

ANALISIS KLASTER DAN PREDIKSI DINAMIKA PRODUKSI PADI SAWAH MENGGUNAKAN *K-MEANS* DAN *ADAMS-BASHFORTH-MOULTON* DI KABUPATEN BANYUMAS

Wisnu¹, Ambar Winarni², Istifada Nurul Hayati³

Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto^{1,2,3}

Email: whyznu03@gmail.com¹, ambarwinaarni@gmail.com²,
istifadanurulhayati@gmail.com³

Coressponding Author: Wisnu email: whyznu03@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengelompokkan wilayah pertanian padi sawah di Kabupaten Banyumas berdasarkan perbedaan karakteristik produksi padi antarwilayah yang berpotensi mempengaruhi perencanaan dan pemerataan produksi padi. Penelitian ini dilakukan untuk mendukung ketahanan pangan sesuai dengan visi pembangunan nasional Indonesia Emas 2045. Data yang digunakan meliputi jumlah produksi padi dan luas lahan sawah. Analisis kluster dilakukan menggunakan metode K-Means dengan penentuan jumlah kluster optimal melalui metode Elbow sehingga diperoleh tiga kluster wilayah, yaitu kluster produksi padi rendah, sedang, dan tinggi, yang mencerminkan perbedaan karakteristik produksi padi antarkecamatan di Kabupaten Banyumas. Pemodelan dinamika produksi padi dilakukan menggunakan model pertumbuhan Verhulst yang diselesaikan secara numerik dengan metode Runge Kutta orde empat, dan dilanjutkan dengan metode Adams-Bashforth-Moulton untuk memprediksi padi. Prediksi dilakukan pada tahun 2025, 2030, dan 2045 untuk menggambarkan perkembangan produksi padi pada beberapa periode waktu. Analisis utama penelitian ini difokuskan hingga tahun 2030 karena model belum memasukkan beberapa faktor eksternal penting yang berpotensi memengaruhi produksi padi dalam jangka panjang. Hasil analisis galat menunjukkan bahwa nilai galat pada prediksi rentang tahun 2025 dan 2030 relatif kecil, sehingga model mampu merepresentasikan dinamika produksi padi dengan baik pada periode tersebut. Prediksi hingga tahun 2045 disajikan sebagai gambaran matematis kecenderungan jangka panjang dan tidak digunakan sebagai dasar utama evaluasi galat maupun penarikan kesimpulan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan awal bagi pemerintah daerah dalam menyusun perencanaan produksi padi dengan mempertimbangkan perbedaan karakteristik kluster wilayah dan hasil prediksi produksi padi di Kabupaten Banyumas.

Kata Kunci: Klustering, K-Means, Verhulst, Adams-Bashforth-Moultons.

Abstract. This study aims to classify rice-farming areas in Banyumas Regency based on differences in rice production characteristics between regions that have the potential to influence rice production planning and distribution. This study was conducted to support food security in line with Indonesia's national development vision for 2045. The data used included rice production volume and rice field area. Cluster analysis was performed using the K-Means method with the determination of the optimal number of clusters through the Elbow method, resulting in three regional clusters, namely low, medium, and high rice production clusters, which reflect the differences in rice production characteristics between subdistricts in Banyumas Regency. Rice production dynamics were modeled using the Verhulst growth model, which was solved numerically using the fourth-order Runge Kutta method, followed by the Adams-Bashforth-Moulton method to predict rice production. Predictions were made for 2025, 2030, and 2045 to illustrate rice production trends over several time periods. The main analysis of this study focused on the period up to 2030 because the model did not include several important external factors that could potentially affect rice production in the long term. The error analysis results showed that the error values in the predictions for the 2025 and 2030 periods were relatively small, indicating that the model was able to represent rice production dynamics well during those periods. Predictions up to 2045 are presented as a mathematical illustration of long-term trends and are not used as the main basis for error evaluation or drawing conclusions. The results of this study are expected to be used as preliminary considerations for local governments in formulating rice production plans, taking into account the different characteristics of regional clusters and the predicted rice production in Banyumas Regency.

Keywords: Clustering, K-Means, Verhulst, Adams-Bashforth-Moulton.



A. Pendahuluan

Ketahanan pangan merupakan bagian penting dalam pembangunan nasional karena berhubungan langsung dengan pemenuhan kebutuhan dasar dan peningkatan kualitas hidup masyarakat (Febrianti et al., 2025). Ketersediaan pangan yang cukup, aman, dan bergizi tidak hanya berperan dalam menjaga keberlangsungan hidup, tetapi juga berkontribusi terhadap perbaikan status kesehatan masyarakat, termasuk dalam menekan angka stunting yang masih menjadi tantangan di Indonesia (Winarni et al., 2024). Oleh karena itu, ketahanan pangan menjadi salah satu agenda utama Pemerintah Republik Indonesia yang bertujuan untuk menjamin ketersediaan pangan dan mengurangi ketergantungan terhadap impor (Herwitarahman & Adwiyani, 2025). Ketahanan pangan ditetapkan sebagai salah satu sasaran dalam Asta Cita karena perannya yang strategis dalam menjaga stabilitas sosial, ekonomi dan memperkuat ketahanan negara. Penetapan tersebut menunjukkan bahwa ketahanan pangan memegang peranan penting dalam merespons dinamika dan tantangan global yang semakin kompleks (Jermias et al., 2025). Dalam upaya mewujudkan kondisi tersebut, sektor pertanian berperan dalam menjamin ketersediaan pangan (Rumawas et al., 2021). Padi merupakan sumber pangan pokok bagi sebagian besar penduduk Indonesia, sehingga keberlanjutan produksinya memiliki peran yang sangat penting (Purba et al., 2022). Namun demikian, perbedaan jumlah produksi dan luas lahan menyebabkan dinamika produksi padi yang bervariasi antarwilayah dan antarperiode pengamatan sehingga diperlukan analisis kuantitatif untuk memahami pola perubahannya.

