



Analisis Regresi Kernel Gaussian untuk Memprediksi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Berdasarkan Faktor Sosial-Ekonomi Provinsi di Indonesia

Rohimatul Anwar¹, Linda Rasiyanti^{2*}, Rizka Pitri³

¹ Kimia, Universitas Lampung, Indonesia

² Sains Data, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

³ Sains Data, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung, Indonesia

*Penulis Korespondensi: linda.rasiyanti@sd.itera.ac.id²

Abstract. *The Human Development Index (HDI) functions as a key indicator for assessing the level of welfare and overall quality of life of the population within a specific region. This study aims to examine the socio-economic factors influencing HDI at the provincial level in Indonesia using a Gaussian kernel regression approach. A nonparametric method is employed due to its flexibility in capturing nonlinear relationships between the response and predictor variables without the need to assume a specific functional form. The analysis utilizes secondary data, including education, poverty, per capita expenditure, expected years of schooling, open unemployment rate, and gross regional domestic product for each Indonesian province. The findings from this study indicate that educational factors, particularly mean years of schooling and expected years of schooling, exert the most significant impact on HDI improvement. The estimated Gaussian kernel regression model demonstrates a coefficient of determination of 0.9954 and a residual standard error of 0.3468, reflecting a very high predictive accuracy and relatively low error. These results suggest that Gaussian kernel regression is an effective nonparametric approach for analyzing human development in Indonesia.*

Keywords: Bandwidth; Gaussian; HDI; Kernel regression; Nonparametric.

Abstrak. Indeks Pembangunan Manusia (IPM) berfungsi sebagai indikator penting dalam mengukur kesejahteraan dan mutu hidup penduduk di suatu daerah. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis faktor sosial-ekonomi yang memengaruhi IPM di tingkat provinsi di Indonesia dengan menggunakan pendekatan regresi kernel Gaussian. Metode nonparametrik dipilih karena lebih fleksibel dalam menangkap hubungan nonlinier antara variabel respon dan variabel prediktor tanpa harus menetapkan bentuk fungsi tertentu. Data sekunder penelitian ini terdiri dari variabel pendidikan, kemiskinan, pengeluaran per kapita, harapan lama sekolah, serta produk domestik regional bruto, serta tingkat pengangguran terbuka di setiap provinsi Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor pendidikan, yaitu harapan lama sekolah dan rata-rata lama sekolah memiliki pengaruh paling signifikan terhadap peningkatan IPM. Model regresi kernel Gaussian yang diestimasi menghasilkan nilai koefisien determinasi sebesar 0.9954 dan *residual standard error* sebesar 0.3468, yang mengindikasikan kemampuan prediktif yang sangat tinggi dan tingkat kesalahan relatif kecil. Dengan demikian, regresi kernel Gaussian terbukti efektif sebagai pendekatan nonparametrik dalam menganalisis pembangunan manusia di Indonesia.

Kata kunci: Bandwidth; Gaussian; HDI; Nonparametrik; Regresi kernel.

1. LATAR BELAKANG

Tahun 1990, *United Nations Development Programme* (UNDP) memperkenalkan konsep pembangunan manusia pada publikasi *Human Development Report* (HDR), yang melahirkan ukuran yang dikenal sebagai Indeks Pembangunan Manusia/IPM (Badan Pusat Statistika, 2020). Laporan ini memperkenalkan IPM sebagai salah satu ukuran penting yang digunakan untuk melihat sejauh mana kualitas hidup masyarakat di suatu daerah. IPM mencakup tiga aspek utama, yaitu bidang pendidikan, bidang kesehatan, serta standar hidup yang layak. Nilai IPM yang tinggi berarti masyarakat di daerah tersebut memiliki peluang

hidup lebih panjang, berpendidikan lebih baik, dan tingkat kesejahteraan yang lebih baik (Badan Pusat Statistika, 2020). Oleh karena itu, IPM sebagai salah satu indikator utama dalam menilai keberhasilan dalam pembangunan suatu wilayah.

Capaian IPM di Indonesia belum merata di seluruh daerah (Astuti & Wijaya, 2024). Terdapat provinsi yang sudah mencapai IPM tinggi karena didukung fasilitas kesehatan yang memadai, tingkat pendidikan yang lebih baik, dan kondisi ekonomi yang kuat. Di sisi lain, masih ada provinsi yang tertinggal, terutama di wilayah dengan keterbatasan akses layanan dasar. Perbedaan kondisi sosial-ekonomi ini membuat kesenjangan pembangunan manusia antarprovinsi masih cukup terasa (Ezkirianto, Ryan; Findi, 2013).

