

IMPLEMENTASI METODE FCM DAN SAW DALAM PENGELOMPOKAN DAN PEMILIHAN DAERAH PERKEBUNAN BIOFARMAKA (RIMPANG) TERBAIK DI JAWA BARAT

Nabilah 'Afaaf

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: nabilah.21055@mhs.unesa.ac.id

Dwi Nur Yunianti

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: dwiyunianti@unesa.ac.id*

Abstrak

Tanaman biofarmaka jenis rimpang seperti jahe, lengkuas, kunyit, dan kencur memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Provinsi Jawa Barat, namun diperlukan analisis kesesuaian wilayah yang tepat. Penelitian ini menerapkan metode Fuzzy C-Means (FCM) untuk mengelompokkan daerah berdasarkan ketinggian, suhu, kelembapan, kecepatan angin, curah hujan, dan penyinaran matahari, serta metode *Simple Additive Weighting* (SAW) untuk memberikan penilaian dan pemeringkatan guna menunjukkan daerah dengan hasil perkebunan biofarmaka rimpang terbaik pada setiap kluster berdasarkan kriteria luas panen dan jumlah produksi. Metode FCM diuji dengan jumlah kluster 2, 3, dan 4 menggunakan indeks Xie-Beni untuk memperoleh kluster optimal. Hasil terbaik diperoleh pada kluster 2 dengan nilai Xie-Beni sebesar 0,0551899560, yang menghasilkan dua zona utama, yaitu Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah dan Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh. Hasil analisis menunjukkan bahwa Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah paling sesuai untuk pengembangan tanaman jahe, lengkuas, kunyit, dan kencur, dengan daerah terbaik berdasarkan metode SAW adalah Kabupaten Garut dan Kabupaten Sumedang. Sementara itu, Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh paling sesuai untuk pengembangan tanaman kencur, dengan daerah terbaik yaitu Kabupaten Subang.

Kata kunci: Fuzzy C-Means, *Simple Additive Weighting*, Biofarmaka rimpang, Pengelompokan, Pemilihan daerah terbaik

Abstract

Rhizome-type biopharmaceutical plants such as ginger, galangal, turmeric, and kencur have great potential for development in West Java Province, but an accurate analysis of regional suitability is required. This study applied the Fuzzy C-Means (FCM) method to group areas based on altitude, temperature, humidity, wind speed, rainfall, and sunlight, as well as the Simple Additive Weighting (SAW) method to provide assessments and rankings to indicate the areas with the best rhizome biopharmaceutical crop yields in each cluster based on the criteria of harvest area and production volume. The FCM method was tested with 2, 3, and 4 clusters using the Xie-Beni index to obtain the optimal cluster. The best results were obtained in cluster 2 with a Xie-Beni value of 0.0551899560, which produced two main zones, namely the High Tropical Humid Quiet Moderate Rainfall Sunny Zone and the Low Tropical Very Humid Quiet High Rainfall Shady Zone. The analysis results show that the High Tropical Zone with Calm Humidity, Moderate Rainfall, and Clear Weather is most suitable for the cultivation of ginger, galangal, turmeric, and aromatic ginger, with the best areas based on the SAW method being Garut Regency and Sumedang Regency. Meanwhile, the Low Tropical Zone with Very Calm Humidity, High Rainfall, and Shady Weather is most suitable for the cultivation of aromatic ginger, with the best area being Subang Regency.

Keywords: Fuzzy C-Means, *Simple Additive Weighting*, Rhizome Biofarmaka, Clustering, Selection of the best areas

PENDAHULUAN

Sektor pertanian memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia, salah satunya melalui subsektor hortikultura. Hortikultura mencakup kegiatan pembenihan, pembibitan, kultur jaringan, produksi, pengendalian hama, panen, pengemasan hingga distribusi hasil tanaman. Komoditas hortikultura meliputi tanaman buah (*pomology/fruktikultur*), tanaman bunga (*floriculture*), tanaman sayuran (*olericulture*), tanaman obat-obatan (*biofarmaka*), dan taman (*lansekap*) (BPS Jawa Barat, 2024). Di antara kelompok tersebut, tanaman biofarmaka memiliki nilai ekonomi tinggi karena banyak dimanfaatkan sebagai bahan obat-obatan, jamu, bumbu masakan, maupun bahan alami kosmetik (Oktavianita dan Sofyana, 2020). Tanaman biofarmaka dibedakan menjadi dua yaitu tanaman biofarmaka rimpang dan tanaman biofarmaka bukan rimpang (Eko Ariyanto dan Indaryani, 2022). Jawa Barat merupakan salah satu provinsi dengan potensi pengembangan tanaman biofarmaka rimpang yang tinggi. Pada tahun 2024, provinsi ini mencatat produksi sebesar 118.889.334 kg, menunjukkan peran yang signifikan dalam sektor biofarmaka di Indonesia (Nugrahaeni dkk., 2025)

Tingkat produktivitas perkebunan tanaman biofarmaka di berbagai kabupaten dan kota di Jawa Barat menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Empat jenis tanaman biofarmaka rimpang, yaitu jahe, laos/lengkuas, kencur dan kunyit, memiliki persebaran cukup merata di Jawa Barat. Keempat tanaman tersebut memiliki tingkat produktivitas yang relatif tinggi. Setiap daerah penghasil tanaman biofarmaka memiliki karakteristik unggulan yang berbeda, baik dari segi ketinggian wilayah, kondisi iklim, maupun hasil perkebunan seperti luas panen dan jumlah produksi.

Faktor-faktor iklim, seperti ketinggian wilayah, suhu udara, curah hujan, kelembapan, kecepatan angin, dan penyinaran matahari, berperan penting dalam keberhasilan budidaya tanaman biofarmaka jenis rimpang (Suharno, SP. dan Ir. Hariyanto, 2018). Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan iklim yang berbeda untuk mendukung proses fotosintesis dan pertumbuhannya. Oleh karena itu, variasi iklim antarwilayah dapat menjadi salah satu penyebab perbedaan luas panen dan jumlah produksi. Misalnya, pada tahun 2024, berdasarkan kondisi

iklim yang terjadi di masing-masing kabupaten, Kabupaten Majalengka mampu menghasilkan 3.429.470 kg jahe dari lahan seluas 1.686.061 m², sedangkan Kabupaten Subang dengan luas lahan 755.658 m² mampu menghasilkan 4.252.637 kg jahe (Nugrahaeni dkk., 2025). Berdasarkan data tersebut, Kabupaten Subang menghasilkan jahe lebih banyak meskipun memiliki luas lahan yang lebih kecil dibandingkan Kabupaten Majalengka.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan metode analisis yang mampu mengelompokkan daerah berdasarkan kemiripan kondisi iklim sekaligus menilai potensi produksinya secara objektif. Pengelompokan daerah berdasarkan variabel iklim dapat membantu memahami kesesuaian lahan untuk tanaman biofarmaka rimpang, sedangkan penilaian luas panen dan jumlah produksi menunjukkan daerah dengan hasil terbaik. Oleh karena itu, metode *clustering* diperlukan untuk mengelompokkan daerah penghasil biofarmaka berdasarkan kesamaan karakteristiknya (Ediyanto dkk., 2013). Penerapan metode ini memungkinkan pembagian wilayah ke dalam kelompok dengan kondisi serupa sehingga strategi pengembangan dapat disusun secara lebih terarah, efisien, dan sesuai kebutuhan masing-masing daerah.

Metode *clustering* banyak diterapkan di berbagai bidang, salah satunya melalui konsep himpunan fuzzy yang diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 untuk menangani ketidakpastian dalam sistem kompleks (Hafid dkk., 2024). Salah satu metode yang menerapkan prinsip himpunan fuzzy dalam *clustering* data adalah Fuzzy C-Means (FCM) yang dikembangkan oleh Jim Bezdek pada tahun 1981 (Kusumadewi dan Purnomo, 2013). Metode ini telah diterapkan secara luas, seperti pada pengelompokan hasil panen padi (Nur dkk., 2023) dan klasifikasi tingkat kecemasan belajar siswa (Nurdiyanti dan Yuniarti, 2023).

Setelah proses *clustering*, diperlukan metode untuk menentukan alternatif terbaik, salah satunya *Simple Additive Weighting* (SAW) yang merupakan teknik dalam *Multi Attribute Decision Making* (MADM). SAW menilai alternatif berdasarkan bobot kriteria dan telah digunakan dalam pemilihan bibit padi (Nanda dan Anggraeni, 2022) serta pemeringkatan ruas jalan (Patricia dan Yuniarti, 2023). Kombinasi FCM dan SAW memungkinkan analisis yang lebih komprehensif dimulai dari

pengelompokan hingga penentuan prioritas terbaik dan terbukti efektif pada berbagai bidang, seperti pemilihan perumahan (Jaya dkk., 2014) dan penentuan kelayakan bantuan permukiman (Shugara dkk., 2016).

