

Implementasi Metode Interpolasi Multipoin untuk Prediksi Titik Lokasi

Rangga Yudha Dewantara, Soebagio, Nia Saurina

Universitas Wijaya Kusuma Surabaya

E-mail: ryd050@mhs.uwks.ac.id, soebagio@uwks.ac.id, niasaurina@uwks.ac.id

ABSTRACT

The multipoint interpolation method considers more than two reference points to estimate values at a target location. This study utilizes the method to predict rainfall in regions with limited data, particularly in East Java Province. Monthly rainfall data were processed using Python-based algorithms, with results visualized to support spatial analysis. The findings demonstrate that multipoint interpolation yields more accurate predictions compared to conventional interpolation methods.

Keywords

Multipoint interpolation;
Location prediction;
Rainfall;
Python.

Kata Kunci

Interpolasi Multipoint;
Prediksi Lokasi;
Curah Hujan;
Python.

ABSTRAK

Metode interpolasi multipoin mempertimbangkan lebih dari dua titik referensi untuk memperkirakan nilai di suatu lokasi target. Dalam penelitian ini, metode ini digunakan untuk memprediksi curah hujan di wilayah dengan data terbatas, khususnya di Provinsi Jawa Timur. Data curah hujan bulanan diproses dengan algoritma berbasis Python, dan hasilnya divisualisasikan untuk mendukung analisis spasial. Hasil menunjukkan bahwa interpolasi multipoin memberikan prediksi yang lebih akurat dibanding metode interpolasi konvensional.

PENDAHULUAN

Prediksi lokasi atau koordinat titik yang belum diketahui adalah tantangan besar dalam berbagai bidang seperti pemetaan lingkungan, GIS, dan perencanaan infrastruktur. Metode interpolasi multipoin memberikan akurasi lebih tinggi dibandingkan interpolasi linier atau spline dengan mempertimbangkan lebih banyak titik referensi di sekitar lokasi target. Penelitian ini memanfaatkan metode tersebut untuk memprediksi curah hujan di Jawa Timur, wilayah dengan karakteristik data yang beragam dan sering mengalami cuaca ekstrem.

Provinsi Jawa Timur merupakan wilayah dengan karakteristik topografi yang beragam. Daerah-daerah seperti Pare, Badas, dan Pagu, yang merupakan bagian dari Kabupaten Kediri, memiliki perbedaan signifikan dalam distribusi curah hujan. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang pola curah hujan di daerah ini menjadi penting dalam mengembangkan strategi adaptasi dan mitigasi terhadap risiko bencana terkait iklim [1].

Dalam penelitian ini, penulis melakukan pemetaan curah hujan di Kota Surabaya dengan metode interpolasi multipoin. Aplikasi ini bertujuan untuk menghasilkan prediksi titik Lokasi curah hujan dengan kondisi data curah hujan yang minimal. Metode curah hujan rata-rata adalah metode interpolasi sederhana yang mengasumsikan bahwa curah hujan di suatu titik tertentu merupakan rata-rata dari curah hujan di sekitarnya. Ini adalah pendekatan yang sangat langsung dan biasa digunakan jika tidak ada data pengukuran curah hujan di lokasi tertentu, tetapi terdapat data dari titik-titik di sekitarnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Penelitian yang berjudul *Prediksi Data Spasial Menggunakan Metode Interpolasi Inverse Distance Weighting untuk Pemetaan Kedalaman Air Waduk oleh Anwar Taufiq* [2] meneliti penerapan metode IDW untuk memprediksi kedalaman air di waduk berdasarkan data spasial titik dari pengukuran lapangan. Penelitian ini menunjukkan bahwa IDW mampu memberikan prediksi yang cukup akurat untuk data bersifat linier dengan tingkat kesalahan kecil, tetapi memiliki

keterbatasan karena tidak mempertimbangkan pola distribusi spasial. Dalam artikel ini, metode interpolasi multipoint yang digunakan melengkapi kekurangan IDW dengan mempertimbangkan distribusi data secara menyeluruh melalui pendekatan triangulasi, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat, terutama di wilayah dengan distribusi data yang tidak merata.