Kabupaten Banyumas merupakan salah satu daerah di Jawa Tengah yang memiliki potensi besar dalam produksi padi sebagai komoditas pangan utama (Mudmainah & Arimurti, 2025). Potensi tersebut perlu dikelola secara optimal agar mampu mendukung ketahanan pangan daerah. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap karakteristik wilayah dan tingkat produksi padi di setiap kecamatan. Salah satu pendekatan yang relevan untuk digunakan adalah metode klastering, yang merupakan proses membagi sekumpulan objek data ke dalam beberapa kelompok yang disebut klaster. Setiap objek dalam satu klaster memiliki karakteristik yang mirip, sedangkan objek pada klaster lain berbeda (Annisa et al., 2022). Dalam penelitian ini, klastering diterapkan untuk mengidentifikasi setiap kecamatan di Kabupaten Banyumas berdasarkan hasil pertanian yang dikelompokkan dalam suatu klaster tertentu. Algoritma K-Means dipilih karena merupakan salah satu algoritma klastering yang sederhana dan efisien (Ardi et al., 2023). Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan algoritma K-Means dalam pengelompokan produktivitas padi. Rosiana et al. (2025) menunjukkan bahwa algoritma K-Means mampu memetakan kecamatan berdasarkan tingkat produktivitas tanaman padi sebagai dasar perencanaan pertanian di Kabupaten Cirebon. Selain itu, Wijayanto & Yoka Fathoni (2021) membuktikan bahwa metode K-Means efektif dalam membedakan wilayah berdasarkan tingkat produksi padi, yaitu rendah, sedang dan tinggi.

Tahapan selanjutnya dalam penelitian ini adalah melakukan prediksi jumlah produksi padi hingga tahun 2045 untuk memahami arah perkembangan produksi padi dalam mendukung visi Indonesia Emas 2045. Prediksi dimodelkan menggunakan model pertumbuhan Verhulst dengan pendekatan numerik, di mana metode Runge Kutta orde empat digunakan sebagai nilai awal dan disempurnakan dengan metode Adams-Bashforth-Moulton. Meskipun hasil prediksi disajikan hingga tahun 2045, analisis utama difokuskan hingga tahun 2030 karena meningkatnya ketidakpastian prediksi jangka panjang akibat pengaruh faktor eksternal. Penelitian sebelumnya oleh Nurdini et al. (2025) menunjukkan bahwa kombinasi metode Adams-Bashforth-Moulton dan model Verhulst efektif dalam memprediksi hasil panen padi di Kabupaten Lamongan. Melalui kombinasi analisis klaster dan prediksi pertumbuhan produksi, penelitian ini bertujuan memberikan gambaran kondisi serta arah perkembangan produksi padi di Kabupaten Banyumas sebagai dasar perumusan kebijakan dan penguatan ketahanan pangan daerah.



B. Metodologi 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

$$\begin{aligned} k_1 &= hf(t_n, p_n) \\ k_2 &= hf\left(t_n + \frac{h}{2}, P_n + \frac{h}{2}k_1\right) \\ k_3 &= hf\left(t_n + \frac{h}{2}, P_n + \frac{h}{2}k_2\right) \\ k_4 &= hf(t_n + h, P_n + hk_3) \end{aligned}$$

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

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil pengolahan dan analisis data produksi padi dan luas lahan pertanian di Kabupaten Banyumas. Pembahasan diawali dengan penyajian data produksi padi dan luas lahan pada setiap kecamatan selama periode 2021-2024 untuk memberikan gambaran umum kondisi pertanian. Data selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Produksi Padi dan Luas Lahan Kabupaten Banyumas 2021-2024