Penelitian ini menerapkan kombinasi metode Fuzzy C-Means (FCM) dan *Simple Additive Weighting* (SAW) untuk mengelompokkan daerah berdasarkan ketinggian wilayah, suhu, kelembapan, kecepatan angin, curah hujan, dan penyinaran matahari, serta menentukan daerah perkebunan biofarmaka rimpang terbaik di Jawa Barat berdasarkan luas panen dan jumlah produksi empat komoditas, yaitu jahe, lengkuas, kunyit, dan kencur. Penggunaan FCM memberikan gambaran kesamaan karakteristik iklim antar daerah, sedangkan SAW digunakan untuk menilai daerah terbaik secara objektif. Kombinasi keduanya diharapkan menghasilkan rekomendasi strategis yang akurat dan berkelanjutan bagi pengembangan sektor biofarmaka di Jawa Barat.

KAJIAN TEORI

TANAMAN BIOFARMAKA JENIS RIMPANG

Tanaman obat atau biofarmaka merupakan tanaman yang dimanfaatkan sebagai bahan obat-obatan dari bagian daun, buah, akar, atau umbi/rimpang (BPS Jawa Barat, 2024). Rimpang adalah bagian batang yang tumbuh di bawah tanah dan berfungsi menyimpan cadangan makanan. Tanaman biofarmaka memiliki khasiat untuk pengobatan dan pencegahan penyakit (Sarno, 2019) serta bernilai ekonomi tinggi sebagai bahan utama obat herbal. Salah satu kelompok yang banyak dibudidayakan adalah tanaman biofarmaka jenis rimpang, yang meliputi jahe, lengkuas, kunyit, dan kencur, dengan persebaran cukup merata di Jawa Barat.

Ketersediaan lahan perkebunan menjadikan Jawa Barat memiliki potensi besar dalam pengembangan tanaman biofarmaka jenis rimpang. Setiap daerah memiliki keunggulan berbeda, baik dari segi luas panen maupun jumlah produksi. Luas panen menggambarkan total lahan yang berhasil dipanen dalam satu periode tanam dan secara teori berbanding lurus dengan produksi, namun data menunjukkan bahwa luas lahan tidak selalu menentukan hasil. Beberapa daerah dengan lahan

sempit justru mampu menghasilkan produksi tinggi karena penerapan teknik budidaya yang optimal.

FAKTOR IKLIM YANG MEMPENGARUHI PERTUMBUHAN BIOFARMAKA

Faktor iklim berperan penting dalam menentukan produktivitas dan kualitas tanaman biofarmaka jenis rimpang, seperti jahe, lengkuas, kunyit, dan kencur. Kondisi iklim yang sesuai dapat menunjang pertumbuhan vegetatif serta pembentukan rimpang secara optimal, sedangkan iklim yang kurang mendukung dapat menurunkan hasil panen bahkan menghambat perkembangan tanaman.

Beberapa parameter iklim yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan kesesuaian lahan bagi tanaman biofarmaka rimpang meliputi ketinggian wilayah, suhu udara, kelembapan, kecepatan angin, curah hujan, dan penyinaran matahari. Indonesia termasuk wilayah beriklim tropis, yaitu daerah yang terletak di antara 23,5° Lintang Utara dan 23,5° Lintang Selatan, dengan karakteristik suhu udara tinggi dan relatif stabil berkisar antara 20–30 °C (BMKG, 2025).

HIMPUNAN FUZZY

Teori himpunan fuzzy digunakan untuk mengatasi ketidakpastian atau keragu-raguan yang seringkali ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, seperti keragu-raguan dalam pengambilan keputusan, penalaran, pembelajaran, dan sebagainya. Definisi himpunan fuzzy adalah sebagai berikut: misalkan S adalah himpunan semesta tak kosong. Suatu himpunan fuzzy Y atas S didefinisikan sebagai berikut.

$$Y = \{(s, \mu_Y(s)) | s \in S, \mu_Y(s) \in [0,1]\}$$

dengan

μ_Y adalah fungsi keanggotaan himpunan fuzzy Y di mana $\mu_Y: S \rightarrow [0,1]$ dan $\mu_Y(s)$ adalah derajat keanggotaan s pada himpunan fuzzy Y (Zimmermann, 1991).

FUZZY C-MEANS

Fuzzy C-Means adalah suatu teknik *clustering* data ke dalam beberapa kluster yang ditentukan oleh derajat keanggotaan (Nurdiyanti dan Yuniarti, 2023). Fuzzy C-Means digunakan untuk mendapatkan pusat kluster, yang digunakan untuk data mana yang termasuk ke dalam setiap kluster. Adapun algoritma fuzzy C-Means adalah sebagai berikut.

1. Memasukkan data yang akan di kluster. Data direpresentasikan berupa matriks X berukuran $n \times m$ dengan n banyak data dan m banyak atribut data. x_{ij} merupakan entri matriks X yang menyatakan data ke- i dan atribut ke- j dengan $i = 1, 2, \dots, n$ dan $j = 1, 2, \dots, m$.

Matriks X ditulis sebagai berikut.

$$X = [x_{ij}] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

2. Menentukan:
 - a) banyak kluster (c)
 - b) Pangkat (w)
 - c) Maksimum iterasi (MaxIter)
 - d) Error terkecil yang diharapkan (ξ)
 - e) Fungsi objektif awal (P_0)
 - f) Iterasi awal (t)
3. Membentuk matriks partisi awal $U = [\mu_{ik}]$ dengan μ_{ik} bernilai 0 sampai dengan 1 dan jumlah setiap barisnya sama dengan 1. Langkah membentuk matriks U dengan membangkitkan bilangan random μ_{ik} , $i = 1, 2, \dots, n$ dan $k = 1, 2, \dots, c$ dengan $\mu_{ik} \in [0, 1]$ kemudian menghitung,

$$Q_i = \sum_{k=1}^c \mu_{ik} \quad (1)$$

$$\mu_{ik} = \frac{\mu_{ik}}{Q_i} \quad (2)$$

4. Menghitung pusat kluster ke- k dan atribut ke- j . Pusat kluster dilambangkan dengan V_{kj} .

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik})^w \cdot x_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (3)$$

dengan $k = 1, 2, \dots, c$ dan $j = 1, 2, \dots, m$.

Hasil pusat kluster V_{kj} akan disajikan dalam bentuk matriks V seperti berikut.

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & V_{14} & \dots & V_{1m} \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & V_{24} & \dots & V_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{c1} & V_{c2} & V_{c3} & V_{c4} & \dots & V_{cm} \end{bmatrix}$$

5. Menghitung fungsi objektif pada iterasi ke- t , fungsi objektif disimbolkan dengan P_t , dengan $t = 0, 1, 2, \dots, d$, d merupakan banyak iterasi.

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \left(\left[\sum_{j=1}^m (x_{ij} - V_{kj})^2 \right] (\mu_{ik})^w \right) \quad (4)$$

6. Menghitung perubahan matriks partisi

$$\mu_{ik} = \frac{\left[\sum_{j=1}^m (x_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}}{\sum_{k=1}^c \left[\sum_{j=1}^m (x_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}} \quad (5)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, n$ dan $k = 1, 2, \dots, c$

7. Cek kondisi berhenti:
 - a) Jika $(|P_t - (P_{t-1})| < \xi)$ atau $(t > \text{MaxIter})$ maka perhitungan selesai;
 - b) Jika belum memenuhi kondisi berhenti maka $t = t + 1$ dan ulangi langkah ke-4.

INDEKS XIE-BENI

Validasi hasil clustering bertujuan menilai kualitas pengelompokan agar diperoleh kluster terbaik. Salah satu metode yang digunakan adalah indeks Xie-Beni, yang mengukur kevalidan kluster berdasarkan nilai terkecil sebagai indikator hasil optimal (Jaya dkk., 2014). Dalam penelitian ini, indeks Xie-Beni digunakan untuk menentukan jumlah kluster optimal pada metode Fuzzy C-Means dengan membandingkan hasil beberapa percobaan, di mana nilai indeks terkecil menunjukkan kluster paling representatif. Adapun rumus kevalidan suatu kluster atau indeks Xie-Beni yaitu.

$$XB = \frac{\sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n \mu_{ik}^w \cdot \sum_{j=1}^m (x_{ij} - V_{kj})^2}{n \cdot \min_{k \neq l} \{ \sum_{j=1}^m (V_{kj} - V_{lj})^2 \}} \quad (6)$$

di mana

XB : Xie-Beni Indeks

c : jumlah kluster

n : jumlah data

w : indeks fuzzifikasi (pangkat)

μ_{ik} : derajat keanggotaan data ke- i terhadap kluster ke- k

x_{ij} : data ke- i dan atribut ke- j dengan $i = 1, 2, \dots, n$ dan $j = 1, 2, \dots, m$.

