

Pemodelan Produktivitas Padi di Jawa Tengah dengan Regresi Campuran Nonparametrik Spline Kernel

Modeling Rice Productivity in Central Java Using Mixed Nonparametric Spline-Kernel Regression

Siti Mutiah¹, Tiani Wahyu Utami¹, Prizka Rismawati Arum¹

¹ Universitas Muhammadiyah Semarang, Semarang

Corresponding author : sitimutiah09@gmail.com

Abstrak

Latar belakang : Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan produktivitas padi di Provinsi Jawa Tengah tahun 2023 dengan menggunakan pendekatan regresi campuran nonparametrik spline kernel. **Metode :** Metode ini dipilih karena mampu menggabungkan keunggulan spline dalam menangkap pola global dan kernel dalam menangkap variasi lokal, sehingga lebih fleksibel dalam menggambarkan hubungan yang bersifat tidak linier antara produktivitas padi dengan faktor-faktor ekonomi daerah. Data penelitian mencakup 35 kabupaten/kota dengan variabel prediktor meliputi luas panen, tenaga kerja, jumlah penduduk, dan pengeluaran per kapita. **Hasil penelitian :** Hasil analisis menunjukkan bahwa model terbaik diperoleh pada titik knot optimal di $\xi_1 = 1457,060$ dan $\xi_2 = 1497,137$ dengan tiga nilai bandwidth optimal yaitu $\phi_1 = 5,62256$, $\phi_2 = 0,0001277$, dan $\phi_3 = 0,0502639$. Model ini menghasilkan nilai Generalized Cross Validation (GCV) minimum sebesar 21,61559 dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9482. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebesar 94,82% variasi produktivitas padi dapat dijelaskan oleh variabel prediktor, sedangkan 5,18% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. **Kesimpulan :** Dengan demikian, regresi spline-kernel dapat dijadikan alternatif yang efektif dan akurat dalam meramalkan produktivitas pertanian berbasis data ekonomi daerah, khususnya di Provinsi Jawa Tengah.

Kata Kunci : Jawa Tengah, kernel, produktivitas padi, regresi nonparametrik, spline

Abstract

Background : This study aims to estimate rice productivity in Central Java Province in 2023 using a mixed nonparametric spline-kernel regression approach. **Method :** This method was chosen because it combines the strength of spline in capturing global patterns with the flexibility of kernel in capturing local variations, thereby providing a better fit for nonlinear relationships between rice productivity and regional economic factors. The data used in this study cover 35 regencies/municipalities with predictor variables consisting of harvested area, labor, population, and per capita expenditure. **Result :** The analysis results indicate that the optimal model was obtained at knot points $\xi_1 = 1457.060$ and $\xi_2 = 1497.137$, with three optimal bandwidth values of $\phi_1 = 5.62256$, $\phi_2 = 0.0001277$, and $\phi_3 = 0.0502639$. The model produced a minimum Generalized Cross Validation (GCV) value of 21.61559 and a coefficient of determination (R^2) of 0.9482. This means that 94.82% of the variation in rice productivity can be explained by the predictor variables through the spline-kernel regression model, while the remaining 5.18% is influenced by other factors outside the model. **Conclusion :** Therefore, the

spline-kernel regression approach can be considered an effective and accurate alternative for forecasting agricultural productivity based on regional economic data, particularly in Central Java Province.

Keywords : Central Java, kernel, nonparametric regression, rice productivity, spline

PENDAHULUAN

Padi memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia karena merupakan makanan pokok mayoritas penduduk[1]. Meski Indonesia kaya sumber daya alam, khususnya di bidang pertanian, negara ini masih menjadi salah satu pengimpor beras terbesar [2]. Hal ini sejalan dengan temuan [3] bahwa konsumsi beras terus meningkat setiap tahun, sementara produksi dalam negeri belum mencukupi sehingga impor menjadi solusi pemerintah.

