

## Implementasi GIS dan Clustering Berbasis Web Dalam Pengelolaan Hutan Lindung Oleh Kelompok Tani Di Kabupaten Karo

Annisa Maharani<sup>1</sup>, Samsudin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sistem Informasi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia.

---

### Artikel Info

#### Kata Kunci:

Kmeans Clustering;  
Pengelolaan Hutan Lindung;  
Sistem Informasi Geografis.

#### Keywords:

*K-Means Clustering;*  
*Protected Forest Management;*  
*Geographic Information System.*

#### Riwayat Artikel:

Submitted: 11 Juli 2025

Accepted: 31 Juli 2025

Published: 31 Juli 2025

**Abstrak:** Hutan lindung memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem, namun pengelolaannya di Kabupaten Karo masih terkendala minimnya pemahaman karakteristik lahan dan penggunaan metode pemantauan yang konvensional. Penelitian ini mengembangkan sistem informasi berbasis Geographic Information System (GIS) dan algoritma *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan wilayah kerja kelompok tani berdasarkan ketinggian, kelembapan, kemiringan, suhu, dan jenis tanah. Metode penelitian menggunakan *Research and Development* model Borg & Gall dengan tahapan pengumpulan data melalui observasi, wawancara, dan studi literatur, diikuti analisis data spasial dan non-spasial untuk menghasilkan empat cluster: C1 (Tanaman Tahunan), C2 (Tanaman Bawah 1), C3 (Tanaman Bawah 2), dan C4 (Usaha Non-Pertanian). Sistem yang dikembangkan menampilkan peta digital interaktif yang memudahkan identifikasi potensi, permasalahan, dan perencanaan strategi pengelolaan. Hasil pengujian *blackbox* menunjukkan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai rancangan dan mampu meningkatkan kecepatan analisis dibanding metode manual. Penelitian ini berkontribusi pada pengintegrasian data spasial dan non-spasial dalam pengelolaan hutan lindung berbasis *clustering*, dengan potensi penerapan di wilayah konservasi lainnya.

**Abstract:** Protected forests play a crucial role in maintaining ecosystem balance, but their management in Karo Regency is hampered by a lack of understanding of land characteristics and the use of conventional monitoring methods. This study developed a Geographic Information System (GIS)-based information system and the *K-Means Clustering* algorithm to classify farmer groups' work areas based on altitude, humidity, slope, temperature, and soil type. The research method used the Borg & Gall *Research and Development* model, with data collection stages involving observation, interviews, and literature review, followed by spatial and non-spatial data analysis to generate four clusters: C1 (Annual Crops), C2 (Undercrops 1), C3 (Undercrops 2), and C4 (Non-Agricultural Enterprises). The developed system displays an interactive digital map that facilitates the identification of potential areas, problems, and management strategy planning. Blackbox testing results indicate that all system functions run as designed and are able to increase analysis speed compared to manual methods. This research contributes to the integration of spatial and non-spatial data in clustering-based protected forest management, with potential application in other conservation areas.

---

#### Corresponding Author:

Samsudin

Email : [samsudin@uinsu.ac.id](mailto:samsudin@uinsu.ac.id)

---

## PENDAHULUAN

Teknologi saat ini memiliki peran penting dalam kehidupan manusia maupun kelestarian alam, salah satunya untuk membantu melindungi dan mencegah kerusakan hutan. Hutan lindung di Indonesia memiliki peran yang vital sebagai penyangga kehidupan, seperti mengatur ketersediaan air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, dan menjaga kesuburan tanah (Mellyadi & Harliana, 2022). Namun, luasnya wilayah serta sulitnya akses membuat pengelolaan hutan menjadi tantangan tersendiri (Usman & Suwarno, 2024). Selama ini pemantauan masih mengandalkan metode konvensional seperti pemetaan manual, survei lapangan, dan pencatatan data secara langsung yang memerlukan waktu lama dan sering kali kurang efektif (Driyandita et al., 2025). Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi membuka peluang baru melalui penerapan sistem pemetaan digital, pemantauan berbasis satelit, dan aplikasi kecerdasan buatan yang memungkinkan pemantauan dilakukan secara real-time dan akurat.

Kabupaten Karo di Sumatera Utara memiliki kawasan hutan lindung yang penting secara ekologis dan sosial. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 9 Tahun 2021, pengelolaan hutan berkelanjutan perlu melibatkan masyarakat termasuk kelompok tani melalui kegiatan seperti reboisasi, ekowisata, budidaya lebah madu, agroforestry, silvopastura, pemantauan wilayah, dan pemanfaatan hasil hutan non-kayu (Suharyanto et al., 2019). Namun, pengelolaan hutan lindung di Kabupaten Karo masih belum efisien akibat minimnya pemahaman karakteristik lahan, kurangnya penerapan rencana kerja, dan pola pikir masyarakat yang cenderung membuka lahan secara sembarangan tanpa mempertimbangkan dampak jangka panjang.

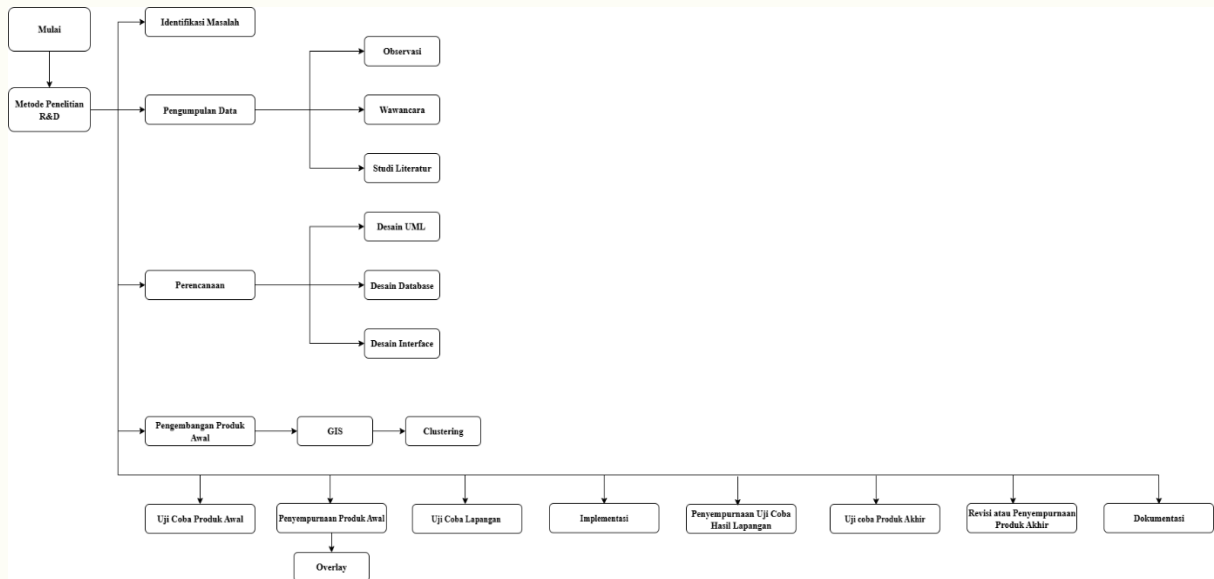
Berdasarkan permasalahan tersebut, GIS dan Clustering dapat menjadi solusi untuk pengelolaan hutan lindung berbasis data spasial dan non-spasial. Data spasial berupa batas wilayah (polygon) dan data non-spasial seperti jenis tanaman, jenis tanah, ketinggian, dan suhu dianalisis menggunakan algoritma K-Means untuk mengelompokkan wilayah berdasarkan karakteristik lahan. Hasil pengelompokan kemudian divisualisasikan dalam peta digital interaktif melalui GIS (Nur & Jauhari, 2024), sehingga memudahkan identifikasi wilayah potensial, area kerusakan, serta perencanaan strategi pengelolaan yang tepat (Eli et al., 2023).

