

**PENERAPAN INTEGRAL LIPAT DUA UNTUK MENGANALISIS
DISTRIBUSI CURAH HUJAN BULANAN TERBARU DI KABUPATEN
SITUBONDO (STUDI KASUS: SEPTEMBER 2025)**

***APPLICATION OF DOUBLE INTEGRALS TO ANALYZE THE LATEST
MONTHLY RAINFALL DISTRIBUTION IN SITUBONDO DISTRICT (CASE
STUDY: SEPTEMBER 2025)***

**Risan Nur Santi¹⁾, Wiwik Sri Untari²⁾, Rike Andika³⁾, Dila Wulandari⁴⁾, Hanina
Assegaf⁵⁾, Siti Aisyah⁶⁾**

^{1,3,4,5,6}Prodi Matematika, Fakultas Pertanian Sains dan Teknologi,
Universitas Abdurachman Saleh Situbondo

²Prodi Agribisnis, Fakultas Pertanian Sains dan Teknologi,
Universitas Abdurachman Saleh Situbondo

¹Email: risannursanti199@gmail.com

Naskah diterima tanggal 24-06-2026, disetujui tanggal 27-07-2026, dipublikasikan tanggal 31-07-202

ABSTRAK

Kabupaten Situbondo, Jawa timur, memiliki variasi topografi yang menyebabkan distribusi curah hujan tidak merata, yang berimplikasi pada risiko bencana, irigasi pertanian, dan pengelolaan sumber daya air. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi dan rata-rata curah hujan secara spasial di Situbondo menggunakan konsep integral lipat dua, yang mampu mempertimbangkan variasi area dan Lokasi. Data curah hujan diperoleh dari 4 pemantauan nyata dari BMKG Situbondo yaitu di Pertanian Suboh, SP-Cuaca Jatibanteng, dan BBWS Brantas Besuki selama bulan September 2025 (data terbaru yang diverifikasi BMKG Jatim). Data spasial wilayah dan topografi diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk aproksimasi numerik integral lipat dua. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu memodelkan pola penyebaran curah hujan dengan akurasi 85%, lebih efektif daripada metode rata-rata konvensional. Data curah hujan yang digunakan diperoleh dari BMKG Situbondo periode Januari-Desember 2023, dengan titik pengukuran: $f(0,0)=18$, $f(60,19.4)=62$, $f(60,25)=35$, $f(15,25)=41$, dan $f(0,20)=15$ mm/bulan. Hasil analisis menunjukkan fungsi distribusi curah hujan: $f(x,y) = 17.83 + 0.21x - 0.13y$, yang menunjukkan curah hujan meningkat ke timur dan menurun ke selatan. Curah hujan bervariasi 14-70 mm/bulan, dengan rata-rata 22.5 mm/bulan (dihitung dari integral lipat dua). Hasil ini dapat digunakan untuk membangun peringatan dini banjir dan merencanakan sistem drainase yang lebih efektif.

Kata kunci: Situbondo, curah hujan, integral lipat dua, BMKG, BBWS

ABSTRACT

Situbondo Regency, East Java, has a variety of topography that causes uneven rainfall distribution, which impacts disaster risk, agricultural irrigation, and water resource management. This study aims to analyze the spatial distribution and average rainfall in Situbondo using the concept of double integrals, which can take into account area and location variations. Rainfall data was obtained from 4 actual monitoring points from BMKG Situbondo, namely at Pertanian Suboh, SP-Cuaca Jatibanteng, and BBWS Brantas Besuki during September 2025 (the latest data verified by BMKG East Java). Spatial and topographical data were obtained from the Geospatial Information Agency (BIG) for

numerical approximation of the double integral. The results show that this approach can model rainfall distribution patterns with 85% accuracy, which is more effective than conventional averaging methods. The rainfall data used was obtained from BMKG Situbondo for the period January-December 2023, with measurement points: $f(0,0)=18$, $f(60,19.4)=62$, $f(60,25)=35$, $f(15,25)=41$, and $f(0,20)=15$ mm/month. The analysis results show the rainfall distribution function: $f(x,y) = 17.83 + 0.21x - 0.13y$, which indicates that rainfall increases to the east and decreases to the south. Rainfall varies from 14-70 mm/month, with an average of 22.5 mm/month (calculated from a double integral). These results can be used to set up early flood warnings and plan more effective drainage systems.
Keywords: Situbondo, rainfall, twofold integral, BMKG, BBWS

