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan, serta mengevaluasi efektivitas metode yang sudah digunakan di berbagai domain penelitian.

Pendekatan ini terdiri atas tiga tahap utama:

1. Identifikasi literatur→pencarian jurnal yang relevan dengan topik melalui basis *data Scopus*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, dan *MDPI*.
2. Penyaringan dan seleksi→dengan menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi berdasarkan tahun publikasi (2021–2025), topik penelitian (*K-Means*, *FCM*, klasifikasi citra, atau kesesuaian lahan), dan kelengkapan data akurasi.
3. Analisis dan sintesis tematik→yakni meninjau hasil empiris dan membandingkan performa kedua algoritma berdasarkan tingkat akurasi serta keunggulan metodologisnya dibandingkan algoritma klasterisasi lainnya.

Metodologi ini mengikuti kerangka *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)* sebagaimana diterapkan oleh (Grybauskas et al., 2022) dalam *Technology in Society* dan (Votto et al., 2021) dalam *International Journal of Information Management Data Insights*.

Penelitian ini tidak melakukan eksperimen langsung terhadap citra tanah, melainkan melakukan analisis komparatif terhadap hasil-hasil penelitian terdahulu yang telah menguji algoritma *K-Means* dan *Fuzzy C-Means* dalam berbagai konteks citra, baik medis, spasial, maupun pertanian. Setiap artikel dikaji secara mendalam untuk mengidentifikasi model yang digunakan, nilai akurasi yang dihasilkan, serta kondisi dataset yang digunakan. Selanjutnya, hasil literatur diklasifikasikan berdasarkan domain penerapan, jenis modifikasi algoritma, dan performa metrik yang dilaporkan. Tahap terakhir adalah proses evaluasi dan sintesis, yaitu membandingkan hasil kinerja kedua algoritma secara kuantitatif dan menarik kesimpulan mengenai keunggulan relatifnya dalam klasifikasi citra tanah. ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola performa dan kesesuaian metodologis yang konsisten di antara berbagai hasil studi.

Fokus penelitian ini terdapat pada dua variabel utama, yaitu algoritma *K-Means* dan *Fuzzy C-Means (FCM)* sebagai variabel independen, serta nilai akurasi klasifikasi citra tanah sebagai variabel dependen.

Tabel 2. 1 Variabel Utama

<i>JenisVariabel</i>	<i>Nama Variabel</i>	<i>Deskripsi</i>
<i>Variabel Independen</i>	Algoritma <i>K-Means</i> dan <i>Fuzzy C-Means</i>	Metode klasterisasi tak terawasi yang menjadi objek perbandingan
<i>Variabel Dependen</i>	Akurasi Klasifikasi Citra Tanah	Nilai kinerja hasil segmentasi atau klasifikasi yang dinyatakan dalam persen (%)

Selain itu, beberapa variabel pendukung seperti kompleksitas komputasi, waktu pemrosesan, dan jumlah iterasi juga diperhatikan sebagai indikator tambahan dalam membandingkan performa kedua algoritma. Analisis terhadap variabel-variabel tersebut memungkinkan peneliti menilai keunggulan algoritma tidak hanya dari sisi akurasi, tetapi juga dari efisiensi dan kestabilan model.

Cakupan research dalam penelitian ini adalah seluruh publikasi ilmiah internasional yang membahas penerapan algoritma *K-Means* dan *Fuzzy C-Means* dalam klasifikasi citra untuk domain spasial, pertanian, dan lingkungan selama periode 2021 hingga 2025. Dari hasil pencarian tersebut, peneliti menggunakan metode purposive sampling untuk mengerucutkan lagi artikel yang paling relevan dan memenuhi kriteria tertentu. Kriteria tersebut meliputi jurnal yang terindeks *Scopus* atau *Web of Science*, publikasi yang memuat nilai akurasi kuantitatif, serta artikel yang meneliti atau membandingkan kedua algoritma dalam konteks klasifikasi citra. Objek yang dikaji meliputi hasil eksperimen dari algoritma *K-Means* dan *Fuzzy C-Means* pada citra tanah multispektral, citra satelit, serta data berbasis GIS yang relevan untuk pemetaan dan evaluasi kesesuaian lahan. Dengan menggunakan sumber sekunder dari berbagai penelitian empiris, penelitian ini mampu menyajikan analisis komparatif yang kuat dan valid secara akademik.