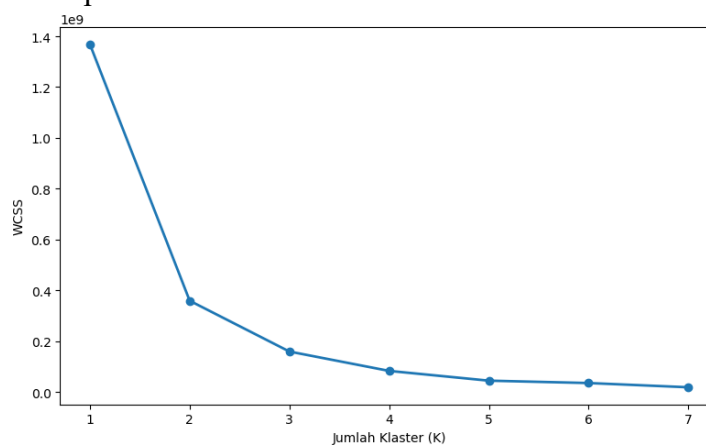
Kecamatan	Produksi Padi (Ton)				Luas Tanah (Hektar)
	2021	2022	2023	2024	
Lumbir	11286,68	12109,35	12001,48	8862,02	1561
Wangon	17170,77	18463,8	18344,14	14972,14	2483
Jatilawang	19915,45	21256,4	21766,8	20723	3160
Rawalo	17689,06	15977,6	16066	12691,35	2133
Kebasen	12090,84	12821,9	12788,9	13115,93	1993
Kemranjen	20981,92	21343,6	23031,45	22912	3648
Sumpiuh	17353,91	17195,1	21042,91	20557,05	3189
Tambak	20207,02	19628,3	21964,8	22126,15	3435
Somagede	6244,21	6495,6	6447,84	5413,58	914
Kalibagor	10424,66	11313	10867,08	9266,59	1540
Banyumas	6386,35	6617,93	6472,54	5705,7	976
Patikraja	17106,94	15095,2	13076	12593,5	2214
Purwojati	11763,15	12025,9	11256	6503,15	1151
Ajibarang	17114,92	16323,3	15834,5	15993,15	2940
Gumelar	11340,27	12125,3	12562	8046,2	1466
Pekuncen	23787,52	26073,6	20176,96	18068,2	3330
Cilongok	26627,51	23029,28	28450,4	24318,84	4313
Karanglewas	14778,97	13116	13051,35	11987,7	2060
Kedungbanteng	14646,52	16263,8	17466	17141,9	3155
Baturraden	11158,15	11361	10556,4	9596,45	1713
Sumbang	20976,57	20382	17979,5	19671,9	3566
Kembaran	18166,16	16129,1	18897,2	16472,85	2725
Sokaraja	17736,96	18706,2	18916,1	18404	3033
Purwokerto Selatan	2338	2383,9	1983,8	1827,51	336
Purwokerto Barat	2034,84	1851,9	1380,09	1337,13	249
Purwokerto Timur	1325,96	1179,94	1018,15	951,78	178
Purwokerto Utara	2256,02	1356,48	1239,7	1161,3	237

Berdasarkan Tabel 1, produksi padi di Kabupaten Banyumas selama periode 2021-2024 menunjukkan perbedaan antarkecamatan. Kecamatan dengan luas lahan pertanian yang lebih besar umumnya memiliki produksi padi yang lebih tinggi, sedangkan kecamatan dengan lahan terbatas terutama wilayah perkotaan menghasilkan produksi yang lebih rendah. Selain itu, produksi padi di sebagian besar kecamatan mengalami perubahan setiap tahun. Berdasarkan kondisi tersebut, analisis dilakukan untuk menggambarkan produksi padi terkini dengan menggunakan data tahun 2024 dan luas lahan pertanian yang mewakili kondisi umum tiap kecamatan. Kedua variabel tersebut digunakan sebagai dasar pembentukan klaster



menggunakan metode K-Means, dengan tujuan mengelompokkan kecamatan berdasarkan kesamaan karakteristik produksi padi dan luas lahan di Kabupaten Banyumas.

Langkah awal dalam penerapan metode K-Means adalah menentukan jumlah kluster yang paling optimal. Pemilihan jumlah kluster sangat berpengaruh terhadap hasil pengelompokan data. Jika jumlah kluster terlalu sedikit, data dengan karakteristik yang berbeda dapat tergabung dalam satu kluster. Sebaliknya, jika jumlah kluster terlalu banyak hasil pengelompokan menjadi kurang efektif dalam menggambarkan perbedaan karakteristik data. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode untuk menentukan jumlah kluster yang tepat sesuai dengan karakteristik data. Penentuan jumlah kluster dilakukan menggunakan metode Elbow, yaitu dengan melihat titik siku (Elbow point) pada grafik hubungan antara jumlah kluster (K) dan nilai Within-Cluster Sum of Squares (WCSS). Elbow point ditunjukkan oleh kondisi ketika penurunan nilai WCSS yang awalnya tajam mulai melandai seiring dengan penambahan jumlah kluster, sehingga penambahan kluster selanjutnya tidak lagi memberikan penurunan WCSS yang berarti. Oleh karena itu, jumlah kluster pada titik tersebut dipilih sebagai jumlah kluster optimal.



Gambar 1. Grafik elbow

Berdasarkan Gambar 1, penurunan nilai WCSS mulai melandai pada $K = 3$, sehingga nilai tersebut dianggap optimal untuk proses klusterisasi data. Berdasarkan nilai $K = 3$, data dikelompokkan menjadi tiga kluster, yaitu kluster produksi padi rendah (C1), sedang (C2), dan tinggi (C3). Pembagian ini dilakukan untuk memudahkan pengelompokan wilayah pertanian berdasarkan tingkat produksi padi yang dimiliki setiap kecamatan, serta membantu dalam melihat perbedaan pola produksi secara lebih jelas. Dalam penelitian ini, centroid awal berasal dari kecamatan Somagede, Kalibagor, dan Ajibarang.

