

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Clustering

Clustering merupakan metode analisis data tidak terawasi (unsupervised learning) yang bertujuan mengelompokkan data ke dalam beberapa cluster berdasarkan tingkat kemiripan antarobjek. Objek dalam satu cluster memiliki kemiripan yang lebih tinggi dibandingkan dengan objek pada cluster lain (Torrecillas et al., 2024). Dalam kajian karakteristik tanah, clustering digunakan untuk mengelompokkan sampel tanah berdasarkan kesamaan sifat fisik dan kimia, seperti pH tanah, kandungan unsur hara, tekstur tanah, dan kelembapan tanah.

Karakteristik tanah bersifat kontinu dan tidak memiliki batas kelas yang tegas, sehingga pendekatan clustering dinilai lebih sesuai dibandingkan metode klasifikasi deterministik. Pendekatan soft clustering atau fuzzy clustering memberikan fleksibilitas dalam pengelompokan data dengan memberikan nilai keanggotaan antara 0 dan 1 pada setiap cluster, sehingga mampu merepresentasikan ketidakpastian dan variasi alami karakteristik tanah secara bertahap (Keson et al., 2023) (Al-hanbali et al., 2022).

Dengan demikian, penerapan clustering berbasis fuzzy pada data numerik karakteristik tanah dinilai relevan untuk mendukung analisis kesesuaian lahan pertanian, khususnya pada lahan hortikultura yang memiliki kebutuhan tanah spesifik, seperti tanaman melon kantalup (Buczowska & Sałata, 2023) (Zhang et al., 2023). Berikut merupakan jenis-jenis clustering:

1. Hard Clustering

Hard clustering merupakan metode pengelompokan data di mana setiap objek atau sampel hanya dapat menjadi anggota dari satu cluster secara tegas. Pada pendekatan ini, batas antarcluster ditentukan secara jelas sehingga setiap data memiliki keanggotaan mutlak pada satu kelompok tertentu (Zhu et al., 2024). Pendekatan hard clustering dinilai kurang sesuai untuk analisis karakteristik tanah karena sifat tanah bersifat kontinu dan sering berada pada kondisi transisi antar kelas. Penetapan keanggotaan secara kaku berpotensi mengabaikan variasi alami

data tanah, sehingga hasil pengelompokan kurang merepresentasikan kondisi lapangan yang sebenarnya (Keson et al., 2023)

2. Soft Clustering (Fuzzy Clustering)

Soft clustering atau fuzzy clustering merupakan metode pengelompokan data yang memungkinkan setiap objek memiliki derajat keanggotaan terhadap lebih dari satu cluster secara bersamaan. Nilai keanggotaan dinyatakan dalam rentang 0 hingga 1, yang mencerminkan tingkat kedekatan suatu data terhadap masing-masing cluster (Al-hanbali et al., 2022). Pendekatan fuzzy dinilai lebih sesuai untuk analisis kesesuaian lahan karena mampu merepresentasikan ketidakpastian dan variasi bertahap karakteristik tanah. Dengan soft clustering, hasil pengelompokan dapat diinterpretasikan sebagai tingkat kesesuaian lahan yang bersifat adaptif dan tidak kaku, sejalan dengan konsep kesesuaian lahan pertanian yang memiliki batasan kelas yang saling tumpang tindih (Ozsahin & Ozdes, 2022) (Buczowska & Sałata, 2023) (Torrecillas et al., 2024).

