

PREDIKSI HASIL PANEN PADI DI KABUPATEN LAMONGAN MENGGUNAKAN METODE ADAMS-BASHFORTH-MOULTON DENGAN MODEL VERHULST

Aisyah Tur Rif'atin Nurdini

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Darul 'ulum,
Lamongan, Indonesia

e-mail: aisyah.2021@mhs.unisda.ac.id

Siti Amiroch*

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Darul 'ulum,
Lamongan, Indonesia

*e-mail: siti.amiroch@unisda.ac.id

Mohammad Syaiful Pradana

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Darul 'ulum,
Lamongan, Indonesia

e-mail: syaifulp@unisda.ac.id

Abstrak

Kabupaten Lamongan merupakan salah satu daerah penghasil padi terbesar di Jawa Timur, yang berperan penting dalam menjaga ketersediaan pangan nasional. Untuk mendukung strategi ketahanan pangan daerah, penelitian ini bertujuan memprediksi hasil panen padi tahun 2024–2033 menggunakan model pertumbuhan Verhulst dengan metode numerik Adams–Bashforth–Moulton (ABM). Data historis panen tahun 2014–2023 digunakan sebagai input, dengan estimasi laju pertumbuhan rata-rata sebesar 0,0078. Model numerik diselesaikan menggunakan metode Runge–Kutta untuk nilai awal, kemudian dilanjutkan dengan ABM. Hasil prediksi menunjukkan tren peningkatan panen sebesar ± 2.000 ton per tahun, dengan total panen tahun 2033 mencapai 1.055.760 ton. Nilai galat relatif sebesar 0,0000004238 menunjukkan tingkat akurasi model sangat tinggi. Temuan ini dapat dijadikan dasar penyusunan kebijakan distribusi dan cadangan pangan berbasis tren matematis.

Kata Kunci: Hasil Panen Padi; Model Verhulst; Metode Numerik; Adams-Bashforth-Moulton

Abstract

Lamongan Regency is one of the largest rice-producing regions in East Java, playing a crucial role in ensuring national food security. This study aims to forecast rice harvests from 2024 to 2033 using the Verhulst growth model and the Adams–Bashforth–Moulton (ABM) numerical method. Historical harvest data from 2014 to 2023 were used, with the average growth rate calculated at 0.0078. Initial values were computed using the fourth-order Runge–Kutta method, followed by ABM for multi-step predictions. The model yielded an increasing trend of approximately 2,000 tons per year, reaching a projected harvest of 1.055.760 tons in 2033. The relative error value of 0.0000004238 indicates high accuracy and stability of the model. These findings support regional food planning strategies and highlight the utility of mathematical modeling in agricultural policy formulation.

Keywords: Rice Yield; Verhulst Model; Numerical Method; Adams-Bashforth-Moulton

PENDAHULUAN

Beras merupakan makanan pokok yang paling umum dikonsumsi di Indonesia. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2023, luas panen padi di Indonesia mencapai 10,20 juta hektar dengan menghasilkan gabah kering giling (GKG) sekitar 53,98 juta ton (Khasanah et al., 2024). Jawa Timur menjadi salah satu daerah penghasil padi

terbanyak di Indonesia dengan hasil panen mencapai 9,59 juta ton pada tahun 2023 (Fakhriadi, 2024). Menurut laporan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Lamongan, luas area tanam padi di Kabupaten Lamongan pada tahun 2023 mencapai 150.547 hektar (Sinta, 2024). Berdasarkan data tersebut pula, Kabupaten Lamongan masuk ke

dalam tiga wilayah dengan hasil panen padi tertinggi pada tahun 2023 di Jawa Timur.

Meskipun terdapat potensi produksi beras yang besar di Jawa Timur khususnya dari Kabupaten Lamongan, berbagai tantangan nasional tetap mengancam stabilitas pasokan beras. Kajian Pusat Penelitian Badan Keahlian DPR RI menyatakan bahwa terdapat penurunan produksi beras akibat kemarau panjang dan fenomena El Niño, kelangkaan pupuk bersubsidi, serta kerusakan infrastruktur irigasi telah menyebabkan defisit antara produksi dan konsumsi beras hingga awal 2024 (Ginting, 2024). Situasi tersebut diperburuk oleh kebijakan ekspor negara produsen yang membatasi pasokan global sehingga mendorong kenaikan harga beras sejak awal tahun 2023 dan menimbulkan tekanan terhadap ketahanan pangan nasional (Saragih, 2023). Oleh karena itu, prediksi hasil panen berbasis data yang akurat sangat diperlukan. Prediksi hasil panen padi tidak hanya bermanfaat untuk pengelolaan hasil pertanian di Kabupaten Lamongan sendiri, tetapi juga dalam mendukung kebijakan nasional dalam menjaga ketersediaan dan kestabilan harga beras. Prediksi untuk hasil panen padi dapat menerapkan model pertumbuhan populasi Verhulst dengan penyelesaian model menggunakan metode numerik multi-langkah Adams-Bashforth-Moulton (Putri & Noviani, 2023) (Hanafi & Prasetyo, 2024).