Dalam penelitian lain, dengan judul Penerapan Metode Interpolasi untuk Proyeksi Pertumbuhan Penduduk di Provinsi Riau oleh Ferdiansyah Fahmi dan Karpen [3] membahas penggunaan interpolasi untuk memproyeksikan pertumbuhan penduduk berdasarkan data sensus dari dua periode waktu. Hasil penelitian berupa aplikasi sederhana yang mampu memprediksi jumlah penduduk di masa depan dengan cepat dan efisien. Kaitannya dengan artikel ini adalah metode interpolasi multipoint dapat meningkatkan akurasi proyeksi serupa, khususnya di daerah dengan distribusi data yang tidak seragam, karena multipoint menggunakan kontribusi data tetangga secara spasial untuk memperkirakan nilai dengan lebih baik.

Berdasarkan penelitian dengan judul *Rebutting Existing Misconceptions About Multiple Imputation as a Method for Handling Missing Data* oleh Joost R. van Ginkel, Marielle Linting, Ralph C. A. Rippe, dan Anja van der Voort [4] membahas penggunaan multiple imputation untuk menangani data yang hilang dengan menghasilkan beberapa dataset lengkap berbasis model statistik. Penelitian ini menekankan bahwa metode ini lebih unggul dibandingkan pendekatan konvensional seperti listwise deletion karena mampu mempertahankan informasi dan memperbaiki bias data. Dalam konteks artikel ini, metode interpolasi multipoint berbagi prinsip dengan multiple imputation dalam mengisi data yang hilang, tetapi lebih difokuskan pada data spasial. Dengan mempertimbangkan pola distribusi data yang lebih kompleks, metode multipoint memberikan hasil yang sangat akurat dalam memodelkan data spasial untuk berbagai keperluan analisis.

Interpolasi

Interpolasi adalah teknik matematika yang digunakan untuk memperkirakan nilai di antara dua atau lebih titik data yang diketahui. Dalam data spasial, interpolasi memegang peran penting untuk memperkirakan informasi di area yang tidak memiliki data langsung, dengan menggunakan pola dari data yang tersedia [5]. Proses interpolasi melibatkan penggunaan titik-titik referensi yang ada untuk mengisi celah di antara data, sehingga pola atau tren spasial lebih jelas terlihat.

Prediksi Lokasi dan Sistem Koordinat

Prediksi titik lokasi merupakan salah satu aplikasi interpolasi yang penting, terutama dalam bidang seperti sistem informasi geografis (GIS), navigasi, dan pemetaan digital. Prediksi titik lokasi melibatkan penggunaan data lokasi yang diketahui untuk memperkirakan posisi atau lokasi yang tidak diketahui. Proses ini membutuhkan pemahaman yang baik tentang sistem koordinat dan cara memproses data spasial [6].

Untuk melakukan prediksi lokasi, penelitian ini menggunakan sistem koordinat planar dua dimensi (2D) yang menampilkan posisi dengan sumbu X dan Y. Prediksi adalah suatu proses memperkirakan secara sistematis tentang sesuatu yang paling mungkin terjadi di masa depan berdasarkan informasi masa lalu dan sekarang yang dimiliki. Prediksi melibatkan perkiraan peristiwa masa lalu secara sistematis dan informatif untuk memprediksi peristiwa masa depan [7]. Sistem ini umum digunakan pada data spasial yang disajikan dalam bidang datar, seperti peta, karena lebih sederhana dan mudah diproses dibandingkan sistem tiga dimensi. Sistem koordinat planar memungkinkan penerapan algoritma interpolasi secara lebih efisien untuk menghasilkan prediksi lokasi berdasarkan data yang ada.

