

Prediksi Sebaran Harga Cabai Rawit Merah di Provinsi Jawa Timur Menggunakan Metode *Universal Kriging*

Risa Alyauma¹, Affiati Oktaviarina²

^{1,2}Universitas Negeri Surabaya

¹affiatioktaviarina@unesa.ac.id

ABSTRAK

Harga cabai rawit merah merupakan komoditas pangan yang mengalami fluktuasi dan variasi tinggi antar wilayah, sehingga dibutuhkan pendekatan yang mampu menangkap karakteristik spasial harga secara komprehensif. Studi ini bertujuan untuk menganalisis pola distribusi spasial harga cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur, menerapkan metode *Universal Kriging* untuk memodelkan dan memprediksi harga pada titik-titik koordinat prediksi yang tersusun dalam grid spasial, dan menghasilkan peta prediksi distribusi harga cabai rawit merah. Metode yang digunakan adalah *Universal Kriging*, dengan mempertimbangkan *trend* spasial dalam data harga. Analisis dimulai dengan eksplorasi spasial dan pemodelan *trend* menggunakan *trend* orde pertama dan kedua, dengan model terbaik dipilih berdasarkan kriteria informasi AIC dan BIC. Ketergantungan spasial residual dimodelkan melalui semivariogram eksperimental dan didekati menggunakan model semivariogram teoritis *Spherical*, *Exponential*, dan *Gaussian*. Pemilihan model semivariogram terbaik dilakukan menggunakan metode LOOCV dengan kriteria RMSE. Semua analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Python. Hasil penelitian menunjukkan bahwa harga cabai rawit merah memiliki variasi spasial yang tidak homogen di Provinsi Jawa Timur. Model *trend* orde pertama dan model semivariogram *exponential* memberikan kinerja terbaik berdasarkan nilai RMSE. Penerapan *Universal Kriging* menghasilkan peta prediksi harga cabai rawit merah yang disajikan sebagai permukaan spasial kontinu, serta peta ketidakpastian prediksi yang menunjukkan peningkatan ketidakpastian di daerah yang jauh dari titik pengamatan.

Kata Kunci: Cabai rawit merah; *Universal Kriging*; Distribusi Spasial; Jawa Timur

ABSTRACT

The price of red cayenne pepper is a food commodity that experiences high fluctuations and variations between regions, so an approach capable of comprehensively capturing the spatial characteristics of prices is needed. This study aims to analyze the spatial distribution pattern of red cayenne pepper prices in East Java Province, applying the Universal Kriging method to model and predict prices at predicted coordinate points arranged in a spatial grid, and producing a prediction map of red cayenne pepper price distribution. The method used is Universal Kriging, taking into account spatial trends in price data. The analysis begins with spatial exploration and trend modeling using first- and second-order trends, with the best model selected based on the AIC and BIC information criteria. Residual spatial dependence is modeled through an experimental semivariogram and approximated using the theoretical Spherical, Exponential, and Gaussian semivariogram models. The selection of the best semivariogram model is carried out using the LOOCV method with the RMSE criterion. All analyses are performed using Python software. The results show that red cayenne pepper prices have inhomogeneous spatial variations in East Java Province. The first-order trend model and the exponential semivariogram model provide the best performance based on the RMSE value. The application of Universal Kriging produces a prediction map of red chili pepper prices presented as a continuous spatial surface, as well as a prediction uncertainty map showing increasing uncertainty in areas far from the observation point.

Keywords: Red chili pepper; *Universal Kriging*; Spatial Distribution; East Java

PENDAHULUAN

Cabai rawit merah merupakan komoditas hortikultura yang berperan penting dalam konsumsi rumah tangga di Indonesia. Tingkat konsumsi yang tinggi menyebabkan

perubahan harga cabai rawit merah cepat dirasakan oleh masyarakat luas. Dalam praktiknya, harga komoditas ini menunjukkan fluktuasi yang tinggi dan sensitif terhadap perubahan produksi, distribusi, dan kondisi permintaan musiman, yang secara langsung berdampak pada pendapatan petani, stabilitas harga pasar, dan daya beli konsumen (Badi dkk., 2025).

Provinsi Jawa Timur memegang posisi strategis dalam sistem pangan nasional sebagai salah satu pusat utama produksi cabai. Kontribusi produksinya yang signifikan berarti bahwa dinamika harga cabai rawit merah di wilayah ini memiliki implikasi yang luas, tidak hanya di tingkat lokal tetapi juga di pasar regional. Studi tentang harga cabai rawit merah di daerah produksi menunjukkan bahwa besarnya pasokan tidak selalu berkorelasi langsung dengan stabilitas harga, terutama ketika terjadi ketidakseimbangan antara pasokan dan permintaan dalam periode tertentu (Susanti dkk., 2022).

Untuk memahami dinamika tersebut, berbagai pendekatan telah digunakan untuk memprediksi harga cabai rawit merah. Pendekatan deret waktu adalah metode yang paling banyak digunakan karena memanfaatkan data harga historis untuk menangkap pola perubahan dari waktu ke waktu. Pemodelan harga cabai di Jawa Timur menggunakan metode ARIMA dan GRU menunjukkan bahwa harga cabai menunjukkan volatilitas temporal yang tinggi dan dapat diprediksi dengan tingkat akurasi tertentu dalam jangka pendek hingga menengah (Pangesti dkk., 2025). Pendekatan deret waktu lainnya, seperti *Single Moving Average*, juga digunakan untuk memprediksi harga cabai rawit harian dan dianggap mampu menggambarkan tren harga jangka pendek, meskipun pendekatan ini masih sederhana dan memiliki keterbatasan dalam menangkap dinamika harga yang kompleks (A. N. Putri & Wardhani, 2020).

Meskipun pendekatan deret waktu memberikan wawasan penting tentang pergerakan harga dari perspektif temporal, analisis ini pada dasarnya mengasumsikan bahwa karakteristik harga relatif seragam di seluruh wilayah. Pada kenyataannya, harga cabai rawit merah seringkali bervariasi antar wilayah dalam satu provinsi karena variasi kondisi produksi, akses distribusi, dan karakteristik pasar lokal. Analisis harga cabai merah di Jawa menggunakan pendekatan regresi spasial menunjukkan perbedaan harga yang signifikan antar wilayah, yang menegaskan bahwa faktor spasial memainkan peran penting dalam pembentukan harga komoditas cabai (Sinaga dkk., 2021).