Metode Adams-Bashforth-Moulton pernah diterapkan untuk memprediksi jumlah penduduk di Kalimantan Timur hingga tahun 2025, dengan hasil prediksi yang menunjukkan tren yang stabil sesuai dengan data historis (Apriani et al., 2022). Selain itu terdapat penelitian lain yang memanfaatkan metode yang sama untuk memprediksi hasil panen padi di Kabupaten Jombang dan memperoleh hasil prediksi yang meningkat secara signifikan untuk kurun waktu lima tahun (Hanafi & Prasetyo, 2024). Ketika menjalankan metode Adams-Bashforth-Moulton, diperlukan nilai awal dari metode eksplisit seperti Runge-Kutta. Metode Runge-Kutta memberikan kestabilan yang lebih baik untuk menghasilkan nilai awal, terutama saat digunakan dalam kombinasi dengan Adams-Bashforth-Moulton (Side et al., 2023). Oleh karena itu, penggunaan metode Runge-Kutta sebagai tahap inisialisasi sebelum penerapan Adams-Bashforth-Moulton telah menjadi strategi umum dalam penelitian prediktif berbasis numerik.

Berdasarkan pemaparan sebelumnya, metode Adams-Bashforth-Moulton telah terbukti mampu memberikan hasil prediksi yang stabil dan akurat pada berbagai fenomena pertumbuhan, seperti jumlah penduduk maupun hasil panen di wilayah tertentu. Namun penerapan metode tersebut pada hasil panen padi di wilayah Kabupaten Lamongan belum pernah dilakukan. Padahal wilayah Kabupaten Lamongan tentunya memiliki kondisi geografis, pola curah hujan, serta karakteristik pertanian yang berbeda dengan wilayah yang telah diteliti sebelumnya yaitu Kabupaten Jombang. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya memperoleh pemahaman baru yang kontekstual terhadap dinamika pertanian di Kabupaten Lamongan dengan menerapkan model yang sama yakni Adams-Bashforth-Moulton.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah adanya koreksi terhadap nilai laju pertumbuhan hasil panen padi yang digunakan. Pada penelitian sebelumnya, nilai laju pertumbuhan hasil panen padi yang dihitung hanya di tahun kedua saja, sehingga kurang menunjukkan laju pertumbuhan untuk keseluruhan data yang diambil. Sedangkan pada penelitian ini, untuk melakukan prediksi digunakan data training berupa nilai rata-rata laju pertumbuhan hasil panen padi pada sepuluh tahun terakhir. Hal tersebut dilakukan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat karena prediksi juga dilakukan pada sepuluh tahun berikutnya.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah memprediksi hasil panen padi di Kabupaten Lamongan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton pada model populasi Verhulst, dengan nilai inisialisasi awal diperoleh melalui perhitungan metode Runge-Kutta. Rentang tahun yang diprediksi adalah data panen padi dari tahun 2024 hingga tahun 2033. Rentang prediksi tersebut dipilih karena adanya korelasi dengan pelaksanaan Sensus Tani yang akan diadakan kembali di tahun 2033. Sensus tani nantinya akan mengumpulkan data-data untuk menganalisis kondisi pertanian di Indonesia dan menyimpulkan perubahan-perubahan yang terjadi di sektor pertanian.

Berbeda dengan penelitian serupa telah dilakukan oleh Hanafi dan Prasetyo (2024) di Kabupaten Jombang yang hanya menghitung laju pertumbuhan awal, penelitian ini menghitung laju

rata-rata dari sepuluh tahun data observasi, sehingga lebih representatif terhadap dinamika jangka pendek sampai menengah.

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 MODEL PERTUMBUHAN VERHULST

Model pertumbuhan logistik ini pertama kali dikenalkan oleh Verhulst pada tahun 1838. Model Verhulst atau seringkali disebut model pertumbuhan logistik merupakan penyempurnaan dari model pertumbuhan populasi sebelumnya yakni model Malthus (Manafe et al., 2019). Penelitian kali ini memilih untuk menggunakan model logistik Verhulst karena memiliki keakuratan lebih tinggi daripada model eksponensial Malthus (Rosiyati & Sugandha, 2022). Keakuratan model logistik Verhulst lebih mendekati realitas lapangan jika dibandingkan dengan model eksponensial Malthus (Rosiyati & Sugandha, 2022).