V_{kj} : pusat kluster ke- k dan atribut ke- j dengan $k = 1, 2, \dots, c$ dan $j = 1, 2, \dots, m$

SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING

Metode *Simple Additive Weighting* (SAW) merupakan salah satu metode untuk penyelesaian masalah *Multi Attribute Decision Making*. Metode ini digunakan untuk menentukan peringkat dan memilih alternatif terbaik. Adapun algoritma *Simple Additive Weighting* adalah sebagai berikut.

1. Menentukan alternatif, yaitu A_i dan kriteria yaitu C_j , dimana $i = 1, 2, \dots, m$ dan $j = 1, 2, \dots, n$.
2. Membentuk matriks keputusan X yang dibentuk dari setiap alternatif pada setiap kriteria. Nilai setiap alternatif A_i di kriteria C_j yang sudah ditentukan, dimana $i = 1, 2, \dots, m$ dan $j = 1, 2, \dots, n$.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

3. Menentukan bobot preferensi setiap kriteria (w_j).
4. Menentukan matriks keputusan ternormalisasi R

Matriks keputusan ternormalisasi R merupakan matriks yang entri-entrinya adalah r_{ij} , dengan r_{ij} adalah nilai rating kinerja ternormalisasi dari setiap alternatif terhadap setiap kriteria.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max \{x_{ij}\}} & \text{Jika } j \text{ adalah kriteria biaya (cost)} \\ \frac{\min \{x_{ij}\}}{x_{ij}} & \text{Jika } j \text{ adalah kriteria keuntungan (benefit)} \end{cases} \quad (8)$$

di mana:

- r_{ij} = entri matriks ternormalisasi
- $\max x_{ij}$ = nilai maksimum dari nilai alternatif i pada kriteria j
- $\min x_{ij}$ = nilai minimal dari nilai alternatif i pada kriteria j
- x_{ij} = nilai atribut yang dimiliki alternatif i untuk kriteria j

Atribut keuntungan merupakan kriteria yang dianggap menguntungkan, sedangkan atribut biaya merupakan kriteria yang dianggap tidak menguntungkan.

Selanjutnya, hasil dari penilaian ternormalisasi (r_{ij}) dapat disusun menjadi matriks keputusan ternormalisasi R berikut.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

5. Menentukan nilai preferensi setiap alternatif (V_i)

$$V_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij} \quad (10)$$

dengan

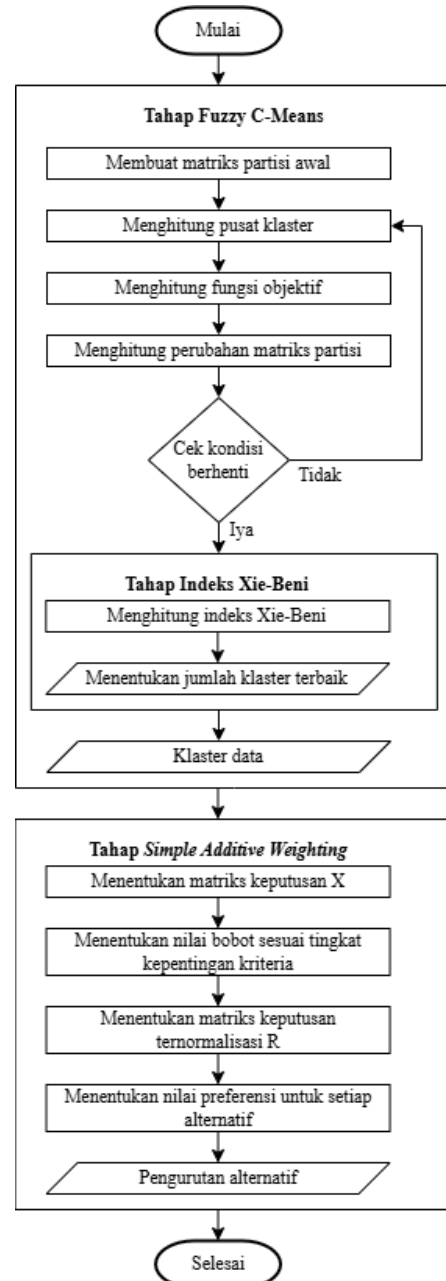
- V_i = nilai preferensi untuk alternatif,
- w_j = bobot preferensi untuk setiap kriteria,
- r_{ij} = entri matriks ternormalisasi

6. Mengurutkan alternatif berdasarkan nilai preferensi (V_i)

Melakukan pengurutan alternatif dari nilai preferensi terbesar ke terkecil. Alternatif yang mempunyai nilai preferensi terbesar ditetapkan sebagai alternatif terbaik.

KOMBINASI METODE FUZZY C-MEANS DAN SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING

Kombinasi metode FCM dan SAW digunakan untuk proses klasifikasi dan pemeringkatan secara bersamaan. FCM berfungsi mengelompokkan data berdasarkan kemiripan karakteristik dengan jumlah kluster optimal yang ditentukan melalui indeks Xie-Beni, sedangkan SAW digunakan untuk memilih alternatif terbaik dari setiap kluster. Langkah-langkah penerapan kedua metode ditunjukkan pada diagram alir berikut.

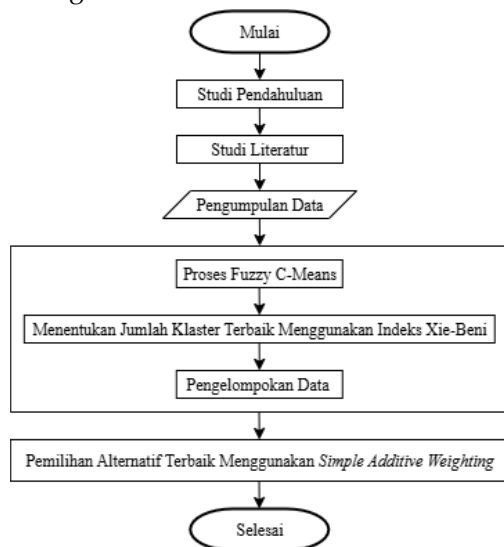


Gambar 1. Diagram Alir Kombinasi Metode Fuzzy C-Means dan Simple Additive Weighting

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pemrosesan data untuk mengelompokkan dan memilih daerah perkebunan biofarmaka rimpang terbaik di Jawa Barat. Analisis dilakukan menggunakan kombinasi dua metode, yaitu Fuzzy C-Means (FCM) dan *Simple Additive Weighting* (SAW). Metode FCM berfungsi mengelompokkan daerah berdasarkan kemiripan karakteristik iklim, sedangkan SAW digunakan untuk menentukan daerah terbaik berdasarkan hasil produktivitas. Jumlah kluster optimal ditentukan menggunakan indeks Xie-Beni agar hasil pengelompokan lebih akurat dan representatif.

Daerah yang menjadi subjek penelitian mencakup kabupaten dan kota di Jawa Barat dengan persebaran perkebunan biofarmaka rimpang seperti jahe, lengkuas, kunyit, dan kencur yang relatif merata. Data yang digunakan terdiri atas faktor iklim meliputi ketinggian wilayah, suhu, kelembapan, kecepatan angin, curah hujan, dan penyinaran matahari serta data produktivitas berupa luas panen dan jumlah produksi. Data iklim diperoleh dari masing-masing BPS kabupaten/kota di Jawa Barat, sedangkan data produktivitas tanaman bersumber dari BPS Provinsi Jawa Barat. Proses pengolahan dan analisis kombinasi metode FCM SAW disajikan dalam diagram alir berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Teknik Pengolahan Data

Adapun penjelasan mengenai diagram alir teknik pengolahan data, sebagai berikut.

1. Studi pendahuluan
Dilakukan untuk memperoleh gambaran umum mengenai kondisi daerah penghasil tanaman biofarmaka rimpang di Jawa Barat.
2. Studi literatur
Menelusuri teori terkait metode Fuzzy C-Means (FCM), *Simple Additive Weighting* (SAW), dan validasi indeks Xie-Beni.
3. Pengumpulan data
Proses pengumpulan data dilakukan menggunakan data sekunder dari BPS tahun 2024, mencakup faktor iklim (ketinggian, suhu, kelembapan, kecepatan angin, curah hujan, penyinaran) dan data produktivitas (luas panen, jumlah produksi). Data iklim dirata-ratakan untuk mewakili kondisi tahunan.
4. Proses Fuzzy C-Means
Metode ini digunakan untuk menentukan pusat kluster dan matriks partisi akhir dari beberapa jumlah kluster. Pada penelitian ini, pemilihan jumlah kluster antara 2 hingga \sqrt{n} (n di sini adalah jumlah elemen dalam suatu set data) (Wu dkk., 2024).
5. Menentukan jumlah kluster optimal menggunakan Indeks Xie-Beni
Proses ini untuk mengetahui nilai indeks Xie-Beni yang dihasilkan dari proses Fuzzy C-Means serta menentukan jumlah kluster terbaik yang sesuai berdasarkan nilai tersebut. Nilai indeks yang minimum menunjukkan kualitas kluster yang optimal.
6. Pengelompokan data
Berdasarkan jumlah kluster terbaik, dilakukan proses pengelompokan data untuk membagi objek penelitian ke dalam kelompok atau kluster yang memiliki kriteria serupa.
7. Pemilihan alternatif terbaik (SAW)
Metode ini menghitung nilai preferensi tiap daerah melalui normalisasi dan pembobotan; skor tertinggi ditetapkan sebagai daerah terbaik di tiap kluster.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PENGUMPULAN DATA