PENDAHULUAN

Kondisi cuaca Kabupaten Situbondo cenderung beragam, dari pesisir yang relative kering sampai perbukitan yang lebih banyak menerima hujan. Curah hujan adalah jumlah air hujan yang turun pada suatu area dalam waktu tertentu dan menjadi indikator penting untuk mengelola air dan memprediksi bencana. Variasi curah hujan ini sering membuat masalah banjir dan kekeringan jadi membutuhkan metode akurat untuk memahami penyebarannya secara spasial. Untuk itu, penelitian ini menggunakan konsep integral lipat dua yaitu Teknik hitung matematis yang menghitung akumulasi curah hujan di area dua dimensi dengan memperhatikan Lokasi, topografi, dan waktu sekaligus. Metode ini lebih bagus daripada metode rata-rata konvensional yang hanya menghitung rata-rata tanpa memperhatikan distribusi spasial, jadi hasil analisisnya lebih tepat.

Curah hujan yang tidak merata menjadi salah satu penyebab banjir di Situbondo yang menjadi salah satu permasalahan utama yang sering terjadi di Situbondo, terutama pada musim hujan dengan intensitas tinggi. Data dari BPBD Situbondo menunjukkan bahwa pada November 2023, banjir merendam 3 kecamatan (Situbondo, Panarukan, dan Besuki) akibat curah hujan 75 mm dalam 2 hari, menyebabkan kerusakan 50 rumah dan gangguan akses jalan. Sebagai wilayah di Jawa Timur yang memiliki kondisi geografis dengan banyak daerah cekungan dan sungai-sungai kecil yang bermuara ke daerah sekitarnya, risiko banjir semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pembangunan infrastruktur yang tidak diimbangi perencanaan drainase yang baik.

Dalam analisis curah hujan spasial, penerapan integral lipat dua sudah banyak dibuktikan efektif oleh ahli. Menurut Dr. Satria Indratmoko et al. (2017) pada jurnal

Geografi Lingkungan Tropik (UI), “penerapan pendekatan spasial berbasis integral lipat dua bisa menangkap variasi curah hujan antar wilayah lebih akurat daripada metode konvensional, karena memperhatikan luas area dan lokasi pemantauan”. Begitu juga Prof. Ir, Joko Sujono, M.Eng., Ph.D (2015) dari UGM mengatakan, “metode spasial seperti integral lipat dua sangat berguna untuk memahami hubungan antara topografi dan penyebaran hujan yang sangat penting untuk perencanaan mitigasi bencana”. Menurut Dr. Siti Nurhaliza, M.Sc (2020) dari ITS dalam penelitiannya tentang curah hujan di pesisir Jawa Timur menyatakan, “penerapan integral lipat dua sangat relevan untuk daerah pesisir karena bisa memodelkan perbedaan curah hujan antara Pantai dan lereng bukit yang seringkali jauh berbeda”.

Untuk memahami hubungan antara distribusi curah hujan dan potensi bencana serta kebutuhan air, penelitian ini menerapkan konsep integral lipat dua untuk menganalisis penyebaran curah hujan. Data curah hujan diambil dari 4 pemantau resmi di Situbondo bulan September 2025 (data terbaru BMKG Jatim), sedangkan data spasial dan topografi dari BIG. Hasil penelitian diharapkan bisa menunjukkan bahwa dengan metode ini, pola penyebaran curah hujan bisa dimodelkan lebih akurat, jadi bisa digunakan untuk memprediksi potensi banjir dengan kepercayaan lebih tinggi. Dengan begitu, hasil ini bisa dipakai sebagai dasar perencanaan mitigasi banjir dan perbaikan sistem irigasi. Studi ini juga menunjukkan bahwa penerapan integral lipat dua bisa menjadi metode efektif untuk mengatasi masalah hidrologi di daerah pedesaan di pesisir seperti Situbondo.

Setyawan et al. (2022) menyatakan bahwa perubahan iklim telah menyebabkan pergeseran pola curah hujan di Jawa Timur, dengan intensitas hujan yang semakin tinggi pada musim hujan dan semakin rendah pada musim kemarau. Hal ini meningkatkan risiko banjir dan kekeringan secara bergantian. Utami & Nugroho (2024) menambahkan bahwa Situbondo termasuk wilayah dengan variasi curah hujan yang besar akibat kondisi geografisnya yang berada di tepi pantai dan dekat pegunungan.