Model Verhulst menyatakan bahwa pertumbuhan populasi tidak hanya bergantung pada ukuran atau populasi, tetapi bergantung pada kapasitas daya tampung (*carrying capacity*) sebagai batasnya (Nugrahanto, 2016). Berikut disajikan model populasi logistik Verhulst (Chavez & Brauer, 2012):

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

Persamaan (1) merupakan bentuk umum dari model pertumbuhan logistik Verhulst.

Keterangan:

P_n : Jumlah populasi ke- n .

K : Daya tampung (*carrying capacity*).

r : Laju pertumbuhan per kapita populasi.

t : Waktu.

Pada model Verhulst terdapat peubah K yang dikenal dengan daya tampung (*carrying capacity*), yang menggambarkan kapasitas lingkungan terhadap batas populasi yang sudah tidak dapat dilampaui (Ginoux, 2017). Nilai rata-rata r (laju pertumbuhan populasi) dapat dicari dengan persamaan berikut (Javorsek, 2015):

$$r = \frac{\ln\left(\frac{P_n}{P_0}\right)}{t} \quad (2)$$

Keterangan:

t : Waktu.

P_0 : Jumlah populasi awal.

P_n : Jumlah populasi ke n .

2.2 METODE ADAMS-BASHFORTH-MOULTON

Metode numerik adalah sebuah metode yang digunakan untuk menyelesaikan model matematika yang tidak dapat diselesaikan dengan metode analitik (Hidayati et al., 2022).

Metode Runge-Kutta merupakan salah satu metode dalam penyelesaian persamaan diferensial secara numerik dengan pendekatan akurasi dari deret Taylor tanpa memerlukan perhitungan turunan yang cukup tinggi (Unaizahroya, 2020). Metode Runge-Kutta orde empat seringkali dipakai saat menyelesaikan sebuah permasalahan persamaan diferensial karena dapat memberikan hasil perkiraan nilai y untuk titik x tertentu dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Penyelesaian dengan metode Runge-Kutta orde empat adalah (Chapra & Canale, 2015):

$$P_{n+1} = P_n + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (3)$$

dengan:

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

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

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

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

Metode integrasi Adams-Bashforth (AB) merupakan metode banyak langkah (*multi-step*) yang termasuk dalam metode eksplisit demikian pula dengan metode integrasi Adams-Moulton (AM) yang merupakan metode banyak langkah namun termasuk dalam metode implisit (Hanafi & Prasetyo, 2024). Kombinasi dari metode prediksi Adams-Bashforth dan metode koreksi Adams-Moulton dapat disebut dengan metode Adams-Bashforth-Moulton (ABM) (Chapra & Canale, 2015). Persamaan *predictor* Adams-Bashforth adalah sebagai berikut:

$$P_{n+1}^p = P_n + \frac{h}{24}(55f_n - 59f_{n-1} + 37f_{n-2} - 9f_{n-3}) \quad (4)$$

dan persamaan *corrector* Adams-Moulton adalah sebagai berikut:

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

Penggunaan metode numerik akan diperoleh solusi yang menghampiri solusi sejatinya sehingga ada selisih antara solusi pendekatan dan solusi sejati yang disebut dengan galat (*error*). Terdapat dua jenis galat yaitu galat mutlak dan galat relatif (Maharani & Suprpto, 2018). Galat mutlak hanya menunjukkan selisih antara solusi pendekatan dan solusi sejatinya sedangkan galat relatif menunjukkan tingkat ketelitian antara selisih solusi pendekatan dan solusi sejatinya (Putawa, 2023). Galat mutlak dan galat relatif didefinisikan (Hanafi & Prasetyo, 2024):

$$\begin{aligned} \varepsilon_m &= |P_n^p - P_n^c| \\ \varepsilon_r &= \frac{|P_n^p - P_n^c|}{P_n^p} \end{aligned} \quad (6)$$

dengan:

ε_m : Galat mutlak.

ε_r : Galat relatif.

P_n^p : Solusi sejati.

P_n^c : Solusi pendekatan.

2.3 PENELITIAN SEBELUMNYA

Metode Studi terkait prediksi hasil panen menggunakan pendekatan model pertumbuhan Verhulst telah pernah dilakukan oleh Hanafi dan Prasetyo (2024) di Kabupaten Jombang dengan menerapkan kombinasi model Verhulst dan metode Adams-Bashforth-Moulton untuk memproyeksikan hasil panen padi di Kabupaten Jombang. Penelitian tersebut berhasil membuktikan bahwa pendekatan numerik deterministik mampu merepresentasikan pertumbuhan hasil panen yang bersifat terbatas secara realistis. Namun demikian, terdapat beberapa aspek dari pendekatan tersebut yang masih dapat dikembangkan lebih lanjut, baik dari segi konteks

wilayah maupun formulasi parameter pertumbuhan.