Penelitian sebelumnya di Indonesia telah memanfaatkan GIS dan clustering untuk berbagai konteks pengelolaan lahan, namun fokusnya masih terbatas. Penelitian yang dilakukan (Mellyadi & Harliana, 2022) menerapkan K-Means maupun Fuzzy C-Means untuk segmentasi citra satelit hutan lindung, tetapi belum mengintegrasikan data non-spasial seperti jenis tanaman, jenis tanah, atau ketinggian dalam proses pengelompokan. Selanjutnya, penelitian (Wiyono et al., 2024) mengembangkan pemetaan partisipatif kelompok tani hutan kemasyarakatan guna menentukan batas wilayah, namun belum memanfaatkan algoritma clustering untuk menghasilkan peta digital interaktif yang dapat mendukung analisis cepat dan akurat. Berbeda dari keterbatasan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan GIS dan clustering K-Means berbasis data spasial dan non-spasial untuk memetakan wilayah hutan lindung di Kabupaten Karo secara digital serta mengelompokkan berdasarkan jenis tanaman yang dibudidayakan oleh kelompok tani. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan pengelompokan wilayah yang lebih akurat, mempermudah identifikasi potensi maupun kerusakan lahan, serta memberikan dasar yang kuat bagi pengambilan keputusan pengelolaan hutan lindung yang efektif dan berkelanjutan.

## METODE

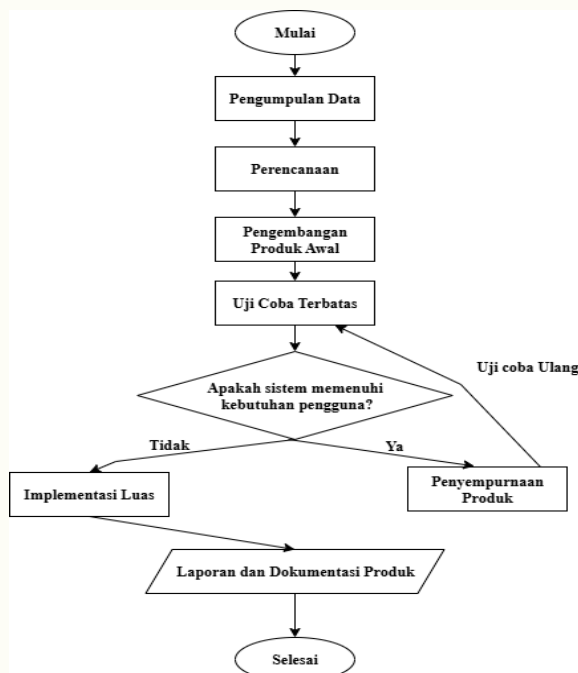
### Desain Penelitian

Penelitian ini diawali dengan penyusunan kerangka berpikir yang berfungsi sebagai panduan alur logis penelitian dari identifikasi masalah hingga perumusan solusi. Kerangka ini menggambarkan hubungan antara permasalahan pengelolaan hutan lindung di Kabupaten Karo, teori dan konsep yang relevan, metode penelitian yang dipilih, hingga produk akhir yang diharapkan.



Gambar 1. Kerangka Berpikir

Berdasarkan kerangka berpikir tersebut, penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) yang merupakan proses sistematis untuk menciptakan produk baru atau menyempurnakan produk yang sudah ada, sekaligus menjadi jembatan antara penelitian dasar dan terapan (Okpatrioka Okpatrioka, 2023). Model R&D yang dijadikan acuan adalah model klasik Borg dan Gall (1983) yang terdiri atas tahapan pengumpulan data, perencanaan, pengembangan produk awal, uji coba, penyempurnaan, dan implementasi produk secara luas (Waruwu, 2024). Model ini dimodifikasi sesuai dengan konteks modern, khususnya untuk pengelolaan hutan lindung berbasis Geographic Information System (GIS) dan clustering di Kabupaten Karo. Modifikasi dilakukan dengan mengintegrasikan teknologi informasi, pemetaan spasial, dan algoritma K-Means ke dalam setiap tahap pengembangan, sehingga produk akhir yang dihasilkan berupa sistem informasi berbasis GIS yang mampu menampilkan hasil pengelompokan secara akurat, interaktif, dan mudah digunakan oleh pemangku kepentingan. Alur tahapan metode R&D yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan secara ringkas pada flowchart berikut.



Gambar 2. Flowchart R&D

### Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi spasial dan non-spasial terkait kelompok tani dan kondisi hutan lindung. Metode yang digunakan adalah:

a. Observasi

Mengamati langsung lokasi hutan lindung dan aktivitas kelompok tani untuk memahami alur kerja yang berjalan serta mengidentifikasi permasalahan.

b. Wawancara

Dilakukan dengan pihak UPT Kehutanan Wilayah XV Kabanjahe serta kelompok tani untuk mendapatkan informasi mendalam terkait kondisi lahan, jenis komoditas, dan pola pengelolaan.

c. Studi Literatur

Mengkaji buku, jurnal, dan dokumen resmi yang relevan untuk memperkuat landasan teori dan mendukung desain sistem.

### Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis data spasial dan non-spasial yang terintegrasi melalui *clustering* K-Means dan Sistem Informasi Geografis (GIS). Tahap awal dimulai dengan penentuan parameter utama yang relevan terhadap pengelolaan hutan lindung, yaitu ketinggian, kelembapan, kemiringan, suhu, dan jenis tanah. Parameter-parameter tersebut dipilih karena memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik lingkungan dan pola penggunaan lahan (Kholila, 2022).

Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan algoritma K-Means, yang merupakan metode unsupervised clustering untuk mengelompokkan data berdasarkan kesamaan karakteristik tanpa memerlukan label awal (et al., 2019). Metode ini digunakan karena kesederhanaannya, efisiensi perhitungan, serta kemampuannya menghasilkan kelompok yang homogen dan terpisah jelas (Febby Arisca Zurfani et al., 2024). Berdasarkan analisis kebutuhan lapangan, jumlah cluster ditetapkan sebanyak empat kategori yaitu :

a. C1 - Tanaman tahunan (tanaman berpohon)

b. C2 - Tanaman bawah1 (kopi dan teh)

c. C3 - Tanaman bawah 2 (Jahe, kunyit, dll)

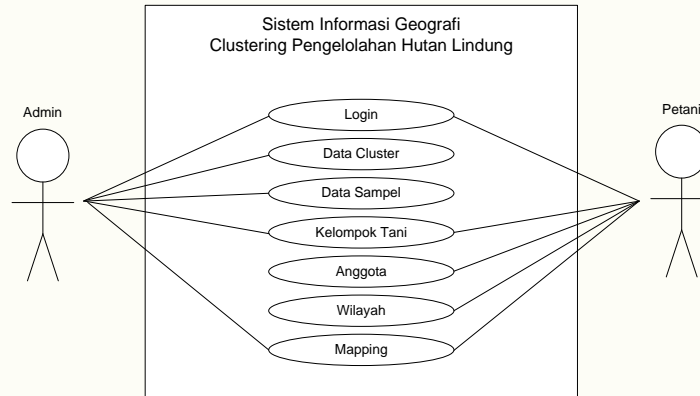
d. C4 - Usaha non pertanian (budidaya lebah madu dan wisata)

Hasil pengelompokan kemudian divisualisasikan ke dalam peta digital interaktif menggunakan Leaflet.js dengan peta dasar dari OpenStreetMap . Integrasi data spasial dan hasil clustering menghasilkan visualisasi yang memudahkan identifikasi wilayah potensial, area yang mengalami kerusakan, serta perencanaan strategi pengelolaan hutan lindung secara lebih efektif dan berkelanjutan (Efita & Triase, 2024).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Desain Sistem

Desain sistem pada penelitian ini menggunakan pendekatan *Use Case Diagram* untuk menggambarkan interaksi antara aktor (admin dan petani) dengan sistem informasi geografis *Clustering* Pengelolaan Hutan Lindung. Diagram ini menunjukkan fungsi-fungsi utama yang dapat diakses oleh kedua aktor, seperti login, pengelolaan data cluster, input data sampel, pengelompokan titik, pengelolaan anggota, wilayah, dan proses *mapping*. Dalam implementasinya, sistem ini dibangun menggunakan bahasa pemrograman PHP dengan basis data MySQL untuk mengelola dan menyimpan data secara terstruktur (Triase et al., 2022). Selain itu, teknologi GIS digunakan untuk memvisualisasikan data spasial dan melakukan proses *mapping*, sehingga menghasilkan tampilan peta interaktif yang memudahkan analisis dan pengambilan keputusan.



Gambar 3. Usecase Diagram

Pada *Use Case Diagram* diatas terdapat dua aktor, yaitu Admin dan Petani. Admin memiliki akses penuh untuk mengelola seluruh fitur seperti login, data cluster, data sampel, pengelompokan titik, anggota, wilayah, dan *mapping*. Petani memiliki akses terbatas untuk login, melihat data cluster, menginput data sampel, dan melihat hasil *mapping*. Sistem dibangun menggunakan PHP dan MySQL dengan integrasi teknologi GIS untuk pengolahan dan visualisasi data spasial.

### Penerapan K-Means

Sebelum melakukan perhitungan *K-Means Clustering* maka disajikan data yang diperoleh dari UPT Kehutanan Wilayah XV Kabanjahe setelah melakukan observasi dan pengumpulan data secara langsung didapatkan data hasil kelompok tani dan beberapa kesimpulan yaitu: Data kelompok tani yang diperoleh dari tahun 2020-2024 yaitu luas hutan (ha), kemiringan, kelembapan, ketinggian (mdpl), suhu, jenis tanah, dan kegiatan kelompok tani. Dan Penentuan parameter data yang diproses adalah presentase ketinggian, kelembapan, kemiringan, suhu, dan jenis tanah yang dapat dilihat pada tabel 1.

Table 1. Data Observasi

| No | Nama            | Ketinggian | Kelembapan | Kemiringan | Suhu | Jenis Tanah |
|----|-----------------|------------|------------|------------|------|-------------|
| 1  | KTH lagasima 1  | 280        | 93         | Rendah     | 23   | Tanah Kebun |
| 2  | KTH lagasima 2  | 280        | 93         | Rendah     | 23   | Tanah Kebun |
| 3  | KTH lagasima 3  | 280        | 93         | Rendah     | 23   | Tanah Kebun |
| 4  | KTH lagasima 4  | 280        | 93         | Rendah     | 23   | Tanah Kebun |
| 5  | KTH lagasima 5  | 520        | 93         | Rendah     | 23   | Tanah Kebun |
| 6  | KTH lagasima 6  | 520        | 93         | Rendah     | 23   | Tanah Kebun |
| 7  | KTH lagasima 7  | 520        | 93         | Rendah     | 23   | Latosol     |
| 8  | KTH lagasima 8  | 520        | 93         | Rendah     | 23   | Latosol     |
| 9  | KTH lagasima 9  | 560        | 93         | Rendah     | 23   | Latosol     |
| 10 | KTH lagasima 10 | 560        | 93         | Rendah     | 23   | Latosol     |
| 11 | KTH Bawak 1     | 631        | 98         | Rendah     | 19   | Andosol     |
| 12 | KTH Bawak 2     | 631        | 98         | Rendah     | 19   | Andosol     |
| 13 | KTH Bawak 3     | 631        | 98         | Rendah     | 19   | Andosol     |
| 14 | KTH Bawak 4     | 732        | 98         | Rendah     | 19   | Andosol     |
| 15 | KTH Bawak 5     | 732        | 98         | Rendah     | 19   | Andosol     |

|      |              |      |    |        |    |         |
|------|--------------|------|----|--------|----|---------|
| 16   | KTH Bawak 6  | 958  | 98 | Tinggi | 19 | Andosol |
| 17   | KTH Bawak 7  | 958  | 98 | Tinggi | 19 | Andosol |
| 18   | KTH Bawak 8  | 958  | 98 | Tinggi | 19 | Andosol |
| 19   | KTH Bawak 9  | 1100 | 98 | Tinggi | 19 | Andosol |
| ...  |              |      |    |        |    |         |
| 1000 | KTH Bawak 10 | 1100 | 98 | Tinggi | 19 | Andosol |

Selanjutnya, data ini di proses normalisasi untuk mengubah data kategori (kemiringan dan jenis tanah) menjadi angka agar dapat diolah secara matematis yang disajikan pada Tabel 2.