Berdasarkan hal tersebut, pemahaman terhadap faktor-faktor sosial ekonomi yang memberikan kontribusi signifikan terhadap IPM menjadi hal yang penting. Pada tahun 2018, Amaluddin dkk menganalisis IPM melalui pendekatan metode panel. Selain itu, analisis tentang IPM biasanya dilakukan menggunakan regresi linear klasik (Huriyatullah et al., 2023). Tetapi, pendekatan ini sering kali kurang mampu menggambarkan hubungan yang sebenarnya, karena hubungan antara IPM dengan variabel-variabel seperti rata-rata lama sekolah, harapan lama sekolah, pengeluaran per kapita, angka harapan hidup, Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), tidak selalu linier.

Regresi kernel Gaussian hadir sebagai alternatif dalam menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi IPM. Berbeda dengan model parametrik yang kaku (Dani et al., 2021), regresi kernel bersifat lebih fleksibel karena tidak mengharuskan menentukan bentuk hubungan terlebih dahulu. Pendekatan regresi kernel menggunakan fungsi kernel Gaussian untuk menekankan bobot pada data yang berada di sekitar titik pengamatan, sehingga memungkinkan identifikasi pola hubungan nonlinier secara lebih baik. Dengan demikian, penelitian ini menggunakan regresi kernel Gaussian untuk mengidentifikasi faktor sosial ekonomi yang berpengaruh terhadap IPM di Indonesia. Melalui penelitian ini, diharapkan diperoleh deskripsi yang lebih tepat dan mencerminkan kondisi aktual. Melalui hasil penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh manfaat baik bagi dunia akademik maupun bagi pembuat kebijakan dalam mengembangkan strategi pembangunan yang lebih terarah dan sesuai dengan karakteristik regional.

2. KAJIAN TEORITIS

Regresi Nonparametrik

Regresi nonparametrik diterapkan untuk mempelajari hubungan antara variabel prediktor dan respon tanpa perlu mengasumsikan bentuk fungsi yang spesifik sebelumnya (Maharani et al., 2015). Dengan mengasumsikan bahwa hubungan antarvariabel bersifat halus dalam suatu ruang fungsi, metode ini mampu mempertahankan derajat fleksibilitas yang tinggi selama proses estimasi (S. A. Putri et al., 2022). Terdapat berbagai teknik *smoothing* yang digunakan dalam regresi nonparametrik, antara lain *deret fourier*, *estimator kernel*, polinomial lokal, *spline truncated*, dan metode lainnya (Fitroh et al., 2023). Secara matematis, model regresi nonparametrik dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (1) berikut:

$$Y_i = m(X_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Y_i merupakan variable dependen ke-i, X_i merupakan variable independent ke-i, $m(X_i)$ merupakan suatu fungsi regresi yang tidak diketahui, dan ε_i merupakan pengukuran pengukuran residual yang tidak dapat dijelaskan dengan $m(X_i)$ (Anisa et al., 2019).

Regresi Kernel

Regresi kernel bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan nonlinier antara dua variabel acak X dan Y, serta didefinisikan sebagai sebuah teknik nonparametrik dalam statistika untuk menduga nilai harapan bersyarat suatu variabel acak (Maharani et al., 2015). Dalam regresi nonparametrik, jika X diketahui maka nilai harapan bersyarat dari variabel Y dapat ditulis dengan $E(Y|X)$ atau $E(Y|X = x) = \int \frac{f(x,y)}{f(y)} dy$, dengan x sebagai suatu fungsi yang tidak diketahui. Fungsi kernel ditulis sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{nh} K \left(\frac{x-x_i}{h} \right) \quad (2)$$

Akurasi estimator dipengaruhi oleh pemilihan bandwidth h , nilai h yang kecil memberikan makna estimasi yang kurang mulus (*undersmoothing*), sedangkan nilai h yang terlalu besar dapat menyebabkan estimasi menjadi terlalu halus (*oversmoothing*) (A. P. Putri et al., 2017).

