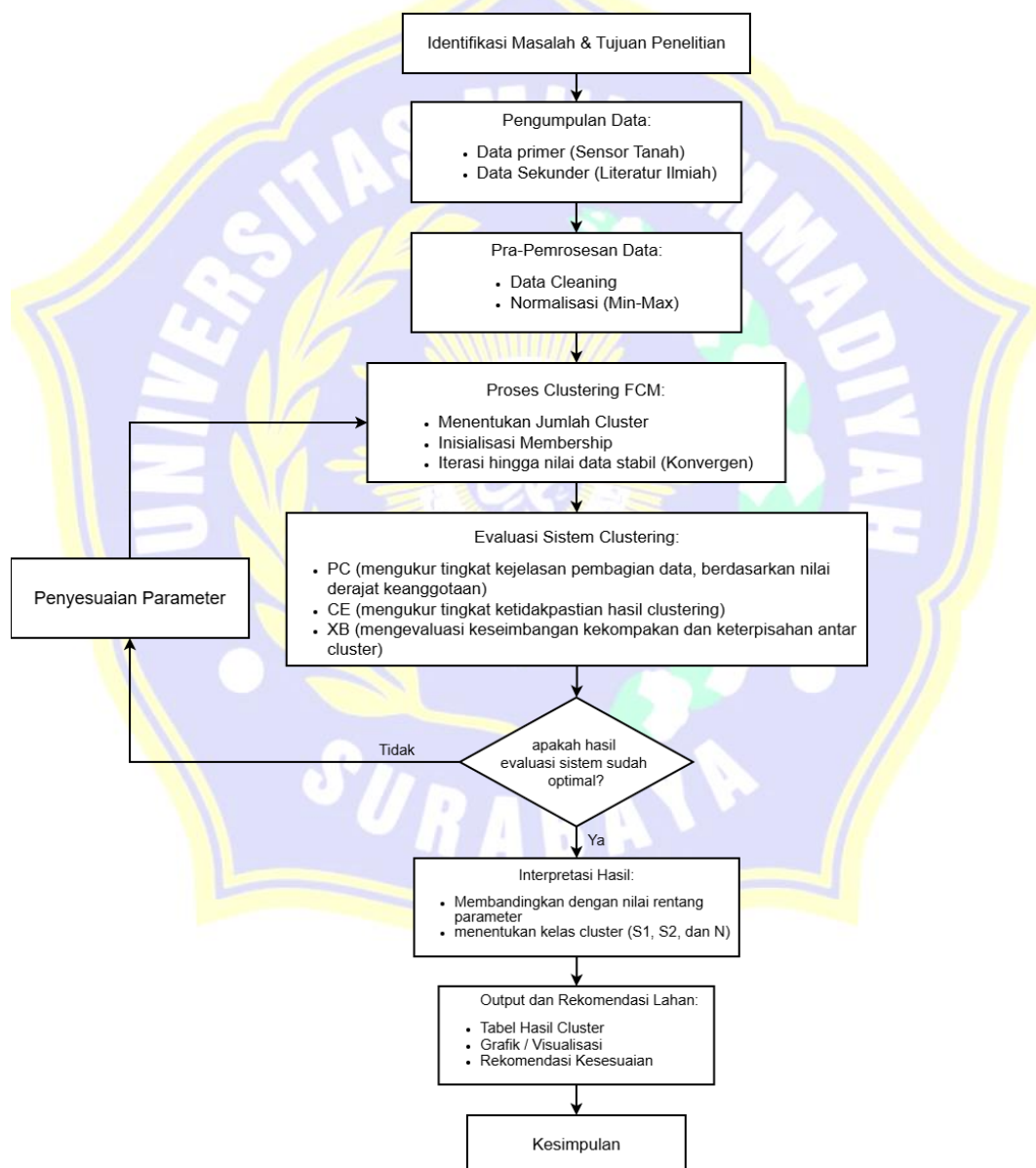


### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan metodologi penelitian yang digunakan untuk mengelompokkan karakteristik fisik dan kimia tanah berdasarkan kesesuaian lahan tanaman melon kantalupe menggunakan algoritma Fuzzy C-Means. Setiap tahapan penelitian dijelaskan secara terstruktur untuk memastikan ketercapaian tujuan penelitian. berikut untuk alur penelitiannya. Untuk tahapan penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Diagram alur penelitian yang disajikan pada Gambar 3.1 menggambarkan urutan metodologis tahapan penelitian, mulai dari identifikasi masalah dan penetapan tujuan penelitian hingga penarikan kesimpulan. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah persiapan data, termasuk pengumpulan dan prapemrosesan data karakteristik tanah. Langkah selanjutnya adalah mengelompokkan data menggunakan algoritma Fuzzy C-Means (FUZZY C-MEANS) serta mengevaluasi kualitas hasil pengelompokan tersebut. Data penelitian tidak diubah, tetapi parameter algoritma disesuaikan jika hasil pengelompokan tidak optimal. Setelah hasil pengelompokan yang optimal diperoleh, hasil tersebut dievaluasi untuk memastikan kesesuaiannya dengan tujuan penelitian, kemudian dianalisis dan diinterpretasikan sebagai dasar untuk menarik kesimpulan penelitian. Tahapan metodologi penelitian disusun secara berurutan dan divisualisasikan dalam diagram alur untuk menggambarkan keseluruhan proses penelitian.

### **3.1 Pengumpulan Data**

Pada penelitian ini, data yang digunakan berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data utama yang nantinya akan dijadikan input dalam penelitian ini, diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan pada lokasi penelitian. Selain data primer, penelitian ini juga menggunakan data sekunder, berupa Data yang diperoleh dari berbagai sumber literatur ilmiah, seperti jurnal penelitian, laporan lembaga resmi (FAO), serta basis data tanah global (SoilGrids).

#### **3.1.1 Data Primer**

Data yang digunakan dalam penelitian ini sebagian besar merupakan data yang diperoleh di lapangan dengan bantuan sensor. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sensor NPK Tanah. Sensor ini mengukur pH, unsur hara seperti NPK, dan kelembaban tanah. Sensor ini juga dapat memperkirakan tekstur tanah berdasarkan konduktivitas listrik dan kadar kelembaban tanah. Data tersebut merupakan kondisi nyata dari tanah atau lahan yang akan dianalisis. Data di atas merupakan masukan utama dalam proses pengelompokan menggunakan algoritma Fuzzy C-Means Parameter data primer meliputi sifat fisik dan kimia tanah, seperti

pH tanah, kandungan nutrisi utama (nitrogen, fosfor, dan kalium), tekstur tanah, serta kelembaban tanah. Data primer dikumpulkan dalam bentuk numerik untuk diproses secara langsung pada tahap pra-pemrosesan dan pengelompokan. Data primer ini nantinya akan digunakan sebagai masukan utama dalam implementasi sistem Fuzzy C-Means.

Data untuk penelitian ini dikumpulkan di berbagai petak pengamatan. Kami mengambil sampel pada lima titik di setiap petak yang mewakili kondisi keseluruhan petak tersebut. Pada setiap titik, pembacaan sensor dilakukan secara berurutan untuk meminimalkan fluktuasi dan derau (noise) pengukuran. Nilai akhir pada setiap titik diperoleh dengan merata-ratakan 100 hasil pembacaan data. Nilai karakteristik tanah tersebut kemudian dihitung berdasarkan data dari kelima titik pengukuran, sehingga setiap petak dicirikan oleh kumpulan data yang mencakup beberapa parameter: pH, kadar air, nitrogen, fosfor, kalium, dan tekstur. Metode ini digunakan untuk meningkatkan keterwakilan data serta mengurangi dampak variasi lokal pada setiap titik pengukuran.