Table 2. Hasil Normalisasi

| No   | Nama            | Ketinggian | Kelembapan | Kemiringan | Suhu | Jenis Tanah |
|------|-----------------|------------|------------|------------|------|-------------|
| 1    | KTH lagasima 1  | 280        | 93         | 2          | 23   | 2           |
| 2    | KTH lagasima 2  | 280        | 93         | 2          | 23   | 2           |
| 3    | KTH lagasima 3  | 355        | 93         | 2          | 23   | 2           |
| 4    | KTH lagasima 4  | 355        | 93         | 2          | 23   | 2           |
| 5    | KTH lagasima 5  | 520        | 93         | 2          | 23   | 2           |
| 6    | KTH lagasima 6  | 520        | 93         | 2          | 23   | 2           |
| 7    | KTH lagasima 7  | 520        | 93         | 2          | 23   | 3           |
| 8    | KTH lagasima 8  | 520        | 93         | 2          | 23   | 3           |
| 9    | KTH lagasima 9  | 560        | 93         | 2          | 23   | 3           |
| 10   | KTH lagasima 10 | 560        | 93         | 2          | 23   | 3           |
| 11   | KTH Bawak 1     | 631        | 98         | 2          | 19   | 1           |
| 12   | KTH Bawak 2     | 631        | 98         | 2          | 19   | 1           |
| 13   | KTH Bawak 3     | 631        | 98         | 2          | 19   | 1           |
| 14   | KTH Bawak 4     | 732        | 98         | 2          | 19   | 1           |
| 15   | KTH Bawak 5     | 732        | 98         | 2          | 19   | 1           |
| 16   | KTH Bawak 6     | 958        | 98         | 1          | 19   | 1           |
| 17   | KTH Bawak 7     | 958        | 98         | 1          | 19   | 1           |
| 18   | KTH Bawak 8     | 958        | 98         | 1          | 19   | 1           |
| 19   | KTH Bawak 9     | 1100       | 98         | 1          | 19   | 1           |
| ...  |                 |            |            |            |      |             |
| 1000 | KTH Bawak 10    | 1100       | 98         | 1          | 19   | 1           |

Setelah normalisasi dilakukan, selanjutnya proses *clustering* awal menggunakan empat pusat cluster (*centroid*) berdasarkan karakteristik tanaman dan usaha yang dominan yang ditunjukkan, pada tabel 3.

Table 3. Tabel Cluster

| No | Nama               | Contoh           | Pusat Cluster     |
|----|--------------------|------------------|-------------------|
| 1  | Tanaman Tahunan/C1 | Tanaman Berpohon | 1100, 98, 1,19, 1 |
| 2  | Tanaman Bawah 1/C2 | Kopi, Teh        | 732, 98, 2,19, 1  |



|   |                        |                        |                  |
|---|------------------------|------------------------|------------------|
| 3 | Tanaman Bawah 2/C3     | Jahe, Kunyit           | 355, 93, 2,23 2  |
| 4 | Usaha Non Pertanian/C4 | Budidaya Lebah, Wisata | 520, 93, 2,23, 3 |

Dalam K-Means, jarak Euclidean antara data dengan atribut ketinggian, kelembapan, kemiringan, suhu, dan jenis tanah dihitung terhadap centroid dari empat cluster, yaitu C1(Tanaman Tahunan), C2(Tanaman Bawah 1), C3(Tanaman Bawah 2), dan C4(Usaha Non-Pertanian). Jarak ini diperoleh dengan menjumlahkan kuadrat selisih tiap atribut data dan centroid, lalu diakarkan untuk menentukan cluster terdekat dihitung dengan rumus sebagai berikut. Menghitung Jarak Euclidean Dengan Rumus :

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}$$

Dengan:

$X_i$  = Nilai Pusat Klaster

$Y_i$  = Nilai Data

Menghitung Jarak Data KTH Legasima 1 dan Kluster Tanaman Tahunan

$$d = \sqrt{(1100 - 280)^2 + (98 - 93)^2 + (1 - 2)^2 + (19 - 23)^2 + (1 - 2)^2}$$

$$d = \sqrt{672400 + 25 + 1 + 16 + 1} = \sqrt{67442}$$

$$d = 820,0256$$

Menghitung Jarak Data KTH Legasima 1 dan Kluster Tanaman Bawah 1

$$d = \sqrt{(732 - 280)^2 + (98 - 93)^2 + (2 - 2)^2 + (19 - 23)^2 + (1 - 2)^2}$$

$$d = \sqrt{204304 + 25 + 0 + 16 + 1} = \sqrt{204346}$$

$$d = 452,0465$$

Menghitung Jarak Data KTH Legasima 1 dan Kluster Tanaman Bawah 2

$$d = \sqrt{(355 - 280)^2 + (93 - 93)^2 + (2 - 2)^2 + (23 - 23)^2 + (2 - 2)^2}$$

$$d = \sqrt{5625 + 0 + 0 + 0 + 0} = \sqrt{5625}$$

$$d = 75$$

Menghitung Jarak Data KTH Legasima 1 dan Kluster Usaha Non Pertanian

$$d = \sqrt{(520 - 280)^2 + (93 - 93)^2 + (2 - 2)^2 + (23 - 23)^2 + (3 - 2)^2}$$

$$d = \sqrt{57600 + 0 + 0 + 0 + 1} = \sqrt{57601}$$

$$d = 240.0021$$

Selanjutnya melakukan perhitungan jarak untuk setiap data terhadap keempat centroid cluster. Disajikan pada Tabel 4 yang menampilkan hasil perhitungan tersebut, di mana setiap baris memuat nilai jarak Euclidean suatu data terhadap C1, C2, C3, dan C4. Nilai jarak terkecil pada masing-masing baris digunakan sebagai acuan penentuan keanggotaan awal cluster, yang ditunjukkan pada kolom terakhir.

Table 4. Hasil *Clustering*

| No | Nama           | C1          | C2          | C3 | C4          | Cluster Terdekat |
|----|----------------|-------------|-------------|----|-------------|------------------|
| 1  | KTH lagasima 1 | 820.0262191 | 452.0464578 | 75 | 240.0020833 | C3               |
| 2  | KTH lagasima 2 | 820.0262191 | 452.0464578 | 75 | 240.0020833 | C3               |
| 3  | KTH lagasima 3 | 745.0288585 | 377.0556988 | 0  | 165.0030303 | C3               |

|      |                 |             |             |             |             |    |
|------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----|
| 4    | KTH lagasima 4  | 745.0288585 | 377.0556988 | 0           | 165.0030303 | C3 |
| 5    | KTH lagasima 5  | 580.0370678 | 212.0990335 | 165         | 1           | C4 |
| 6    | KTH lagasima 6  | 580.0370678 | 212.0990335 | 165         | 1           | C4 |
| 7    | KTH lagasima 7  | 580.0396538 | 212.1061055 | 165.0030303 | 0           | C4 |
| 8    | KTH lagasima 8  | 580.0396538 | 212.1061055 | 165.0030303 | 0           | C4 |
| 9    | KTH lagasima 9  | 540.0425909 | 172.1307642 | 205.002439  | 40          | C4 |
| 10   | KTH lagasima 10 | 540.0425909 | 172.1307642 | 205.002439  | 40          | C4 |
| 11   | KTH Bawak 1     | 469.0010661 | 101         | 276.0760765 | 111.202518  | C2 |
| 12   | KTH Bawak 2     | 469.0010661 | 101         | 276.0760765 | 111.202518  | C2 |
| 13   | KTH Bawak 3     | 469.0010661 | 101         | 276.0760765 | 111.202518  | C2 |
| 14   | KTH Bawak 4     | 368.0013587 | 0           | 377.0556988 | 212.1061055 | C2 |
| 15   | KTH Bawak 5     | 368.0013587 | 0           | 377.0556988 | 212.1061055 | C2 |
| 16   | KTH Bawak 6     | 142         | 226.0022124 | 603.035654  | 438.0525083 | C1 |
| 17   | KTH Bawak 7     | 142         | 226.0022124 | 603.035654  | 438.0525083 | C1 |
| 18   | KTH Bawak 8     | 142         | 226.0022124 | 603.035654  | 438.0525083 | C1 |
| 19   | KTH Bawak 9     | 0           | 368.0013587 | 745.0288585 | 580.0396538 | C1 |
| ...  |                 |             |             |             |             |    |
| 1000 | KTH Bawak 10    | 0           | 368.0013587 | 745.0288585 | 580.0396538 | C1 |

Berdasarkan hasil pada Tabel 4, terlihat bahwa sebagian kelompok tani memiliki jarak terkecil ke C1 dan C2, sementara kelompok lainnya lebih dekat ke C3 atau C4. Pola ini mengindikasikan adanya perbedaan karakteristik lingkungan seperti ketinggian, kelembapan, kemiringan, suhu, dan jenis tanah yang menjadi faktor pembeda utama dalam pembentukan cluster.