Provinsi Jawa Tengah yang mencakup wilayah 32.800,69 km², terdiri atas 29 kabupaten dan 6 kota, merupakan salah satu lumbung padi utama Indonesia. Luas panen pada tahun 2023 mencapai 1.640.297,54 hektar, menempatkannya sebagai salah satu provinsi dengan produksi padi terbesar [4]. Namun demikian, produksi padi di Jawa Tengah mengalami fluktuasi. Data menunjukkan penurunan produksi dari 9,62 juta ton pada 2021 menjadi 9,58 juta ton pada 2022, dan turun signifikan pada 2023 menjadi 9,06 juta ton. Fenomena ini dipengaruhi berbagai faktor seperti perubahan iklim, penyusutan lahan, serangan hama penyakit, serta keterbatasan sarana produksi [5].

Perkembangan teknologi analisis data dan prediksi hasil pertanian dalam beberapa dekade terakhir mendorong penggunaan pendekatan statistik dan machine learning. Regresi merupakan metode yang umum digunakan untuk mengkaji hubungan antara variabel prediktor—seperti iklim, lahan, dan input produksi—dengan hasil panen [6]. Di antara berbagai metode, regresi nonparametrik banyak diminati karena sifatnya yang fleksibel dalam menangkap pola kompleks tanpa asumsi bentuk fungsi tertentu [7].

Regresi nonparametrik dapat dilakukan dengan pendekatan spline dan kernel. Estimasi spline membagi data ke dalam beberapa interval dan memodelkannya dengan fungsi polinomial halus, sedangkan kernel memberikan bobot lebih besar pada titik data yang dekat dengan titik estimasi. Kombinasi keduanya banyak digunakan untuk mengatasi tantangan data nonlinier. Penelitian [8] membuktikan bahwa kombinasi spline-kernel menghasilkan estimasi lebih akurat dibanding metode parametrik, dengan dukungan teknik Generalized Cross Validation (GCV) dalam pemilihan parameter optimal. Temuan serupa dikemukakan oleh [9] yang menyoroti perbaikan kinerja regresi spline ketika digabungkan dengan kernel, terutama pada data observasional dengan prediktor kategori.

Lebih lanjut, [10] menunjukkan bahwa regresi campuran spline terpotong dan kernel Gaussian efektif untuk memprediksi hasil pertanian di lingkungan dengan iklim

tidak stabil, terutama jika parameter ditentukan melalui Cross Validation (CV) maupun GCV. Hal ini menegaskan bahwa kombinasi spline dan kernel memiliki keunggulan dalam menangani keragaman karakteristik data.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada pemodelan produktivitas padi di Jawa Tengah dengan menggunakan regresi campuran nonparametrik spline kernel. Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan membangun model yang mampu menganalisis serta memprediksi hasil produktivitas padi secara lebih akurat, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memahami faktor-faktor yang memengaruhi produksi padi dan mendukung upaya peningkatan ketahanan pangan di Jawa Tengah.

METODE

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Tengah yang mencakup 35 kabupaten/kota di Jawa Tengah. Data yang digunakan meliputi variabel produktivitas padi (Y) yang diukur dari hasil produksi padi per hektar (kuintal/ha), luas panen padi (X1) dalam ribu hektar sebagai representasi kapasitas lahan, tenaga kerja (X2) dalam ribu orang yang terlibat dalam usaha tani, jumlah penduduk (X3) dalam ribu jiwa sebagai indikator populasi yang berpengaruh terhadap permintaan dan penawaran pangan, serta pengeluaran per kapita (X4) dalam ribu rupiah per tahun yang mencerminkan daya beli dan tingkat kesejahteraan masyarakat. Berdasarkan data tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan pendekatan regresi campuran nonparametrik spline-kernel untuk memodelkan hubungan antara variabel-variabel bebas dengan produktivitas padi di Jawa Tengah.

Tahapan penelitian regresi campuran nonparametrik spline kernel Adalah sebagai berikut

1. Melakukan analisis deskriptif.
2. Membuat scatter plot data antara variabel respon dan masing-masing prediktor.
3. Menentukan model pendekatan regresi nonparametrik multivariabel yang digunakan berdasarkan scatter plot data. Satu variabel didekati dengan fungsi spline dan variabel lainnya didekati dengan fungsi kernel.
4. Memodelkan data menggunakan estimasi campuran spline dan kernel multivariabel dengan satu dan dua titik knot.