Penelitian ini menggunakan data dari 17 kabupaten/kota di Jawa Barat dengan dua kategori kriteria. Pengelompokan menggunakan metode Fuzzy C-Means didasarkan pada enam faktor iklim:

ketinggian, suhu, kelembapan, kecepatan angin, hari hujan, dan penyinaran matahari. Data bulanan tahun 2024 diperoleh dari BPS kabupaten/kota, kemudian dirata-ratakan untuk mewakili kondisi iklim tahunan tiap daerah. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Kondisi Iklim 17 Kabupaten/Kota di Jawa Barat dalam Satu Tahun

Kabupaten/Kota	2024					
	Tinggi Wilayah	Suhu Rata-Rata	Kelembaban Rata-Rata	Kecepatan Angin Rata-Rata	Rata-Rata Jumlah Curah Hujan	Rata-Rata Lama Penyinaran Matahari
Kabupaten Bogor	129,41	26,68	82,83	3,51	405,75	57,84
Kabupaten Cianjur	454,66	26,68	82,92	1,80	405,00	57,95
Kabupaten Bandung	728,01	24,58	77,67	1,75	184,58	60,58
Kabupaten Garut	758,92	24,20	77,17	0,83	189,00	57,78
Kabupaten Kuningan	533,74	28,11	76,75	5,50	168,92	92,82
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Kota Banjar	36	28,26	79,45	0,85	183,26	5,58

*Keterangan: Data diolah dari rata-rata bulanan dalam satu tahun.

Sedangkan data untuk pemilihan daerah perkebunan biofarmaka jenis rimpang terbaik dengan metode SAW mencakup luas panen dan jumlah produksi empat tanaman, yaitu jahe, lengkuas, kunyit, dan kencur pada tahun 2024. Data diambil dari BPS Provinsi Jawa Barat dan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Perkebunan Biofarmaka Jenis Rimpang di Jawa Barat

Kabupaten / Kota	2024							
	Luas Panen				Jumlah Produksi			
	Jahe	Laos	Kunyit	Kencur	Jahe	Laos	Kunyit	Kencur
Kabupaten Bogor	972145	1541172	233481	341168	7600865	17819907	1293111	2776168
Kabupaten Cianjur	1806541	113040	476279	243353	7121555	1239441	1629465	725506
Kabupaten Bandung	302889	22225	82604	18995	722944	102434	447046	87210
Kabupaten Garut	4684903	118058	5759287	113146	13753701	375645	16759112	198150
Kabupaten Kuningan	1226392	4425	49490	2010	5370421	7545	88640	3740
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Kota Banjar	8505	7320	6729	11126	28488	34710	23699	28825

*Sumber: BPS Provinsi Jawa Barat

PENGELOMPOKAN DENGAN FUZZY C-MEANS

Pengelompokan daerah perkebunan biofarmaka jenis rimpang di Jawa Barat dilakukan menggunakan metode Fuzzy C-Means berdasarkan data iklim dari 17 kabupaten/kota. Pengujian dilakukan dengan jumlah kluster 2, 3, dan 4, sesuai hasil perhitungan $\sqrt{17} = 4,123$. Berikut contoh perhitungan untuk banyak kluster 2.

1. Memasukkan data yang akan di kluster. Data direpresentasikan berupa matriks X berukuran $n \times m$ dengan n banyak data sebanyak 17 kabupaten/kota dan m banyak atribut data sebanyak 6 atribut.

$$X = \begin{bmatrix} 129,41 & 26,68 & \dots & 57,84 \\ 454,66 & 26,68 & \dots & 57,95 \\ 728,01 & 24,58 & \dots & 60,58 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 36 & 28,26 & \dots & 5,58 \end{bmatrix}$$

2. Menentukan:

- Banyak kluster (c) = 2
- Pangkat (w) = 2
- Maksimum iterasi (MaxIter) = 100
- Error terkecil yang diharapkan (ξ) = 0,00001
- Fungsi objektif awal (P_0) = 0
- Iterasi awal (t) = 0

3. Membentuk matriks partisi awal U secara acak dengan nilai keanggotaan μ_{ik} pada rentang $[0,1]$. Untuk jumlah data $n = 17$ dan kluster $c = 2$, diperoleh matriks berukuran 17×2 seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Membangkitkan Bilangan Acak untuk Jumlah Data $n=17$ dan Jumlah Kluster $c=2$

μ_{i1}	μ_{i2}
0,989	0,070
0,120	0,933
0,101	0,142
0,812	0,841
0,883	0,016
⋮	⋮
0,454	0,832

Selanjutnya, mencari nilai Q_i dengan menggunakan persamaan (1). Diperoleh nilai Q_i sebagai berikut.

$$Q_1 = \sum_{k=1}^2 \mu_{1k} = 0,989 + 0,070 = 1,059$$

$$Q_2 = \sum_{k=1}^2 \mu_{2k} = 0,120 + 0,933 = 1,053$$

⋮

$$Q_{17} = \sum_{k=1}^2 \mu_{17k} = 0,454 + 0,832 = 1,286$$

Selanjutnya, membentuk matriks partisi awal U dengan membangkitkan bilangan random μ_{ik} dengan menggunakan persamaan (2).

Untuk data ke-1 dan kluster ke-1

$$\mu_{11} = \frac{0,989}{1,059} = 0,9339$$

Untuk data ke-1 dan kluster ke 2

$$\mu_{12} = \frac{0,070}{1,059} = 0,0661$$

Dengan menerapkan langkah yang sama pada seluruh bilangan random μ_{ik} , diperoleh matriks partisi awal U seperti ditunjukkan pada matriks berikut.

$$U = \begin{bmatrix} 0,9338999056 & 0,0661000944 \\ 0,113960114 & 0,8860398860 \\ 0,4156378601 & 0,5843621399 \\ \vdots & \vdots \\ 0,3530326594 & 0,6469673406 \end{bmatrix}$$

Setiap baris matriks U harus memenuhi syarat bahwa jumlah dari setiap elemen dalam satu baris tersebut sama dengan satu.

4. Menghitung pusat kluster pada iterasi ke-1, dengan menggunakan persamaan (3). Dapat dihitung 2 pusat kluster V_{kj} dengan $k = 1,2$ dan $j = 1,2, \dots, 6$. Sehingga diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut.

Untuk $k = 1$,

$$V_{11} = \frac{(0,9338999056^2 \cdot 129,41) + (0,1139601140^2 \cdot 26,68) + \dots + (0,3530326594^2 \cdot 36)}{0,9338999056^2 + 0,1139601140^2 + \dots + 0,3530326594^2} = \frac{1437,6550268005}{4,6371136160} = 310,0323058369$$

$$V_{12} = \frac{(0,9338999056^2 \cdot 26,68) + (0,1139601140^2 \cdot 26,68) + \dots + (0,3530326594^2 \cdot 28,26)}{0,9338999056^2 + 0,1139601140^2 + \dots + 0,3530326594^2} = \frac{125,2993956810}{4,6371136160} = 27,0209889290$$

⋮

$$V_{16} = \frac{(0,9338999056^2 \cdot 57,84) + (0,1139601140^2 \cdot 57,95) + \dots + (0,3530326594^2 \cdot 5,58)}{0,9338999056^2 + 0,1139601140^2 + \dots + 0,3530326594^2} = \frac{246,4677187453}{4,6371136160} = 53,1511063033$$

Untuk $k = 2$,

$$V_{21} = \frac{(0,0661000944^2 \cdot 129,41) + (0,8860398860^2 \cdot 454,66) + \dots + (0,6469673406^2 \cdot 36)}{0,0661000944^2 + 0,8860398860^2 + \dots + 0,6469673406^2} = \frac{1414,1380947072}{5,8408796592} = 242,1104657555$$

$$V_{22} = \frac{(0,0661000944^2 \cdot 26,68) + (0,8860398860^2 \cdot 26,68) + \dots + (0,6469673406^2 \cdot 28,26)}{0,0661000944^2 + 0,8860398860^2 + \dots + 0,6469673406^2} = \frac{155,3599886990}{5,8408796592} = 26,5987313152$$

⋮

$$V_{26} = \frac{(0,0661000944^2 \cdot 57,84) + (0,8860398860^2 \cdot 57,95) + \dots + (0,6469673406^2 \cdot 5,58)}{0,0661000944^2 + 0,8860398860^2 + \dots + 0,6469673406^2} = \frac{259,6140592264}{5,8408796592} = 44,4477671815$$

Sehingga pusat kluster (V) yang terbentuk pada iterasi pertama adalah:

$$V = \begin{bmatrix} 310,0323058369 & 27,0209889290 & \dots & 53,1511063033 \\ 242,1104657555 & 26,5987313152 & \dots & 44,4477671815 \end{bmatrix}$$

5. Menghitung fungsi objektif pada iterasi ke- t . Berikut hasil fungsi objektif pada iterasi pertama (P_1) yang dihitung menggunakan persamaan (4).