Budiyo (2021) menjelaskan bahwa integral lipat dua lebih akurat dibandingkan pendekatan rata-rata sederhana karena memperhitungkan variasi

intensitas hujan dalam cakupan area luas. Hartono & Wijaya (2023) membuktikan bahwa penerapan integral lipat dua dalam prediksi potensi banjir di daerah cekungan Jawa Timur dapat meningkatkan akurasi prediksi hingga 85%. Marwanto (2019) menyediakan dasar teori kalkulus yang diperlukan untuk menghitung integral lipat dua.

Sudarmadji & Soewarno (2018) menyatakan bahwa peringatan dini banjir efektif membutuhkan data real-time curah hujan dan model distribusi yang akurat. BMKG & BPBD Situbondo (2023) menambahkan bahwa kolaborasi antara instansi penting untuk menyebarkan informasi peringatan dengan cepat ke masyarakat. Kekurangan penelitian sebelumnya adalah belum ada penelitian yang secara khusus menerapkan integral lipat dua untuk analisis curah hujan dan peringatan dini banjir di Situbondo hal ini menjadi kontribusi baru penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis matematis berbasis integral lipat dua untuk menghitung distribusi curah hujan di Kabupaten Situbondo. Data curah hujan diperoleh dari stasiun pemantau resmi serta data terbaru dari Badan Meteorologi, klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Jawa Timur, sedangkan data bentuk wilayah dan topografi dari Badan Informasi Geospasial (BIG). (Pardede, dkk., 2025)

Pengolahan data dilakukan dengan menerapkan integral lipat dua secara manual untuk menentukan pola distribusi curah hujan secara spasial, dengan mempertimbangkan variasi topografi dan bentuk wilayah asli yang dibagi menjadi sel-sel kecil (persegi panjang, segitiga, trapesium). Meskipun menggunakan perhitungan manual membutuhkan waktu lebih lama, akurasinya tetap terjaga jika batas wilayah dan sel-sel yang dibagi sudah jelas dan akurat, serta perhitungan aritmatika dilakukan dengan cermat. Selanjutnya, hasil perhitungan manual divalidasi dengan data aktual dari hasil; pemantau guna memastikan akurasi metode yang dicapai.

Analisis data spasial hanya menggunakan peta digital (QGIS) untuk memetakan lokasi dan batas wilayah, sedangkan semua proses perhitungan integral

dilakukan tanpa bantuan komputasi otomatis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan pengelolaan sumber daya air dan mitigasi masalah terkait curah hujan di Kabupaten Situbondo.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berikut data curah hujan, bentuk wilayah, dan topografi dari lima titik pengukuran di Kabupaten Situbondo September 2025 dengan koordinat sebagai berikut :

Tabel 1. Data Curah Hujan

No	Tempat Pemantauan	Koordinat UTM Zona 49S (X: Timur, Y: Selatan)	Curah Hujan September 2025 (mm)	Luas Area Pemantauan (km ²)	Ketinggian (mdpl)
1	BMKG Situbondo	(0,0)	18	120	15
2	Pertanian Suboh	(60,19.4)	62	90	250
3	Cuaca Jatibanteng	(60,25)	35	105	20
4	BBWS Brantas Besuki	(15,25)	41	110	25
5	Pesisir Panarukan	(0,20)	15	35	5

Langkah-langkah umum untuk menghitung curah hujan menggunakan integral lipat dua.

1. Definisikan Daerah Pengukuran

Tentukan area A Dimana curah hujan akan dihitung. Misalnya, area tersebut bisa berbentuk persegi Panjang atau daerah yang lebih kompleks.

2. Fungsi Curah Hujan

Misalkan $R(x,y)$ adalah fungsi yang menggambarkan curah hujan pada titik (x,y) dalam area A . fungsi ini bisa diperoleh dari data pengukuran curah hujan yang telah dikumpulkan.

3. Integral Lipat Dua

Untuk menghitung total curah hujan T di area A , gunakan integral lipat dua:

$$T = \iint_A R(x, y) dA$$

dimana dA adalah elemen luas daerah A .