Persamaan umum regresi campuran nonparametrik spline kernel:

$$\hat{f}_{\tilde{\phi}, \tilde{\xi}}(u, \tilde{v}) = \hat{g}_{\tilde{\phi}, \tilde{\xi}}(u, \tilde{v}) + \sum_{j=1}^m \hat{h}_{j\phi_j}(v_j)$$

5. Menentukan bandwidth dan titik knot optimal dan menghitung nilai GCV. Berikut persamaan untuk menghitung nilai GCV

$$GCV(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{m}(x_i)}{1 - n^{-1} \sum_{i=1}^n w_i x_i} \right)^2$$

6. Menentukan model optimal dengan GCV minimum.
7. Menghitung R² sebagai bagian dari kriteria penilaian kebaikan model.

Persamaan untuk R-Square sebagai berikut

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

dengan SSR adalah Sum of Squares Regression dan SST adalah Sum of Squares Total dimana

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2, SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

8. Membuat kesimpulan dari model yang dibentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

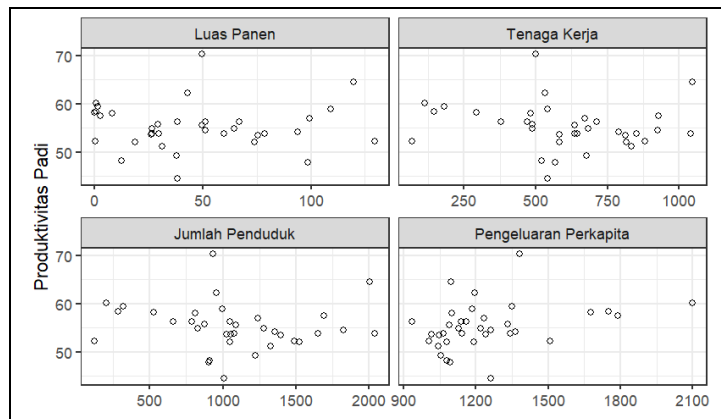
Gambaran data dalam penelitian ini diawali dengan analisis deskriptif. Variabel independen yang digunakan adalah luas panen padi (X1) dalam ribu hektar, tenaga kerja (X2) dalam ribu orang, jumlah penduduk (X3) dalam ribu jiwa dan pengeluaran per kapita (X4) dalam satuan ribu rupiah per tahun untuk setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Tengah. Sementara itu, variabel dependen adalah produktivitas padi (Y) yang diukur dalam kuintal per hektar. Statistik deskriptif dari kelima variabel tersebut disajikan untuk memberikan gambaran awal mengenai karakteristik data penelitian.

Tabel 1 Statistik Deskriptif

Statistik	Luas Panen	Tenaga Kerja	Jumlah Penduduk	Pengeluaran Perkapita	Produktivitas Padi
Minimum	0,02709	69,199	122,150	936,059	44.48
Kuartil 1	22,33131	488,949	851,758	1085,494	52.93
Median	38,26349	583,820	1047,226	1185,944	54.83
Mean	46,93604	601,975	1072,599	1247,607	55.31
Kuartil 3	70,36470	801,679	1345,010	1338,859	57.81
Maksimum	129,63082	1046,667	2043,077	2098,293	70.27

Berdasarkan hasil analisis deskriptif, terlihat bahwa terdapat variasi yang cukup besar pada masing-masing variabel penelitian. Variabel luas panen padi memiliki nilai minimum 0,02709 ribu hektar dan maksimum 129,63 ribu hektar, dengan rata-rata sebesar 46,93 ribu hektar, menunjukkan adanya perbedaan kapasitas lahan antar kabupaten/kota di Jawa Tengah. Jumlah tenaga kerja yang terlibat dalam usaha tani berkisar antara 69,20 ribu hingga 1.046,67 ribu orang, dengan rata-rata 601,98 ribu orang, yang mencerminkan distribusi tenaga kerja yang tidak merata. Jumlah penduduk juga bervariasi cukup lebar, dari 122,15 ribu jiwa hingga 2.043,08 ribu jiwa, dengan rata-rata 1.072,60 ribu jiwa. Variabel pengeluaran per kapita menunjukkan kisaran antara 936,06 ribu rupiah hingga 2.098,29 ribu rupiah per tahun, dengan rata-rata 1.247,61 ribu rupiah, yang mengindikasikan adanya disparitas daya beli antar wilayah. Sementara itu, produktivitas padi sebagai variabel dependen memiliki nilai