Untuk $i = 1$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^2 \left(\left[\sum_{j=1}^6 (x_{ij} - V_{kj})^2 \right] (\mu_{ik})^2 \right) &= \\ &= [((129,41 - 310,0323058369)^2 + (26,68 - 27,0209889290)^2 + (82,83 - 79,1695230981)^2 + (3,51 - 3,1370164729)^2 + (405,75 - 249,8052440282)^2 + (57,84 - 53,1511063033)^2) \cdot 0,9338999056^2] + \\ &+ [((129,41 - 242,1104657555)^2 + (26,68 - 26,5987313152)^2 + (82,83 - 79,7608602556)^2 + (3,51 - 2,4609115736)^2 + (405,75 - 261,2786446137)^2 + (57,84 - 44,4477671815)^2) \cdot 0,0661000944^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 49695,1662894129 + 147,5191344929 \\ &= 49842,6854239058 \end{aligned}$$

Berdasarkan contoh perhitungan fungsi objektif pada iterasi pertama untuk data ke-1, perhitungan yang sama dilakukan pada seluruh data hingga data ke-17. Hasilnya kemudian dijumlahkan untuk memperoleh nilai fungsi objektif pada iterasi pertama (P_1) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_1 &= \sum_{i=1}^{17} \sum_{k=1}^2 \left(\left[\sum_{j=1}^6 (x_{ij} - V_{kj})^2 \right] (\mu_{ik})^2 \right) \\ &= 840308,9192491850 \end{aligned}$$

6. Menghitung perubahan matriks partisi
Perubahan matriks partisi baru dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5). Dengan $i = 1,2, \dots, 17$ dan $k = 1,2$ maka diperoleh, sebagai berikut.

Untuk $i = 1$ dan $k = 1$,

$$\begin{aligned} \left[\sum_{j=1}^6 (X_{1j} - V_{1j})^2 \right]^{\frac{-1}{2-1}} &= \\ &= [(129,41 - 310,0323058369)^2 \\ &+ (26,68 - 27,0209889290)^2 \\ &+ (82,83 - 79,1695230981)^2 \\ &+ (3,51 - 3,1370164729)^2 \\ &+ (405,75 - 249,8052440282)^2 \\ &+ (57,84 - 53,1511063033)^2]^{\frac{-1}{2-1}} \\ &= 0,0000175504 \end{aligned}$$

Untuk $i = 1$ dan $k = 2$,

$$\begin{aligned} \left[\sum_{j=1}^6 (X_{1j} - V_{2j})^2 \right]^{\frac{-1}{2-1}} &= \\ &= [(129,41 - 242,1104657555)^2 \\ &+ (26,68 - 26,5987313152)^2 \\ &+ (82,83 - 79,7608602556)^2 \\ &+ (3,51 - 2,4609115736)^2 \\ &+ (405,75 - 261,2786446137)^2 \\ &+ (57,84 - 44,4477671815)^2]^{\frac{-1}{2-1}} \\ &= 0,0000296180 \end{aligned}$$

diperoleh

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^2 \left[\sum_{j=1}^6 (x_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{2-1}} &= 0,0000175504 + 0,0000296180 \\ &= 0,0000471684 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh matriks partisi baru untuk μ_{11} dan μ_{12} sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \mu_{11} &= \frac{\left[\sum_{j=1}^6 (x_{1j} - V_{1j})^2 \right]^{\frac{-1}{2-1}}}{\sum_{k=1}^2 \left[\sum_{j=1}^6 (x_{1j} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{2-1}}} = \frac{0,0000175504}{0,0000471684} \\ &= 0,3720793008 \end{aligned}$$

dan

$$\mu_{12} = \frac{\left[\sum_{j=1}^6 (x_{1j} - V_{2j})^2\right]^{-\frac{1}{2-1}}}{\sum_{k=1}^2 \left[\sum_{j=1}^6 (x_{1j} - V_{kj})^2\right]^{-\frac{1}{2-1}}} = \frac{0,0000296180}{0,0000471684} = 0,6279206992$$

Berdasarkan contoh perhitungan perubahan matriks partisi baru pada data ke-1, perhitungan untuk data lainnya dilakukan dengan langkah yang sama. Hasil perhitungan matriks partisi baru (U) sebagai berikut.

$$U = \begin{bmatrix} 0,3720793008 & 0,6279206992 \\ 0,5944664040 & 0,4055335960 \\ 0,5750402936 & 0,4249597064 \\ \vdots & \vdots \\ 0,3797842646 & 0,6202157354 \end{bmatrix}$$

7. Cek kondisi berhenti

Pada proses perhitungan iterasi ke-1 dengan jumlah kluster sebanyak 2, diperoleh nilai fungsi objektif awal $P_0 = 0$ dan fungsi objektif pada iterasi pertama $P_1 = 840308,9192491850$. Maka selisih fungsi objektif dihitung sebagai berikut.

$$|P_1 - P_0| = |840308,9192491850 - 0| = 840308,9192491850$$

Karena nilai $840308,9192491850 > 0,00001$, maka kondisi berhenti belum terpenuhi dan iterasi dilanjutkan ke langkah berikutnya. Dengan demikian, perhitungan iterasi tetap berlanjut hingga mencapai $(|P_t - (P_{t-1})| < \xi)$ atau hingga jumlah iterasi melebihi batas maksimum ($t > \text{Maxlter}$).

Pada iterasi terakhir, proses perhitungan dihentikan karena telah memenuhi kondisi berhenti, yaitu $(|P_t - (P_{t-1})| < \xi)$. Dengan menggunakan langkah perhitungan yang sama seperti pada iterasi sebelumnya, proses FCM dihentikan pada iterasi ke-16. Nilai fungsi objektif yang diperoleh pada iterasi ke-16 adalah $P_{16} = 298020,4026825760$, sedangkan pada iterasi ke-15 adalah $P_{15} = 298020,4026840120$. Dengan demikian, kondisi berhenti dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$|P_{16} - P_{15}| = |298020,4026825760 - 298020,4026840120| = 0,0000014360$$

Dengan demikian, pusat kluster (V) dan matriks partisi akhir (U) yang diperoleh ditunjukkan sebagai berikut.

Pusat kluster:

$$V = \begin{bmatrix} 641,2668542651 & 25,8790578844 & \dots & 64,8091649540 \\ 81,1447906600 & 27,0712587567 & \dots & 34,8252662165 \end{bmatrix}$$

Matriks Partisi U :

$$U = \begin{bmatrix} 0,0731925506 & 0,9268074494 \\ 0,6835869851 & 0,3164130149 \\ 0,9815003505 & 0,0184996495 \\ \vdots & \vdots \\ 0,0235441294 & 0,9764558706 \end{bmatrix}$$

Hasil perhitungan untuk jumlah kluster 3 dan 4, berupa pusat kluster dan matriks U , dapat diperoleh dengan cara yang sama seperti pada contoh perhitungan dengan 2 kluster.

PENENTUAN JUMLAH KLASTER OPTIMAL DENGAN INDEKS XIE-BENI

Perhitungan indeks Xie-Beni pada klasterisasi dengan jumlah kluster sebanyak 2 dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.6). Data yang diperlukan dalam perhitungan ini meliputi hasil proses Fuzzy C-Means berupa pusat kluster (V) dan matriks partisi akhir (U). Selain itu, digunakan juga data asli yang menjadi dasar proses pengelompokan. Berikut perhitungan indeks Xie-Beni dengan kluster berjumlah dua.

Langkah pertama adalah menghitung bagian pembilang.

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^{17} \mu_{ik}^2 \cdot \sum_{j=1}^6 (x_{ij} - V_{kj})^2$$

Untuk $i = 1$ dan $k = 1$

$$\begin{aligned} \mu_{11}^2 \cdot \sum_{j=1}^6 (x_{1j} - V_{1j})^2 &= 0,0731925506^2 \cdot ((129,41 - 641,2668542651)^2 + (26,68 - 25,8790578844)^2 + (82,83 - 78,1644361607)^2 + (3,51 - 2,2768979081)^2 + (405,75 - 206,1418046046)^2 + (57,84 - 64,8091649540)^2) \\ &= 1617,3950453105 \end{aligned}$$

Untuk $i = 1$ dan $k = 2$

$$\begin{aligned} \mu_{12}^2 \cdot \sum_{j=1}^6 (x_{1j} - V_{2j})^2 &= 0,926807^2 \cdot ((129,41 - 81,144731)^2 + (26,68 - 27,071041)^2 + (82,83 - 79,685257)^2 + (3,51 - 2,698016)^2 + (405,75 - 260,928980)^2 + (57,84 - 34,824906)^2) \\ &= 20480,4145362265 \end{aligned}$$

diperoleh

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^2 \mu_{1k}^2 \cdot \sum_{j=1}^6 (x_{1j} - V_{kj})^2 &= 1617,3950453105 + 20480,4145362265 \\ &= 22097,8095815370 \end{aligned}$$

Dengan langkah serupa untuk setiap kombinasi i dan k hingga data ke-17, kemudian seluruh hasil dijumlahkan, diperoleh hasil berikut.