Pemilihan Bandwidth Optimal

Menurut (Härdle, 1990), jenis fungsi kernel yang digunakan tidak banyak memengaruhi nilai prediksi, sedangkan *bandwidth* memiliki peranan yang lebih dominan. *Bandwidth* berfungsi sebagai parameter pemulus yang mengendalikan tingkat *smoothing* kurva hasil estimasi serta menjadi indikator kesesuaian fungsi terhadap data (Ramadhani et al., 2024). Dengan demikian, pemilihan *bandwidth* optimal sangat diperlukan, yang umumnya dilakukan

melalui perhitungan *cross validation* (CV) dengan memilih nilai CV terkecil. Perhitungan CV dapat dirumuskan dalam persamaan (3).

$$CV(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{m}(X_{\neq i}))^2 \quad (3)$$

Dimana *CV* merupakan *cross validation*, *h* menyatakan *bandwidth*, Y_i menyatakan variabel dependen ke-*i*, serta $\hat{m}(X_{\neq i})$ menyatakan nilai estimasi (Anisa et al., 2019).

Estimator Nadaraya-Watson

Pada regresi kernel, proses estimasi fungsi regresi umumnya dilakukan menggunakan estimator Nadaraya-Watson (N-W), yang bentuk matematisnya disajikan pada persamaan (4) (Suparti et al., 2017):

$$\hat{m}(X_i) = \frac{\sum_{j=1}^n K\left(\frac{x_i - x_j}{h}\right) Y_j}{\sum_{j=1}^n K\left(\frac{x_i - x_j}{h}\right)} \quad (4)$$

dengan

$$W_{ij}(X) = \frac{k\left(\frac{x_i - x_j}{h}\right)}{\sum_{j=1}^n k\left(\frac{x_i - x_j}{h}\right)} \quad (5)$$

Dimana $\{W_{ij}(x)\}$ menyatakan barisan bobot-bobot positif serta memiliki karakteristik $\sum_{j=1}^n W_{ij}(x) = 1$, maka diperoleh:

$$\hat{m}(X_i) = \sum_{j=1}^n W_{ij}(x) Y_j \quad (6)$$

Dengan demikian, estimator N-W dapat diartikan sebagai rata-rata terboboti dari sekumpulan nilai $\{Y_j\}$.

Fungsi Kernel Gaussian

Fungsi kernel Gaussian identik dengan fungsi kepadatan peluang normal standar (Pratiwi et al., 2020). Fungsi kernel gaussian sebagai berikut:

$$K(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - x_j}{h}\right)^2\right) \quad (7)$$

Dari persamaan (7) disubstitusikan ke persamaan (4), sehingga menjadi:

$$\hat{m}(X_i) = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - x_j}{h}\right)^2\right) Y_j}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - x_j}{h}\right)^2\right)} \quad (8)$$

X_i menyatakan variabel independen ke-*i*, X_j menyatakan variabel independen ke-*j*, menyatakan variabel *j* dependen ke-*j*, *h* menyatakan *bandwidth*.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), mencakup variabel Indeks Pembangunan Manusia (IPM), rata-rata lama sekolah, tingkat kemiskinan, pengeluaran per kapita (makanan dan non-makanan), harapan lama sekolah, tingkat pengangguran terbuka, serta produk domestik regional bruto. Data tersebut diambil di setiap provinsi di Indonesia, sehingga data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 38 pengamatan.

Tabel 1. Peubah dalam penelitian.

Peubah	Satuan
Indeks Pembangunan Manusia (IPM) (Y)	Persen
Rata-rata Lama Sekolah (X_1)	Tahun
Persentase Penduduk Miskin (X_2)	Persen
Pengeluaran Perkapita Makanan (X_3)	Persen
Pengeluaran Perkapita Non-Makanan (X_4)	Persen
Harapan Lama Sekolah (X_5)	Tahun
Tingkat Pengangguran Terbuka (X_6)	Persen
Produk Domestik Regional Bruto (X_7)	Ribu Rupiah