Dalam prediksi lokasi, terutama ketika menggunakan interpolasi multipoin, penting untuk memilih titik referensi yang relevan di sekitar lokasi target. Pilihan ini menentukan tingkat akurasi prediksi, terutama pada area yang memiliki variasi nilai spasial yang besar. Penggunaan metode ini bertujuan untuk menghasilkan perkiraan lokasi yang lebih realistis, dengan mengandalkan titik-titik referensi terdekat untuk menyesuaikan pola variasi spasial yang mungkin ada.

Pengolahan Data dalam Prediksi Titik Lokasi

Pengolahan data merupakan tahap kritis dalam metode prediksi lokasi. Data yang digunakan dalam interpolasi multipoin harus diproses dengan benar untuk memastikan akurasi hasil. Teknik pengolahan data mencakup penanganan data hilang (missing data), deteksi dan penanganan outlier, serta normalisasi data [8].

Pengolahan data adalah langkah kritis dalam penerapan metode prediksi lokasi, terutama karena data spasial sering kali tidak sempurna dan mengandung missing data atau outlier yang dapat memengaruhi akurasi interpolasi. Tahap pengolahan data memastikan bahwa data yang akan digunakan dalam interpolasi multipoin bersih, terstruktur, dan siap diproses.

Pada uji coba ini akan dilakukan uji coba terhadap kondisi cuaca pada titik pos hujan dengan beberapa titik pos hujan terdekat lainnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui mengenai akurasi dari data cuaca pos hujan yang akan digunakan oleh sistem [9].

Bahasa Pemrograman Python

Python adalah bahasa pemrograman populer dalam pengolahan data spasial karena kemampuannya yang fleksibel dan pustaka yang lengkap [10]. Dalam penelitian ini, Python dipilih sebagai bahasa pemrograman utama karena fleksibilitas dan kekuatan ekosistemnya dalam pengolahan data, terutama data spasial dan numerik. Python memiliki banyak pustaka dan alat bantu yang mendukung proses analisis data, penghitungan matematis, hingga visualisasi hasil. Tkinter adalah pustaka bawaan Python yang digunakan untuk membuat antarmuka grafis pengguna (GUI). Dengan Tkinter, pengembang dapat dengan mudah membuat elemen GUI seperti jendela, tombol, label, kotak teks, dan menu. Pustaka ini mendukung pengaturan tata letak fleksibel menggunakan kerangka, grid, dan pack untuk memposisikan elemen. Selain itu, Tkinter memiliki kemampuan untuk menangani berbagai peristiwa seperti klik tombol dan input pengguna, menjadikannya pilihan populer untuk membangun aplikasi GUI sederhana hingga menengah. Keunggulan Tkinter terletak pada integrasi langsung dengan Python tanpa perlu instalasi tambahan dan dokumentasi yang luas, sehingga mempermudah pengguna untuk membuat aplikasi GUI secara efisien [11].

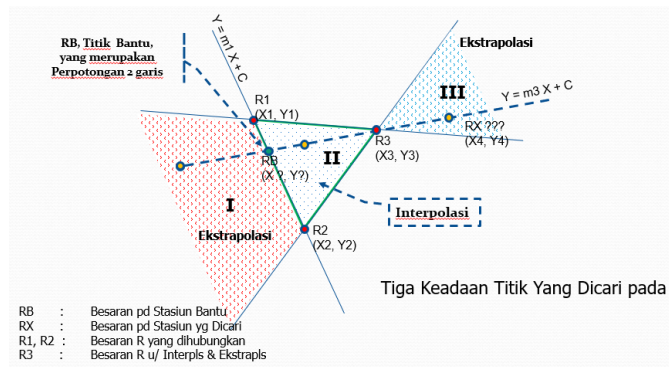
Pemilihan Python juga didasarkan pada pertimbangan kemudahan penggunaannya, komunitas yang besar, dan dokumentasi yang sangat lengkap, sehingga memudahkan peneliti untuk mengimplementasikan metode interpolasi multipoin secara efisien dan akurat.