Setelah diteliti lebih lanjut, studi tentang harga cabai rawit merah masih didominasi oleh analisis deret waktu dan regresi spasial. Pendekatan interpolasi spasial berbasis geostatistik untuk memprediksi distribusi harga masih relatif terbatas. Geostatistika menawarkan kerangka analitis yang memungkinkan pemodelan eksplisit ketergantungan spasial melalui semivariogram serta estimasi nilai di lokasi yang tidak diambil sampelnya. Salah satu metode geostatistik yang banyak digunakan untuk data spasial non-stasioner adalah *Universal Kriging*, yang dirancang untuk memodelkan data dengan *trend* spasial dan struktur korelasi antar lokasi (Cressie, 2015). Penerapan metode *Universal Kriging* pada variabel harga telah menunjukkan kemampuan yang baik untuk memperkirakan nilai di lokasi yang tidak langsung diambil sampelnya (Ramadhianti, 2020).

Metode *Universal Kriging* telah banyak diterapkan di berbagai bidang seperti lingkungan (Putri dkk., 2020), hidrologi (Annindiya dkk., 2025), ekonomi spasial (Ramadhianti, 2020), dan geofisika (Sofieyanti & Sirodj, 2024) telah terbukti menghasilkan prediksi yang lebih akurat pada data yang menunjukkan *trend* spasial (Wackernagel, 2003). Penerapan metode ini pada variabel harga juga menunjukkan kinerja yang baik dalam memperkirakan nilai di lokasi yang tidak disampel, karena mampu menggabungkan informasi *trend* dan ketergantungan spasial residual secara simultan. Dengan demikian,

Universal Kriging memiliki potensi yang kuat untuk digunakan dalam memodelkan distribusi harga komoditas pertanian yang heterogen secara spasial.

Keterbatasan penelitian sebelumnya, yang cenderung memisahkan analisis temporal dan spasial, menunjukkan perlunya pendekatan yang dapat mengintegrasikan informasi spasial secara lebih komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melengkapi penelitian yang ada dengan menyajikan pemodelan dan prediksi distribusi harga cabai rawit merah berbasis geostatistik. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan informasi spasial yang lebih akurat dan dapat diterapkan sebagai dasar untuk mendukung pengambilan keputusan dan perumusan kebijakan stabilisasi harga pangan di tingkat regional.

Berdasarkan uraian di atas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pola dan karakteristik distribusi spasial harga cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur.
2. Menerapkan metode *Universal Kriging* untuk memodelkan dan memprediksi harga cabai rawit merah, dengan mempertimbangkan komponen tren spasial dan struktur ketergantungan spasial residual.
3. Menghasilkan peta distribusi harga cabai rawit merah yang diprediksi dan peta ketidakpastian prediksi, yang disajikan sebagai permukaan spasial kontinu pada titik koordinat prediksi yang disusun dalam grid spasial dan mencakup seluruh provinsi Jawa Timur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data sekunder karena data yang dianalisis bersifat numerik dan dapat diolah secara statistik. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh hasil yang objektif dan dapat direplikasi berdasarkan data empiris. Penelitian ini bersifat deskriptif dan analitis, bertujuan untuk memberikan gambaran tentang pola spasial dan distribusi harga cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur melalui penerapan metode geostatistik.

Objek penelitian ini adalah harga cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur. Data yang digunakan adalah harga rata-rata cabai rawit merah di tingkat konsumen di pasar tradisional. Data ini diperoleh dari Sistem Informasi Ketersediaan dan Perkembangan Harga Pangan Pokok (*SISKAPERBAPO*, n.d.) yang dikelola oleh Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Jawa Timur. Area penelitian mencakup seluruh 38 kabupaten dan kota di Provinsi Jawa Timur, oleh karena itu analisis dilakukan pada tingkat provinsi. Meskipun data harga tersedia untuk seluruh 38 kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur, data tersebut diperlakukan sebagai titik pengamatan diskrit dalam ruang geografis. *Universal Kriging* kemudian digunakan untuk memperkirakan nilai harga pada titik koordinat lain di dalam kabupaten/kota tersebut, sehingga menghasilkan peta distribusi harga yang kontinu. Data yang digunakan adalah data harga pada tanggal 13 Desember 2021, dipilih untuk mewakili kondisi harga di akhir tahun, ketika dinamika pasar pangan umumnya meningkat dan berpotensi mempengaruhi fluktuasi harga.

Metode utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Universal Kriging*, yaitu metode kriging yang mengakomodasi *trend (drift)* dalam data spasial, sehingga dikenal sebagai "*kriging with trend*" (Cressie, 2015). Dalam pendekatan ini, variabel spasial dimodelkan sebagai jumlah komponen deterministik dan stokastik. Tahapan analisis *Universal Kriging* sebagai berikut

1. Memasukkan data harga cabai merah di Provinsi Jawa Timur beserta koordinat spasial setiap lokasi pengamatan dalam meter.

2. Melakukan analisis spasial deskriptif dan eksploratif dengan menghitung statistik deskriptif pada harga dan memeriksa hubungan antara harga dan koordinat spasial (X dan Y) untuk mengidentifikasi *trend* spasial. Langkah ini diambil untuk memastikan bahwa data tidak sepenuhnya stasioner, sehingga memastikan penggunaan pendekatan Universal Kriging yang tepat (Cressie, 2015).
3. Menghitung persamaan *trend* spasial menggunakan fungsi polinomial dari koordinat lokasi. Studi ini menggunakan *trend* orde pertama dan orde kedua. Model *trend* terbaik dipilih dengan membandingkan nilai AIC (*Akaike Information Criterion*) dan BIC (*Bayesian Information Criterion*).
4. Menghitung residual sebagai selisih antara nilai yang diamati dan nilai *trend* yang diestimasi. Residual ini mewakili komponen stokastik data, yang kemudian dianalisis secara spasial.
5. Menghitung semivariogram eksperimental residual untuk menggambarkan struktur ketergantungan spasial dari komponen stokastik data.
6. Mencocokkan semivariogram eksperimental residual dengan model semivariogram teoritis yaitu *Spherical*, *Exponential*, dan *Gaussian* untuk mendapatkan model kecocokan terbaik. Pada tahap ini diestimasi parameter *nugget*, *sill*, dan *range* yang menggambarkan mikrovariasi, variasi total, dan jangkauan pengaruh spasial (Wackernagel, 2003).
7. Memilih model semivariogram terbaik menggunakan metode *left-one-out validation* (LOOCV) dengan kriteria prediksi *root mean square error* (RMSE). Pendekatan ini mengevaluasi kemampuan prediksi setiap model semivariogram.
8. Memprediksi distribusi harga cabai merah di lokasi yang tidak disampel diprediksi menggunakan metode *Universal Kriging* dengan model *trend* dan model semivariogram terpilih.
9. Mengajikan hasil prediksi dalam bentuk peta distribusi harga, peta kontur dan peta ketidakpastian yang mencakup standar deviasi kriging.