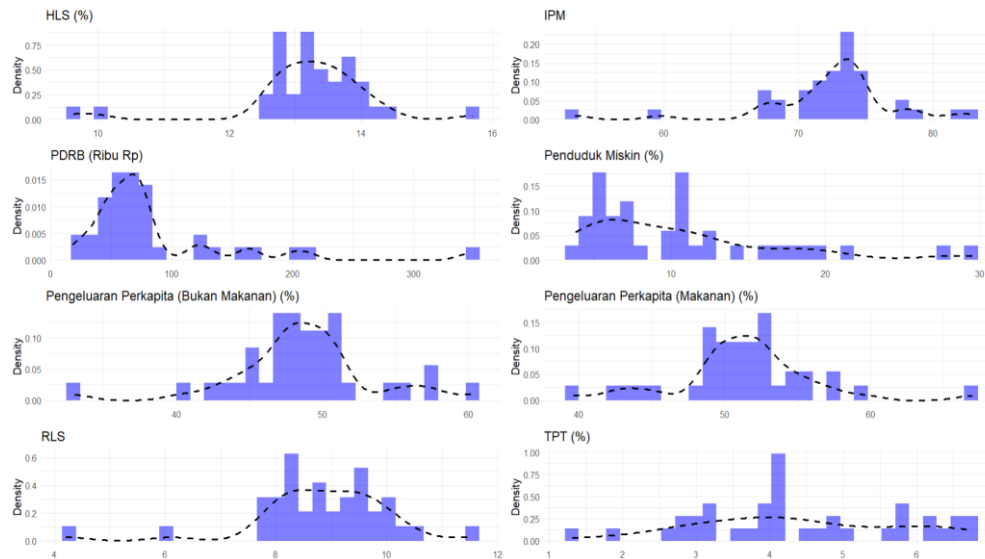
Penelitian ini menggunakan perangkat lunak R sebagai alat bantu utama dalam analisis data, yang dilakukan melalui beberapa tahapan berikut:

- Melakukan pengumpulan data penelitian.
- Melakukan analisis deskriptif.
- Menentukan bandwidth optimal berdasarkan metode *Least Squares Cross-Validation* (LSCV).
- Mengevaluasi kinerja model berdasarkan nilai:
 - mean squared error* (MSE) terkecil
 - mean absolute percentage error* (MAPE) terkecil
 - koefisien determinasi (R^2) terbesar
- Menyusun kesimpulan penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

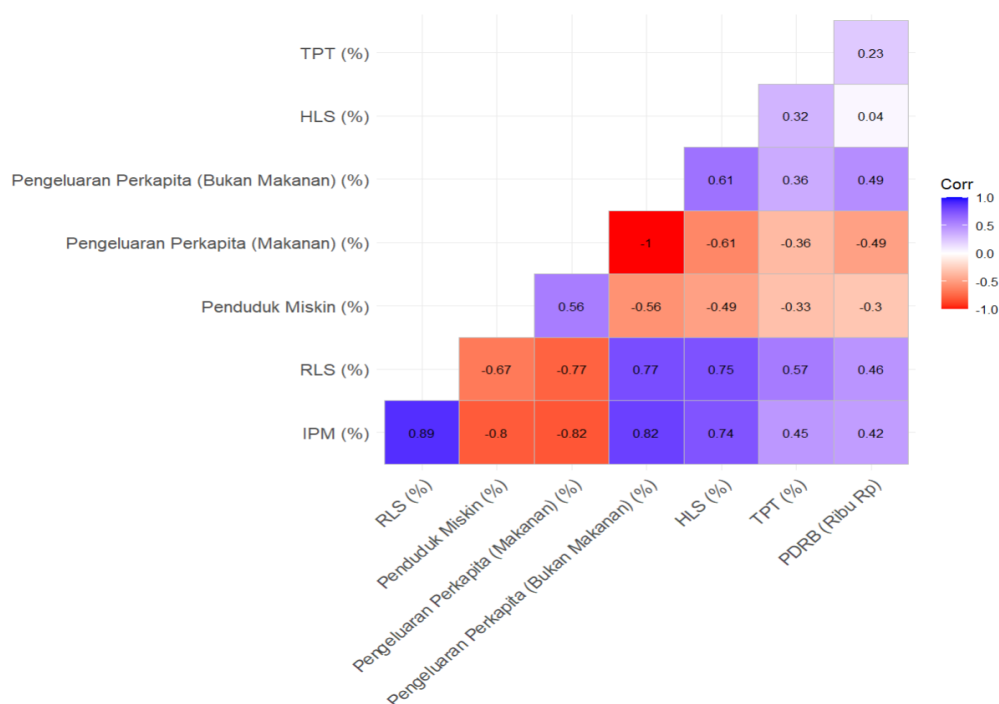
Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif dilakukan dalam penelitian ini guna memperoleh gambaran awal mengenai karakteristik data yang akan digunakan pada tahap analisis regresi kernel.