minimum 44,48 kuintal/ha dan maksimum 70,27 kuintal/ha, dengan rata-rata 55,31 kuintal/ha, yang menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan produktivitas antar wilayah, secara umum produktivitas padi di Jawa Tengah berada pada kisaran yang cukup stabil. Hasil ini memberikan gambaran awal mengenai karakteristik data sebelum dilakukan analisis lebih lanjut dengan regresi campuran nonparametrik spline-kernel. Selain itu, pola hubungan antara variabel independent dan dependen dapat dilihat sebagai berikut



Gambar 1 Scatter Plot antara Variabel Independen dengan Variabel Dependen

Hasil scatter plot menunjukkan bahwa variabel luas panen, tenaga kerja, dan jumlah penduduk memiliki pola hubungan yang acak sehingga lebih sesuai dimodelkan dengan kernel yang menangkap variasi lokal. Sementara itu, variabel pengeluaran perkapita menunjukkan pola non-linear yang lebih halus sehingga lebih tepat dimodelkan dengan spline.

Model Regresi Campuran Nonparametrik Spline Kernel dengan Satu Titik Knot

Letak titik-titik knot, nilai bandwidth, serta nilai GCV yang diperoleh untuk model regresi campuran nonparametrik spline kernel satu titik knot ditampilkan sebagai berikut

Tabel 2 GCV pada Model Satu Titik Knot

No	Titik Knot				GCV
	ξ_1	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	
1	936,059	5,522377	0,0013713	0,052095	22,69748
2	1159,208	5,560389	0,0017048	0,052909	22,76204
3	1163,857	5,570395	0,0016708	0,052876	22,77389
4	1154,559	5,563949	0,0017051	0,052978	22,77394
5	1149,910	5,567541	0,0017045	0,053045	22,78863
6	1168,506	5,581091	0,0015744	0,052767	22,78923
7	1173,155	5,591309	0,0014756	0,052680	22,80595
8	1145,261	5,571136	0,0017049	0,053	22,80642
9	1177,804	5,601047	0,0013824	0,052584	22,82374
10	1019.739	5,39407	0,0016965	0,052511	23,39700

Berdasarkan Tabel diatas, diperoleh bahwa kombinasi titik knot dan bandwidth terbaik dalam model regresi campuran nonparametrik spline-kernel satu titik knot

adalah ketika titik knot (ξ_1) berada pada nilai 936,059 dan nilai bandwidth masing-masing sebesar 5,522377, 0,0013713, dan 0,052095. Kombinasi tersebut menghasilkan nilai Generalized Cross Validation (GCV) terkecil, yaitu sebesar 22,69748.

Model Regresi Campuran Nonparametrik Spline Kernel dengan Dua Titik Knot

Letak titik-titik knot, nilai bandwidth, serta nilai GCV yang diperoleh untuk model regresi campuran nonparametrik spline kernel dua titik knot ditampilkan sebagai berikut

Tabel 3 GCV pada Model Dua Titik Knot

No.	Titik Knot		Bandwidth			GCV
	ξ_1	ξ_2	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	
1	1457,060	1497,137	5,62256	0,0001277	0,0502639	21,61559
2	1376,906	1497,137	5,64319	0,0001227	0,0501183	21,93909
3	1416,983	1537,215	5,72965	0,0001235	0,0501241	22,26591
4	936,059	2098,293	5,52237	0,0013713	0,0520951	22,69748
5	976,136	2098,293	5,53955	0,0013408	0,0520971	22,71323
6	1016,213	2098,293	5,54328	0,0013157	0,0520649	22,73995
7	109,367	2098,293	5,46248	0,0014689	0,0522146	22,91216
8	1056,290	1136,444	5,98377	0,0019878	0,0361637	23,32688
9	1216,598	1256,675	5,36613	0,0019945	0,1316899	23,34750
10	976,136	1016,213	5,55810	0,0017462	0,0525708	23,37855