2.1.2 Karakteristik Tanah dan Kesesuaian Lahan

Kesesuaian lahan merupakan tingkat kecocokan suatu lahan untuk penggunaan tertentu yang ditentukan oleh karakteristik biofisik dan lingkungan, seperti pH tanah, ketersediaan unsur hara (NPK), tekstur, dan kelembapan tanah. Evaluasi kesesuaian lahan dapat dilakukan dengan mengintegrasikan Sistem Informasi Geografis (SIG/GIS) dan pendekatan fuzzy, yang memungkinkan penilaian lebih fleksibel karena mampu mengakomodasi ketidakpastian dan variabilitas kondisi lingkungan secara lebih realistis (Seyedmohammadi & Naser, 2022)

Clustering/pengelompokan kesesuaian lahan berbasis fuzzy menghasilkan nilai kontinu antara 0 dan 1, yang menggambarkan tingkat keanggotaan terhadap kelas kesesuaian tertentu. (Kılıc et al., 2022) menambahkan bahwa pendekatan Fuzzy AHP dapat mengurangi bias subyektif dalam pemberian bobot antarparameter, seperti antara kemiringan lereng dan kedalaman tanah. Tanah bertekstur liat memiliki kemampuan menahan air lebih baik, sedangkan tanah berpasir cenderung kering dan kurang sesuai. Pendekatan berbasis Fuzzy C-Means

dapat membantu memetakan pola spasial variasi sifat tanah tersebut, di mana setiap cluster mewakili kondisi kesesuaian tertentu

Kebutuhan agroekologi tanaman melon kantalup relatif spesifik dibandingkan tanaman pangan. Melon kantalup tumbuh optimal pada tanah bertekstur lempung berpasir hingga lempung, dengan pH tanah berkisar antara 6,0–7,0 serta kelembapan tanah yang baik (Taishibayeva et al., 2025). Kondisi tanah yang terlalu asam atau tergenang air dapat menghambat penyerapan unsur hara dan meningkatkan risiko penyakit akar (Buczowska & Sałata, 2023). Penilaian kesesuaian lahan untuk tanaman melon kantalup memerlukan pendekatan yang mampu mengakomodasi variasi nilai parameter tanah secara bertahap. Oleh karena itu, penerapan pendekatan fuzzy dalam clustering karakteristik tanah dinilai lebih sesuai dibandingkan pendekatan klasifikasi tegas, karena mampu merepresentasikan transisi alami tingkat kesesuaian lahan. (Keson et al., 2023) (Zhu, 2024)