Secara geografis dan agroklimat, Kabupaten Lamongan memiliki karakteristik produksi pertanian yang berbeda dibandingkan Jombang, terutama dari segi luasan lahan, pola tanam, dan gangguan iklim yang tercatat dalam satu dekade terakhir. Oleh karena itu, model prediksi berbasis data historis Lamongan perlu disusun tersendiri untuk menghasilkan hasil yang lebih relevan dengan kondisi lokal.

Selain dari sisi lokasi, kebaruan utama dari penelitian ini terletak pada pendekatan dalam menentukan laju pertumbuhan rata-rata. Jika pada studi sebelumnya nilai laju pertumbuhan diperoleh langsung dari pertumbuhan antara tahun pertama dan kedua (misalnya dari 2014 ke 2015), maka dalam penelitian ini nilai laju pertumbuhan dihitung sebagai rata-rata pertumbuhan tahunan selama 10 tahun (2014–2023). Pendekatan ini dianggap lebih representatif terhadap tren jangka panjang, mengingat data hasil panen sangat dipengaruhi oleh fluktuasi musiman, gangguan iklim tahunan, dan faktor kebijakan pertanian yang bersifat dinamis.

Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam dua aspek utama: pertama, memperluas implementasi model numerik Verhulst dan metode Adams-Bashforth-Moulton ke konteks wilayah lain yang belum diteliti sebelumnya, dan kedua, mengusulkan metode estimasi parameter pertumbuhan yang lebih stabil dan adaptif melalui rata-rata historis, bukan berdasarkan satu tahun awal saja. Kerangka ini diharapkan dapat menghasilkan prediksi hasil panen yang lebih akurat, realistis, dan aplikatif bagi perencanaan ketahanan pangan daerah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pemodelan numerik Adams-Bashforth-Moulton untuk memprediksi hasil panen padi di Kabupaten Lamongan. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa jumlah produksi padi dari tahun 2014 hingga 2023, yang diperoleh dari Publikasi Badan Pusat Statistik Kabupaten Lamongan.

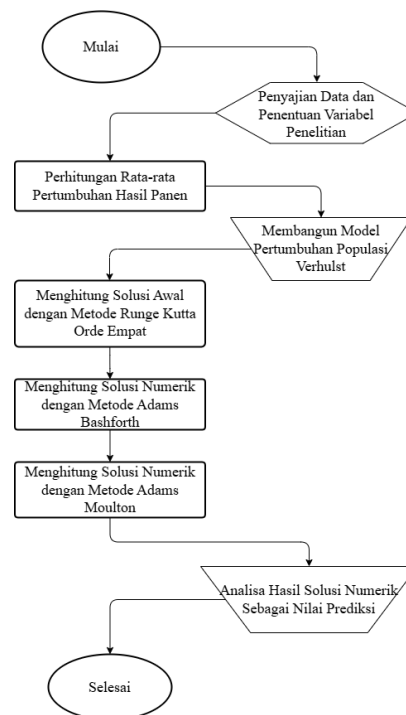
Model pertumbuhan populasi yang digunakan pada penelitian ini adalah model Verhulst. Model

ini dibangun dengan terlebih dahulu menghitung laju pertumbuhan panen dari data historis sebagai rata-rata logaritmik dari sepuluh tahun terakhir (2014-2033), sehingga dapat menjadi dasar untuk memahami kecenderungan perubahan hasil produksi. Proses ini merupakan bagian awal dalam menyusun model pertumbuhan populasi yang memperhitungkan adanya kapasitas maksimum hasil panen (carrying capacity). Model verhulst dipilih karena mencerminkan situasi nyata, di mana peningkatan produksi tidak berlangsung tanpa batas, tetapi cenderung melambat seiring dengan keterbatasan sumber daya dan faktor eksternal lainnya.