### **3.1.2 Data Sekunder**

Data sekunder dalam penelitian ini tidak digunakan sebagai input utama algoritma, melainkan sebagai data pembanding dan pendukung untuk memvalidasi rentang nilai data primer serta membantu proses interpretasi hasil clustering. Data sekunder tersebut berupa rentang nilai tiap parameter yang digunakan dalam penelitian yang diambil dari literatur ilmiah. Data ini berfungsi untuk memastikan bahwa hasil pengelompokan oleh sistem clustering tetap sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

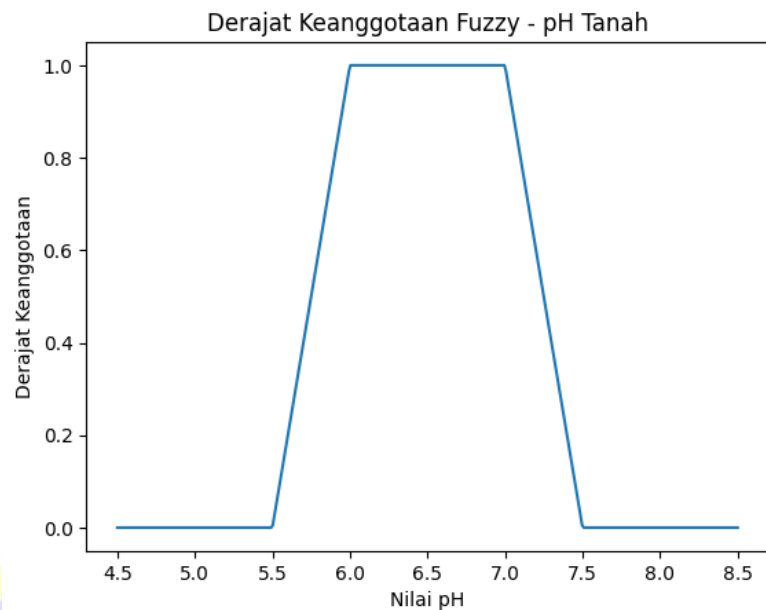
Rentang nilai parameter pada tabel berikut tidak digunakan sebagai label awal dalam proses clustering, melainkan sebagai referensi agroekologi yang digunakan untuk menginterpretasikan pusat cluster hasil algoritma Fuzzy C-Means. Proses clustering dilakukan secara unsupervised berbasis data primer, sedangkan kategori S1, S2, dan N digunakan sebagai kerangka interpretatif berdasarkan literatur agronomi dan pedoman FAO.

Tabel 3. 1 Rentang Nilai Referensi Agroekologi Tanaman Melon untuk Interpretasi Hasil Clustering

| Parameter           | Rentang Optimal (Literatur)                  | Rentang Toleransi           | Sumber Ilmiah                                     |
|---------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| pH Tanah            | 6,0 – 7,0                                    | 5,5 – 7,5                   | FAO Ecocrop (2023); Buczkowska & Sałata (2023)    |
| Nitrogen (N-total)  | $\geq 0,50$ mg/kg                            | 0,20 – <0,50 mg/kg          | Keshtehgar et al. (2023); FAO Ecocrop (n.d.)      |
| Fosfor (P-tersedia) | 30 – 59 mg/kg                                | 15 – <30 mg/kg              | Keshtehgar et al. (2023); FAO Ecocrop (n.d.)      |
| Kalium (K-tersedia) | 300 – 780 mg/kg                              | 150 – <300 mg/kg            | Keshtehgar et al. (2023); FAO Ecocrop (n.d.)      |
| Tekstur Tanah       | Lempung berpasir – Lempung (sandy loam–loam) | Lempung liat                | FAO Ecocrop (2023); Taishibayeva et al. (2025)    |
| Kelembapan Tanah    | 60 – 80 % kapasitas lapang                   | 40 – <60 % kapasitas lapang | Han et al. (2021); FAO (2011); Kementan RI (2008) |

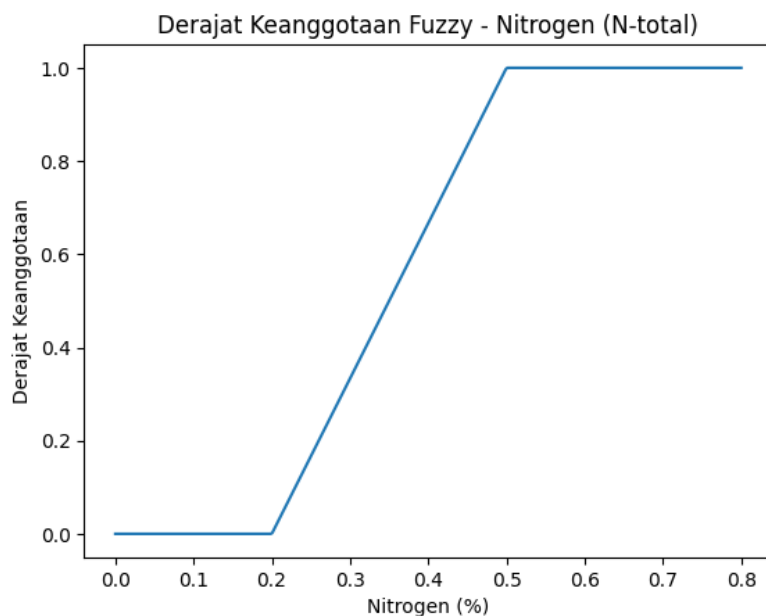
Rentang nilai N,P,K pada penelitian ini diadaptasi dari hasil pengamatan empiris yang dilakukan (Keshtehgar et al., 2023) pada penelitiannya, pengelompokan kesesuaian lahan dilakukan secara operasional untuk keperluan interpretasi hasil clustering dan tidak dimaksudkan sebagai standar universal kesuburan tanah. Data sekunder tersebut digunakan sebagai data sekunder pembandingan untuk memvalidasi kewajaran hasil penelitian, bukan sebagai data utama atau standar baku. Perbandingan ini bertujuan untuk memastikan bahwa nilai yang diperoleh masih berada pada rentang agronomis yang dilaporkan atau dinyatakan pada penelitian sebelumnya.