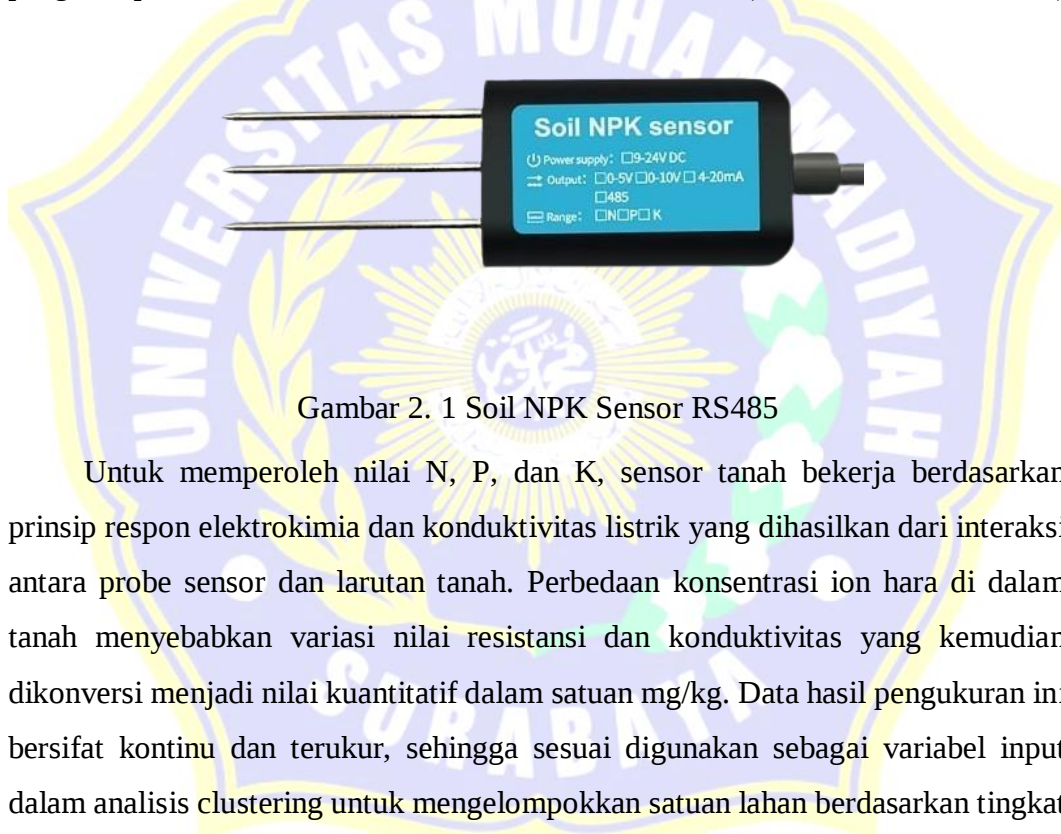
2.1.3 Soil NPK Sensor RS485

Penggunaan parameter pH, NPK, tekstur, dan kelembapan tanah dalam penelitian ini dinilai sudah cukup karena keempatnya merepresentasikan faktor kimia dan fisik utama yang secara langsung memengaruhi pertumbuhan tanaman melon kantalup. pH tanah menentukan ketersediaan unsur hara dan stabilitas nutrisi dalam tanah (Buczowska & Sałata, 2023), sedangkan unsur makro N, P, dan K berperan langsung dalam pertumbuhan vegetatif dan pembentukan buah tanaman melon (Keshtehgar et al., 2023). Dari sisi fisik, tekstur tanah memengaruhi aerasi, retensi air, dan perkembangan akar, sementara kelembapan tanah berperan dalam ketersediaan air bagi tanaman (Taishibayeva et al., 2025; Kılıc et al., 2022).

Studi kesesuaian lahan berbasis pendekatan fuzzy dan biofisik juga menekankan bahwa parameter kimia dan fisik utama tersebut merupakan indikator inti dalam evaluasi lahan pertanian (Seyedmohammadi & Naser, 2022; Al-hanbali et al., 2022). Dengan demikian, dalam konteks penelitian yang berbasis data sensor tanah dan berfokus pada karakteristik tanah, pemilihan parameter pH, NPK, tekstur,

dan kelembapan sudah representatif dan memadai untuk menggambarkan kesesuaian lahan tanaman melon kantalup.

Sensor tanah NPK dan pH merupakan perangkat berbasis sensor elektronik yang digunakan untuk memperoleh data kuantitatif mengenai karakteristik kimia tanah, khususnya kandungan nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), serta tingkat keasaman (pH). Dalam permasalahan kesesuaian lahan, parameter tersebut di sebagai indikator sifat tanah yang merepresentasikan kondisi kimia tanah pada suatu lokasi. Penggunaan sensor tanah memungkinkan akuisisi data secara cepat dan langsung di lapangan, sehingga mendukung kebutuhan analisis spasial dan pengelompokan karakteristik tanah berbasis data numerik (Naveen & Kumar, 2024)



Gambar 2. 1 Soil NPK Sensor RS485

Untuk memperoleh nilai N, P, dan K, sensor tanah bekerja berdasarkan prinsip respon elektrokimia dan konduktivitas listrik yang dihasilkan dari interaksi antara probe sensor dan larutan tanah. Perbedaan konsentrasi ion hara di dalam tanah menyebabkan variasi nilai resistansi dan konduktivitas yang kemudian dikonversi menjadi nilai kuantitatif dalam satuan mg/kg. Data hasil pengukuran ini bersifat kontinu dan terukur, sehingga sesuai digunakan sebagai variabel input dalam analisis clustering untuk mengelompokkan satuan lahan berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik kimia tanahnya. Integrasi sensor dengan mikrokontroler seperti ESP32 memungkinkan proses pengambilan dan pencatatan data dilakukan secara konsisten.(Naveen & Kumar, 2024). Secara umum mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang menerima data dari sensor, selanjutnya memproses informasi tersebut, lalu kemudian mengendalikan proses kerja sistem secara otomatis. (Rosadi et al., n.d.)