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^{17} \mu_{ik}^2 \cdot \sum_{j=1}^6 (x_{ij} - V_{kj})^2 = 298020,4026824380$$

Langkah kedua adalah menghitung bagian penyebut.

$$n \cdot \min_{k \neq l} \left\{ \sum_{j=1}^6 (V_{kj} - V_{lj})^2 \right\}$$

Hitung semua kombinasi:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^6 (V_{1j} - V_{2j})^2 &= (641,2668542651 - 81,1447906600)^2 + \\ &\quad (25,8790578844 - 27,0712587567)^2 + \\ &\quad (78,1644361607 - 79,6852487187)^2 + \\ &\quad (2,2768979081 - 2,7001364062)^2 + \\ &\quad (206,1418046046 - 260,9293248005)^2 + \\ &\quad (64,8091649540 - 34,8252662165)^2 \\ &= 317641,3460345380 \end{aligned}$$

Karena hanya terdapat satu kombinasi, maka

$$n \cdot \min_{k \neq l} \{ \sum_{j=1}^6 (V_{kj} - V_{lj})^2 \} = 17 \cdot 317641,3460345380 = 5399902,8825871500$$

Langkah terakhir adalah menghitung nilai XB dan diperoleh nilai XB untuk kluster sebanyak 2 yakni.

$$XB = \frac{\sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^{17} \mu_{ik}^2 \sum_{j=1}^6 (x_{ij} - V_{kj})^2}{17 \cdot \min_{k \neq l} \{ \sum_{j=1}^6 (V_{kj} - V_{lj})^2 \}} = \frac{298020,4026824380}{5399902,8825871500} = 0,0551899560$$

Perhitungan indeks Xie-Beni untuk jumlah kluster 3 dan 4 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada kluster berjumlah 2. Hasil perbandingan nilai indeks Xie-Beni untuk kluster 2, 3, dan 4 disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Indeks Xie-Beni pada Kluster Sebanyak 2, 3, dan 4

Jumlah Kluster	Indeks Xie-Beni
2	0,0551899560
3	0,1612414856
4	0,0767482290

Berdasarkan hasil pada tabel tersebut, jumlah kluster 2 memiliki nilai indeks Xie-Beni paling kecil, yaitu 0,0551899560. Nilai terkecil ini menunjukkan bahwa konfigurasi empat kluster memberikan hasil pengelompokan yang paling optimal dibandingkan dengan jumlah kluster lainnya.

INTERPRETASI HASIL KLASTERISASI BERDASARKAN JUMLAH KLASSTER OPTIMAL

Berdasarkan hasil pengelompokan menggunakan metode Fuzzy C-Means dengan jumlah kluster optimal sebanyak dua, diperoleh nilai pusat kluster yang menggambarkan karakteristik masing-masing kelompok wilayah. Pusat kluster merupakan representasi rata-rata dari nilai-nilai variabel iklim pada masing-masing kluster. Masing-masing kluster dapat diinterpretasikan sebagai berikut.

- **Klaster 1: Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah**
Daerah ini dikategorikan sebagai dataran tinggi dengan ketinggian sekitar 641,2668542651 mdpl, memiliki suhu rata-rata yang relatif lebih rendah dengan suhu sekitar 25,8790578844 °C,

kelembapan udara tinggi dengan kelembapan sekitar 78,1644361607 %, kecepatan angin relatif tenang dengan kecepatan angin sekitar 2,2768979081 knot, curah hujan rata-rata tergolong sedang dengan curah hujan sekitar 206,1418046046 mm/tahun, serta penyinaran matahari rata-rata yang cukup tinggi sekitar 64,8091649540 jam.

- **Klaster 2: Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh**
Daerah ini dikategorikan sebagai dataran rendah dengan ketinggian sekitar 81,1447906600 mdpl, memiliki suhu rata-rata relatif lebih tinggi dengan suhu sekitar 27,0712587567 °C, kelembapan udara sangat tinggi dengan kelembapan sekitar 79,6852487187 %, kecepatan angin termasuk dalam kategori tenang dengan kecepatan angin sekitar 2,7001364062 knot, curah hujan rata-rata cukup tinggi dengan curah hujan sekitar 260,9293248005 mm/tahun, serta penyinaran matahari rata-rata yang sangat teduh sekitar 34,8252662165 jam.

Setelah pusat kluster diketahui, langkah selanjutnya adalah menentukan kecenderungan masing-masing kabupaten/kota untuk masuk ke salah satu dari dua kluster tersebut. Proses ini menggunakan matriks partisi akhir (*U*), yang berisi nilai derajat keanggotaan (μ) dari setiap daerah terhadap masing-masing kluster. Daerah diklasifikasikan ke dalam kluster yang memiliki nilai derajat keanggotaan terbesar. Berdasarkan analisis, hasil pengelompokan daerah perkebunan biofarmaka jenis rimpang di Jawa Barat dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengelompokan Dearah Perkebunan Biofarmaka Jenis Rimpang di Jawa Barat

Klaster 1	Klaster 2
Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah	Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh
Kabupaten Cianjur	Kabupaten Bogor
Kabupaten Bandung	Kabupaten Cirebon
Kabupaten Garut	Kabupaten Majalengka
Kabupaten Kuningan	Kabupaten Indramayu
Kabupaten Sumedang	Kabupaten Subang
Kabupaten Bandung Barat	Kabupaten Purwakarta
	Kabupaten Karawang
	Kabupaten Bekasi
	Kabupaten Pangandaran
	Kota Bogor
	Kota Banjar

ANALISIS KESESUAIAN TANAMAN BIOFARMAKA RIMPANG BERDASARKAN HASIL KLASTERISASI FCM

1. Tanaman Jahe
 Tanaman jahe paling cocok dibudidayakan di Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah, karena tumbuh optimal pada ketinggian 300–900 mdpl, suhu 25–30°C, curah hujan 2.500–4.000 mm per tahun, dan membutuhkan cahaya matahari cukup (Effendi, 2000). Sebaliknya, Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh kurang sesuai karena berada di bawah 300 mdpl dan tidak memenuhi syarat ketinggian ideal jahe.
2. Tanaman Laos/Lengkuas
 Tanaman laos (lengkuas) paling sesuai dibudidayakan di Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah, karena tumbuh optimal pada ketinggian 1–1.200 mdpl, suhu 25–29°C, curah hujan 2.500–4.000 mm, serta penyinaran matahari tinggi (Huda, Umam, dan Cardoso, 2020). Kondisi zona ini sesuai dengan kebutuhan tumbuh laos. Sebaliknya, Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh kurang cocok karena minim penyinaran, padahal laos memerlukan cahaya matahari cukup untuk pertumbuhan optimal.
3. Tanaman Kunyit
 Tanaman kunyit cocok dikembangkan di Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah, karena tumbuh baik pada ketinggian 240–2.000 mdpl dengan curah hujan 2.000–4.000 mm per tahun (Sitepu, 2019). Kondisi iklim pada zona ini sesuai dengan kebutuhan tumbuh kunyit. Sebaliknya, Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh kurang sesuai karena memiliki ketinggian ≤ 240 mdpl sehingga tidak memenuhi syarat optimal pertumbuhan kunyit.
4. Tanaman Kencur
 Tanaman kencur dapat dibudidayakan di Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah maupun Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh. Kencur tumbuh optimal pada ketinggian 50–600 mdpl, suhu 25–30°C, dan curah hujan 2.500–4.000 mm per tahun (Subaryanti dkk., 2023). Kondisi tersebut sesuai dengan karakteristik kedua zona, sehingga kencur memiliki daya adaptasi tinggi terhadap berbagai variasi lingkungan, baik dengan penyinaran tinggi maupun teduh.

PEMILIHAN DAERAH PERKEBUNAN BIOFARMAKA (RIMPANG) TERBAIK DENGAN SAW

Metode SAW digunakan untuk menentukan daerah terbaik pengembangan perkebunan biofarmaka rimpang di Jawa Barat berdasarkan hasil pengelompokan FCM dan kriteria luas panen serta jumlah produksi. Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah sesuai untuk jahe, laos, kunyit, dan kencur, sedangkan Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh hanya cocok untuk kencur. Berikut hasil perhitungan SAW untuk tanaman jahe pada zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah tersebut.