Gambar 1. Distribusi Tiap Variabel.

Distribusi indikator sosial-ekonomi menunjukkan pola yang relatif seimbang pada sebagian besar variabel. IPM terdistribusi pada rentang menengah hingga tinggi dengan kecenderungan berada di kisaran 70%–75%, yang mengindikasikan capaian pembangunan manusia yang cukup baik di sebagian besar wilayah. Variabel pendidikan yang ditunjukkan dari nilai harapan lama sekolah serta rata-rata lama sekolah juga memperlihatkan sebaran yang relatif normal, mencerminkan keseragaman capaian pendidikan antarwilayah. Pengeluaran per kapita, baik pada komponen makanan maupun non-makanan, menunjukkan sebaran di kisaran 45%–55%, yang menandakan adanya kemiripan tingkat daya beli antarwilayah. Berbeda dengan variabel-variabel tersebut, produk domestik regional bruto memperlihatkan distribusi yang sangat miring ke kanan (*right-skewed*), sehingga mengindikasikan adanya kesenjangan ekonomi yang cukup signifikan, di mana hanya sedikit wilayah yang memiliki produk domestik regional bruto tinggi sementara mayoritas berada pada tingkat rendah. Variabel persentase penduduk miskin cenderung berdistribusi pada kisaran rendah hingga sedang, umumnya sekitar 10%, sedangkan tingkat pengangguran terbuka menunjukkan penyebaran pada tingkat rendah dengan rata-rata sekitar 4%. Secara umum, indikator sosial seperti pendidikan relatif merata antar wilayah, sementara indikator ekonomi menunjukkan disparitas yang lebih nyata.



Gambar 2. Korelasi antar Variabel.

Berdasarkan Gambar 2, hubungan paling signifikan dengan IPM ditunjukkan oleh variabel pendidikan dan pengeluaran per kapita. Pengeluaran per kapita, baik makanan maupun non-makanan, rata-rata lama sekolah, serta harapan lama sekolah memiliki korelasi positif yang kuat dengan indeks pembangunan manusia. Sebaliknya, persentase penduduk miskin berkorelasi negatif kuat terhadap sebagian besar indikator pembangunan, menandakan kemiskinan sebagai hambatan utama peningkatan kualitas hidup. Sementara itu, produk domestik regional bruto serta tingkat pengangguran terbuka berhubungan positif namun lebih lemah, sehingga kontribusinya terhadap pembangunan manusia tidak terlalu kuat dibandingkan pendidikan dan daya beli masyarakat.

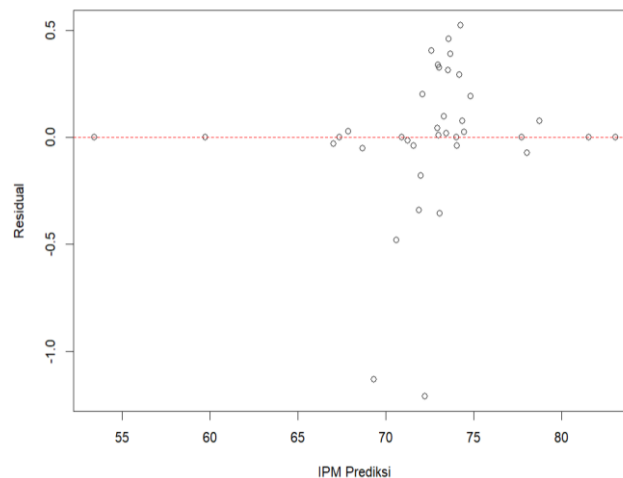
Analisis Regresi Kernel

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, Tabel 2 menunjukkan hasil estimasi *bandwidth* memperlihatkan bahwa setiap variabel memiliki tingkat *smoothing* berbeda dalam menangkap hubungan non-linear dengan IPM. Variabel rata-rata lama sekolah (0,4087) dan harapan lama sekolah (0,5946) dengan *bandwidth* kecil menunjukkan pola yang lebih detail dan sensitif, menegaskan pentingnya faktor pendidikan dalam memengaruhi indeks pembangunan manusia. Sebaliknya, *bandwidth* yang sangat besar pada produk domestik regional bruto (174.170.587) mengisyaratkan bahwa hubungannya dengan indeks pembangunan manusia lebih bersifat menyeluruh dan cenderung membentuk pola yang lebih halus.