Langkah selanjutnya dilakukan perhitungan jarak setiap data terhadap centroid dengan menggunakan jarak Euclidean sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2). Proses perhitungan diulang melalui beberapa iterasi sampai centroid setiap kluster tidak berubah dan data tetap berada pada kluster yang sama. Pada penelitian ini, centroid telah konvergen pada iterasi ke-4 yang menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan keanggotaan kluster ataupun posisi centroid pada iterasi selanjutnya. Berikut disajikan hasil perhitungan jarak Euclidean pada Tabel 2.

Tabel 2. Jarak dengan Centroid iterasi 3

Kecamatan	C1	C2	C3	Kluster
Lumbir	5676,46	2399,93	10951,51	Klaster 2
Wangon	11854,87	3779,41	4773,13	Klaster 2
Jatilawang	17641,63	9568,52	1063,02	Klaster 3
Rawalo	9547,50	1471,93	7080,19	Klaster 2
Kebasen	9945,75	1881,02	6688,29	Klaster 2
Kemranjen	19879,15	11804,22	3257,07	Klaster 3



Kecamatan	C1	C2	C3	Klaster
Sumpiuh	17481,79	9407,93	894,62	Klaster 3
Tambak	19070,04	10995,96	2457,22	Klaster 3
Somagede	2168,43	5907,35	14459,33	Klaster 1
Kalibagor	6071,95	2004,17	10555,90	Klaster 2
Banyumas	2466,69	5608,98	14160,98	Klaster 1
Patikraja	9464,64	1390,93	7163,75	Klaster 2
Purwojati	3282,23	4793,71	13345,63	Klaster 1
Ajibarang	12939,25	4867,16	3697,91	Klaster 3
Gumelar	4856,75	3221,01	11772,07	Klaster 2
Pekuncen	15050,62	6977,96	1603,58	Klaster 3
Cilongok	21376,35	13301,38	4752,51	Klaster 3
Karanglewas	8841,46	766,25	7786,27	Klaster 2
Kedungbanteng	14107,94	6035,46	2535,05	Klaster 3
Baturraden	6426,16	1651,86	10202,26	Klaster 2
Sumbang	16670,55	8596,62	248,36	Klaster 3
Kembaran	13374,96	5299,49	3253,31	Klaster 3
Sokaraja	15330,51	7255,04	1299,29	Klaster 3
Purwokerto Selatan	1463,96	9539,61	18091,61	Klaster 1
Purwokerto Barat	1961,98	10037,63	18589,62	Klaster 1
Purwokerto Timur	2353,78	10429,41	18981,41	Klaster 1
Purwokerto Utara	2137,41	10213,04	18765,03	Klaster 1

Berdasarkan hasil perhitungan jarak Euclidean, klaster 1 terdiri atas Kecamatan Somagede, Banyumas, Purwojati, Purwokerto Selatan, Purwokerto Barat, Purwokerto Timur, dan Purwokerto Utara. Klaster ini memiliki karakteristik tingkat produksi padi yang relatif rendah dengan luas lahan yang kecil dibandingkan kecamatan pada klaster lainnya.

Klaster 2 meliputi Kecamatan Lumbir, Wangon, Rawalo, Kebasen, Kalibagor, Patikraja, Gumelar, Karanglewas, dan Baturraden. Klaster ini memiliki tingkat produksi padi kategori sedang dengan luas lahan pada tingkat menengah, sehingga berada di antara klaster dengan produksi rendah dan tinggi.

Klaster 3 meliputi Kecamatan Jatilawang, Kemranjen, Sumpiuh, Tambak, Ajibarang, Pekuncen, Cilongok, Kedungbanteng, Sumbang, Kembaran, dan Sokaraja. Klaster ini memiliki karakteristik produksi padi yang tinggi dengan dukungan luas lahan yang lebih besar. Hasil klasterisasi ini memberikan gambaran pengelompokan kecamatan berdasarkan tingkat produksi padi dan digunakan sebagai analisis lanjutan untuk memprediksi perkembangan produksi padi hingga tahun 2045 menggunakan model pertumbuhan Verhulst dengan metode Adams-Bashforth-Moulton.

Sebelum menerapkan model Verhulst, terlebih dahulu dihitung laju pertumbuhan rata-rata hasil produksi padi selama periode 2021-2024. Nilai laju pertumbuhan rata-rata (r) digunakan sebagai parameter utama dalam pemodelan pertumbuhan untuk menggambarkan perubahan hasil produksi padi setiap kecamatan di Kabupaten Banyumas. Perhitungan nilai r dilakukan menggunakan persamaan (4). Hasil perhitungan laju pertumbuhan padi di setiap kecamatan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Laju Pertumbuhan pada Hasil Produksi Padi di Kabupaten Banyumas 2021-2024

Kecamatan	r
Lumbir	-0,0806
Wangon	-0,0457
Jatilawang	0,0132
Rawalo	-0,1107
Kebasen	0,0271
Kemranjen	0,0293
Sumpiuh	0,0565