Berdasarkan tabel tersebut, diperoleh bahwa model regresi campuran nonparametrik spline-kernel dengan dua titik knot memberikan hasil terbaik ketika titik knot berada pada nilai 1457,060 dan 1497,137. Kombinasi ini menghasilkan nilai Generalized Cross Validation (GCV) terkecil sebesar 21,61559, yang merupakan indikator bahwa model ini memiliki tingkat kesalahan prediksi paling rendah dibandingkan kombinasi dua titik knot lainnya pada tabel. Nilai bandwidth yang digunakan dalam model ini adalah 5,62256 untuk ϕ_1 , 0,0001277 untuk ϕ_2 , dan 0,0502639 untuk ϕ_3 .

GCV Minimum dan Banyaknya Titik Knot Optimum

Perbandingan nilai GCV minimum yang dihasilkan oleh model regresi dengan satu dan dua titik knot dapat dilihat pada dibawah ini. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja masing-masing model dalam menentukan model terbaik berdasarkan nilai GCV terkecil.

Tabel 4 Perbandingan Nilai GCV Minimum

No	Model	GCV
1	Model $\xi_1 = 936,059$	22,69748
2	Model $\xi_1 = 1457,060$ $\xi_2 = 1497,137$	21,61559

Tabel diatas menunjukkan perbandingan nilai Generalized Cross Validation (GCV) minimum antara model dengan satu titik knot dan model dengan dua titik knot. Diperoleh bahwa model dengan satu titik knot pada $\xi_1 = 936,059$ menghasilkan nilai

GCV sebesar 22,69748, sedangkan model dengan dua titik knot pada $\xi_1 = 1457,060$ dan $\xi_2 = 1497,137$ menghasilkan nilai GCV yang lebih rendah, yaitu sebesar 21,61559. Perbedaan ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah titik knot dari satu menjadi dua mampu meningkatkan kinerja model regresi campuran nonparametrik spline kernel. Nilai GCV yang lebih rendah pada model dua titik knot mengindikasikan bahwa model tersebut lebih baik dalam meminimalkan kesalahan prediksi dan memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik dibandingkan dengan model satu titik knot.

Estimasi Model Regresi Campuran Nonparametrik Spline Kernel Dua Titik Knot

Model regresi campuran nonparametrik *spline kernel* yang paling optimal dicapai saat digunakan kombinasi jumlah titik *knot*, posisi titik *knot*, dan nilai *bandwidth* terbaik. Berdasarkan hasil seleksi titik *knot*, model terbaik diperoleh ketika fungsi *spline* dalam model memiliki dua titik *knot*. Model regresi ini dibangun menggunakan titik *knot* optimal di $\xi_1 = 1457,060$ dan $\xi_2 = 1497,137$ serta tiga nilai *bandwidth* optimal yaitu $\phi_1 = 5,62256$, $\phi_2 = 0,0001277$, dan $\phi_3 = 0,0502639$. Model regresi yang terbentuk adalah

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_4 + \lambda_1 (X_4 - \xi_1) + \lambda_2 (X_4 - \xi_2) + \sum_{i=1}^{35} \frac{\frac{1}{\phi_1} K(\frac{X_1 - X_{1i}}{\phi_1})}{\sum_{i=1}^{35} \frac{1}{\phi_1} K(\frac{X_1 - X_{1i}}{\phi_1})} y_i +$$

$$\sum_{i=1}^{35} \frac{\frac{1}{\phi_2} K(\frac{X_2 - X_{2i}}{\phi_2})}{\sum_{i=1}^{35} \frac{1}{\phi_2} K(\frac{X_2 - X_{2i}}{\phi_2})} y_i + \sum_{i=1}^{35} \frac{\frac{1}{\phi_3} K(\frac{X_3 - X_{3i}}{\phi_3})}{\sum_{i=1}^{35} \frac{1}{\phi_3} K(\frac{X_3 - X_{3i}}{\phi_3})} y_i$$