### 3.1.3 Grafik Fuzzifikasi



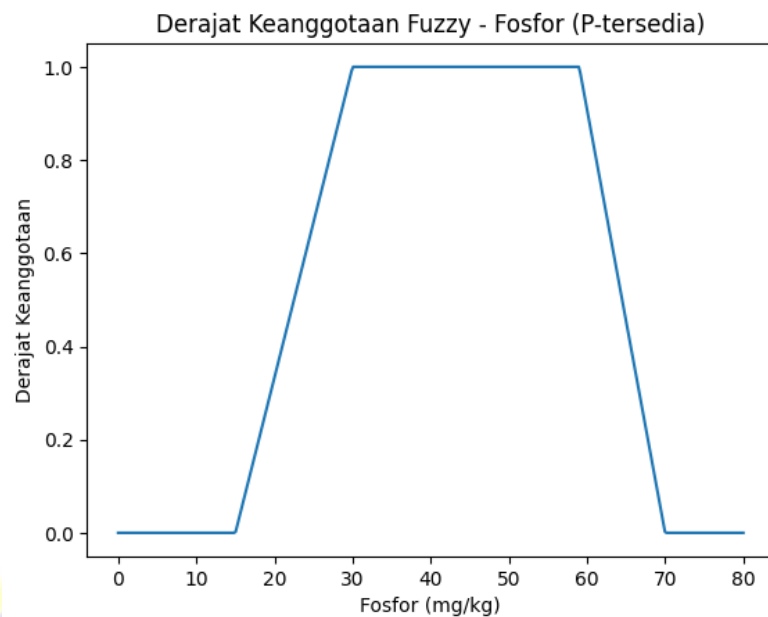
Gambar 3. 2 Nilai derajat keanggotaan untuk pH tanah

pH netral berada pada kisaran angka 6-7, sangat ideal untuk penyerapan NKP, tanah yang terlalu asam/basa (pH terlalu tinggi/rendah) akan menurunkan derajat keanggotaan.



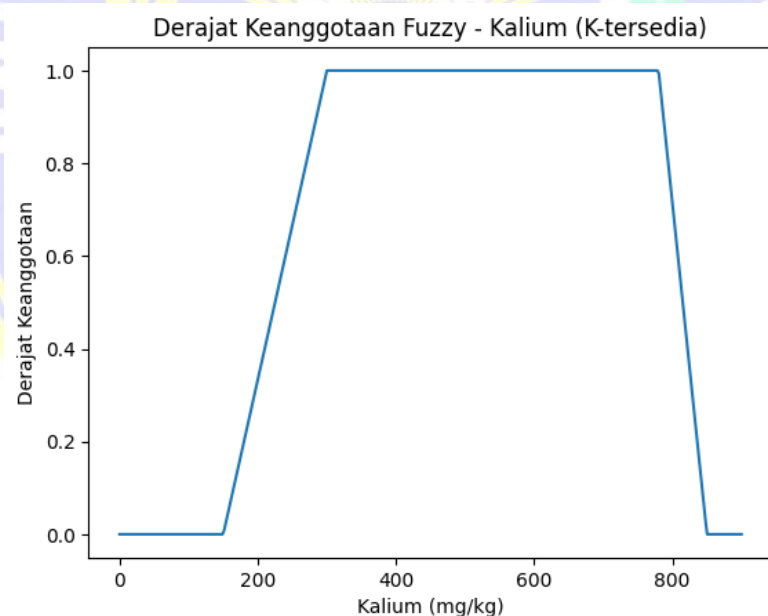
Gambar 3. 3 Nilai Derajat Keanggotaan Untuk Nitrogen(N)

Semakin tinggi nilai N, maka semakin sesuai. kandungan nitrogen dibawah 0,20% menyatakan bahwa tanah tersebut kekurangan nitrogen.



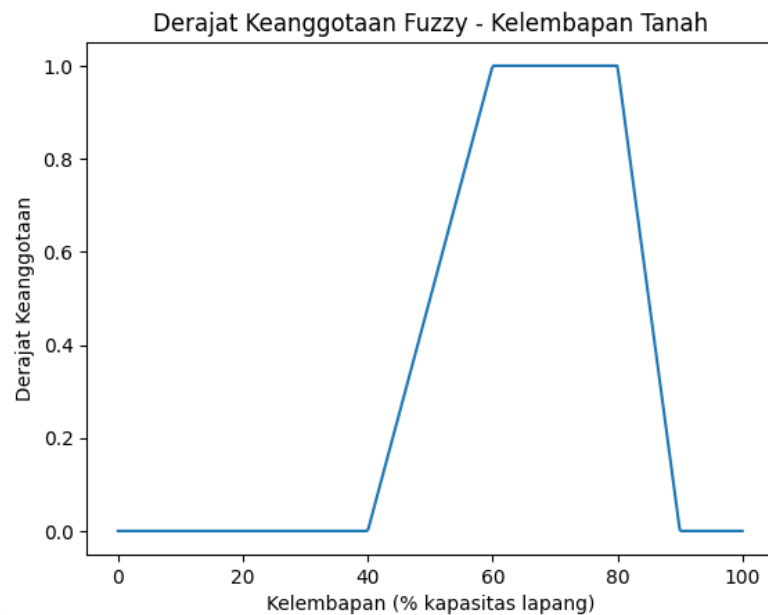
Gambar 3. 4 Nilai Derajat Keanggotaan Untuk Fosfor(P)

Fosfor berperan untuk mendukung pembentukan akar dan bunga, jika nilai P terlalu tinggi atau rendah akan menurunkan Tingkat kesesuaian.



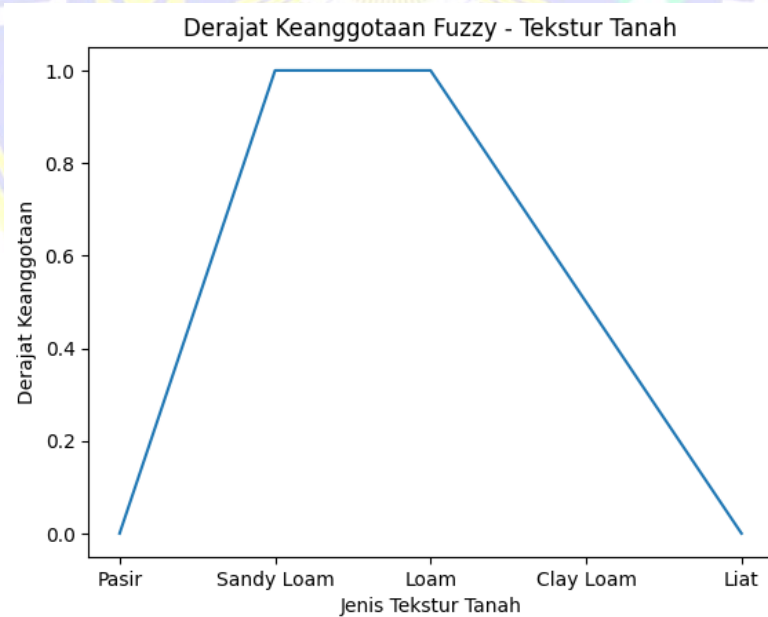
Gambar 3. 5 Nilai Derajat Keanggotaan Untuk Kalium(K)

Kandungan kalium penting untuk kualitas buah melon, tanah yang mengandung nilai K berlebihan atau kekurangan yang ekstrem akan menurunkan kualitas pertumbuhan dan buahnya.



Gambar 3. 6 Nilai Derajat Keanggotaan Untuk Kelembapan Tanah

Kelembapan ideal untuk tanah tanaman melon berada pada kondisi yang cukup lembap dan tidak terlalu kering atau jenuh air. Pada grafik diatas, kadar air dibawah 40% menyatakan bahwa kadar air tanah tersebut diluar toleransi atau kekurangan kadar air, begitupun untuk kadar air diatas 80% menyatakan bahwa kadar air terlalu tinggi, dapat meningkatkan risiko pembusukan akar tanaman.



Gambar 3. 7 Nilai Derajat Keanggotaan Untuk Tekstur Tanah

Semakin tekstur tanah tersebut mendekati lempung berpasir-lempung, semakin tinggi juga derajat keanggotaannya untuk kategori sesuai.

