

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif analitis yang menggunakan data numerik untuk menganalisis karakteristik produksi padi pada setiap kecamatan di Kabupaten Banyumas. Data yang digunakan berupa data sekunder dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Banyumas periode 2021-2024 dengan variabel jumlah produksi padi (ton) dan luas lahan (hektar). Analisis data menggunakan metode K-Means untuk pengelompokan data numerik (Wardy et al., 2022), serta prediksi hasil produksi padi menggunakan model pertumbuhan Verhulst yang diselesaikan secara numerik dengan metode Runge Kutta orde empat dan Adams-Bashforth-Moulton (Hanafi et al., 2024).

1. Analisis Klaster menggunakan metode K-Means

Penentuan jumlah klaster optimal dilakukan menggunakan Metode Elbow dengan menganalisis grafik WCSS (*Within-Cluster Sum of Squares*) untuk mengidentifikasi titik Elbow, yaitu titik ketika penurunan nilai WCSS mulai melambat secara signifikan (Ashari, 2025). Rumus WCSS adalah sebagai berikut:

$$WCSS = \sum_{k=1}^K \sum_{x \in C_k} ||x - \mu_k||^2 \quad (1)$$

keterangan:

K : jumlah klaster

C_k : himpunan data pada klaster ke- k

x : titik data dalam klaster C_k

μ_k : centroid dari klaster C_k

Setelah jumlah klaster ditentukan, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai centroid awal. Jarak antara data dan centroid dihitung menggunakan Euclidean Distance yang dirumuskan sebagai berikut:

$$d(x_i, \mu_k) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \mu_{kj})^2} \quad (2)$$

keterangan:

$d(x_i, \mu_k)$: jarak Euclidean antara data ke- i dan centroid ke- k

x_i : data ke- i

x_{ij} : nilai variabel ke- j dari data ke- i

μ_k : centroid klaster ke- k

μ_{kj} : nilai variabel ke- j dari centroid klaster ke- k

m : jumlah variabel

j : indeks variabel (1 sampai m)

Data selanjutnya dikelompokkan ke dalam klaster berdasarkan jarak terdekat. Posisi centroid kemudian diperbarui dengan menghitung nilai rata-rata dari seluruh data yang berada dalam masing-masing klaster. Proses ini diulangi hingga posisi centroid tidak mengalami perubahan dan setiap data tetap berada pada klaster yang sama.

2. Pemodelan pertumbuhan produksi padi

Pemodelan pertumbuhan produksi padi dilakukan menggunakan model Verhulst yang menjelaskan pertumbuhan terbatas akibat keterbatasan sumber daya (Aishy et al., 2025). Model ini pertama kali diperkenalkan oleh Pierre Francois Verhulst pada tahun 1838 (Manga et al., 2025). Berikut adalah model Verhulst:

$$\frac{dP}{dt} = rP_n \left(1 - \frac{P_n}{K}\right) \quad (3)$$

keterangan :

P_n : jumlah populasi ke- n

K : daya tampung (*carrying capacity*)

r : laju pertumbuhan per kapita populasi

t : waktu

Nilai rata-rata laju pertumbuhan populasi (r) dicari dengan persamaan berikut:

$$r = \frac{\ln\left(\frac{P_n}{P_0}\right)}{t} \quad (4)$$

keterangan:

t : waktu

P_0 : jumlah populasi awal

P_n : jumlah populasi ke- n

3. Penyelesaian Model Secara Numerik

Penyelesaian model pertumbuhan produksi padi dilakukan secara numerik menggunakan metode Runge Kutta orde empat sebagai metode one-step untuk memperoleh nilai awal. Bentuk persamaan metode Runge Kutta orde empat adalah sebagai berikut:

$$P_{n+1} = P_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (5)$$

dengan

$$k_1 = hf(t_n, p_n)$$

$$k_2 = hf\left(t_n + \frac{h}{2}, P_n + \frac{h}{2}k_1\right)$$

$$k_3 = hf\left(t_n + \frac{h}{2}, P_n + \frac{h}{2}k_2\right)$$

$$k_4 = hf(t_n + h, P_n + hk_3)$$

Nilai awal yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam metode Adams-Bashforth-Moulton. Metode ini dikenal sebagai metode prediktor-korektor karena melibatkan persamaan prediktor untuk memperkirakan nilai awal dan persamaan korektor untuk memperbaiki hasil prediksi sehingga diperoleh nilai yang lebih akurat (Raming et al., 2024).

Persamaan prediktor dari metode Adams-Bashforth adalah sebagai berikut:

$$P_{n+1}^p = P_n + \left(\frac{h}{24}\right)(55f_n - 59f_{n-1} + 37f_{n-2} - 9f_{n-3}) \quad (6)$$

Persamaan korektor dari metode Adams-Moulton adalah sebagai berikut:

$$P_{n+1}^c = P_n + \left(\frac{h}{24}\right)(f_{n-2} - 5f_{n-1} + 19f_n + 9f_{n+1}) \quad (7)$$

Melalui metode numerik diperoleh solusi aproksimasi yang memiliki selisih terhadap nilai sebenarnya yang disebut galat (Sukmawati et al., 2021). Tingkat ketelitian pendekatan dinilai menggunakan galat relatif, yaitu perbandingan antara hasil pendekatan dan nilai sebenarnya (Putawa, 2023). Pada penelitian ini, galat

relatif digunakan untuk menilai perbedaan antara hasil prediksi dan koreksi pada metode Adams-Bashforth-Moulton, dengan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon_r = \frac{|P_n^p - P_n^c|}{P_n^p} \quad (8)$$

keterangan :

ε_r : galat relatif

P_n^p : prediktor

P_n^c : korektor