Penyelesaian model dilakukan secara numerik, mengingat bentuk model tidak memungkinkan untuk diselesaikan secara analitik dalam format data tahunan. Oleh karena itu, digunakan dua metode bertahap dalam proses komputasi. Pertama, metode Runge-Kutta orde empat digunakan untuk menghitung nilai-nilai awal pada beberapa tahun pertama. Metode ini bekerja dengan cara menghitung rata-rata laju perubahan dari beberapa titik dalam satu langkah waktu, sehingga memberikan hasil prediksi awal yang cukup presisi. Nilai-nilai awal dari metode ini kemudian digunakan sebagai landasan untuk metode numerik selanjutnya. Kedua, metode Adams-Bashforth-Moulton digunakan sebagai metode utama dalam prediksi hasil panen tahun-tahun berikutnya. ABM merupakan metode multilangkah yang terdiri atas dua bagian: prediktor (Adams-Bashforth) untuk memperkirakan nilai awal, dan korektor (Adams-Moulton) untuk menyempurnakan hasil prediksi. Keduanya bekerja secara berurutan dalam menyelesaikan model numerik berbasis nilai sebelumnya, menjadikan prediksi lebih stabil dan akurat. Validasi model dilakukan dengan menggunakan galat relatif rata-rata (relative error), yang dihitung berdasarkan selisih antara nilai hasil panen aktual dan nilai prediksi dari model. Galat ini dipilih karena mampu merepresentasikan tingkat ketepatan model dalam memproyeksikan tren jangka panjang, terutama pada data berskala besar seperti hasil panen. Nilai galat relatif yang semakin kecil menunjukkan bahwa model mampu merepresentasikan data dengan lebih akurat.

Seluruh proses analisis dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python pada platform Google

Colaboratory, yang mendukung komputasi numerik dan visualisasi data secara interaktif. Prediksi dilakukan hingga tahun 2033. Evaluasi terhadap hasil prediksi dilakukan dengan menghitung galat relatif antara nilai prediksi dan data aktual untuk mengukur tingkat akurasi model. Keseluruhan tahapan dalam penelitian ini dirangkum secara sistematis dalam Gambar 1:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum membentuk model Verhulst, langkah awal yang dilakukan adalah menghitung laju pertumbuhan rata-rata hasil panen padi selama sepuluh tahun. Nilai tersebut diperlukan sebagai paramater penting dalam pemodelan pertumbuhan panen, khususnya dalam mengetahui tingkat perubahan hasil panen dari data sepuluh tahun. Nilai rata-rata r diartikan sebagai laju pertumbuhan sebuah populasi yang dihitung dengan Persamaan (2). Hasil dari Persamaan (2) kemudian ditampilkan pada Tabel 1

Tabel 1. Laju Pertumbuhan Populasi pada Hasil Panen Padi di Kabupaten Lamongan

Tahun	Hasil Panen Padi (Ton)	Laju Pertumbuhan (r)
2014	1.028.254	0

Tahun	Hasil Panen Padi (Ton)	Laju Pertumbuhan (r)
2015	985.627	-0,0432
2016	1.053.796	0,0669
2017	1.087.965	0,0319
2018	1.104.447	0,0150
2019	1.112.534	0,0073
2020	1.172.965	0,0529
2021	1.205.921	0,0277
2022	1.200.360	-0,0046
2023	1.111.651	-0,0768
Rata-Rata Laju Pertumbuhan pada Hasil Panen Padi		0,0078

Nilai laju pertumbuhan sebesar 0,0078 diperoleh dari hasil perhitungan rata-rata logaritmik pertumbuhan hasil panen selama 10 tahun terakhir, dari tahun 2014 hingga 2023. Berdasarkan tabel perhitungan yang ditampilkan pada **Tabel 1**, dapat diketahui bahwa laju pertumbuhan hasil panen padi di Kabupaten Lamongan menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan selama periode pengamatan. Meskipun tren kenaikan hasil panen memang mendominasi, namun terdapat pula tahun-tahun dengan laju pertumbuhan yang sangat rendah. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa hasil panen padi di Kabupaten Lamongan mengalami dinamika yang tidak selalu konsisten dari tahun ke tahun.

Langkah selanjutnya adalah membangun model matematis yang menggambarkan pola pertumbuhan secara lebih sistematis menggunakan model Verhulst. Model tersebut dijalankan berdasarkan data hasil panen padi di Kabupaten Lamongan selama periode tahun 2014 hingga 2023 dan nilai rata-rata laju pertumbuhan yang telah dihitung sebelumnya. Karena hasil panen padi di Kabupaten Lamongan sejak 2014 hingga 2023 berada di bawah 1.200.000 ton maka dapat dibentuk skenario nilai kapasitas maksimum diasumsikan sebesar 1.200.000 ton berdasarkan tren produksi tertinggi yang pernah dicapai, serta mempertimbangkan proyeksi batas realistis produksi maksimum padi di Kabupaten Lamongan.