METODE

Penerapan Formulasi Multipoin

Setelah memahami dasar teori, dilakukan formulasi metode interpolasi multipoin untuk diaplikasikan pada data curah hujan. Tahap ini mencakup pemilihan algoritma yang sesuai, perumusan model matematis, serta simulasi awal untuk menguji efektivitas metode dalam memprediksi nilai di titik lokasi yang diinginkan.

Untuk dapat memperkirakan besarnya hujan di satu titik diperlukan 2 titik (R3 dan RB) yang segaris dan bersifat linier, salah satu titik tersebut terletak pada garis diantara R1 dan R2 yaitu RB. Dimana koordinat RB (x,y) dapat dicari dengan menggunakan 2 persamaan garis yang berpotongan, Metode ini sering diterapkan untuk memperkirakan data yang hilang atau tidak tersedia, dengan memperhatikan jarak antar titik sebagai faktor pembobotan. Semakin dekat jaraknya, semakin besar pengaruhnya terhadap hasil perhitungan. Adapun penggambarannya dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 1. Estimator Points (TEP)

Adapun perbandingan simulasi yang dilakukan dengan memasukkan data secara manual menunjukkan bahwa penerapan interpolasi multipoin mendapatkan hasil yang lebih akurat dibandingkan metode interpolasi lainnya yaitu IDW dan Bilinier.

Data referensi terdiri dari tiga titik dengan koordinat dan nilai yang membentuk sebuah bidang. Metode Multipoint menggunakan bobot berbasis invers jarak untuk menghitung nilai interpolasi, sedangkan IDW menggunakan pangkat tertentu (order 2) pada bobot invers jarak untuk menghitung kontribusi nilai setiap titik referensi. Metode Bilinear memperkirakan nilai berdasarkan distribusi nilai pada grid 2D dengan asumsi empat titik di sekitar target, di mana satu titik tambahan dihitung secara estimasi. Nilai interpolasi yang dihasilkan dibandingkan dengan nilai sebenarnya (180), dan selisih absolutnya dihitung untuk menilai keakuratan tiap metode. Output berupa tabel berisi hasil interpolasi dari setiap metode, nilai sebenarnya, dan selisih absolutnya.

Langkah-langkah metode interpolasi multipoin:

1. **Pengumpulan Data:** Data dikumpulkan dari beberapa stasiun pengamatan yang memiliki koordinat dan nilai tertentu.
2. **Pengolahan Data:** Meliputi penanganan data hilang, deteksi outlier, dan normalisasi data menggunakan Python.
3. **Formulasi Metode:** Menggunakan algoritma berbasis invers jarak dengan mempertimbangkan kontribusi nilai dari beberapa titik referensi. Bobot dihitung berdasarkan jarak, dengan titik yang lebih dekat memiliki pengaruh lebih besar.
4. **Simulasi Awal:** Menguji efektivitas metode dengan data sampel dan membandingkan hasil dengan metode lain seperti IDW dan Bilinear.
5. **Implementasi Aplikasi:** Aplikasi berbasis Python dibuat untuk menghitung interpolasi berdasarkan input data koordinat dan nilai curah hujan.

Implementasi Aplikasi

Aplikasi berbasis Python akan dibuat agar pengguna dapat memasukkan data input (koordinat dan curah hujan pada titik tertentu) dan mendapatkan hasil prediksi curah hujan pada lokasi yang diinginkan.