Kecamatan	r
Tambak	0,0302
Somagede	-0,0476
Kalibagor	-0,0393
Banyumas	-0,0376
Patikraja	-0,1021
Purwojati	-0,1976
Ajibarang	-0,0226
Gumelar	-0,1144
Pekuncen	-0,0917
Cilongok	-0,0302
Karanglewas	-0,0698
Kedungbanteng	0,0524
Baturraden	-0,0503
Sumbang	-0,0214
Kembaran	-0,0326
Sokaraja	0,0123
Purwokerto Selatan	-0,0821
Purwokerto Barat	-0,1400
Purwokerto Timur	-0,1105
Purwokerto Utara	-0,2214

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa laju pertumbuhan hasil panen padi di Kabupaten Banyumas menunjukkan perbedaan antarkecamatan. Perbedaan ini ditunjukkan oleh adanya variasi nilai parameter laju pertumbuhan (r) yang diperoleh pada setiap kecamatan. Beberapa kecamatan seperti Jatilawang, Kebasen, Kemranjen, Sumpiuh, Tambak, Kedungbanteng, dan Sokaraja memiliki nilai r positif yang menunjukkan adanya peningkatan produksi padi. Kondisi ini mencerminkan bahwa produksi padi pada wilayah tersebut mengalami peningkatan dibandingkan kecamatan lain. Sebagian besar kecamatan lainnya memiliki nilai r negatif, yang menunjukkan adanya penurunan produksi padi. Perbedaan nilai laju pertumbuhan ini menunjukkan bahwa dinamika produksi padi di Kabupaten Banyumas belum merata antarkecamatan. Oleh karena itu, kondisi ini perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pengelolaan sektor pertanian agar upaya peningkatan produksi padi di Kabupaten Banyumas dapat dilakukan secara lebih terarah sesuai dengan karakteristik masing-masing kecamatan.

Langkah selanjutnya adalah merumuskan model pertumbuhan produksi padi di Kabupaten Banyumas menggunakan model Verhulst. Model ini dibangun berdasarkan data produksi padi pada periode 2021-2024 yang menggambarkan kondisi historis produksi padi di masing-masing kecamatan. Data produksi padi tahun 2021 digunakan sebagai kondisi awal produksi (P_0) pada setiap kecamatan, karena tahun tersebut merupakan titik awal pengamatan. Parameter laju pertumbuhan rata-rata (r) yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya digunakan sebagai parameter model untuk setiap kecamatan. Sementara itu, daya tampung (K) ditentukan berdasarkan luas lahan pertanian terbesar di setiap kecamatan yang dikalikan dengan tingkat produktivitas tertinggi pada periode 2021-2024. Penentuan parameter daya tampung (K) ini bertujuan untuk menggambarkan batas maksimum kemampuan lahan pertanian dalam menghasilkan produksi padi. Dengan demikian, model Verhulst yang dibentuk diharapkan mampu menggambarkan dinamika pertumbuhan produksi padi secara lebih realistis dan sesuai dengan kondisi aktual di Kabupaten Banyumas.

Model Verhulst yang telah dirumuskan selanjutnya diselesaikan secara numerik sebagai tahap awal sebelum dilakukan proses prediksi. Penyelesaian numerik dilakukan menggunakan metode Runge Kutta orde empat dengan ukuran langkah waktu satu tahun ($h = 1$). Metode Runge Kutta orde empat menghitung nilai produksi padi pada setiap interval waktu melalui empat tahapan, yaitu k_1, k_2, k_3 dan k_4 yang dilakukan secara berurutan pada setiap periode



perhitungan. Setelah perhitungan dilakukan dengan metode Runge Kutta orde empat, diperoleh nilai awal produksi padi. Nilai ini digunakan sebagai titik awal untuk menghitung prediksi jumlah produksi padi pada tahun-tahun berikutnya menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton.

Tabel 4. Nilai Awal Perhitungan Runge Kutta Orde Empat Kecamatan Lumbir

Kecamatan	t_n	k_1	k_2	k_3	k_4	P_{n+1}
Lumbir	0	-180,40	-184,74	-184,84	-189,20	11101,89
	1	-189,19	-193,54	-193,64	-197,99	10908,29
	2	-197,99	-202,32	-202,41	-206,72	10705,93

Metode Adams-Bashforth-Moulton diterapkan sesuai dengan Persamaan (6) dan (7) sebagai skema prediktor-korektor, di mana metode Adams-Bashforth digunakan untuk memprediksi nilai produksi padi, sedangkan metode Adams-Moulton digunakan untuk melakukan koreksi terhadap hasil prediksi tersebut. Melalui skema ini diperoleh prediksi jumlah produksi padi di Kabupaten Banyumas pada tahun-tahun selanjutnya secara bertahap. Untuk menilai tingkat keakuratan hasil perhitungan, dilakukan pengujian menggunakan galat relatif sebagaimana didefinisikan pada Persamaan (8). Hasil perhitungan metode Adams-Bashforth-Moulton selanjutnya disajikan dalam bentuk prediksi dan koreksi produksi padi di setiap kecamatan di Kabupaten Banyumas, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