Selain unsur hara, pH tanah merupakan parameter penting yang memengaruhi stabilitas dan ketersediaan unsur hara di dalam tanah. Pengukuran pH tanah dilakukan sebagai bagian dari karakterisasi sifat kimia tanah. Sensor pH bekerja berdasarkan prinsip elektroda selektif ion hidrogen (H^+), di mana nilai potensial listrik yang dihasilkan merepresentasikan tingkat keasaman tanah. Dalam analisis kesesuaian lahan, pH berperan sebagai variabel pembeda yang menggambarkan variasi kondisi tanah antar lokasi dan berkontribusi dalam pembentukan kelompok lahan yang relatif homogen. (Sulaeman et al., 2024)

Tidak hanya mengukur parameter kimia tanah, sensor tanah juga mampu mengukur nilai konduktivitas listrik (EC) dan kelembaban tanah yang berkaitan dengan sifat fisik tanah, khususnya tekstur. Tekstur tanah memengaruhi kemampuan tanah dalam menahan air dan ion terlarut, sehingga tercermin pada variasi nilai kelembaban dan EC yang terukur oleh sensor. Tanah bertekstur kasar umumnya menunjukkan nilai kelembaban dan EC yang lebih rendah, sedangkan tanah bertekstur lebih halus seperti lempung atau liat cenderung memiliki nilai kelembaban dan EC yang lebih tinggi. (Sulaeman et al., 2024)

Penggunaan sensor tanah multi-parameter yang mampu mengukur NPK dan pH secara simultan serta dilengkapi dengan pengukuran konduktivitas listrik (EC) dan kelembaban tanah menghasilkan data yang komprehensif untuk menggambarkan variasi sifat tanah antar lokasi. Parameter EC dan kelembaban berkaitan erat dengan kondisi fisik tanah dan memengaruhi respon pembacaan sensor, namun pengulangan pengukuran dapat menghasilkan nilai yang stabil dan representatif. Kombinasi parameter NPK, pH, EC, dan kelembaban ini relevan dalam penelitian clustering kesesuaian lahan karena memungkinkan pengelompokan satuan lahan berdasarkan kemiripan karakteristik tanah secara objektif. (Sulaeman et al., 2024)

meski sensor Soil NPK RS485 mampu untuk menghasilkan parameter EC dan kelembaban tanah yang berkaitan dengan kondisi fisik tanah, penelitian ini tidak menggunakan nilai EC sebagai variabel utama dalam proses clustering. Nilai EC hanya digunakan sebagai parameter pendukung untuk membantu interpretasi kondisi tanah dan estimasi tekstur tanah. Oleh karena itu variabel utama yang

digunakan dalam proses clustering tetap berfokus pada parameter yang memiliki keterkaitan langsung dengan kesesuaian lahan tanaman melon kantalup.

2.2 Obyek penelitian

2.2.1 Kesesuaian Lahan Melon Kantalup (*Cucumis melo* L.)

Melon kantalup (*Cucumis melo* L.) merupakan tanaman hortikultura dari famili Cucurbitaceae yang dikenal memiliki keterkaitan terhadap kondisi tanah lingkungan tumbuhnya. Tanaman ini dikenal memiliki kebutuhan spesifik terhadap unsur hara makro tanah serta kondisi fisik tanah yang mendukung perkembangan sistem perakaran dan pembentukan buah. Karakter tersebut menjadikan melon kantalup sebagai tanaman yang peka terhadap variasi kondisi tanah, sehingga perbedaan karakteristik tanah dapat tercermin melalui variasi respon tanaman. (Keshtehgar et al., 2023)