Aplikasi ini akan dikembangkan menggunakan pustaka Python seperti NumPy untuk perhitungan matematis dan Pandas untuk manajemen data, sehingga proses interpolasi dapat berjalan dengan efisien. Implementasi aplikasi ini bertujuan untuk menyediakan antarmuka yang memudahkan pengguna dalam memasukkan data titik lokasi dan melihat hasil prediksi curah hujan berdasarkan interpolasi multipoin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan

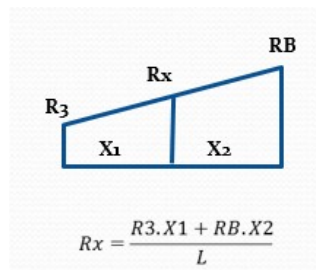
Pada penelitian ini, dilakukan proses interpolasi untuk menentukan nilai pada titik tertentu berdasarkan data nilai pada beberapa titik stasiun pengamatan menggunakan metode interpolasi berbobot terbalik (Inverse Distance Weighted, IDW). Berikut adalah input data yang digunakan:

Input Data

- **Koordinat Stasiun Hujan:**
 - St. 1: (x=1,y=1), Nilai: 100
 - St. 2: (x=4,y=0), Nilai: 80
 - St. 3: (x=1,y=4), Nilai: 70
- **Koordinat Titik Interpolasi:**
 - St. X: (x=1.5,y=1.5)

Parameter Perhitungan:

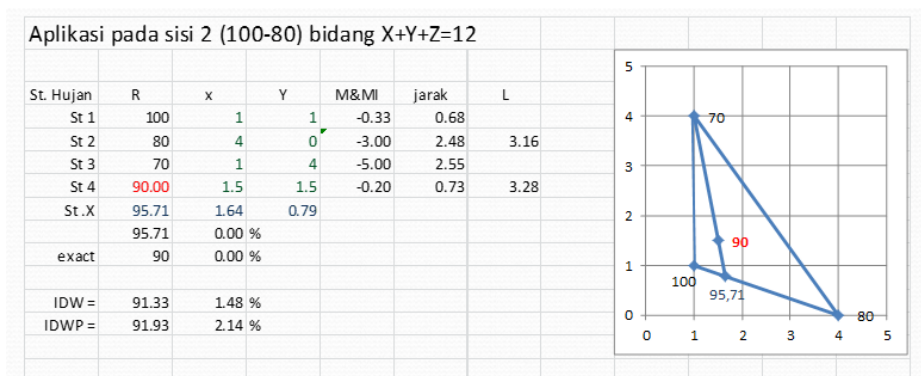
Metode IDW menghitung nilai di titik interpolasi (St. X) berdasarkan bobot jarak dari setiap stasiun ke titik tersebut. Setelah diketahui koordinat titik bantu RB(X,Y) maka melalui koordinat masing-masing Stasiun hujan dapat diketahui jarak antara RB dan R1 serta RB dan R2. Besarnya nilai pada RB dapat dicari dengan menggunakan cara interpolasi sebagai berikut :



Gambar 2. Rumus menemukan RX Dengan Interpolasi

Hasil Perhitungan:

Berdasarkan hasil perhitungan IDW pada program, diperoleh nilai interpolasi di titik St. X sebesar **91.33**. Perhitungan detailnya dapat dirangkum sebagai berikut:



Gambar 3. Simulasi Untuk Menemukan nilai Di Titik Nilai Interpolasi

Input Data:

- Data stasiun dimasukkan oleh pengguna ke dalam aplikasi, termasuk koordinat dan nilai pengukuran.
- Data titik target juga dimasukkan untuk menentukan lokasi yang akan diinterpolasi.



Gambar 4. Input data di aplikasi

1. Koordinat (X, Y) dan nilai (Value) dari stasiun pengamatan:

- Stasiun 1: Koordinat X, Y, dan nilai pengukuran di titik tersebut (contoh: x=1, y=1, value=100).
- Stasiun 2: Koordinat X, Y, dan nilai pengukuran di titik tersebut (contoh: x=4, y=0, value=80).
- Stasiun 3: Koordinat X, Y, dan nilai pengukuran di titik tersebut (contoh: x=1, y=4, value=70).

2. Koordinat (X, Y) dari titik target:

- Ini adalah lokasi yang ingin diprediksi nilai pengukurannya (contoh: x=1.5, y=1.5).