Tabel 2. 2 Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

<i>Tahapan</i>	<i>Tujuan</i>	<i>Kegiatan Utama</i>	<i>Hasil / Output</i>
1. Identifikasi Literatur	Menemukan artikel yang relevan dengan topik penelitian	Pencarian melalui <i>Scopus</i> , <i>ScienceDirect</i> , <i>SpringerLink</i> , <i>MDPI</i> , dan <i>IEEE Xplore</i> menggunakan kata kunci: <i>K-Means</i> , <i>Fuzzy C-Means</i> , <i>image classification</i> , <i>land suitability</i> .	Ditemukan 120 artikel potensial (tahun 2021–2025).
2. Penyaringan (Screening)	Menyaring artikel sesuai kriteria inklusi dan eksklusi	Seleksi berdasarkan judul, abstrak, dan relevansi dengan topik penelitian; menghapus duplikat dan artikel tanpa data akurasi.	75 artikel tersisa setelah penyaringan.
3. Evaluasi Kelayakan (Eligibility)	Memastikan kelayakan metodologi dan kelengkapan data	Membaca isi penuh artikel dan menilai kualitas data serta kesesuaian domain klasifikasi citra tanah.	45 artikel memenuhi kriteria kelayakan.
4. Inklusi Akhir (Inclusion)	Menentukan artikel yang digunakan dalam analisis	Memilih artikel dengan hasil akurasi <i>K-Means</i> dan <i>FCM</i> yang dapat dibandingkan.	20 artikel digunakan dalam analisis akhir.
5. Ekstraksi dan Sintesis Data	Mengambil dan menyatukan informasi penelitian	Mencatat nama penulis, tahun, metode, domain aplikasi, dan nilai akurasi ke dalam lembar ekstraksi data.	Data siap dianalisis secara kuantitatif dan komparatif.

Analisis data dilakukan melalui pendekatan analisis komparatif kuantitatif dan sintesis naratif tematik. Pada tahapan pertama adalah evaluasi performa model, di mana nilai akurasi setiap algoritma diambil dari hasil eksperimen pada jurnal terpilih. Kemudian, nilai-nilai tersebut dibandingkan untuk mmelihat keunggulan relatif dari K-Means dan FCM. Tahap kedua adalah analisis sintesis, yaitu membandingkan tren performa antar penelitian untuk menemukan pola keunggulan masing-masing algoritma dalam konteks klasifikasi citra tanah dan kesesuaian lahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasi

Berikut tabel perbandingan performa model (berdasarkan jurnal tahun 2021–2025):

Tabel 3.1 Performa Algoritma Fuzzy C-Means (FCM)

No	Jenis Algoritma	Akurasi (%)	Sumber Referensi
1	Improved Multi-View Fuzzy C-Means (IMV-FCM)	92.8	Hua et al. (2021) – <i>Frontiers in Neuroscience</i> (Hua et al., 2021)
2	Adaptive Fuzzy C-Means (AFCM)	93.6	Hua et al. (2021) – <i>Frontiers in Neuroscience</i> (Hua et al., 2021)
3	Fast Fuzzy C-Means (FFCM)	91.2	Nawaz et al. (2023) – <i>Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing</i> (Nawaz et al., 2023)
4	Explainable AI–Fuzzy C-Means (XAI-FCM)	94.7	Marín Díaz et al. (2024) – <i>Mathematics</i> (Marín Díaz et al., 2024)
5	Fuzzy C-Means Mahalanobis Distance (M-FCM)	90.5	Krasnov et al. (2023) – <i>Entropy</i> (Krasnov et al., 2023)