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_4 + \lambda_1 (X_4 - 1457,060) + \lambda_2 (X_4 - 1497,137) + \sum_{i=1}^{35} \frac{\frac{1}{5,62256} K(\frac{X_1 - X_{1i}}{5,62256})}{\sum_{i=1}^{35} \frac{1}{5,62256} K(\frac{X_1 - X_{1i}}{5,62256})} y_i +$$

$$\sum_{i=1}^{35} \frac{\frac{1}{0,0001277} K(\frac{X_2 - X_{2i}}{0,0001277})}{\sum_{i=1}^{35} \frac{1}{0,0001277} K(\frac{X_2 - X_{2i}}{0,0001277})} y_i + \sum_{i=1}^{35} \frac{\frac{1}{0,0502639} K(\frac{X_3 - X_{3i}}{0,0502639})}{\sum_{i=1}^{35} \frac{1}{0,0502639} K(\frac{X_3 - X_{3i}}{0,0502639})} y_i$$

Nilai estimasi parameter β_0 , β_1 , λ_1 , dan λ_2 yang diperoleh mengacu pada posisi titik-titik *knot* dan *bandwidth* optimum yang telah ditentukan sebelumnya adalah $\beta_0 = -4,956668$, $\beta_1 = 0,004256956$, $\lambda_1 = -0,0624290144$ dan $\lambda_2 = 0,061985728$ dengan demikian estimasi kurva untuk model regresi campuran *spline kernel* dengan 2 titik *knot* sebagai berikut

$$\hat{f}_{\phi, \xi}(u, v) = -4,956668 + 0,004256956 X_4 - 0,0624290144 (X_4 - 1457,060) +$$

$$0,061985728 (X_4 - 1497,137) + \sum_{i=1}^{35} \frac{\frac{1}{5,62256} K(\frac{X_1 - X_{1i}}{5,62256})}{\sum_{i=1}^{35} \frac{1}{5,62256} K(\frac{X_1 - X_{1i}}{5,62256})} y_i +$$

$$\sum_{i=1}^{35} \frac{\frac{1}{0,0001277} K(\frac{X_2 - X_{2i}}{0,0001277})}{\sum_{i=1}^{35} \frac{1}{0,0001277} K(\frac{X_2 - X_{2i}}{0,0001277})} y_i + \sum_{i=1}^{35} \frac{\frac{1}{0,0502639} K(\frac{X_3 - X_{3i}}{0,0502639})}{\sum_{i=1}^{35} \frac{1}{0,0502639} K(\frac{X_3 - X_{3i}}{0,0502639})} y_i$$