Selanjutnya, dilakukan proses *update centroid* dengan menghitung rata-rata dari anggota masing-masing *cluster*, sehingga diperoleh centroid baru untuk setiap *cluster*. Setelah itu, proses perhitungan jarak diulang dengan centroid baru dan dilakukan kembali penentuan *cluster* untuk tiap data. Untuk membuat titik Centroid baru dapat menggunakan rata-rata dari setiap nilai atribut anggotanya, atau dengan rumus:

$$c_k = \left(\frac{1}{n_k}\right) \sum d$$

Nilai Centroid Baru Untuk C1

$$C1_{Ketinggian} = \frac{958 + 958 + 958 + 1100 + 1100}{5} = 1014.8$$

$$C1_{Kelembapan} = 98$$

$$C1_{Kemiringan} = 1$$

$$C1_{Suhu} = 19$$

$$C1_{Jenis\ tanah} = 1$$

Nilai Centroid Baru Untuk C2

$$C2_{Ketinggian} = \frac{631 + 631 + 631 + 732 + 732}{5} = 671.4$$

$$C2_{Kelembapan} = 98$$



$$C2_{Kemiringan} = 2$$

$$C2_{Suhu} = 19$$

$$C2_{Jenis\ tanah} = 1$$

Nilai Centroid Baru Untuk C3

$$C3_{Ketinggian} = 317.5$$

$$C3_{Kelembapan} = 93$$

$$C3_{Kemiringan} = 2$$

$$C3_{Suhu} = 23$$

$$C3_{Jenis\ tanah} = 2$$

Nilai Centroid Baru Untuk C4

$$C4_{Ketinggian} = 533.3$$

$$C4_{Kelembapan} = 93$$

$$C4_{Kemiringan} = 2$$

$$C4_{Suhu} = 23$$

$$C4_{Jenis\ tanah} = 2.66$$

Hitung kembali jarak setiap data ke centroid baru dengan menggunakan rumus jarak Euclidean yang sama seperti pada tahap sebelumnya. Perhitungan ini dilakukan untuk seluruh data terhadap keempat centroid yang telah diperbarui, guna menentukan apakah terjadi perubahan keanggotaan cluster. Hasil perhitungan jarak ke centroid baru ditampilkan pada Tabel 5.

Table 5 Hasil Centroid baru

| No | Nama            | C1       | C2       | C3       | C4       | Cluster Terdekat |
|----|-----------------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| 1  | KTH lagasima 1  | 734.8293 | 391.4536 | 37.5     | 253.3009 | C3               |
| 2  | KTH lagasima 2  | 734.8293 | 391.4536 | 37.5     | 253.3009 | C3               |
| 3  | KTH lagasima 3  | 659.8326 | 316.4664 | 37.5     | 178.3012 | C3               |
| 4  | KTH lagasima 4  | 659.8326 | 316.4664 | 37.5     | 178.3012 | C3               |
| 5  | KTH lagasima 5  | 494.8434 | 151.5386 | 202.5    | 13.31637 | C4               |
| 6  | KTH lagasima 6  | 494.8434 | 151.5386 | 202.5    | 13.31637 | C4               |
| 7  | KTH lagasima 7  | 494.8465 | 151.5485 | 202.5025 | 13.30435 | C4               |
| 8  | KTH lagasima 8  | 494.8465 | 151.5485 | 202.5025 | 13.30435 | C4               |
| 9  | KTH lagasima 9  | 454.8506 | 111.6018 | 242.5021 | 26.70216 | C4               |
| 10 | KTH lagasima 10 | 454.8506 | 111.6018 | 242.5021 | 26.70216 | C4               |
| 11 | KTH Bawak 1     | 383.8013 | 40.4     | 313.567  | 97.92367 | C2               |
| 12 | KTH Bawak 2     | 383.8013 | 40.4     | 313.567  | 97.92367 | C2               |
| 13 | KTH Bawak 3     | 383.8013 | 40.4     | 313.567  | 97.92367 | C2               |
| 14 | KTH Bawak 4     | 282.8018 | 60.6     | 414.5507 | 198.8101 | C2               |
| 15 | KTH Bawak 5     | 282.8018 | 60.6     | 414.5507 | 198.8101 | C2               |
| 16 | KTH Bawak 6     | 56.8     | 286.6017 | 640.5336 | 424.7527 | C1               |

|    |              |      |          |          |          |    |
|----|--------------|------|----------|----------|----------|----|
| 17 | KTH Bawak 7  | 56.8 | 286.6017 | 640.5336 | 424.7527 | C1 |
| 18 | KTH Bawak 8  | 56.8 | 286.6017 | 640.5336 | 424.7527 | C1 |
| 19 | KTH Bawak 9  | 85.2 | 428.6012 | 782.5275 | 566.7395 | C1 |
| 20 | KTH Bawak 10 | 85.2 | 428.6012 | 782.5275 | 566.7395 | C1 |

Dikarenakan anggota hasil *clustering* sama dengan hasil clustering sebelumnya, maka nilai centroid baru dapat digunakan untuk klastering data yang lain. Namun jika pada terdapat anggota dengan kluster yang berbeda dengan hasil sebelumnya maka hasil terakhir akan digunakan untuk membuat nilai centroid baru dan mengulang proses klustering hingga anggota setiap sama dengan perulangan sebelumnya. Berdasarkan nilai centroid terakhir tersebut, diperoleh empat karakteristik utama cluster sebagai berikut:

a. C1 – Cluster Tanaman Tahunan

Tanaman Tahunan terdiri dari wilayah dengan ketinggian sedang hingga tinggi, tanah subur, dan topografi curam hingga sangat curam. Lokasi-lokasi dalam cluster ini didominasi oleh tanaman kopi, alpukat, kemiri, durian, manggis, pinus, aren, macademia, dan komoditas hasil hutan bukan kayu lainnya. Kendala yang dihadapi meliputi risiko erosi pada lereng terjal dan aksesibilitas yang terbatas. Strategi pengelolaan diarahkan pada penerapan teknik konservasi tanah seperti terasering, pengembangan sistem agroforestry, dan penanaman penutup tanah.