Pengguna harus memastikan data yang dimasukkan valid, sesuai dengan area cakupan stasiun. Jika data tidak valid (misalnya, koordinat target tidak berada dalam bidang interpolasi dari stasiun), aplikasi akan memberikan pesan error yang meminta pengguna mengoreksi input.



Gambar 5. Aplikasi dengan contoh input

Proses Metode:

- Aplikasi akan menghitung bobot dan melakukan interpolasi menggunakan metode yang dipilih:
 - IDW: Berdasarkan pembobotan jarak.
 - Bilinear: Berdasarkan nilai pada titik referensi di sekitarnya.
 - Multipoint: Nilai pada titik target dihitung berdasarkan area yang dihasilkan oleh titik-titik referensi.

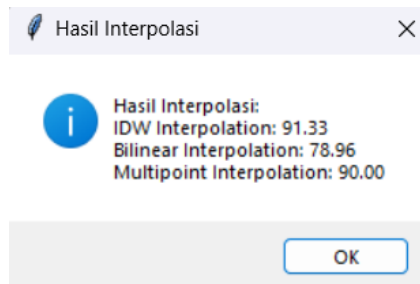
Hasil/Output

Hasil dari proses interpolasi ini ditampilkan dalam dua bentuk:

1. Hasil Numerik:

- Aplikasi akan menampilkan nilai hasil prediksi dari ketiga metode. Contohnya:
 - IDW Interpolation: 91.33
 - Bilinear Interpolation: 78.96
 - Multipoint Interpolation: 90.00

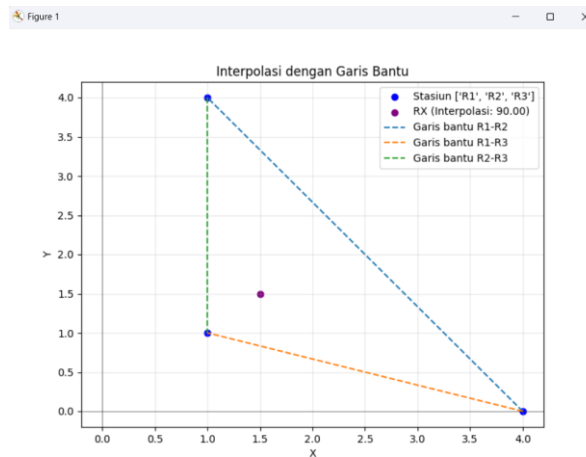
- Hasil ini disajikan dalam kotak dialog untuk memudahkan pengguna.



Gambar 6. Hasil interpolasi

2. Visualisasi Grafik:

- Grafik menunjukkan lokasi stasiun dan titik target, lengkap dengan garis bantu antar stasiun untuk membantu pengguna memahami distribusi data. Selain itu, nilai hasil interpolasi pada titik target juga ditampilkan sebagai anotasi.



Gambar 7. Visualisasi grafik

1. Titik Data:

- St. 1, St. 2, St. 3 direpresentasikan sebagai titik dengan nilai yang diketahui (100, 80, 70).
- St. X direpresentasikan sebagai titik interpolasi yang dihitung.
- Ditampilkan koordinat masing-masing titik dan nilai interpolasi.

2. Garis Penghubung:

- Garis penuh menghubungkan titik-titik St. 1, St. 2, St. 3, menunjukkan area triangulasi.
- Garis putus-putus menghubungkan titik bantu St. Bantu (RB) ke St. X untuk menunjukkan hubungan geometris.