Seluruh tahapan analisis data, pemodelan spasial, validasi, dan visualisasi hasil dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis bahasa pemrograman Python yang mendukung analisis statistik dan geostatistika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Deskriptif dan Identifikasi *Trend* Spasial

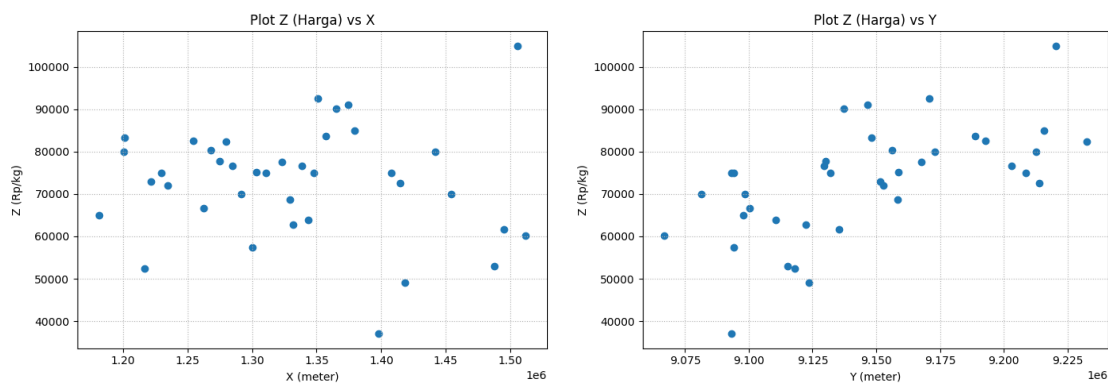
Harga cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur menunjukkan variasi yang signifikan di berbagai lokasi pengamatan. Variasi ini tercermin baik dalam rentang harga maupun tingkat dispersi harga yang relatif tinggi. Secara keseluruhan, perbedaan harga antar wilayah tidaklah kecil atau seragam, melainkan menunjukkan heterogenitas yang signifikan.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Harga Cabai Rawit Merah

Statistik	Nilai (Rp)
Jumlah data	38
Minimum	37.000
Kuartil 1 (Q1)	65.416,50
Median	75.000
Rata-rata	73.021,79
Kuartil 3 (Q3)	80.249,75
Maksimum	105.000
Standar deviasi	13.113,84

Berdasarkan Tabel 1, 38 titik pengamatan harga cabai rawit merah dianalisis. Harga minimum yang tercatat adalah Rp37.000, sedangkan harga maksimum mencapai Rp105.000. Rentang yang relatif lebar ini menunjukkan variasi harga yang signifikan di seluruh wilayah pengamatan di Provinsi Jawa Timur. Harga rata-rata cabai rawit merah adalah Rp73.021,79, dengan median Rp75.000, menunjukkan distribusi yang relatif simetris. Meskipun median sedikit lebih tinggi daripada rata-rata, distribusinya sedikit miring ke kiri. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya beberapa daerah dengan harga yang relatif rendah, yang memengaruhi rata-rata keseluruhan.

Kuartil pertama (Q1) sebesar Rp65.416,50 dan kuartil ketiga (Q3) sebesar Rp80.249,75 menunjukkan bahwa 50% data harga berada dalam rentang ini. Rentang interkuartil yang moderat mencerminkan variasi harga yang signifikan tetapi tidak ekstrem, di sebagian besar wilayah pengamatan. Standar deviasi sebesar Rp1,13.113,84 menunjukkan tingkat dispersi data yang relatif tinggi dari nilai rata-rata. Standar deviasi yang besar ini menunjukkan bahwa harga cabai rawit merah berfluktuasi secara signifikan secara spasial.



Gambar 1. Plot Hubungan Harga Cabai Rawit Merah terhadap Koordinat X dan Y

Berdasarkan gambar 1 plot hubungan antara harga cabai rawit merah dan koordinat Y (arah utara-selatan), terlihat bahwa harga cenderung meningkat seiring dengan peningkatan koordinat Y. Pada koordinat Y yang lebih rendah, harga cabai rawit merah umumnya berkisar dari sedang hingga rendah. Sebaliknya, pada koordinat Y yang lebih tinggi, harga yang relatif lebih tinggi mulai muncul, termasuk beberapa titik dengan harga di atas Rp90.000 dan bahkan mencapai lebih dari Rp100.000. Pola ini menunjukkan *trend* spasial positif pada arah Y, meskipun tidak sepenuhnya linier.

Sementara itu, plot hubungan antara harga cabai rawit merah dan koordinat X (arah barat-timur) menunjukkan pola distribusi yang lebih heterogen. Harga tersebar cukup luas di hampir seluruh rentang koordinat X, tanpa menunjukkan *trend* linier yang kuat. Namun, dalam rentang koordinat X tertentu, terdapat konsentrasi harga tinggi dan rendah yang menunjukkan variasi lokal. Kehadiran nilai harga yang relatif ekstrem di beberapa titik juga menunjukkan fluktuasi spasial yang signifikan pada arah X.

Secara keseluruhan, kedua plot menunjukkan bahwa harga cabai rawit merah tidak terdistribusi secara acak di ruang angkasa melainkan menunjukkan komponen *trend* spasial, khususnya pada arah Y serta variasi lokal pada arah X. Kondisi ini menunjukkan bahwa asumsi stasioneritas rata-rata mungkin tidak sepenuhnya terpenuhi, sehingga penggunaan metode *Ordinary Kriging* kurang optimal.

Temuan ini memperkuat alasan pemilihan metode *Universal Kriging*, yang secara konseptual mengakomodasi *trend* spasial global dan variasi lokal dengan memodelkan fungsi tren deterministik dan struktur ketergantungan spasial dalam residual. Dengan demikian,

eksplorasi hubungan antara harga dan koordinat X dan Y ini memberikan justifikasi empiris awal untuk pendekatan metodologis yang digunakan dalam penelitian ini.

Penentuan Model *Trend* Spasial

Pada tahap ini dua model *trend* kandidat dievaluasi yaitu model *trend* orde pertama dan model *trend* orde kedua, untuk mewakili variasi harga deterministik cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur.