Sebelum dilakukan proses prediksi menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton (ABM), terlebih dahulu dihitung empat nilai awal menggunakan metode Runge-Kutta orde empat. Runge-Kutta digunakan karena merupakan metode

numerik eksplisit yang memiliki akurasi tinggi dalam menyelesaikan persamaan diferensial biasa, khususnya untuk kasus non-linier seperti model Verhulst. Proses ini bertujuan untuk memperoleh solusi awal yang stabil dan dapat digunakan sebagai input awal (bootstrap values) pada metode ABM. Empat titik awal yang dihasilkan akan menjadi pondasi iteratif dalam memproyeksikan hasil panen pada tahun-tahun berikutnya. Kestabilan nilai awal menjadi krusial agar hasil proyeksi tetap konsisten dan tidak menyimpang dari pola realistis.

Berikut ditampilkan hasil empat nilai awal dari metode Runge-Kutta yang disimbolkan dengan k_1 , k_2 , k_3 , dan k_4 untuk menyelesaikan persamaan (4). Ukuran langkah pertambahan tahun yang digunakan adalah satu yang disimbolkan dengan h dan nilai awal hasil panen padi berdasarkan data diketahui adalah $P_0 = 1.028.254$.

Tabel 2. Nilai Awal Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde Empat

h	t_n	k_1	k_2	k_3	k_4	P_{n+1}
0		1147,8	1144,6	1144,7	1141,5	1029398
1	1	1141,5	1138,3	1138,3	1135,1	1030537
2		1135,1	1131,9	1131,9	1128,8	1031668

Nilai-nilai yang ditampilkan pada **Tabel 2** merupakan hasil pendekatan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat, untuk memberikan estimasi awal hasil panen pada beberapa tahun pertama sebagai dasar prediksi. Secara umum, nilai-nilai yang diperoleh tersebut menunjukkan tren kenaikan bertahap dari tahun ke tahun. Pola ini mencerminkan fase awal pertumbuhan dalam model Verhulst, di mana peningkatan hasil panen terjadi secara perlahan dan belum mendekati kapasitas maksimum. Hal ini sesuai karakteristik model Verhulst, yang mengasumsikan pertumbuhan terkontrol seiring waktu. Dengan demikian, nilai-nilai tersebut dapat dianggap konsisten dan andal untuk dijadikan acuan dalam proses prediksi selanjutnya menggunakan metode multilangkah.

Setelah diperoleh solusi awal melalui metode Runge-Kutta orde empat, selanjutnya empat solusi awal tersebut digunakan untuk menentukan solusi numerik menggunakan Metode Adams-Bashforth-Moulton pada Persamaan (5) dan Persamaan (6). Kemudian untuk validasi mode digunakan galat relatif yang didefinisikan pada Persamaan (7)

Dengan melihat perhitungan pada data, diperoleh nilai solusi numerik Adams-Bashforth-Moulton untuk prediksi hasil panen padi di Kabupaten Lamongan sebagaimana ditampilkan pada **Tabel 3**

Tabel 3. Solusi Numerik dengan Adams-Bashforth-Moulton

Tahun	P_n^c	$P_n^p(\text{ton})$	Galat Relatif
2014		1028254	
2015		1029398	
2016		1030537	
2017		1031668	
2018	1032793	1033266	4,577E-04
2019	1034379	1034853	4,574E-04
2020	1035960	1036427	4,502E-04
2021	1037524	1037988	4,469E-04
2022	1039077	1039537	4,426E-04
2023	1040617	1041073	4,384E-04
2024	1042144	1042597	4,342E-04
2025	1043659	1044108	4,301E-04
2026	1045162	1045607	4,260E-04
2027	1046652	1047094	4,219E-04
2028	1048131	1048569	4,179E-04
2029	1049597	1050031	4,139E-04
2030	1051051	1051481	4,099E-04
2031	1052492	1052920	4,059E-04
2032	1053922	1054346	4,020E-04
2033	1055340	1055760	3,982E-04
RATA-RATA GALAT RELATIF			4,283E-04

Tabel 3 menyajikan hasil perhitungan prediksi panen padi menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton, yang diperoleh nilai galat (*error*), dengan rata-rata galat relatif adalah 0,0000004238. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perbedaan antara hasil prediksi dan data asli hanya menyimpang sebesar 0,0000004238. Hal ini mengindikasikan hasil prediksi memiliki nilai akurasi yang baik dalam merepresentasikan data historis. Kemudian dapat diperoleh kesimpulan prediksi hasil panen padi hingga tahun 2033 yang ditunjukkan pada **Tabel 5**.