### 3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan karakteristik tanah berdasarkan tingkat kesesuaian lahan tanaman melon kantalup menggunakan algoritma Fuzzy C-Means (FUZZY C-MEANS). Seluruh proses analisis didasarkan pada data numerik hasil pengukuran sensor tanah. Komponen utama dari pengolahan data terdiri atas beberapa tahapan berikut:

1. Akuisisi Data Karakteristik Tanah

Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan sensor tanah. Parameter yang diukur meliputi pH tanah, kandungan unsur hara utama (N, P, dan K), tekstur tanah, serta kelembapan tanah. Data hasil pengukuran sensor disusun dalam bentuk data numerik terstruktur dan digunakan sebagai input utama algoritma Fuzzy C-Means. Selain data primer, digunakan data sekunder berupa nilai ideal karakteristik tanah tanaman melon kantalup dari literatur ilmiah sebagai acuan pembandingan pada tahap interpretasi hasil, bukan sebagai input clustering (Buczowska & Sałata, 2023) (Keshtehgar et al., 2023)

2. Pra-pemrosesan dan Normalisasi Data

Data primer yang diperoleh selanjutnya melalui tahapan pembersihan data (data cleaning) untuk mengatasi data hilang dan nilai ekstrem, guna menghindari bias dalam analisis fuzzy (Wang et al., 2022). Setelah itu, dilakukan normalisasi data menggunakan metode Min–Max Normalization agar seluruh parameter berada pada skala yang seragam (Han et al., 2021) (Kılıc et al., 2022). Tahapan ini bertujuan memastikan setiap parameter memiliki kontribusi yang seimbang dalam proses clustering.

Normalization: Menggunakan Min–Max Normalization

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (2)$$

### 3. Clustering Menggunakan Algoritma Fuzzy C-Means

Tahap inti rancangan sistem adalah proses clustering karakteristik tanah menggunakan algoritma Fuzzy C-Means. Jumlah cluster ditetapkan sebanyak tiga cluster, yang merepresentasikan tingkat kesesuaian lahan, yaitu sangat sesuai(S1), cukup sesuai, dan kurang sesuai. penetapan jumlah cluster sebanyak tiga ini tidak dilakukan secara arbitrer, melainkan ditetapkan dengan pertimbangan konsep kesesuaian lahan yang terdiri atas kategori Sangat Sesuai(S1), Cukup Sesuai(S2), dan Tidak Sesuai(N), serta didukung oleh pertimbangan evaluasi kualitas clustering menggunakan cluster validity index. Cluster Validity Index (CVI) digunakan untuk menilai keseimbangan antara intra-cluster cohesion dan inter-cluster separation dalam suatu struktur cluster (Ikotun et al., 2025). Dalam konteks automatic clustering, CVI berperan sebagai fungsi evaluasi untuk menentukan konfigurasi cluster yang paling optimal secara matematis. Oleh karena itu, beberapa alternatif jumlah cluster diuji dan dibandingkan menggunakan indeks validasi internal sebelum menetapkan tiga cluster sebagai konfigurasi akhir. Algoritma FUZZY C-MEANS digunakan karena mampu merepresentasikan ketidakpastian dan sifat gradual karakteristik tanah, di mana setiap sampel tanah dapat memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu (Al-hanbali et al., 2022) (Zhu, 2024).

### 4. Evaluasi dan Interpretasi Hasil

Hasil clustering dievaluasi secara internal menggunakan indikator validasi clustering, seperti fungsi objektif dan indeks pemisahan cluster, untuk memastikan kualitas dan kestabilan hasil pengelompokan (Han et al., 2021). Selanjutnya, hasil cluster diinterpretasikan dengan membandingkan karakteristik tanah pada setiap cluster terhadap nilai ideal dari data sekunder. Tahap ini bertujuan untuk menentukan tingkat kesesuaian lahan secara agronomis bagi tanaman melon kantalup.

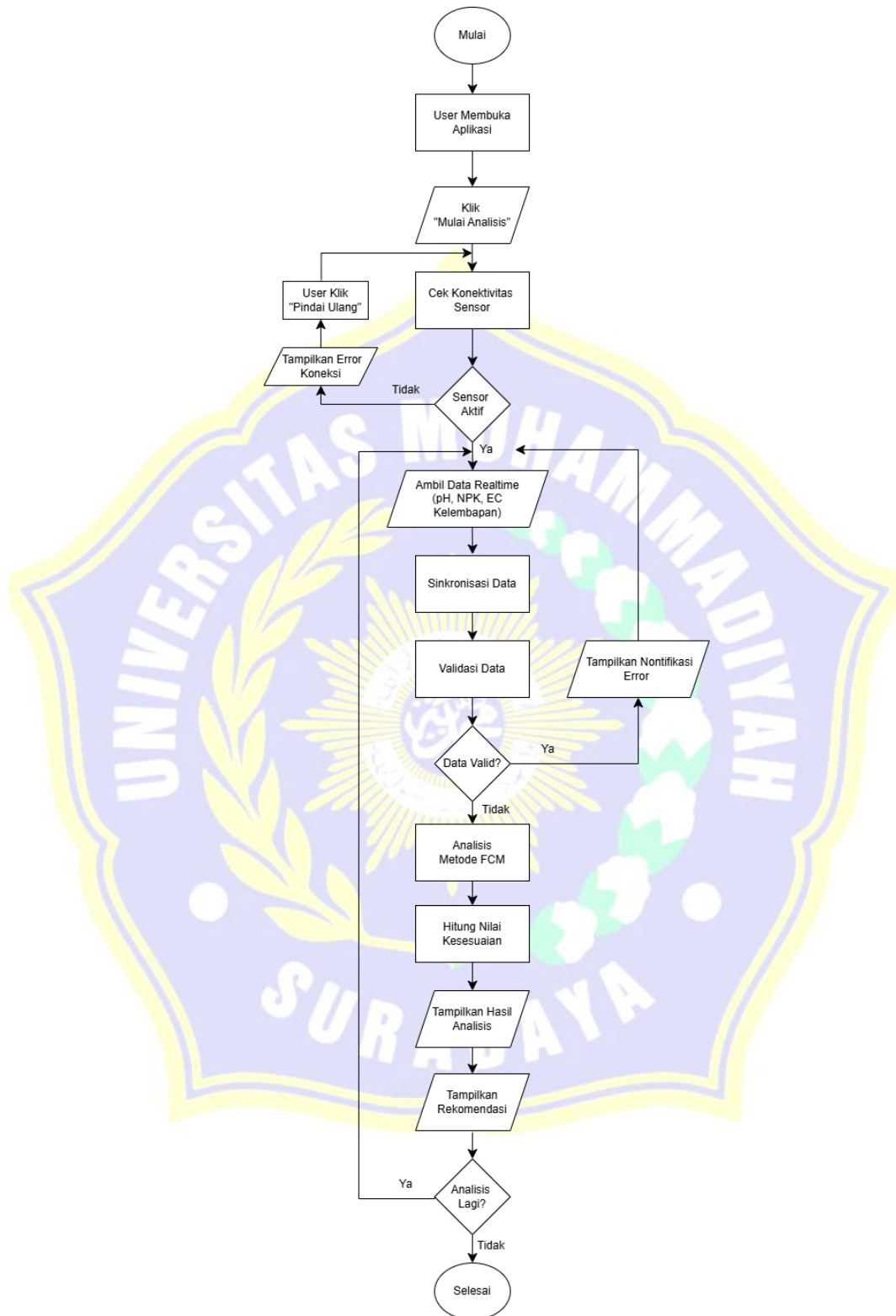
### 5. Penyajian Output dan Rekomendasi

Output akhir penelitian disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan visualisasi pendukung yang menggambarkan karakteristik setiap cluster dan tingkat kesesuaian lahannya. Geographic Information Sistem (GIS), apabila

digunakan, hanya berperan sebagai media visualisasi hasil clustering dan rekomendasi kesesuaian lahan, tanpa terlibat dalam proses analisis atau penentuan kelas kesesuaian lahan (Zhang et al., 2023). Hasil akhir berupa rekomendasi kesesuaian lahan berdasarkan pengelompokan karakteristik tanah.