b. C2 – Cluster Tanaman Bawah 1

Tanaman Bawah 1 berada pada ketinggian sedang dengan kelembapan tinggi dan topografi curam hingga agak curam. Wilayah ini memiliki potensi untuk budidaya serai wangi, jagung, cabai, bawang, jahe, nilam, coklat, pisang, dan tomat. Tantangan utama adalah fluktuasi iklim yang memengaruhi stabilitas produksi. Pengelolaan difokuskan pada peningkatan efisiensi irigasi, penggunaan varietas tahan iklim, rotasi tanaman, serta pemupukan organik.

c. C3 – Cluster Tanaman Bawah 2

Tanaman Bawah 2 mencakup dataran rendah dengan tanah kebun atau lahan kering. Komoditas utama adalah jahe, kunyit, kakao, buah naga, dan rempah lainnya. Kendala yang diidentifikasi adalah serangan hama dan penyakit serta penurunan kesuburan tanah. Strategi yang direkomendasikan mencakup pengendalian hama terpadu, penggunaan pestisida nabati, pemupukan berimbang, dan rotasi tanaman.

d. C4 – Cluster Usaha Non-Pertanian

Usaha Non-Pertanian meliputi wilayah dengan ketinggian sedang, jenis tanah Latosol atau campuran, dan topografi bervariasi. Potensi usaha meliputi budidaya lebah madu, pengembangan wisata alam, jasa lingkungan, serta tanaman obat dan hias. Kendala yang ditemui adalah keterbatasan infrastruktur, promosi, dan akses pasar. Pengelolaan diarahkan pada pembangunan fasilitas pendukung, pelatihan manajemen usaha, pemasaran digital, dan kemitraan strategis.



Pada Gambar 6 Halaman ini berfungsi untuk menampilkan peta interaktif wilayah hutan yang menjadi area kerja kelompok tani. Pada halaman ini, pengguna dapat melihat lokasi, batas-batas wilayah, serta informasi tambahan seperti nama kawasan dan status pengelolaan hutan secara visual melalui sistem GIS.


#### d. Halaman Data Cluster

| NO | NAMA          | KETINGGIAN | SUHU RATA-RATA | KELEMBABAN | KEMiringAN | JENIS TANAH      | JARAK C1 | JARAK C2 | JARAK C3 | JARAK C4 |
|----|---------------|------------|----------------|------------|------------|------------------|----------|----------|----------|----------|
| 1  | KTH Iqanema 1 | 281 mdt    | 23 °C          | 93%        | Rendah     | Tanah Perkebunan | 7.081.01 | 816.91   | 17.10    | 160.19   |
| 2  | KTH Iqanema 2 | 281 mdt    | 23 °C          | 93%        | Rendah     | Tanah Perkebunan | 2.081.01 | 816.91   | 17.10    | 160.19   |
| 3  | KTH Iqanema 3 | 313 mdt    | 23 °C          | 93%        | Rendah     | Tanah Perkebunan | 2.006.01 | 784.91   | 17.10    | 194.09   |
| 4  | KTH Iqanema 4 | 313 mdt    | 23 °C          | 93%        | Rendah     | Tanah Perkebunan | 2.008.01 | 784.91   | 17.10    | 194.09   |
| 5  | KTH Iqanema 5 | 320 mdt    | 23 °C          | 93%        | Rendah     | Tanah Perkebunan | 1.841.01 | 616.96   | 202.10   | 120.06   |
| 6  | KTH Iqanema 6 | 330 mdt    | 23 °C          | 93%        | Rendah     | Tanah Perkebunan | 1.841.01 | 616.96   | 202.10   | 120.06   |
| 7  | KTH Iqanema 7 | 320 mdt    | 23 °C          | 93%        | Rendah     | Latsoel          | 1.841.01 | 616.96   | 202.10   | 120.06   |
| 8  | KTH Iqanema 8 | 320 mdt    | 23 °C          | 93%        | Rendah     | Latsoel          | 1.841.01 | 616.96   | 202.10   | 120.06   |

Gambar 7. Halaman Data Cluster

Halaman ini berfungsi menampilkan hasil pengelompokan wilayah hutan berdasarkan proses clustering. Pada halaman ini, pengguna dapat melihat data setiap wilayah yang telah dikelompokkan ke dalam cluster tertentu, lengkap dengan informasi seperti koordinat, karakteristik wilayah, dan nomor cluster yang sesuai.

#### e. Halaman Laporan

| NO | TANGGAL             | PELAPOR               | KELOMPOK              | WILAYAH KERJA           | STATUS           | AKSI  |
|----|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|---|
| 1  | 2025-07-27 09:40:57 | Bakti (petani@ke-1)   | KTH Sada Arth         | KTH Sada Arth 1         | Digener          |   |
| 2  | 2025-07-27 09:41:14 | Bakti (petani@ke-1)   | KTH Sada Arth         | KTH Sada Arth 2         | Digener          |   |
| 3  | 2025-07-27 09:48:18 | Bakti (petani@ke-1)   | KTH Sada Arth         | KTH Sada Arth 8         | Selama Diperiksa |   |
| 4  | 2025-07-27 09:54:34 | Akansa (petani@ke-2)  | KTH Para Ngakhal      | KTH Para Ngakhal 6      | Selama Diperiksa |   |
| 5  | 2025-01-01          | Akansa (petani@ke-14) | KTH Wisata perkebunan | KTH Wisata Perkebunan 1 | Digener          |   |

Gambar 8. Halaman Laporan

Pada Gambar Halaman laporan menampilkan daftar laporan dari kelompok tani yang memuat informasi tanggal, pelapor, kelompok, wilayah kerja, dan status proses. Tersedia tombol aksi untuk melihat detail atau menghapus laporan, dengan tampilan tabel sederhana yang memudahkan pembacaan data.

#### Testing Sistem

Pengujian sistem dilakukan menggunakan blackbox testing yang bertujuan menjamin sistem berjalan sesuai dengan perancangan yang diharapkan.