Tabel 2. Estimasi *Bandwidth* tiap Variabel.

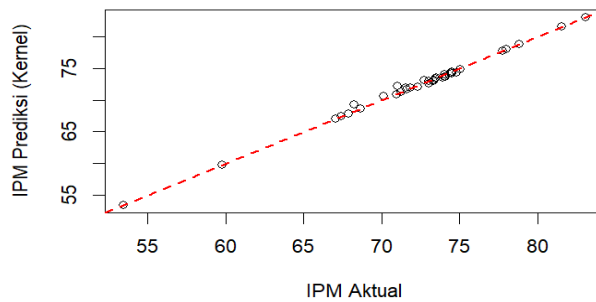
Variabel	<i>Bandwidth</i>
Rata-rata Lama Sekolah	0.4087
Persentase Penduduk Miskin	1.9456
Pengeluaran Perkapita (Makanan)	0.8626
Pengeluaran Perkapita (Non-Makanan)	2.9496
Harapan Lama Sekolah	0.5946
Tingkat Pengangguran Terbuka	1.6839
Produk Domestik Regional Bruto (Ribu Rp)	174170587

Selain itu, hasil estimasi regresi kernel dengan pendekatan *Nadaraya-Watson estimator* menunjukkan bahwa model yang dibangun memiliki kinerja yang sangat baik. Hal ini ditunjukkan dari nilai koefisien determinan (R^2) sebesar 0.9954, artinya lebih dari 99% ragam dalam IPM dapat dijelaskan oleh kombinasi variabel sosial-ekonomi yang sebagian besar nilainya berada di sekitar nol tanpa pola tertentu. Hal ini menandakan prediksi model cukup stabil. Meski terlihat beberapa pencilan, hal ini tidak menjadi masalah dalam pendekatan nonparametrik yang lebih fleksibel dan tidak menuntut normalitas residual. Hasil ini didukung oleh nilai residual *standard error* yang diperoleh, yaitu sebesar 0.3468 yang mengindikasikan bahwa tingkat kesalahan prediksi model relatif kecil.



Gambar 3. Plot Residual Regresi Kernel.

Hasil estimasi regresi kernel pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai prediksi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) memiliki kesesuaian yang tinggi dengan nilai aktualnya. Hal ini terlihat dari sebaran titik pada grafik yang mayoritas berada dekat dengan garis diagonal. Pola sebaran yang mengikuti garis diagonal tersebut mengindikasikan bahwa model regresi kernel mampu menangkap hubungan nonlinier dan kompleks antara IPM dengan variabel-variabel sosial-ekonomi yang digunakan sebagai prediktor. Selain itu, tidak ditemukan deviasi yang signifikan ataupun *outlier* yang ekstrem, sehingga menunjukkan stabilitas model dalam melakukan prediksi.



Gambar 4. Plot IPM Prediksi vs Aktual.

Hasil analisis secara keseluruhan mengindikasikan bahwa regresi kernel mampu menangkap hubungan kompleks dan non-linear antara variabel-variabel sosial-ekonomi dengan indeks pembangunan manusia, serta menghasilkan model dengan kemampuan prediktif yang sangat tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan nonparametrik relevan digunakan untuk memahami dinamika pembangunan manusia yang melibatkan beragam faktor dengan karakteristik yang berbeda.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Temuan penelitian ini mengindikasikan bahwa regresi kernel Gaussian dapat menggambarkan hubungan yang kompleks dan tidak linier antara IPM dengan berbagai faktor sosial-ekonomi. Pendidikan muncul sebagai faktor paling dominan dalam mendorong peningkatan IPM, sementara kemiskinan dan pengeluaran per kapita juga memberikan kontribusi penting. Model yang diperoleh memiliki tingkat akurasi prediksi yang sangat tinggi, ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi sebesar 0.9954 dan *residual standard error* sebesar 0.3468. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan nonparametrik kernel lebih sesuai dibandingkan metode parametrik tradisional ketika berhadapan dengan data sosial-ekonomi yang beragam. Dengan demikian, regresi kernel Gaussian tidak hanya relevan secara metodologis, tetapi juga praktis sebagai dasar analisis untuk membantu pemerintah dalam merancang kebijakan pembangunan yang lebih adil dan tepat sasaran.