### 3.2.1 Flowchart Sistem



Gambar 3. 8 Flowchart Sistem

Flowchart Alur kerja sistem dapat dilihat pada Gambar 3.8, merupakan representasi alur proses sistem secara keseluruhan dalam analisis kondisi tanah berbasis data sensor. diagram tersebut menjelaskan hubungan antar proses, pengambilan Keputusan, serta alur data yang terjadi dalam sistem. oleh sebab itu, diperlukan penjabaran lebih lanjut mengenai fungsi dan peran dari setiap tahapan yang terdaat dalam flowchart tersebut.

1. Proses dimulai pada tahap mulai (start) yang menandakan awal dari keseluruhan sistem.
2. Pengguna membuka aplikasi Website dan masuk ke halaman utama (dashboard) sebagai antarmuka awal sistem.
3. Pengguna menekan tombol “Mulai Analisis” sebagai perintah untuk memulai proses pengambilan data dan analisis kondisi tanah.
4. Sistem melakukan proses pengecekan konektivitas sensor untuk memastikan bahwa perangkat sensor yang digunakan dalam kondisi terhubung dan siap digunakan.
5. Sistem melakukan pengambilan keputusan terhadap status sensor. Apabila sensor tidak aktif atau tidak terhubung, maka sistem akan menampilkan pesan kesalahan (error) koneksi kepada pengguna. Selanjutnya, pengguna diberikan opsi untuk melakukan pemindaian ulang hingga sensor kembali terhubung. Apabila sensor aktif, maka sistem melanjutkan ke tahap berikutnya.
6. Sistem melakukan pengambilan data secara real-time dari sensor yang meliputi parameter pH tanah, kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), serta kelembaban tanah.
7. Data yang diperoleh dari sensor kemudian melalui proses sinkronisasi data ke dalam sistem untuk memastikan data tersimpan dan siap diproses.
8. Sistem melakukan validasi data untuk memastikan bahwa data yang diperoleh tidak kosong, tidak mengalami kesalahan pembacaan, serta berada dalam rentang nilai yang wajar.

9. Sistem melakukan pengambilan keputusan terhadap hasil validasi data. Apabila data tidak valid, maka sistem akan menampilkan notifikasi kesalahan kepada pengguna dan proses analisis tidak dilanjutkan dan Kembali ke tahap pengambilan data. Sebaliknya, apabila data valid, maka sistem melanjutkan ke tahap analisis.
10. Sistem melakukan proses analisis menggunakan metode Fuzzy C-Means (FUZZY C-MEANS). Pada tahap ini, data yang telah divalidasi akan diolah untuk menentukan kelompok kesesuaian lahan berdasarkan parameter yang telah diperoleh.
11. Sistem melakukan perhitungan nilai kesesuaian lahan berdasarkan hasil analisis, yang diklasifikasikan ke dalam kategori S1 (Sangat Sesuai), S2 (Sesuai), dan N (Tidak Sesuai).
12. Sistem menampilkan hasil analisis kepada pengguna dalam bentuk informasi status kesesuaian lahan, persentase tingkat kesesuaian, serta nilai dari masing-masing parameter yang diukur.
13. Berdasarkan hasil analisis tersebut, sistem menghasilkan dan menampilkan rekomendasi tindakan yang dapat dilakukan oleh pengguna, seperti saran pemupukan, pengelolaan irigasi, maupun perbaikan kondisi tanah.
14. Sistem memberikan pilihan kepada pengguna untuk melakukan analisis ulang. Apabila pengguna memilih untuk melakukan analisis ulang, maka sistem akan kembali ke tahap pengambilan data. Sebaliknya, apabila tidak, maka proses dilanjutkan ke tahap akhir.
15. Proses diakhiri pada tahap selesai (end) yang menandakan bahwa seluruh rangkaian analisis telah selesai dilakukan.

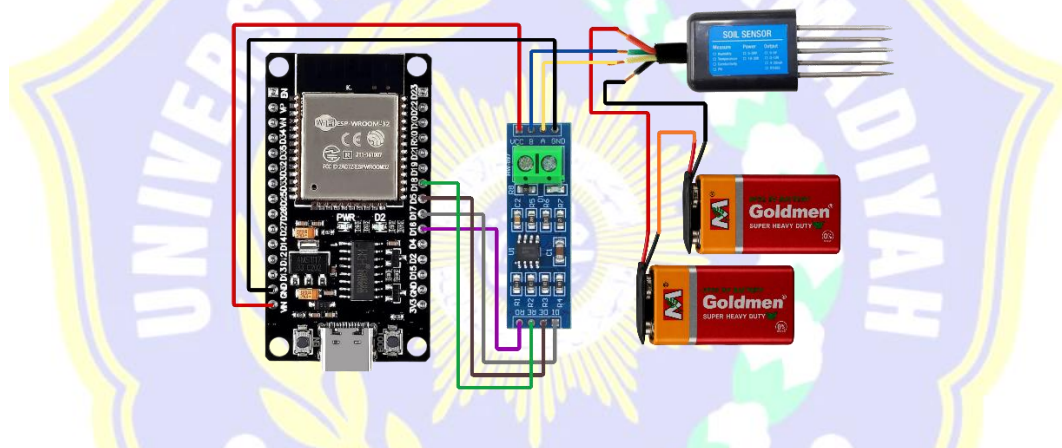
### **3.3 Rancangan dan Desain yang diusulkan**

Rancangan sistem dalam penelitian ini dikembangkan untuk mengolah data karakteristik tanah menjadi informasi tingkat kesesuaian lahan tanaman melon kantalup menggunakan algoritma Fuzzy C-Means. Sistem dirancang secara terstruktur melalui tahapan input data, pemrosesan model, dan interpretasi hasil sehingga membentuk alur analisis yang logis dan dapat direplikasi. Secara

konseptual, alur sistem divisualisasikan dalam flowchart pada Gambar 3.2, sedangkan penjelasan berikut memfokuskan pada mekanisme pengembangan model yang dilakukan.