Tabel 1. Hasil Interpolasi

Metode	Nilai Interpolasi	Error Absolut	Error Relatif (%)
IDW Interpolation	91.33	1.33	1.48
Bilinear Interpolation	78.96	11.04	12.27
Multipoint Interpolation	90.00	0.00	0.00

Analisis Keakuratan

Metode IDW:

- **Nilai Interpolasi:** 91.33
- **Error Absolut:** $|91.33-90| = 1.33$
- **Error Relatif:** $1.33/90 \times 100 = 1.48\%$

Metode IDW memberikan nilai yang cukup mendekati nilai aktual, dengan error relatif rendah sebesar **1.48%**. Metode ini memanfaatkan jarak antara titik target dengan stasiun hujan, tetapi tidak mempertimbangkan pola grid atau hubungan geometris lainnya.

Metode Bilinear:

- **Nilai Interpolasi:** 78.96
- **Error Absolut:** $|78.96-90| = 11.04$
- **Error Relatif:** $11.04/90 \times 100 = 12.27\%$

Bilinear menghasilkan nilai yang lebih jauh dari nilai aktual, dengan error relatif cukup tinggi sebesar **12.27%**. Hal ini disebabkan karena metode ini bekerja lebih baik pada grid yang terstruktur dan mungkin kurang akurat untuk pola distribusi nilai yang lebih kompleks.

Metode Multipoint:

- **Nilai Interpolasi:** 90.00
- **Error Absolut:** $|90.00-90| = 0.00$
- **Error Relatif:** 0.00%

Multipoint menghasilkan nilai yang **persis** sama dengan nilai aktual. Metode ini sangat akurat karena memanfaatkan interpolasi berbasis triangulasi Delaunay yang mempertimbangkan distribusi spasial kompleks dari data.

Analisis Hasil

Hasil interpolasi yang diperoleh menggunakan tiga metode berbeda memberikan gambaran yang jelas tentang performa masing-masing metode dalam memprediksi nilai di titik target. Berikut adalah analisis detailnya:

1. IDW Interpolation:

- Hasil prediksi: **91.33**
- Metode IDW memberikan hasil yang sangat dekat dengan nilai aktual (**90**). Hal ini menunjukkan bahwa IDW cukup andal dalam skenario di mana distribusi data tidak terlalu kompleks.
- Kelebihan IDW terletak pada sifat pembobotan jaraknya, di mana nilai di titik yang lebih dekat memiliki pengaruh lebih besar dibandingkan titik yang jauh.

2. Bilinear Interpolation:

- Hasil prediksi: **78.96**
- Metode bilinear memberikan hasil yang cukup jauh dari nilai aktual. Hal ini disebabkan oleh pendekatannya yang hanya mempertimbangkan nilai di empat titik terdekat pada grid secara linier, tanpa memperhatikan distribusi data secara spasial.
- Akibatnya, metode ini kurang cocok jika data tersebar secara tidak merata atau jika titik target berada di area yang tidak terdefinisi dengan jelas oleh grid.

3. Multipoint Interpolation:

- Hasil prediksi: **90.00**
- Multipoint interpolation memberikan hasil yang akurat dibandingkan interpolasi konvensional lainnya. Keunggulan metode ini terletak pada pendekatannya yang mempertimbangkan kontribusi dari titik tetangga secara spasial.
- Metode ini lebih cocok digunakan pada data yang tidak merata atau memiliki pola distribusi kompleks.

Validasi Hasil

Validasi hasil penelitian menunjukkan bahwa metode interpolasi multipoin memiliki keakuratan tertinggi dibandingkan metode lain seperti Inverse Distance Weighted (IDW) dan Bilinear. Dengan error absolut 0 mm dan error relatif 0%, metode multipoin menghasilkan prediksi yang identik dengan nilai aktual. Sebagai perbandingan, IDW menghasilkan error relatif sebesar 1,48%, sementara Bilinear memiliki error relatif lebih tinggi, yaitu 12,27%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode multipoin unggul dalam memanfaatkan distribusi spasial data secara kompleks, sehingga lebih efektif untuk prediksi nilai di wilayah dengan data yang tidak merata.