Tabel 2. Estimasi Parameter Model *Trend* Orde Satu

Parameter	Koefisien	Std. Error	t	p-value
Intersep	-1.551.102,60	359.178,08	-4,318	0,000123
X	-0,01219	0,01942	-0,628	0,534176
Y	0,17936	0,03922	4,573	0,000058

Berdasarkan hasil estimasi pada Tabel 2, diperoleh persamaan *trend* orde pertama sebagai berikut:

$$\hat{Z} = -1.551.102,60 - 0,01219X + 0,17936Y$$

Persamaan tersebut menunjukkan komponen deterministik dari variasi harga cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur yang dimodelkan sebagai fungsi linier dari koordinat spasial. Model ini menggambarkan hubungan sistematis antara perubahan lokasi geografis dan perubahan harga cabai rawit merah.

Koefisien koordinat Y bernilai 0,17936, yang menunjukkan bahwa setiap peningkatan jarak 1 meter ke utara berkaitan dengan peningkatan harga cabai rawit merah sebesar Rp0,17936 per kilogram, dengan asumsi koordinat X tetap. Nilai koefisien positif menunjukkan adanya gradien spasial utara-selatan, dimana harga cabai rawit merah cenderung meningkat di lokasi dengan nilai koordinat Y yang lebih tinggi.

Koefisien koordinat X bernilai -0,01219, yang menunjukkan bahwa setiap peningkatan jarak 1 meter ke arah timur berkaitan dengan penurunan harga cabai rawit merah sebesar Rp0,01219 per kilogram, dengan asumsi koordinat Y tetap. Nilai koefisien yang relatif kecil menunjukkan bahwa perubahan harga ke arah barat-timur memiliki pengaruh yang lebih lemah dibandingkan perubahan harga ke arah utara-selatan.

Nilai intersep sebesar -1,551.102,60 adalah konstanta model yang secara matematis mewakili nilai prediksi ketika koordinat X dan Y adalah nol. Karena koordinat ini tidak berada dalam area penelitian, nilai intersep tidak diinterpretasikan secara geografis tetapi berfungsi sebagai konstanta penyesuaian dalam pembentukan medan *trend* spasial.

Secara keseluruhan, persamaan *trend* spasial orde pertama menggambarkan adanya gradien linier pada harga cabai rawit merah terhadap koordinat spasial, dengan kontribusi yang lebih dominan ke arah utara-selatan daripada arah barat-timur.

Tabel 3. Estimasi Parameter Model *Trend* Orde Dua

Parameter	Koefisien	Std. Error	t	p-value
Intersep	0,0000000845	0,0000001144	0,739	0,446
X	-0,0000000413	0,0000000393	-1,050	0,302
Y	0,45227	0,58597	0,772	0,446
X ²	0,0000000199	0,0000000206	0,963	0,331
Y ²	-0,0000000480	0,0000000639	-0,752	0,458
XY	0,0000004448	0,0000004282	1,038	0,307

Berdasarkan hasil estimasi pada Tabel 3, diperoleh persamaan *trend* orde kedua sebagai berikut:

$$\hat{Z} = 0,0000000845 - 0,0000000413X + 0,45227Y + 0,0000000199X^2 - 0,0000000Y^2 + 0,000000448XY$$

Persamaan ini merepresentasikan variasi deterministik harga cabai rawit merah, yang dimodelkan sebagai fungsi polinomial kuadrat dari koordinat spasial. Penambahan komponen kuadrat dan interaksi antar koordinat dimaksudkan untuk menangkap kemungkinan pola nonlinier global dalam distribusi harga cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur.

Koefisien linier pada koordinat X dan Y menunjukkan arah perubahan harga relatif terhadap pergeseran linier lokasi, sedangkan komponen kuadrat X^2 dan Y^2 merepresentasikan kelengkungan permukaan tren pada setiap arah koordinat. Sementara itu, komponen interaksi XY menunjukkan kemungkinan bahwa perubahan harga dipengaruhi secara simultan oleh kombinasi arah barat-timur dan utara-selatan.

Namun, hasil estimasi menunjukkan bahwa semua koefisien kuadrat dan interaksi antar koordinat sangat kecil dan secara statistik tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi pola nonlinier global terhadap variasi deterministik harga cabai rawit merah relatif lemah. Dengan kata lain, peningkatan kompleksitas model melalui komponen kuadratik dan interaksi tidak secara signifikan meningkatkan kemampuan model untuk merepresentasikan variasi harga deterministik.

Secara keseluruhan, model *trend* spasial orde kedua menunjukkan bahwa variasi harga deterministik pada cabai rawit merah tidak menunjukkan pola nonlinier global yang kuat. Variasi harga cenderung mengikuti pola perubahan linier di seluruh koordinat spasial, sementara efek kelengkungan dan interaksi antar arah koordinat terbatas dan tidak dominan dalam membentuk struktur *trend* spasial.

Berdasarkan hasil estimasi dan interpretasi model *trend* spasial orde pertama dan kedua, terlihat bahwa kedua model tersebut mampu merepresentasikan variasi deterministik harga cabai rawit merah dengan berbagai tingkat kompleksitas. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kuantitatif untuk menentukan model *trend* yang paling sesuai dengan data, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kesesuaian model dan kompleksitas struktural. Evaluasi dilakukan menggunakan *Akaike Information Criterion* (AIC) dan *Bayesian Information Criterion* (BIC).

Tabel 4. Perbandingan Nilai AIC dan BIC Model *Trend*

Model <i>Trend</i>	AIC	BIC
Orde satu	815,42	820,33
Orde dua	818,19	826,38

Berdasarkan Tabel 4, model *trend* orde pertama memiliki nilai AIC dan BIC yang lebih kecil dibandingkan model *trend* orde kedua. Hal ini menunjukkan bahwa model *trend* orde pertama memberikan keseimbangan yang lebih baik antara kesesuaian model dan kesederhanaan struktural. Oleh karena itu, model *trend* orde pertama dipilih sebagai model *trend* terbaik dan digunakan sebagai dasar untuk pemodelan *Universal Kriging*. Namun, model ini masih menyisakan variasi lokal yang tidak dijelaskan oleh *trend*, sehingga struktur ketergantungan spasial dari residual perlu dimodelkan pada tahap semivariogram.

Semivariogram Eksperimental

Tabel 5 menyajikan hasil semivariogram eksperimental residual harga cabai rawit merah yang dihitung pada enam lag jarak. Nilai semivarians pada setiap lag menunjukkan tingkat perbedaan residual antar lokasi pengamatan berdasarkan jarak spasialnya.