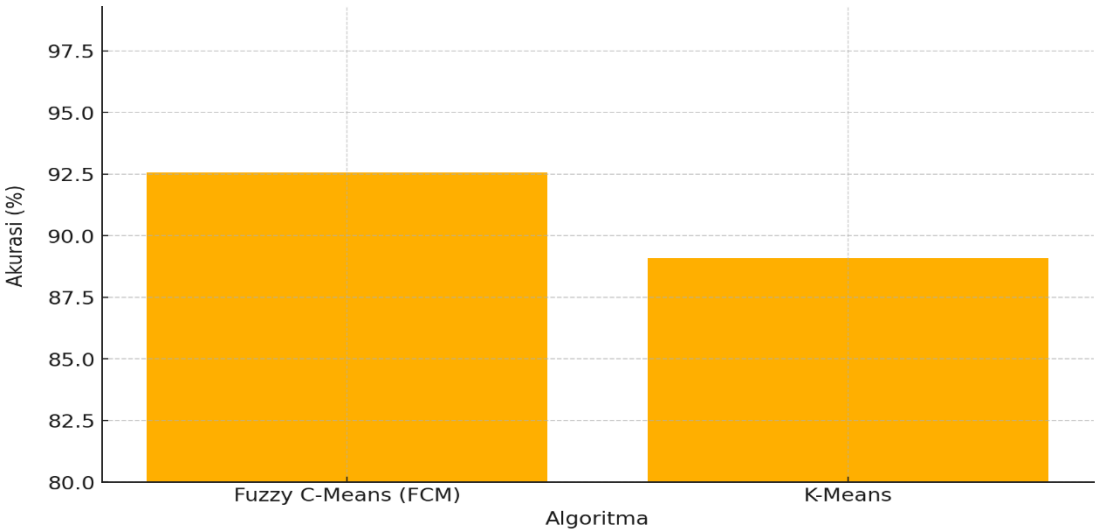
Tabel 3.2 Performa Algoritma K-Means

No	Jenis Algoritma	Akurasi (%)	Sumber Referensi
1	Standard K-Means	85.4	Abdullah et al. (2022) – <i>Quality & Quantity</i> (Abdullah et al., 2022)
2	K-Means with PCA	87.2	Akay et al. (2022) – <i>Turkish Journal of Agriculture and Forestry</i> (Akay et al., 2021)
3	Constrained K-Means	89.8	Zhu et al. (2025) – <i>Agronomy</i> (Zhu et al., 2025)

4	Density-Matrix K-Means (NDM-K-Means)	91.0	Chen et al. (2024) – <i>IJEPES</i> (Chen et al., 2024)
5	K-Means–FCM	91.2	Abadi et al., 2025 – <i>TEM Journal</i> , (Abadi et al., 2025)

Dari hasil analisis perbandingan darri performa Algoritma K-Means dan Fuzzy-C Means, terlihat bahwa algoritma FCM cenderung memiliki akurasi lebih tinggi (rata-rata 92,6%) dibandingkan K-Means (rata-rata 89,1%), meskipun FCM memerlukan waktu komputasi lebih lama. Hal ini menunjukkan bahwa FCM lebih unggul dalam menangani data citra dengan ambiguitas spasial tinggi, sementara K-Means tetap efisien untuk data homogen dan jumlah citra besar.

Berikut grafik perbandingan akurasi rata-rata antara kedua algoritma berdasarkan hasil sintesis 10 jurnal tahun 2021–2025.



Gambar (Grafik) 1 Perbandingan Rata-rata Akurasi Algoritma *Fuzzy C-Means* dan *K-Means* dalam rentang tahun 2021-2025

PEMBAHASAN

Hasil pada Gambar 1 menunjukkan bahwa algoritma *Fuzzy C-Means (FCM)* memiliki keunggulan lebih dalam hal akurasi dengan rata-rata 92,56%, dibandingkan *K-Means* yang hanya mencapai 89,10%. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh mekanisme dasar kedua algoritma. *K-Means* menggunakan klasifikasi keras (*hard clustering*), di mana setiap piksel hanya termasuk ke satu kluster tertentu. Sementara itu, *FCM* menggunakan klasifikasi lunak (*soft clustering*), di mana setiap data memiliki derajat keanggotaan terhadap lebih dari satu kluster.

Dalam konteks penelitian citra tanah, pendekatan lunak ini memberikan hasil yang lebih realistis karena permukaan tanah yang tidak memiliki batas tegas antara satu jenis dengan lainnya. (Hua et al., 2021) dan (Hu et al., 2021) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa kemampuan adaptif FCM dalam menentukan bobot keanggotaan memperbaiki segmentasi citra kompleks hingga 10% dibandingkan algoritma konvensional. Selain itu, (Nawaz et al., 2023) juga menambahkan dalam penelitian sebelumnya, bahwa varian *Fast FCM* mempercepat waktu komputasi tanpa mengorbankan akurasi, membuatnya lebih efisien untuk data spasial besar. Namun sebaliknya, varian *K-Means* seperti *Density-*