Table 6. Testing Sistem Sebagai *Admin*

| No | Pengujian             | Prosedur Pengujian                               | Hasil yang Diharapkan  | Hasil    | Feedback   |
|----|-----------------------|--|--|----------|--|
| 1. | Halaman Login         | Menginputkan <i>Username</i> dan <i>Password</i> | Sistem dapat menerima akses login menggunakan username dan password dan masuk pada halaman beranda   | Berhasil | Akses mudah dan proses login cepat. Fitur "Remember Me" berguna saat akses dari perangkat pribadi. |
| 2. | Halaman Beranda       | Masuk pada halaman beranda                       | Menampilkan halaman beranda dan menu <i>logout</i>   | Berhasil | Tampilan sederhana, menu mudah diakses.  |
|    |                       | Logout   | Muncul notifikasi konfirmasi log out   | Berhasil | Akses mudah dan proses logout cepat.   |
| 3. | Halaman Data Cluster  | Masuk pada Halaman Data Cluster                  | Menampilkan tabel jarak setiap sampel ke centroid dengan informasi seperti: nama, tahun, ketinggian, suhu rata-rata, kelembapan, kemiringan, jenis tanah, serta nilai jarak ke C1 s/d C4   | Berhasil | Data sangat membantu analisis wilayah dan pengelolaan hutan.                                       |
| 4. | Halaman Data Sampel   | Masuk pada Halaman Data Sampel                   | Menampilkan data-data sampel seperti: nama, tahun, ketinggian, suhu rata-rata, kelembapan, kemiringan, jenis tanah, kegiatan dan juga dapat menambah, menghapus dan mengubah data  | Berhasil | Input cepat dan fitur edit/hapus berfungsi dengan baik.  |
| 5. | Halaman Kelompok Tani | Masuk pada Halaman Kelompok Tani                 | Menampilkan nama nama alternatif dan dapat diberikan penilaian yang sesuai dengan kriteria   | Berhasil | Data rapi, disarankan menambahkan kolom kontak ketua kelompok tani.                                |
| 6  | Halaman Mapping       | Masuk Pada halaman mapping                       | Menampilkan peta wilayah kerja dalam bentuk interaktif dengan pin lokasi masing-masing kelompok tani. Saat diklik, muncul info detail seperti suhu, kelembapan, ketinggian, jenis tanah, kemiringan, dan saran kegiatan. Tersedia legenda warna untuk tiap kelompok. | Berhasil | Visualisasi akurat dan memudahkan identifikasi wilayah.  |

|   |                 |                            |  |          |   |
|---|-----------------|----------------------------|--|----------|---|
| 7 | Halaman Laporan | Masuk Pada halaman laporan | Menampilkan daftar laporan dari kelompok tani. | Berhasil | Fitur laporan berfungsi baik untuk monitoring kondisi lapangan. |
|---|-----------------|----------------------------|--|----------|---|

Table 7. Testing Sistem Sebagai User

| No | Pengujian             | Prosedur Pengujian                               | Hasil yang Diharapkan  | Hasil                    | Feedback  |
|----|-----------------------|--|--|--------------------------|---|
| 1. | Halaman Login         | Menginputkan <i>Username</i> dan <i>Password</i> | Sistem dapat menerima akses login menggunakan username dan password dan masuk pada halaman beranda   | Berhasil                 | Login mudah dan cepat, fitur "Remember Me" membantu agar tidak perlu login berulang. Namun beberapa anggota berharap ada opsi "Lupa Password" otomatis. |
| 2. | Halaman Beranda       | Masuk pada halaman beranda<br><br><i>Logout</i>  | Menampilkan halaman beranda, serta menu <i>logout</i><br><br>Muncul notifikasi Konfirmasi <i>Logout</i>  | Berhasil<br><br>Berhasil | Tampilan sederhana, menu mudah diakses.<br><br>Akses mudah dan proses logout cepat.   |
| 3. | Halaman Data Cluster  | Masuk pada Halaman Cluster                       | Menampilkan tabel jarak setiap sampel ke centroid dengan informasi seperti: nama, tahun, ketinggian, suhu rata-rata, kelembapan, kemiringan, jenis tanah, serta nilai jarak ke C1 s/d C4 | Berhasil                 | Data lengkap, tetapi beberapa anggota belum memahami arti jarak ke setiap centroid.   |
| 4. | Halaman Data Sampel   | Masuk pada Halaman Sampel                        | Menampilkan data-data sampel seperti: nama, tahun, ketinggian, suhu rata-rata, kelembapan, kemiringan, jenis tanah, kegiatan dan juga dapat menambah, menghapus dan mengubah data        | Berhasil                 | Mudah digunakan untuk menambah dan mengedit data.   |
| 5. | Halaman Kelompok Tani | Masuk pada Halaman Kelompok Tani                 | Menampilkan nama nama alternatif dan dapat diberikan penilaian yang sesuai dengan kriteria   | Berhasil                 | Informasi jelas, akan lebih menarik jika ditambah foto kelompok.  |
| 6. | Halaman Mapping       | Masuk halaman mapping                            | Pada Menampilkan peta wilayah kerja dalam bentuk interaktif dengan pin lokasi masing-masing kelompok tani. Saat diklik,  | Berhasil                 | Peta membantu memahami lokasi, warna cluster mudah dibedakan.   |

muncul info detail seperti suhu, kelembapan, ketinggian, jenis tanah, kemiringan, dan saran kegiatan. Tersedia legenda warna untuk tiap kelompok.

|    |                 |                            |   |          |   |
|----|-----------------|----------------------------|---|----------|---|
| 7. | Halaman Laporan | Masuk Pada halaman laporan | Menampilkan daftar laporan dari kelompok tani | Berhasil | Fitur laporan memudahkan penyampaian informasi terkait kegiatan, kondisi wilayah kerja, dan permasalahan di lapangan. |
|----|-----------------|----------------------------|---|----------|---|

### Diskusi Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil pengelompokan menggunakan metode K-Means dengan empat Cluster (C1–C4) berdasarkan ketinggian, kelembapan, kemiringan, suhu, dan jenis tanah menunjukkan pola biofisik yang konsisten. Cluster C1 (tanaman tahunan) berada pada ketinggian sedang–tinggi dengan kemiringan curam dan tanah subur, sedangkan C2 dan C3 berada pada ketinggian menengah–rendah dengan perbedaan utama pada kelembapan dan jenis penggunaan lahan. Cluster C4 (usaha non-pertanian) memiliki variasi kondisi tanah dan elevasi yang lebih beragam. Pola ini sejalan dengan penelitian (Ramadhani et al., 2025) yang melakukan analisis *clustering* spasial di Sumatera Utara menggunakan K-Means dan menentukan jumlah klaster optimal dengan metode Elbow dan Silhouette, menghasilkan empat klaster yang merepresentasikan perbedaan kondisi lingkungan secara jelas. Kesamaan juga terdapat pada penelitian oleh (Rahayunita, K., Cahyono, R. A., Maulana, 2025) yang mengelompokkan provinsi berdasarkan Indeks Kualitas Lingkungan (IKL) menggunakan teknik clustering seperti K-Means, K-Median, dan Fuzzy C-Means; mereka menentukan  $k = 4$  klaster menggunakan Elbow dan Silhouette, serta menyoroti elevasi dan variabel biofisik sebagai faktor dominan pembentukan klaster.

Namun, ada perbedaan metodologis yang penting. Pada penelitian ini, jumlah Cluster ( $C = 4$ ) ditetapkan berdasarkan karakteristik dominan data, tanpa verifikasi statistik seperti Silhouette Score, berbeda dengan penelitian (Ramadhani et al., 2025) dan (Rahayunita, K., Cahyono, R. A., Maulana, 2025) yang menggunakan metode tersebut untuk memastikan kualitas Cluster. Selain itu, penelitian ini belum melakukan standarisasi variabel numerik sebelum proses clustering, berbeda dengan kedua penelitian tersebut yang menerapkannya untuk menjaga proporsionalitas jarak Euclidean. Keterbatasan lain adalah belum digunakannya metrik validasi internal seperti Silhouette Coefficient atau Davies–Bouldin Index, sehingga penilaian kualitas klaster dalam penelitian ini masih bersifat subjektif.