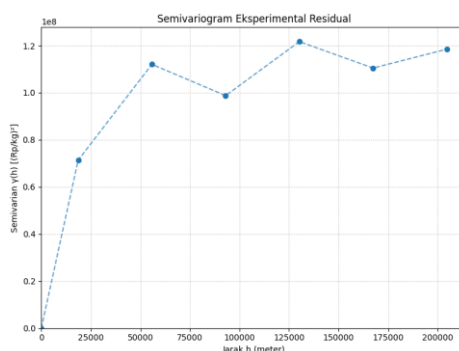
Tabel 5. Semivariogram Eksperimental Residual Harga Cabai Rawit Merah

Lag	h_center	Jumlah pasangan	$\gamma(h)$
1	18.602,60	46	71.344.810
2	55.807,80	138	112.040.500
3	93.012,99	159	98.770.630
4	130.218,19	137	121.696.800
5	167.423,39	89	110.461.000
6	204.628,58	63	118.483.800

Nilai semivarians residual pada lag pertama relatif lebih kecil dibandingkan pada lag berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa residual pada lokasi yang berdekatan memiliki tingkat kesamaan yang lebih tinggi. Nilai semivarians meningkat dari lag kedua hingga keempat, menunjukkan bahwa perbedaan residual meningkat seiring bertambahnya jarak antar lokasi.

Pada lag kelima dan keenam, nilai semivarians berada pada kisaran yang relatif tinggi dan tidak menunjukkan peningkatan yang tajam. Pola ini menunjukkan bahwa pada jarak menengah hingga jauh, kesamaan residual antar lokasi menurun dan cenderung stabil. Dengan demikian, pengaruh spasial residual melemah setelah jarak tertentu.

Jumlah pasangan data pada setiap lag menunjukkan distribusi yang cukup memadai, terutama pada lag kedua hingga keempat. Kondisi ini memastikan stabilitas estimasi semivarians pada rentang jarak ini. Penurunan jumlah pasangan pada lag terakhir mencerminkan jumlah pasangan titik yang terbatas pada jarak yang semakin jauh.



Gambar 2. Semivariogram Eksperimental Residual Harga Cabai Rawit Merah

Pola yang ditunjukkan pada Gambar 2 menunjukkan peningkatan semivarians pada jarak pendek hingga menengah kemudian mendekati plateau pada jarak yang lebih jauh. Pola ini menunjukkan bahwa harga residual cabai rawit merah masih memiliki struktur spasial yang jelas, meskipun terjadi fluktuasi pada beberapa lag karena jumlah titik pengamatan yang terbatas.

Semivariogram eksperimental dari residual secara konsisten menunjukkan ketergantungan spasial pada harga residual cabai rawit merah pada jarak pendek hingga menengah. Namun, fluktuasi nilai semivarians pada jarak yang lebih jauh menunjukkan bahwa ketelitian pola spasial menurun seiring dengan berkurangnya jumlah pasangan titik pengamatan.

Semivariogram Teoritis

Pola semivariogram eksperimental residual menunjukkan peningkatan semivariansi pada jarak pendek hingga menengah, kemudian cenderung stabil pada jarak yang lebih jauh. Pola ini menunjukkan struktur ketergantungan spasial yang dapat diwakili oleh model semivariogram teoretis. Pada tahap ini, tiga model teoretis yang umum digunakan yaitu *Spherical*, *Exponential*, dan *Gaussian* dibandingkan berdasarkan parameter estimasinya dan kesesuaiannya dengan pola semivariogram eksperimental.

Tabel 6. Parameter Semivariogram Teoritis Residual

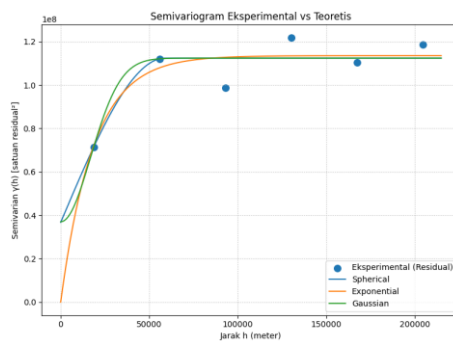
Model	<i>Nugget</i>	<i>Sill</i>	<i>Range</i>
<i>Spherical</i>	36.721.350	112.353.000	58.928,693451
<i>Exponential</i>	0,000001283486	113.489.500	18.536,446623
<i>Gaussian</i>	37.001.660	112.353.700	23.849,820108

Dalam konteks geostatistik, parameter semivariogram terdiri dari *nugget*, *sill*, dan *range* yang masing-masing mewakili karakteristik ketergantungan spasial data. Parameter *nugget* menggambarkan variasi pada jarak yang sangat pendek yang tidak dapat dijelaskan oleh struktur spasial, yang dapat disebabkan oleh kesalahan pengukuran atau pengaruh faktor lokal skala sangat kecil. Parameter *sill* mewakili total variasi data, yaitu nilai semivarians ketika ketergantungan spasial telah mencapai kondisi stabil. Sementara itu, parameter *range* menunjukkan jarak maksimum di mana pengaruh spasial masih signifikan, sehingga pasangan lokasi dengan jarak lebih kecil dari *range* cenderung memiliki nilai yang berkorelasi.

Model *Spherical* dan *Gaussian* menunjukkan nilai *nugget* yang relatif besar. Hal ini menunjukkan variasi residual pada jarak yang sangat pendek, yang tidak dapat dijelaskan oleh struktur spasial jarak menengah hingga jauh. Kondisi ini mencerminkan pengaruh kuat faktor lokal atau variasi mikro pada data harga cabai merah. Sebaliknya, model *Exponential* menghasilkan nilai *nugget* yang mendekati nol, menunjukkan bahwa variasi residual pada jarak yang sangat pendek relatif kecil menurut model tersebut. Nilai ini menunjukkan bahwa, menurut model *exponential* variasi residual pada jarak yang sangat pendek hampir seluruhnya dijelaskan oleh struktur spasial tanpa komponen variasi mikro yang signifikan.

Nilai *sill* untuk ketiga model tersebut berada dalam kisaran yang relatif sama, sekitar $1,12 \times 10^8$ (Rp/kg)². Kesamaan nilai *sill* ini menunjukkan bahwa ketiga model tersebut mewakili tingkat variasi residual total yang hampir sama. Dengan demikian, perbedaan utama antara model-model tersebut terutama ditentukan oleh nilai *nugget* dan *range*.

Dalam hal *range*, model *Spherical* memiliki nilai *range* terbesar dibandingkan dengan dua model lainnya. Ini menunjukkan bahwa, pengaruh spasial residual menurut model *Spherical* tetap ada pada jarak yang lebih jauh. Model *Gaussian* memiliki nilai *range* sedang, sedangkan model *Exponential* menunjukkan nilai *range* terpendek, menunjukkan bahwa ketergantungan spasial residual di bawah model ini cepat melemah seiring bertambahnya jarak.