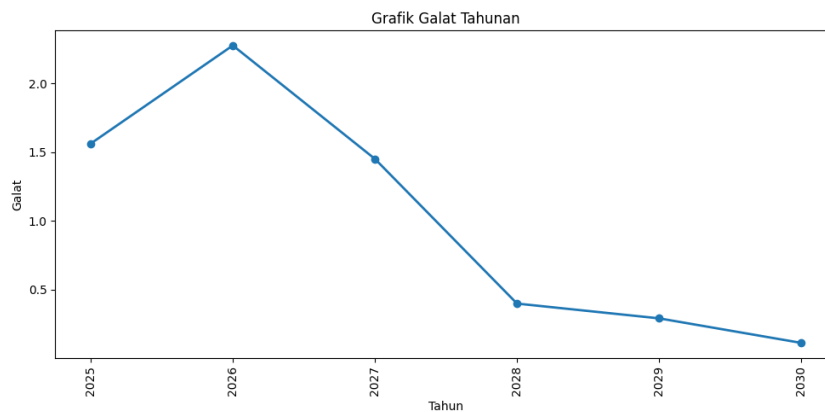
Tabel 5. Data Prediktor dan Korektor Produksi Padi di Kabupaten Banyumas 2025, 2030 dan 2045

Kecamatan	2025		2030		2045	
	P_n^p	P_n^c	P_n^p	P_n^c	P_n^p	P_n^c
Lumbir	10494,89	10494,90	9317,66	9317,66	5191,11	5191,10
Wangon	16410,56	16562,82	15818,16	15825,52	12977,63	12977,63
Jatilawang	19650,77	19882,94	20025,74	20017,99	20312,05	20312,05
Rawalo	17105,75	17031,72	15755,34	15752,46	9012,52	9012,49
Kebasen	11966,92	12116,26	12265,25	12253,21	12540,06	12540,06
Kemranjen	20648,80	21070,30	21508,91	21476,13	22334,46	22334,46
Sumpiuh	17119,64	17737,34	18670,50	18570,09	20088,05	20088,07
Tambak	19941,10	20285,61	20652,29	20622,69	21324,95	21324,95
Somagede	6009,66	6053,57	5812,33	5814,61	4852,83	4852,83
Kalibagor	10012,53	10114,25	9758,08	9762,73	8405,87	8405,87
Banyumas	6133,09	6198,87	5988,52	5991,44	5195,91	5195,91
Patikraja	16320,03	16246,50	14715,08	14711,13	7941,66	7941,64
Purwojati	10494,82	10021,90	6669,89	6638,56	615,03	615,18
Ajibarang	16584,30	16790,54	16514,20	16521,02	15500,90	15500,90
Gumelar	10163,67	10001,40	7923,33	7915,66	2497,71	2497,72
Pekuncen	21548,85	21437,64	17992,08	17987,06	7855,26	7855,27
Cilongok	25313,81	25733,59	24854,04	24868,12	21720,56	21720,56
Karanglewas	14304,41	14330,26	13641,17	13642,68	10475,37	10475,37
Kedungbanteng	14275,73	15106,63	16293,06	16216,59	18484,73	18484,74
Baturraden	10578,57	10676,67	10069,16	10073,87	7803,18	7803,18
Sumbang	20180,94	20499,50	20111,16	20120,42	18709,13	18709,13
Kembaran	17548,72	17733,51	17278,44	17286,27	15563,94	15563,94
Sokaraja	17361,10	17683,60	17870,69	17862,07	18253,52	18253,52
Purwokerto Selatan	2177,96	2176,83	1934,21	1934,14	1072,62	1072,62
Purwokerto Barat	1873,55	1837,44	1472,51	1470,37	385,18	385,19
Purwokerto Timur	1243,23	1232,85	1069,61	1069,01	460,56	460,56
Purwokerto Utara	2064,05	1981,01	1349,79	1345,85	98,77	98,57

Analisis utama dalam penelitian ini difokuskan hingga tahun 2030. Pembatasan ini tidak disebabkan oleh besarnya nilai galat prediksi, melainkan karena model yang digunakan belum memasukkan beberapa faktor penting yang berpotensi mempengaruhi produksi padi dalam



jangka panjang, seperti perubahan kebijakan pemerintah, alih fungsi lahan pertanian, kondisi iklim, serta perkembangan teknologi pertanian. Oleh karena itu, hasil prediksi hingga tahun 2030 dianggap lebih aman untuk dianalisis dan dijadikan dasar pembahasan serta sebagai bahan pertimbangan awal bagi pemerintah daerah dalam perencanaan kebijakan produksi padi. Pada rentang waktu ini, hasil prediksi juga digunakan untuk mengamati dinamika perubahan produksi padi antar kecamatan sebagai kelanjutan dari hasil analisis kluster yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk menilai kinerja model prediksi yang digunakan, dilakukan analisis galat antara nilai hasil prediktor dan korektor yang hasilnya ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik galat tahun 2025-2030

Berdasarkan grafik galat tersebut, terlihat bahwa nilai galat pada prediksi tahun 2025 dan 2030 kurang dari 5%, sehingga menunjukkan bahwa model prediksi bekerja dengan baik pada periode jangka menengah. Kondisi ini dipengaruhi oleh rentang waktu prediksi yang masih relatif dekat dengan data historis, sehingga asumsi dalam model pertumbuhan Verhulst yang digunakan dalam skema Adams-Bashforth-Moulton masih relevan dan mampu menggambarkan kecenderungan pertumbuhan produksi padi secara numerik. Prediksi jumlah produksi padi hingga tahun 2045 tetap dihitung sebagai bagian dari pemodelan matematis untuk menggambarkan kecenderungan arah perkembangan produksi padi dalam jangka panjang. Namun, evaluasi galat pada periode tersebut tidak dibahas secara rinci dalam penelitian ini karena perlu pertimbangan eksternal dalam prediksi jangka panjang. Dengan demikian, hasil prediksi tahun 2045 yang disajikan pada Tabel 5 tidak digunakan sebagai dasar utama evaluasi galat maupun penarikan klaim penelitian.