Secara kimiawi, melon kantalup memerlukan keseimbangan unsur nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dalam tanah untuk mendukung proses metabolisme dan pembentukan organ tanaman. Setiap unsur memiliki peran fisiologis yang berbeda, dan ketidakseimbangan ketersediaan unsur hara dapat memengaruhi respon tanaman secara keseluruhan. Penelitian menunjukkan bahwa respon melon kantalup terhadap unsur hara tanah tidak bersifat linear, melainkan menunjukkan pola tertentu sesuai dengan rentang kondisi tanah yang tersedia. (Keshtehgar et al., 2023)

Selain faktor kimia, karakteristik fisik tanah juga berpengaruh terhadap respon melon kantalup. Tanaman ini menunjukkan performa yang lebih baik pada tanah dengan tekstur ringan hingga sedang, yang mampu menyediakan aerasi dan ketersediaan air secara seimbang. Sebaliknya, pada tanah bertekstur berat, respon tanaman cenderung menurun akibat keterbatasan ruang perakaran dan distribusi air. Perbedaan respon tersebut menunjukkan bahwa melon kantalup memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap variasi kondisi fisik tanah. (Taishibayeva et al., 2025)

Berdasarkan karakteristik tersebut, melon kantalup dapat dipahami sebagai tanaman yang mencerminkan interaksi kompleks antara kondisi kimia dan fisik

tanah. Respon tanaman yang bervariasi terhadap perbedaan karakteristik tanah menunjukkan bahwa melon kantalup memiliki nilai teoritis yang kuat sebagai objek kajian dalam studi yang berfokus pada analisis karakteristik lahan.

2.3 Algoritma Fuzzy C-Means

Fuzzy C-Means merupakan salah satu metode soft clustering yang banyak digunakan dalam pengelompokan data multidimensi, termasuk pada analisis karakteristik lingkungan dan lahan. Berbeda dengan metode hard clustering seperti K-Means yang menetapkan keanggotaan data secara mutlak, Fuzzy C-Means menggunakan konsep derajat keanggotaan (membership degree) untuk menunjukkan tingkat kedekatan suatu data terhadap setiap cluster (Yiping et al., 2021). Pendekatan ini memungkinkan satu data memiliki keterkaitan dengan lebih dari satu cluster, sehingga lebih fleksibel dalam merepresentasikan data yang bersifat gradual. FUZZY C-MEANS bekerja dengan meminimalkan fungsi objektif sebagai berikut:

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - v_j\|^2 \quad (1)$$

Fungsi objektif tersebut bertujuan meminimalkan jarak berbobot antara setiap data karakteristik tanah dan pusat cluster. Bobot berupa derajat keanggotaan fuzzy memungkinkan setiap data tanah berkontribusi secara proporsional terhadap pembentukan cluster, sehingga struktur kelompok terbentuk berdasarkan tingkat kedekatan relatif data terhadap seluruh pusat cluster. Mekanisme ini menjadikan Fuzzy C-Means lebih mampu menggambarkan kondisi tanah yang bersifat kontinu dan tidak memiliki batas kelas yang tegas.

Pemilihan algoritma Fuzzy C-Means dalam penelitian ini didasarkan pada karakteristik permasalahan, yaitu evaluasi kesesuaian lahan tanaman melon kantalup berdasarkan parameter pH tanah, kandungan unsur hara NPK, tekstur tanah, dan kelembapan tanah. Parameter-parameter tersebut menunjukkan variasi

bertahap dan sering berada pada zona transisi antar tingkat kesesuaian. Keson et al. (2023) menjelaskan bahwa kelas kesesuaian lahan pada praktiknya memiliki sifat gradual dan tidak sepenuhnya diskrit. Hal yang sama juga ditegaskan oleh Al-hanbali et al. (2022) bahwa pendekatan fuzzy lebih mampu merepresentasikan ketidakpastian dalam sistem lingkungan dibandingkan pendekatan deterministik. Zhu (2024) dalam kajian klasifikasi tanah juga menunjukkan bahwa sistem tanah bersifat kompleks dan saling tumpang tindih, sehingga model berbasis derajat keanggotaan lebih representatif dibandingkan pembagian kelas tegas.