Gambar 3. Perbandingan Semivariogram Eksperimental dan Teoretis Residual

Perbandingan visual kurva semivariogram eksperimental dan teoretis ditunjukkan pada Gambar 3. Pada jarak pendek hingga menengah, ketiga model tersebut mampu mengikuti pola peningkatan semivariansi residual. Namun, perbedaan antar model mulai muncul dalam bagaimana setiap kurva mendekati nilai ambang batas.

Model *Spherical* menunjukkan peningkatan semivariansi yang relatif bertahap, mencapai ambang batas pada jarak yang lebih jauh, sehingga memberikan representasi yang konsisten dari pola penghalusan pada jarak menengah hingga jauh. Model *Gaussian* menunjukkan peningkatan semivariansi yang lebih halus pada jarak yang sangat pendek, tetapi mencapai ambang batas lebih cepat daripada model *Spherical*. Sementara itu, model *Exponential* menunjukkan pendekatan tercepat ke ambang batas, konsisten dengan jangkauannya yang relatif kecil.

Secara visual, model *Spherical* dan *Gaussian* menunjukkan kesesuaian yang lebih baik dengan pola semivariogram eksperimental pada sebagian besar jarak, terutama pada jarak menengah. Model *Exponential* cenderung mencapai ambang batas terlalu cepat, sehingga kurang mewakili pola fluktuasi semivariansi pada jarak yang lebih jauh.

Berdasarkan karakteristik parameter ketiga model semivariogram teoretis menunjukkan bahwa setiap model merepresentasikan struktur ketergantungan spasial residual di bawah asumsi yang berbeda. Model *Spherical* dan *Gaussian* cenderung mempertahankan pengaruh spasial pada jarak yang lebih jauh, sementara model *Exponential* merepresentasikan pelemahan pengaruh spasial yang lebih cepat. Perbedaan ini memiliki implikasi langsung terhadap kinerja prediksi spasial dari setiap model. Oleh karena itu perlu dilakukan pemilihan semivariogram terbaik untuk analisis selanjutnya.

Untuk memilih model semivariogram terbaik, LOOCV akan diuji untuk memperkirakan laju penurunan tanah dengan kesalahan minimal. Model terbaik ditentukan dengan membandingkan model dengan nilai RMSE terendah. Hasil uji validasi silang menggunakan LOOCV yang diukur dengan nilai RMSE adalah sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil LOOCV untuk Pemilihan Model Semivariogram

Model	RMSE
<i>Exponential</i>	11.187,69
<i>Gaussian</i>	13.695,34
<i>Spherical</i>	45.351,74

Nilai kesalahan prediksi menunjukkan perbedaan yang jelas antara model-model tersebut. Model *Exponential* menghasilkan nilai RMSE terkecil, yang menunjukkan bahwa model ini secara konsisten memberikan prediksi yang paling mendekati nilai yang diamati. Kesalahan rata-rata yang relatif kecil juga menunjukkan bahwa model *Exponential* tidak menghasilkan bias prediksi yang signifikan.

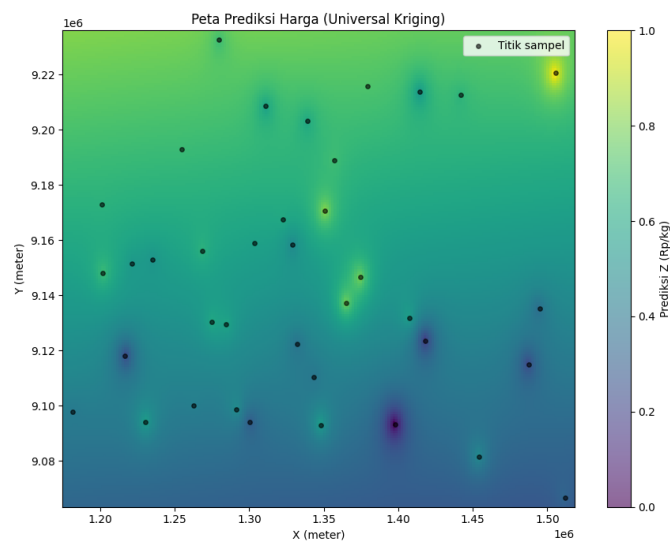
Sebaliknya, model *Gaussian* menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih besar, sedangkan model *Spherical* menghasilkan kesalahan prediksi tertinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun model *Spherical* dan *Gaussian* mampu merepresentasikan pola semivariogram eksperimental dengan cukup baik secara visual, kemampuan prediksi spasialnya lebih rendah daripada model *Exponential*.

Perbedaan antara kesesuaian visual dan kinerja prediksi ini menunjukkan bahwa model semivariogram yang tampak sesuai secara grafis tidak selalu memberikan hasil prediksi terbaik. Dalam konteks data harga cabai merah, struktur ketergantungan spasial residual cenderung lebih baik direpresentasikan oleh model *Exponential*, yang menekankan pelemahan pengaruh spasial pada jarak yang relatif pendek.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, model semivariogram *Exponential* dipilih sebagai model terbaik untuk digunakan dalam tahap pemodelan *Universal Kriging*. Pemilihan ini didasarkan pada kinerja prediktifnya yang unggul, bukan semata-mata pada kesesuaian visual semivariogram teoretis.

Prediksi Sebaran Harga Cabai Rawit Merah Menggunakan Universal Kriging

Hasil utama penerapan metode *Universal Kriging* dalam penelitian ini adalah peta prediksi distribusi harga cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur. Peta ini memberikan gambaran spasial tentang variasi harga cabai rawit merah di seluruh wilayah penelitian berdasarkan hasil estimasi model geostatistik.

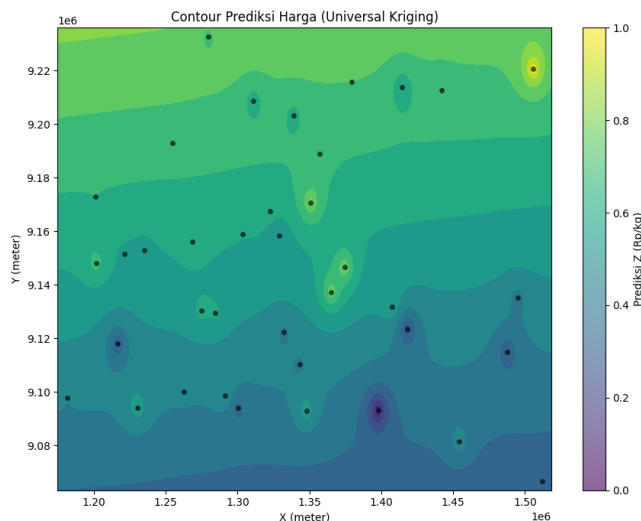


Gambar 4. Peta Prediksi Harga Cabai Rawit Merah

Peta prediksi disajikan sebagai permukaan spasial kontinu dua dimensi. Gradasi warna pada peta mewakili besarnya nilai harga yang diprediksi. Biru tua hingga biru kehijauan menunjukkan area dengan harga prediksi relatif rendah, hijau menunjukkan area dengan harga prediksi sedang, dan kuning hingga kuning muda mewakili area dengan harga prediksi relatif tinggi.