### 3.3.1 Prototype Rancangan Sistem

Prototype sistem merupakan representasi implementasi perangkat keras yang digunakan untuk memperoleh data karakteristik tanah secara langsung di lapangan. Sistem terdiri atas sensor pH dan NPK tanah yang terhubung ke ESP32 melalui modul komunikasi RS485 berbasis protokol Modbus RTU. ESP32 berperan sebagai pengendali utama yang bertugas mengirimkan perintah pembacaan data serta menerima hasil pengukuran dari sensor. Wiring Prototype sistem ditunjukkan pada Gambar 3.9



Gambar 3. 9 Wiring Diagram Sistem

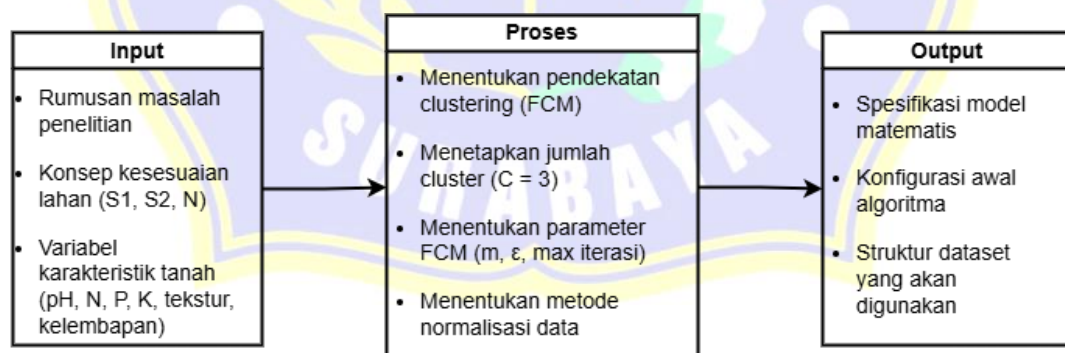
Penggunaan modul RS485 dipilih karena sensor pH/NPK bekerja menggunakan komunikasi diferensial Modbus yang lebih stabil terhadap gangguan noise dan mampu mentransmisikan data dalam jarak yang relatif lebih jauh dibandingkan komunikasi serial biasa. Rangkaian sistem mencakup jalur suplai daya (VCC dan GND), jalur komunikasi serial (TX dan RX) dari ESP32 ke modul RS485, serta jalur komunikasi diferensial A dan B dari modul RS485 menuju sensor. Data hasil pembacaan berupa nilai pH, Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), dan kelembapan tanah dikirim ke ESP32 untuk selanjutnya disimpan dan diproses pada tahap pengolahan model. Prototype ini menjadi fondasi pada lapisan

akuisisi data, sehingga data yang digunakan dalam pemodelan berasal dari pengukuran aktual dan bukan asumsi teoritis semata.

### 3.3.2 Spesifikasi Model

Tahap spesifikasi model dilakukan untuk menetapkan dasar konseptual serta konfigurasi teknis dari sistem yang akan dikembangkan. Pada tahap ini ditentukan variabel input yang digunakan dalam analisis kesesuaian lahan, yaitu pH tanah, Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), tekstur tanah, dan kelembapan tanah. Variabel-variabel tersebut dipilih karena secara agronomis memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman melon kantalup. Selanjutnya ditentukan pendekatan analisis menggunakan algoritma Fuzzy C-Means (FUZZY C-MEANS) dengan jumlah cluster sebanyak tiga kategori kesesuaian lahan, yaitu S1 (sangat sesuai), S2 (cukup sesuai), dan N (tidak sesuai).

Penetapan jumlah cluster ini disesuaikan dengan klasifikasi standar kesesuaian lahan dalam evaluasi agroekologi. Parameter algoritma juga ditetapkan pada tahap ini, meliputi nilai fuzziness ( $m$ ) sebagai pengontrol tingkat kekaburan keanggotaan, batas konvergensi ( $\epsilon$ ) untuk menentukan kondisi berhentinya iterasi, serta maksimum iterasi untuk membatasi proses komputasi. Spesifikasi ini menjadi konfigurasi awal yang akan digunakan dalam implementasi model clustering. Alur kerja spesifikasi model ditunjukkan pada Gambar 3.10.



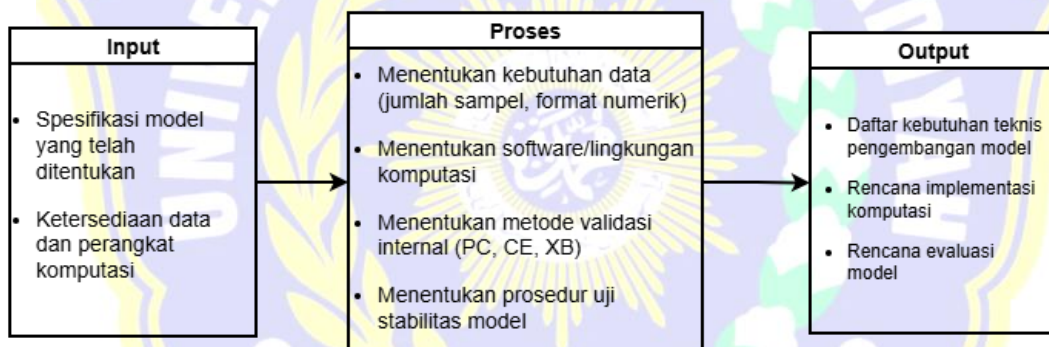
Gambar 3. 10 Alur Diagram Spesifikasi Model

### 3.3.3 Identifikasi Kebutuhan Pengembangan Model

Tahap identifikasi kebutuhan bertujuan untuk memastikan seluruh komponen teknis dan data yang diperlukan telah tersedia sebelum proses pemodelan

dilakukan. Kebutuhan utama meliputi dataset numerik hasil pengukuran sensor tanah yang mencakup parameter pH, N, P, K, tekstur, dan kelembapan tanah. Selain itu, diperlukan metode pra-pemrosesan untuk menjamin kualitas data, termasuk proses pembersihan, validasi, dan normalisasi. Dari sisi komputasi, dibutuhkan perangkat lunak atau lingkungan pemrograman yang mampu mengimplementasikan algoritma FUZZY C-MEANS serta menghitung indeks validasi internal seperti Partition Coefficient (PC), Classification Entropy (CE), dan Xie-Beni Index (XB).

Tahap ini juga mencakup perencanaan mekanisme evaluasi model guna menguji kualitas dan stabilitas hasil clustering. Dengan dilakukannya identifikasi kebutuhan secara sistematis, proses pengembangan model dapat berjalan terarah, efisien, dan dapat direplikasi secara ilmiah. Alur proses indentifikasi pengembangan model ditunjukkan pada Gambar 3.11



Gambar 3. 11 Alur Diagram Identifikasi Pengembangan Model

### 3.3.4 Pra-Pemrosesan Data

Tahap pra-pemrosesan dilakukan untuk menjamin bahwa data karakteristik tanah berada dalam kondisi yang layak untuk dianalisis. Proses ini dimulai dengan pemeriksaan kelengkapan dan validitas data, termasuk identifikasi nilai yang hilang, nilai ekstrem, maupun inkonsistensi format numerik. Apabila ditemukan data anomali, dilakukan penyesuaian atau pembersihan agar tidak memengaruhi hasil perhitungan.

Selanjutnya dilakukan proses normalisasi menggunakan metode Min–Max sehingga seluruh variabel berada dalam rentang skala yang sama, yaitu antara 0

hingga 1. Normalisasi sangat penting karena algoritma Fuzzy C-Means menggunakan perhitungan jarak Euclidean dalam menentukan kedekatan antar data terhadap pusat cluster. Tanpa normalisasi, variabel dengan rentang nilai lebih besar dapat mendominasi proses clustering dan menyebabkan bias hasil. Tahap ini menghasilkan dataset yang telah bersih, terstandarisasi, dan siap diproses dalam model Fuzzy C-Means. Alur kerja pra-pemrosesan data ditunjukkan pada Gambar 3.12.