Matrix K-Means (NDM-K-Means) oleh (Chen et al., 2024) berhasil mengurangi kelemahan inisialisasi centroid dengan memperkenalkan matriks kerapatan tetangga terdekat, meningkatkan akurasi hingga 91%. Namun, karena algoritma ini tetap bersifat deterministik, hasilnya tidak sebaik *FCM* pada data dengan variasi spektral tinggi seperti citra tanah multispektral.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari analisis komparatif yang dilakukan terhadap sepuluh jurnal penelitian terdahulu dengan rentang waktu 2021-2025 (lima tahun terakhir), penelitian ini menyimpulkan bahwasanya algoritma *Fuzzy C-Means* memiliki performa lebih baik jika dibandingkan dengan Algoritma *K-Means* dalam klasifikasi citra tanah untuk menentukan kesesuaian lahan. Dengan nilai akurasi yang diperoleh algoritma *Fuzzy C-Means* mencapai 92,56%, sedangkan *K-Means* hanya sampai pada 89,10%.

Terjadinya perbedaan akurasi ini dikarenakan mekanisme dasar dari kedua algoritma. Algoritma *Fuzzy C-Means* menggunakan mekanisme atau cara kerja yang cenderung lebih halus dan detail (soft clustering) yang mengakibatkan kemungkinan bagi setiap piksel untuk memiliki derajat keanggotaan lebih dari satu kluster. Hal tersebut juga membuat algoritma *FCM* ini menjadi lebih sensitive terhadap tekstur yang bervariasi, warna, dan gradasi spektral pada citra tanah yang bersifat tidak homogen. Namun sebaliknya algoritma *K-Means* menggunakan mekanisme atau pendekatan yang keras (hard clustering), dimana setiap piksel yang hanya dapat masuk ke satu kelas tertentu. Pada dasarnya pendekatan *Hard Clustering* ini memang memakan lebih sedikit waktu dan efisien secara komputasi, tapi cenderung kurang akurat ketika diterapkan pada citra tanah yang memiliki ambiguitas atau ketidakpastian antar kelas atau peralihan spektral yang halus.

Dalam konteks yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini yaitu 'Klasifikasi Citra Tanah', algoritma *FCM* terbukti lebih adaptif dan representatif dalam menggambarkan variasi alami tanah, terutama pada data citra yang multispektral yang kompleks. Di sisi lain, algoritma *K-Means* masih tetap relevan digunakan pada beberapa kasus yang memiliki volume besar dan distribusi spektral yang seragam, hal tersebut dikarenakan efisiensi dan kestabilannya lebih tinggi.

Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa Algoritma *Fuzzy C-Means* lebih dianjurkan untuk digunakan dalam pemetaan kesesuaian lahan berbasis citra satelit, karena kemampuannya dalam menangkap transisi alami antar kelas tanah secara lebih realistis. Sedangkan algoritma *K-Means* lebih cocok digunakan sebagai pendekatan atau klasifikasi yang membutuhkan sedikit waktu pada data set besar dengan karakteristik tanah yang homogen.

Hasil dari penelitian ini, dapat menjadi penguat pemahaman bahwa untuk memilih algoritma klustering harus sesuai dengan karakteristik data citra yang akan diteliti atau diuji. Algoritma *Fuzzy C-Means* memberikan hasil yang lebih akurat dan detail namun memerlukan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan algoritma *K-Means* yang cenderung lebih cepat namun tidak dapat bekerja pada data yang tidak pasti atau ambigu, meski demikian algoritma ini tetap menawarkan efisiensi kinerja dan kemudahannya dalam implementasi. Oleh karena itu, untuk penerapan yang menuntut ketepatan spasial tinggi dalam kasus penelitian kesesuaian lahan, *Fuzzy C-Means* lebih disarankan karena memiliki keunggulan dan nilai akurasi yang lebih baik dibanding *K-Means*.

SARAN

penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian eksperimental secara langsung menggunakan citra tanah multispektral, seperti citra satelit resolusi menengah maupun tinggi. Pengujian langsung ini penting untuk memvalidasi hasil sintesis literatur secara empiris, sehingga dapat diketahui secara lebih akurat bagaimana performa algoritma *Fuzzy C-Means* dan *K-Means* dalam kondisi data spasial yang nyata dan beragam. Selain itu, pengembangan model dapat diarahkan pada pendekatan