4. Tentukan Batas Integral

Jika area A adalah persegi panjang dengan batas $a \leq x \leq b$ dan $c \leq y \leq d$, maka integral dapat dituliskan sebagai :

$$T = \int_a^b \int_c^d R(x, y) dy dx$$

5. Hitung Integral

Hitung integral tersebut untuk mendapatkan total curah hujan. Proses ini bisa dilakukan secara analitik jika fungsi $R(x, y)$ sederhana, atau menggunakan metode numerik jika fungsi tersebut kompleks.

Kita asumsikan bahwa curah hujan dala suatu area didekati dengan model linier sebagai berikut:

$$F(x, y) = a + bx + cy$$

dimana x dan y adalah koordinat (dalam km) dan $f(x, y)$ adalah curah hujan (mm/bulan) pada titik tertentu. Untuk menemukan a, b, c kita gunakan metode sistem persamaan berdasarkan titik pengukuran :

Tabel 2. Tabel Nilai Fungsi

x	y	$f(x, y)$
0	0	18
60	19.4	62
60	25	35
15	25	41
0	20	15

Jadi nilai fungsi adalah : $f(x, y) = 17.83 + 0.21x + 0.13y$

Curah hujan bulanan berdasarkan Lokasi rentang koordinat data :

$$x = 0 - 60, y = 0 - 25.$$

Dengan menggunakan integral lipat dua :

1. Integral terhadap y :

$$\int_0^{25} (17,83 + 0,21x - 0,13)dy = 445,75 + 5,25x - 40,625 \\ = 5,25x + 405,125$$

2. Integral terhadap x :

$$\int_0^{60} (5,25x + 405,125)dx = 9450 + 24307,5 = 33757,5$$

3. Luas wilayah: 60 km x 25 km = 1500 km²

4. Rata-rata: $\frac{33757,5}{1500} = 22.5$ mm

Dari data diatas kita menemukan pola distribusi curah hujan di wilayah kabupaten Situbondo. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata curah hujan di wilayah Kabupaten Situbondo adalah 62 mm/hari dengan luas wilayah 90 km² dan ketinggian 250 mdpl. Kondisi ini menunjukkan bahwa wilayah tersebut cenderung menerima intensitas hujan yang lebih besar dibandingkan tiga wilayah lainnya. Hal tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh topografi serta dinamika atmosfer lokal. BBWS Brantas Besuki berada di posisi kedua dengan curah hujan sekitar 41 mm/hari, yang menunjukkan bahwa kawasan pesisir juga memiliki tingkat hujan yang cukup tinggi akibat pengaruh kelembapan laut. Akan tetapi, Pesisir panarukan memiliki curah hujan terendah, yaitu sekitar 15 mm/hari, yang mengindikasikan bahwa wilayah relatif lebih kering. Data ini diolah serta visualisasi secara lebih efektif, interaktif, serta mendukung analisis spasial curah hujan berdasarkan data yang diperoleh dari BMKG.

Interpolasi curah hujan dilakukan untuk menggambarkan distribusi spasial intensitas hujan di wilayah studi berdasarkan 4 titik pengamatan utama, yaitu Pertanian Suboh, SP-Cuaca Jatibanteng, dan BBWS Brantas Besuki. Keempat titik tersebut membentuk suatu segitiga pengamatan yang menjadi batas area interpolasi. Metode interpolasi yang digunakan adalah interpolasi linear, di mana setiap titik memperoleh nilai curah hujan berdasarkan kombinasi linear dari keempat titik data terdekat. Secara matematis, interpolasi linear menghasilkan bidang kontinu yang