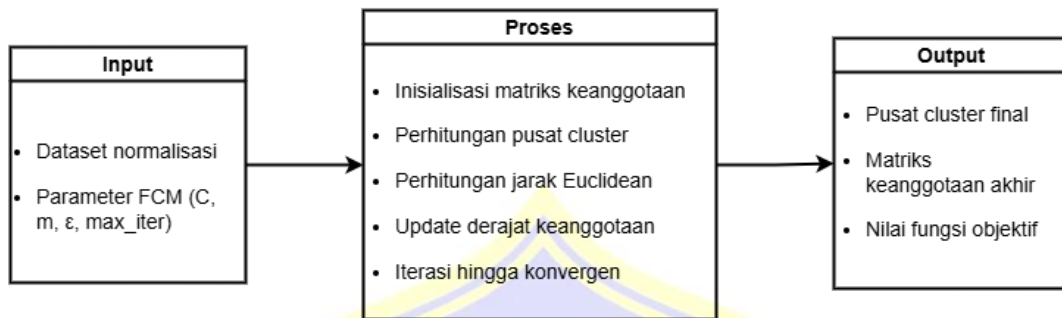
Gambar 3. 12 Alur Diagram Pra-Pemrosesan Data

### 3.3.5 Implementasi Model Fuzzy C-Means

Tahap implementasi merupakan inti dari pengembangan sistem. Data yang telah dinormalisasi diproses menggunakan algoritma Fuzzy C-Means untuk membentuk struktur cluster berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik tanah. Proses dimulai dengan inisialisasi matriks derajat keanggotaan secara acak. Selanjutnya dihitung pusat cluster berdasarkan bobot keanggotaan masing-masing data. Setelah pusat cluster diperoleh, dihitung jarak setiap data terhadap masing-masing pusat cluster menggunakan jarak Euclidean. Berdasarkan jarak tersebut, nilai derajat keanggotaan diperbarui secara iteratif. Proses ini terus berulang hingga perubahan pusat cluster lebih kecil dari batas konvergensi yang ditentukan atau jumlah iterasi maksimum tercapai.

Hasil akhir tahap ini berupa pusat cluster final dan matriks derajat keanggotaan yang menunjukkan tingkat keterikatan setiap lahan terhadap masing-masing kategori kesesuaian. Karakteristik FUZZY C-MEANS yang memungkinkan satu data memiliki keanggotaan pada lebih dari satu cluster

memberikan representasi yang lebih fleksibel terhadap kondisi lahan yang bersifat transisi. Alur implementasi model Fuzzy C-Means ditunjukkan pada Gambar 3.13



Gambar 3. 13 Alur Diagram Implementasi Model Fuzzy C-Means

### 3.3.6 Evaluasi Model

Evaluasi model dalam penelitian ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil clustering yang diperoleh memiliki kualitas yang baik, stabil, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Karena metode yang digunakan adalah unsupervised learning, maka evaluasi dilakukan menggunakan validasi internal clustering dan evaluasi kontekstual agronomis. Evaluasi internal dilakukan untuk mengukur kualitas struktur cluster tanpa menggunakan label kelas awal. Tiga indeks validasi digunakan secara bersamaan, yaitu Partition Coefficient (PC), Classification Entropy (CE), dan Xie-Beni Index (XB). berikut penjelasan dari tiap indeks evaluasi model tersebut:

#### 1. Partition Coefficient (PC)

Partition Coefficient digunakan untuk mengukur tingkat kejelasan pembagian data ke dalam cluster berdasarkan nilai derajat keanggotaan. Nilai PC berada pada rentang 0 hingga 1. Nilai PC yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa sebagian besar data memiliki tingkat keanggotaan yang tinggi pada satu cluster tertentu, sehingga hasil pengelompokan dinilai semakin jelas.

#### 2. Classification Entropy (CE)

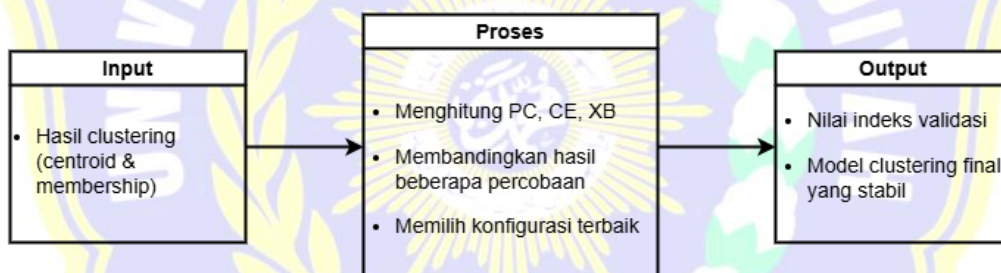
Classification Entropy digunakan untuk mengukur tingkat ketidakpastian hasil clustering. Nilai CE yang rendah menunjukkan bahwa distribusi keanggotaan data terhadap cluster semakin tegas dan tidak ambigu. Dengan

demikian, nilai CE yang semakin kecil mengindikasikan kualitas clustering yang semakin baik.

### 3. Xie-Beni Index (XB)

Xie-Beni Index digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan antara kekompakan cluster (intra-cluster compactness) dan keterpisahan antar cluster (inter-cluster separation). Nilai XB yang lebih kecil menunjukkan bahwa data dalam satu cluster semakin rapat dan jarak antar pusat cluster semakin jauh, sehingga struktur clustering dinilai lebih optimal.

Selain menggunakan indeks validasi internal (PC, CE, dan XB), proses clustering dijalankan beberapa kali dengan inisialisasi acak yang berbeda untuk menguji stabilitas hasil. Konsistensi pusat cluster dan distribusi derajat keanggotaan pada beberapa percobaan menunjukkan bahwa model memiliki stabilitas komputasional yang baik. Untuk alur evaluasi model ditunjukkan pada Gambar 3.14



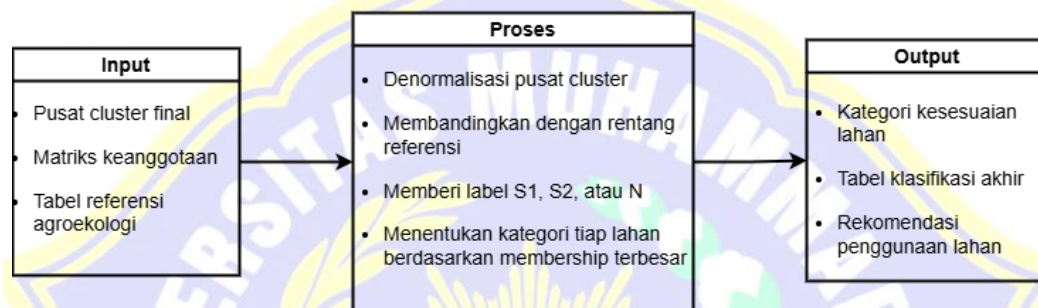
Gambar 3. 14 Alur Diagram Evaluasi Model

#### 3.3.7 Interpretasi Hasil Kesesuaian Lahan

Tahap interpretasi merupakan proses pemberian makna agronomis terhadap hasil clustering yang telah dievaluasi dan divalidasi. Pada tahap ini, pusat cluster yang masih berada dalam skala normalisasi dikembalikan ke skala asli melalui proses denormalisasi. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan rentang referensi agroekologi tanaman melon kantalup untuk menentukan karakteristik masing-masing cluster. Berdasarkan hasil tersebut, setiap lahan diklasifikasikan ke dalam kategori S1 (sangat sesuai), S2 (cukup sesuai), atau N (tidak sesuai) sesuai dengan derajat keanggotaan tertinggi yang dimiliki. Namun demikian, informasi

derajat keanggotaan lainnya tetap diperhatikan untuk melihat kemungkinan kondisi transisi antar kelas kesesuaian.