Evaluasi Model

Untuk mengevaluasi sejauh mana model regresi nonparametrik campuran spline-kernel mampu menjelaskan variasi data, dilakukan perhitungan nilai koefisien determinasi (R^2). Nilai R^2 menunjukkan proporsi variasi pada variabel respon yang dapat diterangkan oleh variabel prediktor dalam model. Semakin besar nilai R^2 , maka semakin baik model dalam menggambarkan hubungan antar variabel [11]. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai koefisien determinasi (R-Square) sebesar 0,9482. Hal ini menunjukkan bahwa variabel prediktor yang terdiri dari luas panen, tenaga kerja, jumlah penduduk, dan pengeluaran per kapita mampu menjelaskan variasi produktivitas padi sebesar 94,82%. Dengan kata lain, model regresi yang digunakan memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menjelaskan hubungan antara variabel-variabel prediktor terhadap produktivitas padi. Sementara itu, sisanya sebesar 5,18% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model atau oleh komponen error yang tidak dapat dijelaskan dalam penelitian ini. Nilai R-Square yang tinggi ini mengindikasikan bahwa model yang dibangun sudah cukup representatif dan dapat digunakan sebagai dasar dalam menarik kesimpulan mengenai faktor-faktor yang memengaruhi produktivitas padi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa model regresi campuran nonparametrik spline-kernel dengan dua titik knot dan tiga bandwidth optimal merupakan model terbaik yang digunakan dalam memodelkan produktivitas padi di Provinsi Jawa Tengah. Model ini menghasilkan nilai GCV minimum sebesar 21,61559 dan nilai R-squared sebesar 0,9482, yang menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang sangat baik karena mampu menjelaskan 94,82% variasi produktivitas padi, sementara 5,18% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Temuan ini mengindikasikan bahwa variabel luas panen, tenaga kerja, jumlah penduduk, dan pengeluaran per kapita memberikan kontribusi signifikan terhadap produktivitas padi di tingkat kabupaten/kota. Dengan demikian, pendekatan regresi campuran nonparametrik spline-kernel tidak hanya unggul secara metodologis, tetapi juga memiliki relevansi praktis dalam memahami kondisi pertanian daerah. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pemerintah daerah maupun pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan yang mendukung peningkatan produktivitas padi di Jawa Tengah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Wulandari and R. Rumini, "Pemodelan dan Prediksi Produksi Padi Menggunakan Regresi Linear," *Smart Comp Jurnalnya Orang Pint. Komput.*, vol. 12, no. 4, 2023, doi: 10.30591/smartcomp.v12i4.5905.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Impor Beras Menurut Asal Negara," BPS. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTA0MyMx/imp-or-beras-menurut-negara-asal-utama--2017-2023.html>

-
- [3] R. Zaeroni and S. R. Dewi, "Pengaruh Produksi Beras, Konsumsi Beras dan Cadangan Devisa Terhadap Impor Beras di Indonesia," *J. Ekon. Pembang. Univ. Udayana*, vol. 5, p. 9, 2016.
 - [4] BPS, "Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah (Kuintal/Hektar), 2021-2023," BPS. [Online]. Available: <https://jateng.bps.go.id/id/statistics-table/2/NDYzIzI=/luas-panen--produksi--dan-produktivitas-padi-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-tengah.html>
 - [5] Defriyanti, "Pengaruh Luas Lahan Sawah dan Luas Tanam terhadap Produksi Padi di Sumatera Selatan," *J. Penelit. Pertan. Terap.*, vol. 19, no. 3, pp. 101-112, 2019.
 - [6] Asmoaji, "Pengaruh Faktor Produksi Modal, Tenaga Kerja, dan Lahan terhadap Pendapatan Usahatani Padi Segreng Handayani di Girisubo, Gunungkidul," <https://digilib.uns.ac.id/>, 2023.
 - [7] Suparti, A. Prahutama, and R. Santoso, "Mix local polynomial and spline truncated: The development of nonparametric regression model," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1025, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1025/1/012102.
 - [8] H. Husain, I. N. Budiantara, and I. Zain, "Mixed estimator of spline truncated, Fourier series, and kernel in biresponse semiparametric regression model," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 880, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/880/1/012046.
 - [9] S. Ma, J. Racine, and L. Yang, "Spline Regression in the Presence of Categorical Predictors. Journal of Applied Econometrics," *J. Ekon. Terap.*, vol. 30, pp. 705-717, 2015.
 - [10] V. Ratnasari, I. N. Budiantara, and A. T. R. Dani, "Nonparametric Regression Mixed Estimators of Truncated Spline and Gaussian Kernel based on Cross-Validation (CV), Generalized CrossValidation (GCV), and Unbiased Risk (UBR) Methods," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 11, no. 6, pp. 2400-2406, 2021, doi: 10.18517/ijaseit.11.6.14464.
 - [11] A. H. Maharani, H. Yozza, and Y. Asdi, "Pemodelan Berat Badan Balita dengan Menggunakan Regresi Kernel," *J. Mat. UNAND*, vol. 4, no. 3, p. 31, 2019, doi: 10.25077/jmu.4.3.31-40.2015.