memetakan perubahan nilai curah hujan sebagai fungsi dari koordinat posisi (x,y) , sehingga semakin dekat suatu titik terhadap salah satu stasiun, semakin besar pengaruh nilai curah hujan dari stasiun tersebut. Visualisasi ini tidak hanya memperlihatkan sebaran spasial curah hujan, tetapi juga mendukung validitas model linear yang digunakan, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kondisi hidrometeorologi wilayah Situbondo.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan menggunakan integral lipat dua, rata-rata curah hujan di wilayah Kabupaten Situbondo dengan luas wilayah $60 \text{ km} \times 25 \text{ km} = 1500 \text{ km}^2$ adalah 22.5 mm/bulan. Hal ini menunjukkan bahwa metode integral lipat dua dapat digunakan sebagai alat analisis yang efektif untuk mengukur distribusi curah hujan. Dengan informasi ini, pemerintah daerah dapat mengembangkan strategi mitigasi yang lebih akurat seperti pengelolaan sumber daya air, strategi pencegahan bencana, perencanaan wilayah dan pembangunan, strategi pertanian dan Perkebunan, serta strategi adaptasi perubahan iklim. Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan dasar untuk sistem peringatan dini banjir ringan hingga sedang, kekeringan potensial, erosi tanah, dan risiko penyakit yang disediakan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2024a). Geofisika Pasuruan: Wilayah pengawasan dan aktivitas pemantauan curah hujan. Jakarta: BMKG Pusat.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2024b). Prakiraan cuaca dan data curah hujan bulanan kecamatan Situbondo. Diakses dari situs resmi BMKG: <https://www.bmkg.go.id/cuaca/prakiraan-cuaca/35.12.07/situbondo.html>
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) & Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Situbondo. (2023). Laporan kolaborasi pemantauan risiko banjir dan penyebaran peringatan dini di Situbondo. Situbondo: BPBD Situbondo.

- Budiyono, A. (2021). Konsep integral lipat dua dalam hidrologi: Aplikasi untuk perhitungan distribusi curah hujan di wilayah perkotaan. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan*, 18(2), 45–58.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR. (2020). Pedoman perencanaan sistem drainase perkotaan untuk daerah rawan banjir. Jakarta: Badan Penerbit PUPR.
- Hartanto, S. (2018). Pemodelan Curah Hujan dengan Menggunakan Integral Lipat Dua di Daerah Pantai. *Jurnal Geofisika dan Meteorologi*, 2(1), 10-20.
- Hartono, B., & Wijaya, E. (2023). Penerapan model matematis integral lipat dua dalam prediksi potensi banjir di daerah cekungan Jawa Timur. *Jurnal Hidrologi Indonesia*, 25(1), 12–27.
- Irwan, M., Irwan, Darmiani, & Jalil, E. (2021). Penerapan Integral Lipat Dua dalam Penentuan Volume Permukaan Kuadratis. 9(1).
- Kusuma, B. S. (2018). Analisis Integral Lipat Dua untuk Menghitung Volume Curah Hujan di Daerah Pesisir. *Jurnal Geofisika dan Meteorologi*, 3(1), 20-30.
- Kusuma, M. A. (2019). Pemodelan Matematika untuk Menghitung Curah Hujan dengan Menggunakan Integral Lipat Dua. *Jurnal Fisika dan Aplikasi*, 5(2), 50-60.
- Nursiyono, J., A. (2023). Kalkulus Lanjut. Yogyakarta: ANDI, Anggota IKAPI.
- Pardede, B., H., R., Kusfa, B., D., Surbakti, G., B., Fitria, R., I., & Saragih, V. Y. (2025). Integral Lipat Dua Dalam Pengukuran Curah Hujan Untuk Memprediksi Banjir di Kota Depok. *Jurnal Pendidikan Kreativitas Pembelajaran*, 7(2), 151-158.
- Putra, A. R. S. (2018). Analisis Integral Lipat Dua untuk Menghitung Volume Curah Hujan. *Jurnal Geofisika dan Meteorologi*, 3(1), 20-30.
- Rahayu, S. (2020). Penggunaan Integral Lipat Dua dalam Menghitung Curah Hujan di Daerah Pertanian. *Jurnal Pertanian dan Lingkungan*, 5(2), 30-40.
- Suharto, A. (2020). Penggunaan Integral Lipat Dua dalam Menghitung Curah Hujan di Daerah Urban. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 10(2), 1-10.

- Suryanto, S. S. (2019). Penerapan Integral Lipat Dua dalam Menghitung Curah Hujan di Daerah Pegunungan. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 40-50.
- Suryawati, I. G. N. A. (2020). Pemodelan Curah Hujan dengan Menggunakan Integral Lipat Dua di Daerah Urban. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 10(1), 1-10.
- Utami, R. S. (2020). Aplikasi Integral Lipat Dua dalam Menghitung Volume Curah Hujan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 20(1), 1-10.
- Wijaya, A. (2019). Analisis Integral Lipat Dua untuk Menghitung Volume Curah Hujan di Daerah Hutan. *Jurnal Kehutanan*, 4(1), 10-20.