Penggunaan metode K-Means dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang mengelompokkan daerah penghasil padi berdasarkan data produksi ke dalam tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Namun, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya melakukan pengelompokan wilayah, penelitian ini melanjutkan analisis untuk memperkirakan perkembangan produksi padi dengan model pertumbuhan Verhulst yang diselesaikan menggunakan metode numerik Runge-Kutta orde empat dan Adams-Bashforth-Moulton. Penelitian ini memiliki keterbatasan karena metode K-Means sensitif terhadap penentuan centroid awal. Kondisi ini menyebabkan perbedaan inisialisasi centroid berpotensi menghasilkan hasil klusterisasi yang berbeda. Model prediksi padi yang digunakan juga masih didasarkan pada pola pertumbuhan historis tanpa mempertimbangkan faktor eksternal secara langsung. Keterbatasan ini membuka peluang bagi penelitian selanjutnya untuk menggunakan atau membandingkan metode kluster lain seperti *Hierarchical Clustering* atau *Fuzzy C-Means*. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model prediksi yang lebih kompleks dengan menerapkan pada komoditas

lain yang lebih adaptif sehingga strategi kebijakan di masa mendatang dapat mencerminkan kondisi riil secara lebih akurat.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, penelitian ini dapat disimpulkan bahwa: (1) Karakteristik produksi padi berdasarkan klasterisasi K-Means menghasilkan tiga klaster berdasarkan nilai WCSS dengan karakteristik produksi yang berbeda, yaitu klaster produksi rendah, sedang, dan tinggi. Penentuan jumlah klaster dilakukan dengan mengidentifikasi titik Elbow, yaitu titik di mana penurunan nilai WCSS mulai melambat secara signifikan dan berdasarkan grafik terjadi pada $K=3$. Klaster 1 terdiri dari 6 kecamatan, klaster 2 terdiri dari 9 kecamatan, dan klaster 3 terdiri dari 12 kecamatan. Pengelompokan ini menunjukkan heterogenitas kapasitas produksi antar wilayah dan membantu mengidentifikasi kecamatan prioritas pengembangan. (2) Berdasarkan metode Adams-Bashforth-Moulton dengan model pertumbuhan Verhulst, diperoleh prediksi padi di Kabupaten Banyumas dibatasi sampai periode 2030. Hal ini dikarenakan hasil analisis menunjukkan bahwa nilai galat pada rentang tahun 2025 dan 2030 berkisar antara 0,2% sampai 2,2% dengan kondisi eror maksimal 2,2% pada tahun 2026 sehingga model mampu merepresentasikan pola produksi padi dengan baik pada periode tersebut. Kombinasi hasil prediksi dan klasterisasi memberikan gambaran awal kondisi serta arah pertumbuhan produksi padi untuk perencanaan ketahanan pangan daerah. Prediksi hingga tahun 2045 disajikan sebagai gambaran matematis kecenderungan arah perkembangan produksi padi dalam jangka panjang, namun tidak dijadikan dasar utama evaluasi kinerja model karena perlu adanya dukungan informasi eksternal seperti perubahan kebijakan pemerintah, alih fungsi lahan pertanian, kondisi iklim, dan perkembangan teknologi pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aishy, R., Nabila, U., & Nurviana. (2025). Penerapan Model Verhulst pada Jumlah Produksi Kelapa Sawit di Kota Langsa. *Gamma-Pi: Jurnal Matematika Dan Terapan*, 7(1), 23–30. <https://doi.org/10.33059/gamma-pi.v7i1.11983>
- Annisa, K., Ginting, B. S., & Syar, M. A. (2022). Penerapan Data Mining Pengelompokan Data Pengguna Air Bersih Berdasarkan Keluhannya Menggunakan Metode Clustering pada Pdam Langkat. *Jurnal Sistem Informasi Kaputama (JSIK)*, 6(2), 165–179. <https://doi.org/10.59697/jsik.v6i2.167>
- Ardi, R. B., Ely Nastiti, F., & Sumarlinda, S. (2023). Algoritma K-Means Clustering Untuk Segmentasi Pelanggan (Studi Kasus : Fashion Viral Solo). *INFOTECH Journal*, 9(1), 124–131. <https://doi.org/10.31949/infotech.v9i1.5214>
- Ashari, I. A. (2025). Analisis Metode K-Means Clustering untuk Menemukan Faktor- Faktor Penyebab suatu Produk Tidak Laku secara Tiba-Tiba. 6(March), 59–68. <https://doi.org/10.35957/jtsi.v6i1.9502>
- Febrianti, D. E., Fernanda, F. A., Aulia, N., Nadia, A., Auriyananda, E., Pratama, S. V., Rohmah, N., & Hazin, M. (2025). Analisis Kebutuhan Pangan Masyarakat Desa Trawas dalam Mewujudkan Ketahanan Pangan Berkelanjutan. *Jurnal Media Akademik (JMA)*, 3(12), 1–12. <https://doi.org/10.62281>