pendekatan berbasis pembobotan seperti Fuzzy AHP tidak digunakan karena memerlukan penentuan bobot parameter secara subjektif (Kılıc et al., 2022). Dalam penelitian ini, data karakteristik tanah diperoleh langsung dari sensor dan digunakan sebagai data numerik objektif, sehingga metode berbasis kemiripan data (data-driven clustering) lebih sesuai. Fuzzy C-Means membentuk cluster berdasarkan distribusi data aktual tanpa memerlukan pembobotan subjektif, sehingga lebih netral dan konsisten dengan tujuan penelitian.

Efektivitas Fuzzy C-Means dalam pengolahan data lingkungan dan tanah juga telah dibuktikan dalam berbagai penelitian terdahulu. Wang et al. (2022) menggunakan Fuzzy C-Means dalam evaluasi kesesuaian ruang berbasis multi-parameter dan menunjukkan kestabilan hasil clustering. Sunori et al. (2023) menerapkan FUZZY C-MEANS untuk pengelompokan data tanah berdasarkan tingkat kesuburan dan menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam menangani data tanah yang heterogen. Yiping et al. (2021) bahkan mengembangkan varian Improved Multi-View Fuzzy C-Means untuk meningkatkan akurasi pada data kompleks, yang memperlihatkan fleksibilitas algoritma ini dalam menangani data multidimensi.

Dengan mempertimbangkan sifat tanah yang kontinu dan saling tumpang tindih (Keson et al., 2023; Zhu, 2024), kebutuhan representasi ketidakpastian dalam evaluasi kesesuaian lahan (Al-hanbali et al., 2022), hasil perbandingan metode clustering lingkungan (Zhao et al., 2023), serta efektivitas Fuzzy C-Means dalam penelitian lingkungan dan tanah (Wang et al., 2022; Sunori et al., 2023; Yiping et al., 2021), maka algoritma Fuzzy C-Means merupakan metode yang paling tepat

dan rasional digunakan dalam penelitian ini dibandingkan algoritma clustering lainnya. Fuzzy C-Means tidak hanya mengelompokkan data, tetapi juga memberikan informasi tingkat kedekatan setiap satuan lahan terhadap seluruh kategori kesesuaian, sehingga menghasilkan interpretasi yang lebih adaptif dan representatif terhadap kondisi agronomis tanaman melon kantalup.

2.4 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti & Judul Penelitian	Fokus & Metode Penelitian	Keterbatasan / Research Gap	Kontribusi Penelitian
1	Muhammad Akram & Muhammad Alamgir (2022) Distributed Fuzzy Clustering Algorithm for Mixed-Mode Data in Apache Spark – Journal of Big Data	Mengembangkan Distributed Fuzzy C-Medoids for Mixed Data (Fuzzy C-Meansd-MD) berbasis Apache Spark untuk big data heterogen	Menggunakan medoid sehingga komputasi lebih berat dibanding Fuzzy C-Means berbasis centroid; membutuhkan infrastruktur distributed; kurang efisien untuk dataset skala kecil-menengah seperti data tanah pertanian. Fuzzy C-Means lebih ringan (iteratif berbasis centroid) dan tidak memerlukan arsitektur distributed.	Meningkatkan skalabilitas fuzzy clustering pada big data; mampu menangani data campuran numerik-kategorikal secara efisien dalam lingkungan Spark.
2	Xu et al. (2022) Fast Weighted Fuzzy C-Medoids Based on P-Splines for Time Series Data – Sensors	PS-Wfuzzy C-MeanSdd untuk time series dengan smoothing P-spline dan pembobotan robust	Membutuhkan preprocessing tambahan (P-spline smoothing); parameter pembobotan lebih kompleks; tuning lebih sulit dibanding Fuzzy C-Means Standar. Fuzzy C-Means lebih sederhana dan tidak memerlukan smoothing eksplisit.	Meningkatkan robustnes terhadap noise; penurunan error time-series forecasting dibanding baseline Fuzzy C-Means; meningkatkan stabilitas clustering pada data fluktuatif.