Tahap ini menghasilkan output akhir berupa klasifikasi tingkat kesesuaian lahan dan rekomendasi pemanfaatan lahan yang bersifat aplikatif. Dengan demikian, hasil clustering tidak hanya berhenti pada analisis matematis, tetapi diterjemahkan ke dalam konteks agronomis yang relevan untuk mendukung pengambilan keputusan budidaya melon kantalup. Interpretasi hasil kesesuaian lahan ditunjukkan pada Gambar 3.15



Gambar 3. 15 Alur Diagram Interpretasi Hasil Kesesuaian Lahan

### 3.4 Rencana Evaluasi Akhir

Evaluasi tahap akhir dalam penelitian ini dilakukan setelah model Fuzzy C-Means dinyatakan optimal berdasarkan pengujian validasi internal. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil clustering tidak hanya baik secara matematis, tetapi juga memiliki makna agronomis, stabil, dan layak digunakan sebagai dasar rekomendasi kesesuaian lahan tanaman melon kantalup. Dengan kata lain, evaluasi tahap akhir berfokus pada kualitas hasil penelitian secara menyeluruh, bukan hanya pada kinerja algoritma. berikut adalah beberapa tahapan evaluasi akhir pada penelitian ini.

1. Pertama, tahapan evaluasi dimulai dengan menilai konsistensi agronomis hasil clustering. Pada tahap ini, nilai pusat cluster yang dihasilkan dari algoritma dibandingkan dengan rentang nilai ideal karakteristik tanah tanaman melon kantalup berdasarkan literatur ilmiah dan pedoman FAO. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa cluster dengan parameter yang mendekati kondisi ideal tanaman benar-benar teridentifikasi sebagai cluster

dengan tingkat kesesuaian tinggi. Sebaliknya, cluster yang memiliki nilai parameter di luar rentang optimal harus muncul sebagai kategori cukup sesuai atau kurang sesuai. Jika hasil clustering selaras dengan teori agroekologi, maka model dinilai konsisten secara konseptual.

2. Selanjutnya dilakukan evaluasi stabilitas hasil. Karena algoritma Fuzzy C-Means menggunakan inisialisasi nilai keanggotaan secara acak, maka terdapat kemungkinan hasil berbeda pada setiap eksekusi. Oleh karena itu, proses clustering dijalankan lebih dari satu kali untuk melihat apakah struktur cluster yang terbentuk relatif konsisten. Apabila pusat cluster dan distribusi data antar cluster tidak berubah secara signifikan pada beberapa percobaan, maka model dapat dinyatakan stabil. Stabilitas ini penting untuk membuktikan bahwa hasil penelitian bukan sekadar akibat variasi acak dari proses komputasi.
3. Evaluasi berikutnya adalah analisis distribusi derajat keanggotaan. Karena penelitian ini menggunakan metode soft clustering, setiap data tanah memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu cluster. Pada tahap ini dianalisis apakah sebagian besar data memiliki kecenderungan kuat terhadap satu cluster dominan, atau justru banyak data yang memiliki nilai keanggotaan yang hampir sama pada beberapa cluster. Apabila mayoritas data menunjukkan kejelasan kecenderungan terhadap satu cluster tertentu, maka model dinilai mampu membedakan karakteristik tanah secara baik. Namun, jika terlalu banyak data yang ambigu, maka model perlu dievaluasi kembali karena kurang mampu memisahkan struktur kelompok secara jelas.
4. Selain itu, dilakukan pula evaluasi rasionalitas jumlah cluster. Meskipun penelitian ini menetapkan tiga cluster yang merepresentasikan sangat sesuai(S1), cukup sesuai(S2), dan tidak sesuai(N), tetap dilakukan pengujian dengan variasi jumlah cluster untuk memastikan bahwa pemilihan tiga cluster merupakan konfigurasi yang paling masuk akal. Evaluasi ini bertujuan untuk melihat apakah struktur tiga cluster memberikan hasil yang lebih mudah diinterpretasikan dan lebih konsisten secara agronomis dibandingkan alternatif lainnya. Jika tiga cluster memberikan struktur yang paling logis dan

seimbang, maka pemilihan jumlah cluster tersebut dapat dibenarkan secara ilmiah.

5. Tahap terakhir adalah evaluasi interpretabilitas dan kelayakan rekomendasi. Pada tahap ini dianalisis apakah setiap cluster memiliki karakteristik yang jelas dan dapat dijelaskan secara rasional. Hasil clustering harus dapat diterjemahkan menjadi deskripsi yang mudah dipahami, misalnya cluster dengan pH mendekati netral, kandungan NPK tinggi, dan kelembapan stabil dapat diinterpretasikan sebagai lahan sangat sesuai (S1). Apabila setiap cluster dapat dijelaskan secara sistematis dan tidak bertentangan dengan teori agronomi, maka model dinilai layak digunakan sebagai dasar rekomendasi kesesuaian lahan.

Secara keseluruhan, model dinyatakan berhasil apabila memenuhi beberapa kondisi, yaitu hasil clustering stabil, konsisten dengan teori kebutuhan agroekologi tanaman melon kantalup, tidak menunjukkan tingkat ambiguitas yang berlebihan pada derajat keanggotaan, serta mampu menghasilkan rekomendasi yang logis dan dapat dipahami. Dengan demikian, evaluasi tahap akhir ini memastikan bahwa penelitian tidak hanya menghasilkan pengelompokan data, tetapi juga menghasilkan informasi yang valid, rasional, dan aplikatif dalam konteks analisis kesesuaian lahan.

#### **3.4.1 Interpretasi Hasil Clustering terhadap Kesesuaian Lahan**

Hasil clustering yang diperoleh dari algoritma Fuzzy C-Means tidak secara langsung menetapkan kelas kesesuaian lahan. Proses interpretasi dilakukan dengan membandingkan nilai pusat cluster terhadap rentang referensi agroekologi tanaman melon yang diperoleh dari literatur ilmiah. Dengan demikian, kategori S1, S2, dan N digunakan sebagai kerangka interpretatif untuk memberikan makna agronomis terhadap cluster yang terbentuk, bukan sebagai label klasifikasi awal dalam proses clustering. Pada tahap ini, karakteristik setiap cluster dianalisis berdasarkan nilai pusat cluster untuk masing-masing parameter tanah, yaitu pH tanah serta kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Nilai-nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan rentang nilai parameter tanah yang direkomendasikan dalam literatur dan standar kesesuaian lahan tanaman melon.

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, setiap cluster diinterpretasikan secara deskriptif ke dalam kategori kesesuaian lahan, seperti lahan dengan tingkat kesesuaian tinggi, sedang, atau rendah. Interpretasi ini bersifat analitis dan bertujuan untuk memberikan gambaran tingkat kesesuaian lahan berdasarkan karakteristik tanah, tanpa menetapkan label kesesuaian secara langsung pada tahap clustering. Dengan pendekatan ini, hasil evaluasi diharapkan mampu memberikan dasar ilmiah yang kuat dalam menilai kesesuaian lahan tanaman melon kantalup berdasarkan pengelompokan karakteristik tanah menggunakan algoritma Fuzzy C-Means.