1. Menentukan alternatif, yaitu A_i dan kriteria yaitu C_j , dimana $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ dan $j = 1, 2$, dapat dijabarkan melalui Tabel 6.

Tabel 6. Alternatif Pada Tanaman Jahe Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah

Alternatif	Keterangan
A_1	Kabupaten Cianjur
A_2	Kabupaten Bandung
A_3	Kabupaten Garut
A_4	Kabupaten Kuningan
A_5	Kabupaten Sumedang
A_6	Kabupaten Bandung Barat

Dan kriteria yang digunakan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kriteria Pada Tanaman Jahe Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah

Kriteria	Keterangan	Jenis
C_1	Jumlah luas panen jahe	Benefit
C_2	Jumlah produksi jahe	Benefit

2. Menentukan matriks Keputusan X
 Data perhitungan metode SAW untuk tanaman jahe pada Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data Alternatif dan Kriteria yang Digunakan untuk Tanaman Jahe pada Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah

Alternatif	C_1	C_2
A_1	1806541	7121555
A_2	302889	722944
A_3	4684903	13753701
A_4	1226392	5370421
A_5	696591	2153932
A_6	439472	742325
Max	4684903	13753701

Berdasarkan data pada tabel 8, matriks keputusan X dapat dituliskan sebagai berikut:

$$X = \begin{bmatrix} 1806541 & 7121555 \\ 302889 & 722944 \\ 4684903 & 13753701 \\ 1226392 & 5370421 \\ 696591 & 2153932 \\ 439472 & 742325 \end{bmatrix}$$

- Menentukan bobot preferensi setiap kriteria (w_j).

Bobot luas panen jahe ditetapkan sebesar 0,40 dan jumlah produksi sebesar 0,60, karena data menunjukkan bahwa luas panen tidak selalu berbanding lurus dengan tingginya produksi.

- Menentukan matriks keputusan ternormalisasi R

Penentuan matriks keputusan ternormalisasi dilakukan dengan persamaan (8). Kedua kriteria luas panen dan jumlah produksi bersifat benefit (semakin besar semakin baik). Berikut perhitungan matriks keputusan ternormalisasi (R).

Untuk $j = 1$,

$$r_{11} = \frac{x_{11}}{\max\{x_{i1}\}} = \frac{1806541}{4684903} = 0,385609051$$

$$r_{21} = \frac{x_{21}}{\max\{x_{i1}\}} = \frac{302889}{4684903} = 0,064652139$$

⋮

$$r_{61} = \frac{x_{61}}{\max\{x_{i1}\}} = \frac{439472}{4684903} = 0,093805998$$

Untuk $j = 2$,

$$r_{12} = \frac{x_{12}}{\max\{x_{i2}\}} = \frac{7121555}{13753701} = 0,517791902$$

$$r_{22} = \frac{x_{22}}{\max\{x_{i2}\}} = \frac{722944}{13753701} = 0,052563597$$

⋮

$$r_{62} = \frac{x_{62}}{\max\{x_{i2}\}} = \frac{742325}{13753701} = 0,053972745$$

Sehingga, dapat disusun menjadi matriks keputusan ternormalisasi R berikut.

$$R = \begin{bmatrix} 0,385609051 & 0,517791902 \\ 0,064652139 & 0,052563597 \\ 1 & 1 \\ 0,261775324 & 0,390470972 \\ 0,148688457 & 0,156607447 \\ 0,093805998 & 0,053972745 \end{bmatrix}$$

- Menentukan nilai preferensi setiap alternatif (V_i)

Selanjutnya, hitung nilai preferensi tiap alternatif dengan persamaan (10) dengan mengalikan matriks keputusan ternormalisasi

dan bobot kriteria. Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$V_1 = (0,40 \cdot 0,385609051) + (0,60 \cdot 0,517791902) = 0,464918762$$

$$V_2 = (0,40 \cdot 0,064652139) + (0,60 \cdot 0,052563597) = 0,057399014$$

⋮

$$V_6 = (0,40 \cdot 0,093805998) + (0,60 \cdot 0,053972745) = 0,069906046$$

- Mengurutkan alternatif berdasarkan nilai preferensi (V_i)

Pengurutan alternatif dilakukan berdasarkan nilai preferensi dari yang terbesar ke terkecil. Hasil pengurutan ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengurutan Pemilihan Daerah Perkebunan Biofarmaka (Rimpang) Pada Tanaman Jahe Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah

Kabupaten/Kota	Peringkat
Kabupaten Cianjur	2
Kabupaten Bandung	6
Kabupaten Garut	1
Kabupaten Kuningan	3
Kabupaten Sumedang	4
Kabupaten Bandung Barat	5

Dengan menerapkan langkah yang sama seperti pada perhitungan SAW untuk menentukan daerah terbaik perkebunan tanaman jahe di Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah, diperoleh hasil untuk tanaman laos/lengkuas, kunyit, dan kencur pada zona yang sama, serta untuk tanaman kencur di Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh. Hasil perhitungan SAW untuk masing-masing tanaman tersebut disajikan berturut-turut pada Tabel 10 hingga Tabel 13.

Tabel 10. Hasil Pengurutan Pemilihan Daerah Perkebunan Biofarmaka (Rimpang) Pada Tanaman Laos/Lengkuas Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah

Kabupaten/Kota	Peringkat
Kabupaten Cianjur	2
Kabupaten Bandung	5
Kabupaten Garut	3
Kabupaten Kuningan	6
Kabupaten Sumedang	1
Kabupaten Bandung Barat	4

Tabel 11. Hasil Pengurutan Pemilihan Daerah Perkebunan Biofarmaka (Rimpang) Pada Tanaman Kunyit Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah

Kabupaten/Kota	Peringkat
Kabupaten Cianjur	3
Kabupaten Bandung	5
Kabupaten Garut	1
Kabupaten Kuningan	6
Kabupaten Sumedang	2
Kabupaten Bandung Barat	4

Tabel 12. Hasil Pengurutan Pemilihan Daerah Perkebunan Biofarmaka (Rimpang) Pada Tanaman Kencur Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah

Kabupaten/Kota	Peringkat
Kabupaten Cianjur	2
Kabupaten Bandung	4
Kabupaten Garut	3
Kabupaten Kuningan	6
Kabupaten Sumedang	1
Kabupaten Bandung Barat	5

Tabel 13. Hasil Pengurutan Pemilihan Daerah Perkebunan Biofarmaka (Rimpang) Pada Tanaman Kencur Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh

Kabupaten/Kota	Peringkat
Kabupaten Bogor	2
Kabupaten Cirebon	9
Kabupaten Majalengka	11
Kabupaten Indramayu	5
Kabupaten Subang	1
Kabupaten Purwakarta	6
Kabupaten Karawang	8
Kabupaten Bekasi	3
Kabupaten Pangandaran	4
Kota Bogor	10
Kota Banjar	7

Berdasarkan hasil perhitungan metode SAW, diperoleh peringkat daerah pada tiap zona dan komoditas rimpang yang menunjukkan wilayah perkebunan biofarmaka terbaik. Hasil ini dapat menjadi dasar pengembangan tanaman biofarmaka rimpang di Jawa Barat.

Visualisasi dari hasil proses pengelompokan dan pemilihan daerah perkebunan biofarmaka jenis

rimpang ditampilkan dalam bentuk infografis berikut.



Gambar 3. Infografis Hasil FCM dan SAW dalam Pengelompokan dan Pemilihan Daerah Perkebunan Biofarmaka (Rimpang) Terbaik di Jawa Barat

PEMBAHASAN HASIL KOMBINASI METODE FUZZY C-MEANS (FCM) DAN SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING (SAW)

Hasil kombinasi metode FCM dan SAW memberikan gambaran menyeluruh tentang pengelompokan dan penentuan daerah terbaik untuk pengembangan perkebunan biofarmaka rimpang di Jawa Barat. Berikut hasil interpretasinya.

1. Hasil pengelompokan menggunakan FCM

Metode FCM mengelompokkan wilayah penelitian menjadi dua zona utama, yaitu Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah dan Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh. Zona pertama, yang mencakup Kabupaten Cianjur, Bandung, Garut, Kuningan, Sumedang, dan Bandung Barat, memiliki kondisi paling ideal untuk keempat tanaman tersebut. Sementara itu, zona kedua, meliputi Kabupaten Bogor, Cirebon, Majalengka, Indramayu, Subang, Purwakarta, Karawang, Bekasi, Pangandaran, Kota Bogor, dan Kota Banjar, lebih sesuai untuk pengembangan tanaman kencur karena memiliki ketinggian rendah, suhu lebih tinggi, dan intensitas cahaya lebih rendah.
2. Pemilihan daerah terbaik berdasarkan metode SAW

Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode SAW, diperoleh nilai preferensi yang menunjukkan tingkat kesesuaian setiap daerah terhadap kriteria yang telah ditetapkan. Daerah dengan nilai tertinggi dinyatakan paling potensial untuk pengembangan tanaman rimpang pada masing-masing zona. Pada Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah, tanaman jahe memiliki nilai preferensi tertinggi di Kabupaten Garut, menandakan kondisi wilayah ini paling sesuai untuk pengembangannya. Untuk tanaman laos/lengkuas, daerah dengan tingkat kesesuaian tertinggi adalah Kabupaten Sumedang, sementara untuk kunyit, Kabupaten Garut kembali menempati peringkat pertama. Adapun tanaman kencur pada zona yang sama menunjukkan Kabupaten Sumedang sebagai wilayah paling potensial. Sementara itu, pada Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh, tanaman kencur paling sesuai dikembangkan di Kabupaten Subang, yang memperoleh nilai preferensi tertinggi di zona tersebut.