No	Nama Peneliti & Judul Penelitian	Fokus & Metode Penelitian	Keterbatasan / Research Gap	Kontribusi Penelitian
3	Sakrwar et al. (2025) n-Pythagorean Fuzzy Gustafson–Kessel Clustering Algorithm – Systems & Soft Computing	Pengembangan GK berbasis n-Pythagorean fuzzy set untuk ketidakpastian tinggi	Model matematis lebih kompleks (menambahkan hesitation degree); interpretasi lebih sulit; komputasi matriks kovarians adaptif lebih berat dibanding FUZZY C-MEANS. FUZZY C-MEANS lebih stabil pada cluster sferis dan lebih mudah diinterpretasikan untuk data numerik agronomis.	Meningkatkan fleksibilitas representasi ketidakpastian; lebih efektif pada data ambigu dengan overlap tinggi.
4	Akbaş et al. (2026) Validity-Aware Gustafson–Kessel Clustering Based on Mahalanobis Distance – IJCI Systems	GK dengan optimasi indeks validitas berbasis Mahalanobis distance	Sensitif terhadap estimasi kovarians; kompleksitas lebih tinggi dari FUZZY C-MEANS; kurang stabil pada dataset kecil. FUZZY C-MEANS lebih efisien dan stabil untuk dataset ukuran sedang seperti penelitian tanah.	Menurunkan Davies–Bouldin Index dibanding GK klasik; meningkatkan validitas cluster elips.
5	Cui et al. (2025) Vector-Based Possibilistic C-Means Clustering for Image Segmentation – Artificial Intelligence Review	VBPCM untuk segmentasi citra berbasis informasi neighborhood	PCM memerlukan tuning parameter tipikalitas; risiko coincident cluster center; lebih sensitif jika parameter salah. FUZZY C-MEANS lebih konsisten untuk general-purpose clustering numerik.	Meningkatkan akurasi segmentasi citra noisy; performa lebih baik dibanding PCM standar pada dataset citra dengan noise tinggi.
6	Xinliang Zhang & Shibo Zhou (2023) WOA-DBSCAN: Application of Whale Optimization Algorithm in DBSCAN Parameter Adaption – IEEE Access	DBSCAN dengan optimasi parameter Eps & MinPts menggunakan Whale Optimization Algorithm	Tetap menghasilkan hard clustering (tanpa membership degree); kompleksitas meningkat karena metaheuristik; bergantung pada silhouette sebagai objective function. FUZZY C-MEANS langsung menghasilkan derajat keanggotaan kontinu tanpa optimasi metaheuristik tambahan.	F-value meningkat 9.8%–13.2% pada dataset artificial; akurasi meningkat hingga 22.3% pada dataset real dibanding DBSCAN klasik.