Transisi warna yang bertahap menunjukkan bahwa perubahan harga cabai rawit merah antar wilayah terjadi secara bertahap. Hal ini menunjukkan bahwa variasi harga tidak acak tetapi memiliki pola spasial yang terstruktur. Keberadaan area yang berdekatan dengan harga tinggi dan rendah menunjukkan ketergantungan spasial positif, di mana area yang berdekatan secara geografis cenderung memiliki nilai harga yang serupa.

Titik-titik hitam pada peta menunjukkan lokasi pengamatan harga aktual. Area di sekitar titik pengamatan dengan harga tinggi cenderung memiliki nilai prediksi yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa model *Universal Kriging* mampu menangkap informasi spasial dari data sampel secara efektif. Untuk memperjelas struktur spasial hasil prediksi harga cabai merah, disajikan peta kontur prediksi yang membagi area studi menjadi zona harga berdasarkan interval nilai tertentu.



Gambar 5. Peta Kontur Prediksi Harga Cabai Rawit Merah

Peta kontur menampilkan garis dan bidang kontur yang mewakili area dengan nilai prediksi harga yang relatif serupa. Gradasi warna pada peta kontur memiliki makna yang konsisten dengan peta prediksi: biru menunjukkan zona harga rendah, hijau menunjukkan zona harga menengah, dan kuning menunjukkan zona harga tinggi.

Garis kontur yang halus dan kontinu menunjukkan bahwa perubahan harga cabai merah terjadi secara konsisten di seluruh wilayah. Tidak ada perubahan harga yang tiba-tiba yang diamati, menunjukkan bahwa model *Universal Kriging* menghasilkan permukaan prediksi yang stabil secara spasial.

Zona harga tinggi tampaknya terkonsentrasi di wilayah tertentu, sementara zona harga rendah cenderung terletak di wilayah lain yang lebih luas. Pola ini menunjukkan bahwa variasi harga cabai merah bersifat regional, bukan hanya lokal, dan oleh karena itu, faktor-faktor yang memengaruhi harga kemungkinan beroperasi pada skala spasial menengah hingga besar. Dengan demikian, peta kontur berfungsi sebagai alat bantu visual yang memperkuat interpretasi peta prakiraan utama.

Tabel 8. Statistik Deskriptif Prediksi Harga Cabai Rawit Merah

Statistik	Nilai (Rp)
Jumlah data	40.000
Minimum	38.597,99
Kuartil 1 (Q1)	65.232,56
Median	73.982
Rata-rata	73.434,13
Kuartil 3 (Q3)	81.059,55
Maksimum	103.045,15
Standar deviasi	9.302,82

Prediksi harga cabai merah menggunakan metode *Universal Kriging* menghasilkan 40.000 titik prediksi yang tersusun dalam grid spasial dan mencakup seluruh provinsi Jawa Timur. Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik distribusi harga yang diestimasi.

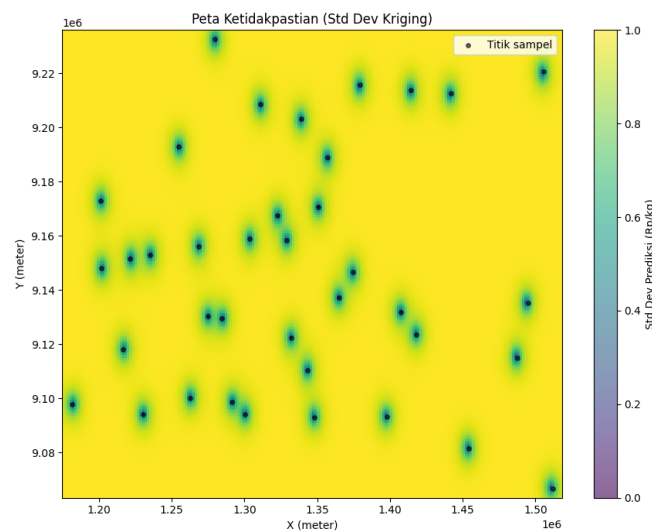
Harga rata-rata yang diprediksi adalah Rp73.434 per kilogram, sedangkan mediannya adalah Rp73.982 per kilogram. Kedekatan kedua ukuran kecenderungan sentral ini menunjukkan bahwa distribusi harga yang diprediksi relatif simetris, tanpa nilai ekstrem dominan yang dapat secara signifikan menggeser distribusi. Hal ini menunjukkan bahwa model *Universal Kriging* mampu memberikan estimasi harga yang stabil secara global.

Standar deviasi sebesar Rp9.302 per kilogram mencerminkan variabilitas harga yang signifikan di berbagai wilayah. Variabilitas ini menunjukkan bahwa harga cabai merah di Jawa Timur tidak terdistribusi secara seragam tetapi dipengaruhi oleh faktor spasial seperti lokasi geografis, kedekatan antar wilayah, dan kemungkinan tren regional.

Harga minimum dan maksimum yang diprediksi masing-masing adalah Rp38.598 per kilogram dan Rp103.045 per kilogram. Rentang nilai yang luas ini menunjukkan heterogenitas harga spasial yang kuat, sehingga pendekatan statistik spasial relevan untuk menggambarkan pola distribusi harga secara lebih realistis dibandingkan metode non-spasial.

Berdasarkan nilai kuartil, 25% wilayah memiliki harga di bawah Rp65.233 per kilogram, 50% wilayah berada di sekitar Rp 73.982 per kilogram, dan 75% wilayah memiliki harga di bawah Rp81.060 per kilogram. Dengan demikian, sebagian besar wilayah di Provinsi Jawa Timur termasuk dalam kisaran harga menengah hingga tinggi, sedangkan wilayah dengan harga sangat rendah atau sangat tinggi relatif terbatas.

Selain menghasilkan nilai prediksi harga, metode *Universal Kriging* juga memberikan informasi tentang tingkat ketidakpastian dalam hasil estimasi. Informasi ini disajikan dalam bentuk peta deviasi standar kriging, yang menggambarkan keandalan prediksi di setiap lokasi.