- Hanafi, L., Kamiran, K., Sadjidon, S., & Prasetyo, R. E. (2024). Aplikasi Metode Adams-Bashforth-Moulton Model Verhulst Pada Hasil Panen Padi di Kabupaten Jombang. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 21(1), 43–52. <https://doi.org/10.12962/limits.v21i1.14843> Aplikasi
- Herwitarahman, A., & Adwiyani, P. (2025). Teknik Pengelolaan Lahan Sulfat Masam di Kalimantan Barat untuk Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. *AgroSainTa: Widyaiswara Mandiri Membangun Bangsa*, 9(1), 6–17. <https://doi.org/10.51589/77wka786>
- Jermias, E. O., Rahman, A., & Sanur, I. S. (2025). Etika Ekosentrisme Berbasis Pancasila dalam Mewujudkan Ketahanan Pangan di Desa Bila Riase Sidenreng Rappang. *Jawi*, 8(1), 47–60. <https://doi.org/10.24042/00202582747000>
- Manga, P. P., Lestari, L., & Jirman. (2025). Penerapan Model Pertumbuhan Logistik dalam Memproyeksikan Jumlah Penduduk di Kabupaten Kolaka. *Jurnal Aplikasi Fisika*, 21(1), 25–34. <https://doi.org/10.62749/jaf.v21i01.p25-34>
- Mudmainah, S., & Arimurti, N. H. (2025). Efisiensi Usaha Tani Padi (*Oryza sativa*. L) dalam Pengendalian Hama Terpadu (PHT) Di Desa Karangklesem, Kecamatan Pekuncen, Kabupaten Banyumas. *AGRO TATANEN| Jurnal Ilmiah Pertanian*, 7(1), 35–44. <https://doi.org/10.55222/agrotatanen.v7i1.1529>
- Nurdini, A. T. R., Amiroch, S., & Pradana, M. S. (2025). Prediksi Hasil Panen Padi di Kabupaten Lamongan Menggunakan Metode Adams-Bashforth-Moulton dengan Model Verhulst. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 13(2), 578–586.
- Purba, T., Tarigan, K., & Supriana, T. (2022). Analisis Sikap dan Preferensi Petani Terhadap Penggunaan Benih Padi Varietas Unggul di Kabupaten Langkat Sumatera Utara. *Jurnal Agrica*, 15(1), 35–47. <https://doi.org/10.31289/agrica.v15i1.5169>
- Putawa, R. A. (2023). *Metode Numerik dalam Perspektif Pragmatisme Dan Relevansinya dengan Bidang Keteknikan*. 6(1), 60–65.
- Raming, I., Wirawan, A. S., Syaripuddin, Putri, A. A., Aslina, Sahputra, D. R., Dala, M. A. D., & Avrilia, M. P. (2024). Pemetaan Pertumbuhan Penduduk di Kota Samarinda Melalui Pemodelan Logistik dengan Metode Adams-Bashforth-Moulton. *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*, 7(1), 133–143. <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v7i1.1945>
- Rosiana, R., Prihartono, W., & Fathurrohman, F. (2025). Implementasi Algoritma K-Means untuk Pengelompokan Kecamatan Berdasarkan Produktivitas Tanaman Padi di Kabupaten Cirebon. *Jurnal Informatika Terpadu*, 11(1), 12–19. <https://doi.org/10.54914/jit.v11i1.1555>
- Rumawas, V. V., Nayoan, H., & Kumayas, N. (2021). Peran Pemerintah Dalam Mewujudkan Ketahanan Pangan di Kabupaten Minahasa Selatan (Studi Dinas Ketahanan Pangan Minahasa Selatan). *Jurnal Governance*, 1(1), 1–12.
- Sukmawati, R. A., Purba, H. S., & Pramita, M. (2021). *Bahan Ajar Metode Numerik* (1st ed.). CV. Budi Utama. <https://doi.org/978-623-02-3412-5>



- Wardy, D. K., Putra, I. K. G. D., & Rusjayanthi, N. K. D. (2022). *Clustering Artikel pada Portal Berita Online Menggunakan Metode K-Means*. 3(1), 1–9.
- Wijayanto, S., & Yoka Fathoni, M. (2021). Pengelompokan Produktivitas Tanaman Padi di Jawa Tengah Menggunakan Metode Clustering K-Means. *Jupiter*, 13(2), 212–219. <https://doi.org/10.5281/3918.jupiter.2021.10>
- Winarni, A., Sofiyati, N., & Rudatiningtyas, U. F. (2024). Analysis and Simulation of SEIR Mathematical Model of Stunting Case in Indonesia. *Mathline : Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 9(3), 871–886. <https://doi.org/10.31943/mathline.v9i3.555>