No	Nama Peneliti & Judul Penelitian	Fokus & Metode Penelitian	Keterbatasan / Research Gap	Kontribusi Penelitian
7	Sayed Mahdi Miraftebzadeh et al. (2023) <i>K-Means and Alternative Clustering Methods in Modern Power Systems – IEEE Access</i>	Evaluasi K-Means dan metode alternatif pada sistem tenaga modern	K-Means bersifat crisp; sensitif terhadap inisialisasi centroid; tidak mampu menangani overlap atau zona transisi seperti FUZZY C-MEANS. FUZZY C-MEANS lebih fleksibel karena soft assignment.	Cepat dan efisien; cocok untuk cluster terpisah jelas; banyak digunakan dalam sistem tenaga modern.
8	Roberto Rocchetta (2022) Enhancing the Resilience of Critical Infrastructures: Statistical Analysis of Power Grid Spectral Clustering and Post-Contingency Vulnerability Metrics – Renewable & Sustainable Energy Reviews	Spectral clustering untuk islanding jaringan listrik pasca kontingensi	Hard partition berbasis eigenvector; komputasi eigen-decomposition berat ($O(n^3)$); tidak menghasilkan membership gradual seperti FUZZY C-MEANS.	Menghubungkan spectral clustering dengan metrik vulnerability; meningkatkan analisis resiliensi jaringan listrik.
9	Peijun Zheng, Heng Zhou, Jiang Liu, Yosuke Nakanishi (2023) Interpretable Building Energy Consumption Forecasting using Spectral Clustering Algorithm and Temporal Fusion Transformers Architecture – Applied Energy	Spectral clustering untuk dekomposisi pola energi + TFT forecasting	Clustering deterministik dan crisp; tidak menangkap ambiguitas antar pola; tidak menghasilkan derajat keanggotaan seperti FUZZY C-MEANS.	MAPE mencapai 6.11%; lebih rendah dibanding model pembandingan; meningkatkan interpretabilitas forecasting energi.

No	Nama Peneliti & Judul Penelitian	Fokus & Metode Penelitian	Keterbatasan / Research Gap	Kontribusi Penelitian
10	Hasnaa Imad Al-Shaikhli et al. (2024) <i>SS-DBSCAN: Semi-Supervised Density-Based Spatial Clustering of Applications With Noise for Meaningful Clustering in Diverse Density Data – IEEE Access</i>	Semi-Supervised DBSCAN dengan constraint tambahan pada core point	Memerlukan informasi awal (semi-supervised); tetap hard clustering; tidak memberikan membership degree kontinu seperti FUZZY C-MEANS	Peningkatan V-measure hingga 65% (letters dataset) dan 14.5% (Iraqi-MSA dataset) dibanding DBSCAN klasik.

Dapat dilihat dari penelitian terdahulu yang tertera pada tabel 2.1, bisa disimpulkan bahwa algoritma Fuzzy C-Means telah banyak digunakan dalam penelitian data lingkungan dan juga tanah. Akan tetapi Sebagian besar focus penelitian berada pada klasifikasi, kesuburan, ataupun sistem pendukung Keputusan umum, dan belum secara spesifik mengkaji evaluasi kesesuaian tanah untuk tanaman hortikultura tertentu. Karena itulah penelitian ini berfokus pada pengelompokkan karakteristik tanah menggunakan algoritma Fuzzy C-Means sebagai dasar rekomendasi kesesuaian tanah /lahan untuk tanaman melon kantalup sehingga memiliki urgensi dan kebaruan secara ilmiah.

2.5 Analisa Kebaruan Penelitian

Penelitian terdahulu terkait evaluasi kesesuaian lahan umumnya menggunakan pendekatan deterministik berbasis GIS, AHP, atau fuzzy logic berbasis aturan tetap, yang menetapkan batas kelas secara tegas. Pendekatan tersebut kurang mampu merepresentasikan variasi alami dan ketidakpastian karakteristik tanah yang bersifat kontinu. Selain itu, sebagian penelitian lebih menitikberatkan pada aspek makro lingkungan atau pemetaan wilayah, tanpa mengolah data karakteristik tanah hasil pengukuran langsung sebagai dasar utama penentuan kesesuaian lahan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan algoritma Fuzzy C-Means untuk mengelompokkan karakteristik fisik dan kimia tanah berdasarkan data primer hasil pengukuran sensor, dengan menjadikan kebutuhan agroekologi tanaman melon kantalup sebagai dasar interpretasi hasil clustering. Setiap cluster diinterpretasikan sebagai tingkat kesesuaian lahan, sehingga menghasilkan rekomendasi kesesuaian tanah yang bersifat bertahap, adaptif, dan lebih representatif terhadap kondisi lapangan.