Gambar 6. Peta Ketidakpastian Prediksi Harga Cabai Rawit Merah

Gambar 6 menunjukkan peta ketidakpastian prediksi yang dinyatakan sebagai deviasi standar dari hasil kriging. Peta ini berfungsi untuk mengevaluasi keandalan hasil prediksi harga di setiap lokasi. Dalam peta ini, warna biru tua hingga hijau tua menunjukkan standar deviasi yang rendah, yang mengindikasikan tingkat ketidakpastian prediksi yang rendah dan estimasi yang lebih andal. Sebaliknya, warna hijau muda hingga kuning menunjukkan

deviasi standar yang tinggi, yang mengindikasikan peningkatan tingkat ketidakpastian prediksi.

Dapat dilihat bahwa area di sekitar titik sampel memiliki nilai standar deviasi yang lebih rendah, sedangkan area yang lebih jauh dari titik sampel menunjukkan nilai deviasi standar yang lebih tinggi. Pola ini selaras dengan prinsip dasar kriging, yaitu akurasi prediksi menurun seiring dengan meningkatnya jarak dari data observasi. Hasil ini menunjukkan bahwa distribusi dan kepadatan titik sampel memainkan peran penting dalam menentukan kualitas prediksi spasial.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Harga cabai rawit merah di Provinsi Jawa Timur menunjukkan pola distribusi spasial yang heterogen dan variasi yang signifikan antar wilayah. Analisis spasial mengungkapkan adanya gradien harga yang bersifat regional, khususnya pada arah utara-selatan, serta variasi lokal pada arah barat-timur.
2. Metode *Universal Kriging* dapat digunakan untuk memodelkan dan memprediksi harga cabai rawit merah dengan mempertimbangkan komponen *trend* spasial dan struktur ketergantungan spasial residual. Model *trend* orde pertama dipilih berdasarkan nilai AIC dan BIC yang lebih kecil yang mampu merepresentasikan variasi deterministik harga cabai rawit merah secara linier. Sedangkan pemodelan ketergantungan spasial residual menunjukkan bahwa model semivariogram *exponential* memberikan kinerja prediksi terbaik berdasarkan hasil LOOCV dengan RMSE terkecil.
3. Penerapan *Universal Kriging* menghasilkan peta prediksi distribusi harga cabai rawit merah yang disajikan sebagai permukaan spasial kontinu, serta peta ketidakpastian prediksi yang dinyatakan melalui deviasi standar kriging. Prediksi dibuat pada titik koordinat prediksi yang disusun dalam grid spasial dan mencakup seluruh wilayah Provinsi Jawa Timur, di luar 38 titik kabupaten/kota yang digunakan sebagai sampel.

Sebagai potensi pengembangan, penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan dimensi temporal atau variabel penjelas tambahan, seperti faktor produksi, distribusi, dan kondisi iklim, untuk meningkatkan akurasi prediksi harga. Lebih lanjut, pendekatan geostatistik tingkat lanjut, seperti kriging spasial-temporal, dapat digunakan untuk menangkap dinamika harga cabai rawit merah secara lebih komprehensif. Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar peta distribusi harga cabai rawit merah yang diprediksi digunakan sebagai dasar pendukung untuk merumuskan kebijakan stabilisasi harga pangan dan perencanaan distribusi komoditas cabai di tingkat regional.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi S1 Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya atas dukungan akademik yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan diskusi yang konstruktif dalam penyusunan dan penyempurnaan artikel ini.

REFERENSI

Annindiya, H., Tbad, M. I., Nashirah, N., Brilliant, I. I., & Setiawan, E. P. (2025). Analisis Spasial Kualitas Air Sungai Winongo menggunakan Metode Universal Kriging. *Jurnal*

- Sains Matematika dan Statistika*, 11(2), 187.
<https://doi.org/10.24014/jsms.v11i2.29193>
- Badi, B. Al, Bianto, M. A., Rohman, R. N., & Alamsyah, M. S. (2025). SISTEM PREDIKSI HARGA KOMODITAS CABAI DIWILAYAH JAWA TIMUR MENGGUNAKAN SIMPLE MOVING AVERAGE. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.7345>
- Cressie, N. (2015). *Statistics for spatial data*. John Wiley & Sons.
- Pangesti, W., Syukri, N., Notodiputro, K. A., Angraini, Y., & Mualifah, L. N. A. (2025). Performance Evaluation of ARIMA and GRU Models for Forecasting Chili Price in East Jawa. *JUITA: Jurnal Informatika*, 209–218. <https://doi.org/10.30595/juita.v13i2.26445>
- Putri, A. N., & Wardhani, A. K. (2020). PENERAPAN METODE SINGLE MOVING AVERAGE UNTUK PERAMALAN HARGA CABAI RAWIT HIJAU. *Indonesian Journal of Technology, Informatics and Science (IJTIS)*, 2(1), 37–40. <https://doi.org/10.24176/ijtis.v2i1.5653>
- Putri, S. E., Kusuma, D. A., Suhandi, B., & Ruchjana, B. N. (2020). Application of Universal Kriging (UK) Method for Prediction of Particulate Matter 2.5 (PM2.5) Concentration in the City of Bandung. *Barekeng*, 14(2), 279–292. <https://doi.org/10.30598/barekengvol14iss2pp279-292>
- Ramadhianti, D. S. (2020). *Estimasi Harga Tanah dengan Menggunakan Metode Universal Kriging*. 3–8.
- Sinaga, J. P., Hendriadi, A., Firdaus, M., Fauzi, A., & Arsanti, I. W. (2021). Analysis of Geographically Weighted Regression (GWR) on Retail Prices of Medium Rice and Red Chili in Java. *Jurnal Manajemen dan Agribisnis*, 18(2), 144–155. <https://doi.org/10.17358/jma.18.2.144>
- SISKAPERBAPO. (n.d.). Diambil 15 Januari 2026, dari <https://siskaperbapo.jatimprov.go.id/>
- Sofieyanti, N., & Sirodj, D. A. N. (2024). Penerapan Metode Universal Kriging Untuk Mengestimasi Laju Penurunan Muka Tanah Dki Jakarta. *Jurnal Gaussian*, 13(2), 431–442. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.13.2.431-442>
- Susanti, L., Pririzki, S. J., Zeleansi, Z., & Dalimunthe, D. Y. (2022). Prediksi Harga Cabai Rawit Merah Sebagai Kebutuhan Pangan Masyarakat Di Kota Pangkalpinang. *Proceedings of National Colloquium Research and Community Service*, 6, 140–145.
- Wackernagel, H. (2003). *Multivariate geostatistics: an introduction with applications*. Springer Science & Business Media.