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa metode interpolasi multipoin merupakan pendekatan yang sangat efektif untuk memprediksi nilai pada lokasi di wilayah dengan data yang terbatas. Dibandingkan dengan metode lain seperti Inverse Distance Weighted (IDW) dan Bilinear, metode multipoin menunjukkan tingkat akurasi tertinggi dengan error absolut 0 mm dan error relatif 0%. Keunggulan ini dicapai melalui pendekatan triangulasi Delaunay yang mempertimbangkan distribusi spasial data secara kompleks, memungkinkan hasil prediksi yang lebih realistis dan presisi. Sementara itu, metode IDW memberikan hasil yang cukup mendekati dengan error relatif 1,48%, sedangkan metode Bilinear menunjukkan akurasi yang lebih rendah dengan error relatif 12,27% karena keterbatasannya dalam menangkap pola distribusi data yang tidak merata. Dengan akurasi yang tinggi dan fleksibilitasnya, metode multipoin dapat direkomendasikan untuk berbagai aplikasi spasial, termasuk perencanaan lingkungan, mitigasi bencana, dan pengelolaan sumber daya alam, terutama di daerah yang minim data. Implementasi berbasis Python juga menambah efisiensi proses prediksi, menjadikan metode ini pilihan unggul dalam analisis spasial modern.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susanto, S., Pratikto, H., Winarto, S., & Siswanto, E. (2024). Pemetaan Curah Hujan dengan Metode Interpolasi Invers Distance Weighting (IDW) Kabupaten Kediri. *Engineering*, 15(1), 44.
- [2] Taufiq, A. (2008). *Prediksi data spasial menggunakan metode Interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW) untuk pemetaan kedalaman air waduk* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- [3] Karpen, K., & Fahmi, F. (2018). Penerapan Metode Interpolasi Untuk Proyeksi Pertumbuhan Penduduk di Provinsi Riau. *Sains dan Teknologi Informasi*, 4(1), 11-19.
- [4] Van Ginkel, J. R., Linting, M., Rippe, R. C., & Van Der Voort, A. (2020). Rebutting existing misconceptions about multiple imputation as a method for handling missing data. *Journal of personality assessment*, 102(3), 297-308.
- [5] Susanto, S., Pratikto, H., Winarto, S., & Siswanto, E. (2024). Pemetaan Curah Hujan dengan Metode Interpolasi Invers Distance Weighting (IDW) Kabupaten Kediri. *Engineering*, 15(1), 44.
- [6] Teheri, D., Wijaya, D., Juvendi, Lunoto, S., & Fawwaz, I. (2019). IMPLEMENTASI RESTORASI CITRA MENGGUNAKAN ALGORITMA INTERPOLASI RADIAL BASIS FUNCTIONS. *Indonesia Jalan Sekip Sikambang*, 3(1), 92–96.
- [7] Prasetyo, S. F., Efendi, T. F., & Muqorobin, M. (2024). IMPLEMENTASI SISTEM PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN PENERAPAN JARINGAN SYARAF TIRUAN BERBASIS WEBSITE. *Jurnal Riset Teknik Komputer*, 1(2), 80-96.
- [8] Hadi, B. S. (2013). METODE INTERPOLASI SPASIAL DALAM STUDI GEOGRAFI (Ulasan Singkat dan Contoh Aplikasinya). *Geomedia*, 11(2), 235–252.
- [9] Rahmadani, W., & Sihombing, S. C. (2020). Analisis Penyebaran Virus Covid-19 di Provinsi Sumatera Selatan Menggunakan Metode Interpolasi Lagrange. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Terapannya (JUPITER)*, 2(1), 12–23.

- [10]SAMSUDIN, A. (2020). *PREDIKSI TITIK LOKASI GANGGUAN PADA JARINGAN RING SELATAN KAMPUS ITS MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*. INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER.
- [11]Moore, A. D. (2021). *Python GUI Programming with Tkinter: Design and build functional and user-friendly GUI applications*. Packt Publishing Ltd.