Meskipun demikian, hasil penelitian ini tetap relevan secara ekologis dan biofisik, serta memperlihatkan konsistensi dengan temuan terdahulu. Pola pembagian klaster yang dihasilkan telah merepresentasikan perbedaan kondisi wilayah secara spasial dan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan pengelolaan lahan. Untuk pengembangan ke depan, disarankan menerapkan metode penentuan jumlah klaster secara objektif menggunakan Elbow Method dan Silhouette Score, melakukan standarisasi data, serta menambahkan validasi kuantitatif agar hasil pengelompokan semakin kuat secara metodologis dan aplikatif.



## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, perancangan sistem implementasi GIS dan *K-Means Clustering* dalam pengelolaan hutan lindung oleh kelompok tani di Kabupaten Karo berhasil mengelompokkan wilayah menjadi empat cluster, yaitu C1 (Tanaman Tahunan), C2 (Tanaman Bawah 1), C3 (Tanaman Bawah 2), dan C4 (Usaha Non-Pertanian), berdasarkan parameter ketinggian, kelembapan, kemiringan, suhu, dan jenis tanah. Sistem ini menampilkan hasil pengelompokan dalam peta interaktif yang mempermudah identifikasi potensi, permasalahan, dan perencanaan strategi pengelolaan. Integrasi data spasial dan non-spasial pada proses *clustering* terbukti meningkatkan akurasi klasifikasi wilayah dan mempercepat proses analisis dibandingkan metode konvensional. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan pada penggunaan parameter yang hanya mencakup aspek lingkungan serta uji coba yang terbatas di satu wilayah administrasi, sehingga hasilnya belum sepenuhnya merepresentasikan keragaman kondisi sosial-ekonomi atau dinamika perubahan lahan.

Sebagai saran, pengembangan sistem dapat diarahkan pada integrasi citra satelit resolusi tinggi, penambahan parameter sosial-ekonomi, serta pemantauan *real-time* berbasis IoT. Pengujian di wilayah konservasi lain dan penambahan fitur analitik prediktif juga berpotensi meningkatkan kemampuan sistem dalam memberikan peringatan dini terhadap risiko degradasi hutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Driyandita, B., Kencana, I. P. E. N., & Wijayakusuma, I. G. N. L. (2025). Analisis Pemilihan Parameter pada Algoritma DBSCAN untuk Pengelompokan Titik Api di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 5(3), 793–803. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.703>
- Efita, S. D., & Triase, T. (2024). Optimizing Zakat Distribution with GIS and Data Mining in Community Empowerment at BAZNAS Deli Serdang. *Journal of Information Systems and Informatics*, 6(4), 3087–3103. <https://doi.org/10.51519/journalisi.v6i4.942>
- Eli, Y., Turnip, H., & Fitriana, R. (2023). District Clustering Based On Forest Area Using K-Means Method In Central Java Province. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 33(1), 1–9. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2023.33.1.1>
- Febby Arisca Zurfani, Sawaluddin, Mardiningsih, & Muhammad Romi Syahputra. (2024). Analisis Metode Clustering K-Means pada Zonasi Daerah Terdampak Banjir di Kota Medan dengan Evaluasi Silhouette Coefficient. *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan Dan Angkasa*, 2(6), 170–181. <https://doi.org/10.62383/algoritma.v2i6.270>
- Kholila, N. (2022). Pemetaan Kondisi Lingkungan Tanam menggunakan K-Means Clustering sebagai Dasar Sistem Rekomendasi Tindakan Pertanian. *JAMI: Jurnal Ahli Muda Indonesia*, 3(2), 111–119. <https://doi.org/10.46510/jami.v3i2.131>
- Lutfi, M., Sukiyah, E., & Sulaksana, N. (2019). Analisis zonasi lahan usaha tambang menggunakan metode K-means clustering berbasis sistem informasi geografi. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 15(1), 49–61. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol15.no1.2019.978>
- Mellyadi, M., & Harliana, P. (2022). Segmentasi Citra Satelit dalam Observasi dan Konservasi Hutan Lindung Taman Nasional Gunung Lauser Menggunakan Algoritma Fuzzy C-Means. *Hello World Jurnal Ilmu Komputer*, 1(2), 90–96. <https://doi.org/10.56211/helloworld.v1i2.44>
- Nur, A. Z., & Jauhari, A. (2024). Geographic Information System Mapping of Essential Oil Producing Plants in Bangkalan Regency using K-Means Clustering. *Sains Data Jurnal Studi Matematika Dan Teknologi*, 2(1), 18–24. <https://doi.org/10.52620/sainsdata.v2i1.41>
- Okpatrioka Okpatrioka. (2023). Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan. *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa Dan Budaya*, 1(1), 86–100. <https://doi.org/10.47861/jdan.v1i1.154>
- Rahayunita, K., Cahyono, R. A., Maulana, H. (2025). Provincial Grouping in Indonesia Based on the Environmental Quality Index in 2022. *Bayesian: Jurnal Ilmiah Statistika Dan Ekonometrika*, 3(1), 15–24. <https://doi.org/10.46306/bay.v5i1.98>
- Ramadhani, F., Septiana, D., Amalia, S. N., Maulidina, P., & Satria, A. (2025). *Data Science: Journal Of Computing And Applied Informatics Spatial Clustering Analysis of Stunting in North Sumatra Based on*

- Environmental Factors Using K-Means Algorithm*. 9(2), 18–25. <https://doi.org/10.32734/jocai.v9.i2-17179>
- Suharyanto, A., Harianja, R. S. H. K., Ndraha, P. W., Saragih, I. S. K., Sipayung, K. F., Harahap, N., & Nababan, R. D. (2019). Indigenous Knowledge Masyarakat Etnis Karo Terhadap Pengelolaan Tumbuhan Hutan Di Desa Lingga, Kabupaten Karo. *Journal of Education, Humaniora and Social Sciences (JEHSS)*, 1(3), 162–169. <https://doi.org/10.34007/jehss.v1i3.33>
- Triase, T., Annisa, T., Rahmah, N. A., & Badri, M. (2022). Penerapan Metode MOORA pada Penyeleksian Rekomendasi Pembelian Mobil Daihatsu. *Sistem Pendukung Keputusan Dengan Aplikasi*, 1(1), 46–57. <https://doi.org/10.55537/spk.v1i1.110>
- Usman, F. J., & Suwarno, M. A. (2024). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Hutan Menggunakan Drone Berbasis Computer Vision. *IKRA-ITH Informatika: Jurnal Komputer Dan Informatika*, 9(2), 21–28. <https://doi.org/10.37817/ikraith-informatika.v9i2.4386>
- Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220–1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>
- Wiyono, W., Santoso, P., Hidayat, R., Oktalina, S. N., Nugroho, P., Prasetyo, E., Utomo, S., Lestari, P., Maulana, A. F., & Ngadianto, A. (2024). Pemetaan Lahan Perhutanan Sosial Secara Partisipatif di Kelompok Tani Hutan Kemasyarakatan Menggerejo, Kabupaten Kulon Progo. *Jurnal Penyuluhan Pembangunan*, 4(2), 1–11. <https://doi.org/10.34145/jppm.v4i1.3423>