DAFTAR REFERENSI

- Amaluddin, A., Payapo, R. W., Laitupa, A. A., & Serang, M. R. (2018). A modified human development index and poverty in the villages of West Seram Regency, Maluku Province, Indonesia. *8*(2), 325-330.
- Anisa, N., Debataraja, N. N., & Martha, S. (2019). Estimasi model regresi nonparametrik kernel menggunakan estimator Nadaraya-Watson. *08*(4), 633-638.
- Astuti, E. D., & Wijaya, R. S. (2024). Pengaruh indikator indeks pembangunan manusia dan jumlah penduduk terhadap pertumbuhan ekonomi di Kabupaten Sampang. *Jambura Economic Education Journal*, *6*(2), 397-418. <https://doi.org/10.37479/jeej.v6i2.24955>

- Badan Pusat Statistik. (2020). *Indeks pembangunan manusia 2020*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/id/publication/2021/04/30/8e777ce2d7570ced44197a37/indeks-pembangunan-manusia-2020.html>
- Dani, A. T. R., Ni'matuzzahroh, L., Ratnasari, V., & Budiantara, N. (2021). Pemodelan regresi nonparametrik spline truncated pada data longitudinal. *Inferensi*, 4(March), 47-55. <https://doi.org/10.12962/j27213862.v4i1.8737>
- Ezkirianto, R., & Findi, M. (2013). Jurnal ekonomi dan kebijakan pembangunan, hlm. 14-29 Vol. 2 No. 1. *Jurnal Ekonomi Dan Kebijakan Pembangunan*, 2(1), 14-29. <https://doi.org/10.29244/jekp.2.1.2013.14-29>
- Fitroh, K. A., Santoso, R., Statistika, D., & Diponegoro, U. (2023). Pemodelan kurs rupiah terhadap dolar Amerika Serikat menggunakan regresi nonparametrik campuran kernel dan spline 1,2,3. *Jurnal Gaussian*, 11(4), 522-531. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.11.4.522-531>
- Hardle, W. (1990). *Applied nonparametric regression*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CCOL0521382483>
- Huriyatullah, N., Nabila, R., Fitri, Y., & Arum, P. R. (2023). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi indeks pembangunan manusia berdasarkan kabupaten/kota di Jawa Tengah. 16(1), 424-433. <https://doi.org/10.36456/jstat.vol16.no1.a7079>
- Maharani, A. H., Yozza, H., & Asdi, Y. (2015). Pemodelan berat badan balita dengan menggunakan regresi kernel. *Jurnal Matematika UNAND*, 4(3), 31-40. <https://doi.org/10.25077/jmu.4.3.31-40.2015>
- Pratiwi, D., Mursy, L. A. A., Rizaldi, M., & Fitryani, N. (2020). Regresi nonparametrik kernel Gaussian pada pemodelan angka kelahiran. *Eigen Mathematics Journal*, 3(1), 1-6. <https://doi.org/10.29303/emj.v3i2.78>
- Putri, A. P., Santoso, R., & Sugito. (2017). Analisis regresi nonparametrik kernel menggunakan metode jackknife sampel terhapus-1 dan sampel terhapus-2 (Studi kasus: Pemodelan tingkat inflasi terhadap nilai tukar rupiah di Indonesia periode 2004-2016). *Jurnal Gaussian*, 6(1), 1-10.
- Putri, S. A., Aristya, A. R., Janad, N. A., & Tadale, Y. N. (2022). Estimator Nadaraya-Watson dengan fungsi kernel normal dan fungsi kernel kuadrat. *Journal of System and Computer Engineering (JSCE)*, 3(1), 206-219.
- Ramadhani, A. N. W., Dwiyanto, A. S., Anida, N., Nahar, M. H., & Amelia, D. (2024). Analisis nilai inflasi bulanan Indonesia menggunakan regresi nonparametrik estimator kernel. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 21(2), 259. <https://doi.org/10.12962/limits.v21i2.20794>
- Suparti, S. R., Prahutma, & Devi, A. R. (2017). *Regresi nonparametrik*. Wade Group.