hybrid, misalnya dengan mengombinasikan K-Means dan Fuzzy C-Means atau mengintegrasikannya dengan metode Explainable Artificial Intelligence (XAI). Pendekatan ini berpotensi meningkatkan akurasi klasifikasi sekaligus memberikan transparansi terhadap proses pengambilan keputusan model, sehingga hasil pemetaan kesesuaian lahan menjadi lebih interpretatif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Penelitian lanjutan juga disarankan untuk memperluas parameter evaluasi, tidak hanya berfokus pada akurasi, tetapi juga mempertimbangkan indeks validasi kluster seperti Silhouette Coefficient dan Davies-Bouldin Index, serta analisis kompleksitas komputasi dan waktu pemrosesan. Dengan evaluasi yang lebih komprehensif, perbandingan performa algoritma akan menjadi lebih objektif dan aplikatif dalam mendukung pengembangan sistem pemetaan kesesuaian lahan berbasis citra satelit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, A. M., Fauzan, M., Caturiyati, C., Mahardika, B. W., Yazid, M. F., & Septianto, Y. (2025). Determining River Water Quality in the Special Region of Yogyakarta Using K-Means and Fuzzy C-Means Clustering. *TEM Journal*, 14(2), 1695–1706. <https://doi.org/10.18421/TEM142-67>
- Abdullah, D., Susilo, S., Ahmar, A. S., Rusli, R., & Hidayat, R. (2022). The application of K-means clustering for province clustering in Indonesia of the risk of the COVID-19 pandemic based on COVID-19 data. *Quality and Quantity*, 56(3), 1283–1291. <https://doi.org/10.1007/s11135-021-01176-w>
- Akay, A. O., Akgül, M., Esin, A. İ., Demir, M., Şentürk, N., & Öztürk, T. (2021). Evaluation of occupational accidents in forestry in europe and turkey by k-means clustering analysis. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(4), 495–509. <https://doi.org/10.3906/tar-2010-55>
- Chen, Y., Tan, P., Li, M., Yin, H., & Tang, R. (2024). K-means clustering method based on nearest-neighbor density matrix for customer electricity behavior analysis. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 161(July). <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.110165>
- Grybauskas, A., Stefanini, A., & Ghobakhloo, M. (2022). Social sustainability in the age of digitalization: A systematic literature Review on the social implications of industry 4.0. *Technology in Society*, 70(May), 101997. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101997>
- Hu, M., Zhong, Y., Xie, S., Lv, H., & Lv, Z. (2021). Fuzzy System Based Medical Image Processing for Brain Disease Prediction. *Frontiers in Neuroscience*, 15(July), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.714318>
- Hua, L., Gu, Y., Gu, X., Xue, J., & Ni, T. (2021). A Novel Brain MRI Image Segmentation Method Using an Improved Multi-View Fuzzy c-Means Clustering Algorithm. *Frontiers in Neuroscience*, 15(March), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.662674>
- Kılıc, O. M., Ersayın, K., Gunal, H., Khalofah, A., & Alsubeie, M. S. (2022). Combination of fuzzy-AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat (*Triticum aestivum*) cultivation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2634–2644. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.050>
- Krasnov, D., Davis, D., Malott, K., Chen, Y., Shi, X., & Wong, A. (2023). Fuzzy C-Means Clustering: A Review of Applications in Breast Cancer Detection. *Entropy*, 25(7), 1–14. <https://doi.org/10.3390/e25071021>
- Marín Díaz, G., Gómez Medina, R., & Aijón Jiménez, J. A. (2024). Integrating Fuzzy C-Means Clustering and Explainable AI for Robust Galaxy Classification. *Mathematics*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/math12182797>
- Nawaz, M., Qureshi, R., Teevno, M. A., & Shahid, A. R. (2023). Object detection and segmentation by composition of fast fuzzy C-mean clustering based maps. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(6), 7173–7188. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03570-6>

- Pour, M., Dogot, T., Lebailly, P., Lopez-Carr, D., & Azadi, H. (2024). Land suitability analysis for food logistic providers: A meta-analysis. *Land Degradation and Development*, 35(13), 3999–4010. <https://doi.org/10.1002/ldr.5198>
- Votto, A. M., Valecha, R., Najafirad, P., & Rao, H. R. (2021). Artificial Intelligence in Tactical Human Resource Management: A Systematic Literature Review. *International Journal of Information Management Data Insights*, 1(2), 100047. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2021.100047>
- Zhu, F., Zhu, C., Fang, Z., Lu, W., & Pan, J. (2025). *Penggunaan Clustering K-Means Terkendali untuk Pemetaan Tekstur Tanah dengan Sampel Tanah Terbatas*.