PENUTUP

SIMPULAN

- Hasil analisis FCM
Metode FCM menghasilkan nilai indeks Xie-Beni sebesar 0,0551899560 dengan jumlah kluster optimal dua. Wilayah penelitian terbagi menjadi:
 - Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah, paling sesuai untuk jahe, laos/lengkuas, kunyit, dan kencur (Kabupaten Cianjur, Bandung, Garut, Kuningan, Sumedang, dan Bandung Barat).
 - Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh, lebih sesuai untuk kencur (Kabupaten Bogor, Cirebon, Majalengka, Indramayu, Subang, Purwakarta, Karawang, Bekasi, Pangandaran, Kota Bogor, dan Kota Banjar).
- Hasil Analisis SAW
Metode SAW menunjukkan daerah terbaik di setiap zona, yaitu:
 - Zona Tropis Tinggi Lembap Tenang Hujan Sedang Cerah: Kabupaten Garut untuk jahe dan kunyit, serta Kabupaten Sumedang untuk laos/lengkuas dan kencur.
 - Zona Tropis Rendah Sangat Lembap Tenang Hujan Tinggi Teduh: Kabupaten Subang sebagai daerah terbaik untuk kencur.

Secara keseluruhan, kombinasi metode FCM dan SAW efektif dalam menentukan wilayah prioritas pengembangan perkebunan biofarmaka jenis rimpang di Jawa Barat secara terarah, efisien, dan berkelanjutan.

SARAN

Sebagai tindak lanjut, disarankan agar penelitian selanjutnya mempertimbangkan kriteria tambahan seperti ketersediaan air, jenis tanah, kondisi benih, serta sarana produksi untuk memperoleh hasil yang lebih optimal. Selain itu, penggunaan data dengan skala yang lebih rinci, seperti tingkat desa, juga direkomendasikan agar analisis yang dilakukan dapat menghasilkan temuan yang lebih akurat dan mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2025, 14 Mei). *Iklm tropis*. GAW-sarium. Diakses dari <https://gawbariri.bmkg.go.id/index.php/karya-tulis-dan-artikel/gawsarium/249-iklim-tropis>
- Barat, B. J. (2024). Produksi Hortikultura Tanaman Biofarmaka Provinsi Jawa Barat 2023 (pp. 3–83).
- Ediyanto, Mara, M. N., & Satyahadewi, N. (2013). Pengklasifikasian Karakteristik dengan Metode K-Means Cluster Analysis. *Buletin Ilmiah Mat. Stat. Dan Terapannya (Bimaster)*, 02(2), 133–136.
- Effendi, D. S. (2000). Identifikasilahan Bagipengembangan Tanaman Jahe (Zingiber offlcinale Rose .) dan Melinjo (Gnetum gnemon L .) [Land Identification for Developing Ginger { Zingiber offlcinale Rose .) and Melinjo { Gnetum gnemon L .) plants]. *Berita Biologi*, 5, 231–237.
- Eko Ariyanto, S., & Indaryani, M. (2022). Potensi Tanaman Obat (Biofarmaka) di Kabupaten Jepara. *Seminar Nasional, 2017*, 277–285.
- Hafid, M. A. A., Rizky, S. B., Rafsanjani, Z., Rachman, I., Indarti, R., & Khumaidi, A. (2024). Pendekatan Fuzzy Logic dalam Rancangan Otomatisasi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Pendingin Udara. *Jurnal Elkolind*, 11.
- Huda, S. M., Umam, C., & Cardoso, O. S. (2020).

- Tanaman lengkuas. Universitas Kadiri, Diakses dari <https://www.scribd.com/document/458981234/tanaman-lengkuas>
- Jaya, T. S., Adi, K., & Noranita, B. (2014). Sistem Pemilihan Perumahan dengan Metode Kombinasi Fuzzy C-Means Clustering dan Simple Additive Weighting. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 1(3), 153–158. <https://doi.org/10.21456/vol1iss3pp153-158>
- Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2013). Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Nanda, A. P., & Anggraeni, E. Y. (2022). Sistem Pendukung Keputusan untuk Menentukan Bibit Padi Terbaik Menggunakan Metode Simple Additive Weighting (SAW). *Jurnal Cendikia*, 22(1), 1.
- Nugrahaeni, R. A., Wulandari, R., Hartono, Nefertiti, S. H., Hidayat, Y., Atmanasayu, K. D., Utami, S., Suhendra, Y., Setianto, Y., Muharam, I. R., Patwarani, R., Santoso, K. N., Rifai, A., Sutopo, S. E., Adiati, T., Prayogo, S. S., Harahap, H. A. N., & Bahri, A. S. (2025). Provinsi Jawa Barat dalam Angka Jawa Barat Province in Figures 2025. In *BPS Provinsi Jawa Barat* (Vol. 50, pp. 388–398).
- Nur, I. M., Syifa, A. N. L., Kharis, M., & Heidy Permatasari, S. (2023). Implementasi Metode Fuzzy C-Means Dalam Pengelompokan Hasil Panen Padi Di Provinsi Bali. *VARIANCE: Journal of Statistics and Its Applications*, 5(1), 13–24. <https://doi.org/10.30598/variancevol5iss1page13-24>
- Nurdiyanti, S., & Yuniанти, D. N. (2023). Penentuan Banyak Cluster Optimal Hasil Fuzzy C-Means dengan Metode Elbow pada Klasifikasi Kecemasan Belajar Siswa (Studi Kasus: Siswa SMP Negeri 1 Tuban dan SMA Negeri 1 Tuban Jawa Timur). *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 11(3), 401–413. <https://doi.org/10.26740/mathunesa.v11n3.p401-413>
- Oktavianita, B., & Sofyana, K. W. (2020). Penanaman Biofarmaka Berbasis Agroforestry di Desa Sukaresmi, Kecamatan Rancabali, Kabupaten Kuningan. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 2(3), 384–388.
- Patricia, A., & Yuniанти, D. N. (2023). Perbandingan Metode SAW Dan FSAW pada Urutan Prioritas Pemeliharaan Jalan Provinsi Jawa Timur di Kabupaten Sidoarjo. *MATHunesa Jurnal Ilmiah Matematika*, 11(03), 508–516.
- Sarno. (2019). Pemanfaatan Tanaman Obat (Biofarmaka) Sebagai Produk Unggulan Masyarakat Desa Depok Banjarnegara. *Abdimas Unwahas*, 4(2), 73–78. <https://doi.org/10.31942/abd.v4i2.3007>
- Shugara, R., Ernawati, & Andreswari, D. (2016). Implementasi Algoritma Fuzzy C-Means Clustering dan Simple Additive Weighting dalam Pemberian Bantuan Program Peningkatan Kualitas Kawasan Permukiman (Studi Kasus : Kelurahan / RT se-Kota Bengkulu). *Jurnal Pseudocode*, III(2), 91–97.
- Sitepu, I. T. B. (2019). Uji Efektivitas Salep Ekstrak Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica Val*) untuk Pengobatan Luka Sayat Pada Tikus Putih Jantan. *Jurnal Farmasi Komunitas*, 3(1), 88–93.
- Suharno, SP., M., & Ir. Hariyanto, M. (2018). *Produksi Tanaman Biofarmaka*.
- Subaryanti, Triadiati, Yohana C. Sulistyaningsih, & Dyah Iswanti Pradono. (2023). Karakteristik Akresi Kencur (*Kaempferia Galanga L.*) Berdasarkan Komponen Minyak Atsiri pada Dua Lokasi yang Berbeda. *Jurnal Tumbuhan Obat Indonesia*, 16(1), 19–29. <https://doi.org/10.31002/jtoi.v16i1.603>
- Wu, R., Zorn, S. R., Kang, S., Kiendler-Scharr, A., Wahner, A., & Mentel, T. F. (2024). Application of fuzzy c-means clustering for analysis of chemical ionization mass spectra: insights into the gas phase chemistry of NO₃-initiated oxidation of isoprene. *Atmospheric Measurement Techniques*, 17(6), 1811–1835. <https://doi.org/10.5194/amt-17-1811-2024>
- Zimmermann, H.J. (1991). *Fuzzy Set Theory and its Application*, 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, London.