Tabel 4. Prediksi Hasil Panen Padi di Kabupaten Lamongan (2024-2033)

Tahun	Prediksi Hasil Panen Padi (ton)
2024	1042597
2025	1044108
2026	1045607
2027	1047094
2028	1048569
2029	1050031
2030	1051481
2031	1052920
2032	1054346
2033	1055760

Berdasarkan **Tabel 4**, hasil prediksi yang diperoleh dari model Adams-Bashforth-Moulton menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan hasil panen padi setiap tahunnya dalam rentang waktu 2024 hingga 2033. Kenaikan tersebut berlangsung secara konsisten dengan selisih kurang lebih 2.000 ton setiap tahun. Pola pertumbuhannya sejalan dengan bentuk dasar model yang menggambarkan pertumbuhan bertahap menuju titik jenuh. Meskipun belum mendekati kapasitas maksimum, kecenderungan stabilitas tersebut dapat mengindikasikan bahwa sistem produksi padi di Kabupaten Lamongan berada dalam kondisi pertumbuhan yang terjaga dan berkelanjutan selama periode yang diproyeksikan.

Merujuk keseluruhan proses yang telah dijalankan, penelitian ini menghasilkan prediksi yang menunjukkan peningkatan hasil panen padi sebesar ± 2.000 ton per tahun secara konsisten memperkuat asumsi bahwa pola pertumbuhan di Kabupaten Lamongan berjalan stabil dan terkontrol. Pola tersebut sesuai dengan karakteristik model Verhulst yang mempertimbangkan batas daya dukung lingkungan, sehingga tidak menunjukkan pertumbuhan yang bersifat eksponensial. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan laju pertumbuhan dari tahun tertentu, pendekatan dalam penelitian ini memakai rata-rata pertumbuhan selama sepuluh tahun penuh untuk menghasilkan proyeksi yang lebih merata dan realistis. Pendekatan ini terbukti memberikan hasil yang stabil dengan tingkat galat relatif diperoleh penyimpangan terhadap nilai asli tidak jauh, serta

memperlihatkan ketahanan sistem pertanian terhadap fluktuasi jangka pendek.

Hasil prediksi ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar perencanaan kebutuhan pertanian oleh Pemerintah Kabupaten Lamongan. Informasi tren produksi dapat digunakan dalam penentuan alokasi pupuk, pengelolaan air irigasi, hingga pengaturan kapasitas lumbung pangan. Selain itu, pola pertumbuhan yang melambat mengisyaratkan perlunya inovasi dalam sistem produksi seperti intensifikasi teknologi, peningkatan efisiensi distribusi, atau diversifikasi tanaman pangan. Lebih jauh, hasil ini juga menjadi bahan awal dalam menyusun sistem ketahanan pangan adaptif yang berbasis data historis dan tren jangka panjang. Model prediktif yang disusun dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memasukkan variabel ekonomi, perubahan iklim, dan kebijakan sektor untuk meningkatkan presisi dan relevansi kebijakan pertanian daerah Kabupaten Lamongan.

Meskipun model menunjukkan hasil yang akurat dan stabil secara numerik, perlu dicatat bahwa pendekatan ini bersifat deterministik dan tidak mempertimbangkan faktor eksternal seperti iklim ekstrem (misalnya El Niño), perubahan pola tanam, atau intervensi kebijakan yang dapat memengaruhi hasil panen tahunan. Oleh karena itu, hasil prediksi ini sebaiknya digunakan sebagai acuan tren jangka menengah dan dapat dikombinasikan dengan analisis spasial atau model musiman untuk menghasilkan proyeksi yang lebih adaptif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat, terutama pihak Badan Pusat Statistik Kabupaten Lamongan atas ketersediaan data yang digunakan dalam penelitian ini.

PENUTUP

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil memprediksi hasil panen padi Kabupaten Lamongan tahun 2024–2033 menggunakan model Verhulst dan metode Adams–Bashforth–Moulton. Hasil prediksi menunjukkan tren pertumbuhan tahunan sebesar ± 2.000 ton, dengan total produksi mencapai 1.075.774 ton pada

2033. Nilai galat relatif 0,0000004238 menegaskan bahwa model memiliki akurasi tinggi. Dibandingkan pendekatan sebelumnya, penggunaan rata-rata laju pertumbuhan selama 10 tahun menghasilkan proyeksi yang lebih stabil dan realistis. Model ini dapat dijadikan acuan awal dalam merancang kebijakan ketahanan pangan berbasis data.

SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan model ini dengan data spasial, variabel iklim, dan teknologi pemodelan prediktif lainnya seperti pemetaan atau machine learning berbasis cuaca. Selain itu, pengujian terhadap skenario intervensi seperti peningkatan irigasi atau perubahan kebijakan subsidi pertanian dapat memberikan gambaran lebih komprehensif dalam merancang strategi ketahanan pangan jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriani, D., Wasono, W., & Huda, M. N. (2022). Penerapan Metode Adams-Bashforth-Moulton pada Persamaan Logistik Dalam Memprediksi Pertumbuhan Penduduk di Provinsi Kalimantan Timur. *Eksponensial*, 13(2), 95. <https://doi.org/10.30872/eksponensial.v13i2.1046>
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2015). *Numerical Methods for Engineers* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chavez, C. C., & Brauer, F. (2012). *Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology* (S. . Antman, P. Holmes, L. Sirocovich, & K. Sreenivasan (eds.); 2nd ed.). Springer.
- Fakhriadi, S. (2024). *Luas Panen Dan Produksi Padi Di Provinsi Jawa Timur 2023*. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur.
- Ginoux, J.-M. (2017). The Paradox of Vito Volterra's Predator-Prey Model. *Lettera Matematica*, 5(4), 305–311. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40329-017-0200-6>
- Ginting, A. M. (2024). Strategi Kebijakan Mencegah Kenaikan Harga Beras Di Indonesia. *Kajian Singkat Terhadap Isu Aktual Dan Strategis*, XVI(4), 11–15. https://berkas.dpr.go.id/pusaka/files/info_singkat/Info_Singkat-XVI-4-II-P3DI-Februari-2024-224.pdf

- Hanafi, L., & Prasetyo, R. E. (2024). Aplikasi Metode Adams-Bashforth-Moulton Model Verhulst Pada Hasil Panen Padi di Kabupaten Jombang. *Limits: Journal Mathematics and Its Applications*, 21(1), 43-52. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.12962/limits.v21i1.14843>
- Hidayati, T., Aedi, W. G., & Masitoh, L. F. (2022). *Metode Numerik* (1st ed., Issue 1). UNPAM PRESS.
- Javorsek, M. (2015). Average Growth Rate: Computation Method. *Stats Brief*, 1(7). <https://www.unescap.org>
- Khasanah, I. N., Astuti, K., Prasetyo, O. R., & Ramdhani, D. M. (2024). *Luas Panen Dan Produksi Padi Di Indonesia 2023*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Maharani, S., & Suprpto, E. (2018). *Analisis Numerik* (1st ed.). AE MEDIA GRAFIKA.
- Manafe, R., Ariyanto, & Ginting, K. B. (2019). Analisis Model Verhulst Kaitannya dengan Ketersediaan Dokter Umum di Kabupaten TTS. *J-Icon: Jurnal Ilmu Komputer Dan Informatika*, 7(1), 9-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.35508/jicon.v7i1.874>
- Nugrahanto, A. G. (2016). *Penerapan Model Pertumbuhan Logistik dengan Memperhatikan Laju Intrinsik*. Universitas Sebelas Maret.
- Putawa, R. A. (2023). Metode Numerik dalam Perspektif Pragmatisme dan Relevansinya dengan Bidang Keteknikan. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 6(1), 60-65. <https://doi.org/https://doi.org/10.23887/jfi.v6i1.45633>
- Putri, S. R., & Noviani, E. (2023). Prediksi Jumlah Penduduk dengan Persamaan Logistik Menggunakan Metode Adams-Bashforth-Moulton (Studi Kasus: Kalimantan Barat). *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika, Dan Terapannya*, 11(1), 159-166. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.26418/bbimst.v11i1.52200>
- Rosiyati, & Sugandha, A. (2022). Aplikasi Model Pertumbuhan Logistik Dalam Menentukan Proyeksi Penduduk Di Kabupaten Banyumas. *Perwira: Journal Of Science & Engineering*, 2(2), 25-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.54199/pjs.e.v2i2.134>
- Saragih, J. P. (2023). Rendahnya Produksi Beras Dalam Negeri Dan Restriksi Negara Eksportir Ancam Ketahanan Pangan. *Kajian Singkat Terhadap Isu Aktual Dan Strategis*, XV(24), 11-15. https://berkas.dpr.go.id/pusaka/files/info_singkat/Info_Singkat-XV-24-II-P3DI-Desember-2023-182.pdf
- Side, S., Rasyidah, A., & Sanusi, W. (2023). Analisis dan Solusi Numerik Model Matematika pada Penyebaran Covid-19 di Provinsi Sulawesi Selatan dengan Metode Runge Kutta dan Adams-Bashforth-Moulton. *Saintifik*, 9(1). <https://doi.org/10.31605/saintifik.v9i1.391>
- Sinta, Y. D. P. (2024). *Luas Panen Dan Produksi Padi Di Kabupaten Lamongan 2023*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Lamongan.
- Unaizahroya, I. (2020). *Penerapan Metode Runge Kutta Pada Persamaan Diferensial Orde Satu*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.