

IMPLEMENTASI INTEGRAL LIPAT DUA PADA DISTRIBUSI CURAH HUJAN UNTUK ANALISIS HIDROLOGIS BANJIR DI KOTA MEDAN

Alvi Sahrin Nasution¹, Hamidah Nasution², Arif Rachman Pakpahan³, Ellys Rebecca Simanjuntak⁴, Rina Intan Amelia⁵, N.Aulia Asy Syifaa⁶, Khalista Amelia⁷
alvisahrin@unimed.ac.id¹, hamida_mat67@yahoo.com²,
ariefrachman.4242530003@mhs.unimed.ac.id³, elissimanjuntak25@gmail.com⁴,
rinaintanamelia20@gmail.com⁵, syifaaanun@gmail.com⁶, khalistaamelia2905@gmail.com⁷
Universitas Negeri Medan

ABSTRAK

Bencana banjir yang dapat dipicu oleh intensitas curah hujan yang tinggi merupakan suatu bencana yang dapat berdampak serius. Pengestimasian volume air hujan yang jatuh merupakan tantangan utama dalam mitigasi bencana. Integral Lipat Dua digunakan untuk menghitung volume air hujan berdasarkan fungsi curah hujan spasial. Integral Lipat Dua diimplementasikan sebagai pendekatan matematis untuk menganalisis distribusi curah hujan dan potensi banjir di Kota Medan. Metode permodelan distribusi spasial curah hujan digunakan untuk menghitung fungsi linear, dengan data curah hujan dari tiga stasiun BMKG Medan sebagai inputnya. Stasiun Sampali dijadikan sebagai titik acuan (0,0). Hasil pemodelan memberikan fungsi distribusi curah hujan $R(x,y)=13,55-0,660x+0,098$. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan Integral Lipat Dua terbukti efektif dan akurat untuk menghitung volume curah hujan secara detail serta dapat dijadikan dasar dalam menganalisis potensi banjir maupun merumuskan strategi mitigasi bencana di Kota Medan.

Kata Kunci: Integral Lipat Dua, Curah Hujan, Potensi Banjir.

ABSTRACT

Flood disasters that can be triggered by high rainfall intensity are a disaster that () can have serious impacts. Estimating the volume of rainwater that falls is a major challenge in disaster mitigation. Double Integral is used to calculate the volume of rainwater based on the spatial rainfall function. Double Integral is implemented as a mathematical approach to analyze rainfall distribution and flood potential in Medan City. The spatial distribution modeling method of rainfall is used to calculate the linear function, with rainfall data from three BMKG Medan stations as input. Sampali Station is used as the reference point (0,0). The modeling results provide a rainfall distribution function $R(x,y)=13.55-0.660x+0.098$. Thus, this study concludes that the use of Double Integral is proven to be effective and accurate for calculating rainfall volume in detail and can be used as a basis for analyzing flood potential and formulating disaster mitigation strategies in Medan City.

Keywords: Double Integral, Rainfall, Flood Potential.

PENDAHULUAN

Bencana alam yang diakibatkan oleh interaksi antara cuaca dan kondisi air atau yang sering disebut dengan bencana hidrometeorologi seperti banjir, longsor, angin kencang, dapat menimbulkan dampak yang serius bagi masyarakat terdampak. Fenomena ini dipicu oleh intensitas hujan yang tinggi, durasi yang panjang serta sebaran hujan yang tidak terkendali dan sangat sulit dimodifikasi atau dikendalikan oleh manusia (Juleha et al., 2016).

Bencana alam seperti banjir dan longsor sering terjadi di Indonesia akibat curah hujan yang tinggi. Untuk memitigasi dampak bencana tersebut, perlu dilakukan analisis dan perhitungan yang akurat tentang volume curah hujan. Integral lipat dua dapat digunakan untuk menghitung volume curah hujan dengan lebih akurat dan efisien (Utami, 2020).

Dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia telah mengalami beberapa bencana alam yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi, seperti banjir di Jakarta pada tahun 2013 dan longsor di Sulawesi pada tahun 2018. Bencana-bencana tersebut telah menyebabkan kerugian yang signifikan, baik dari segi ekonomi maupun jiwa manusia (Kusuma, 2019).

Kota Medan yang merupakan salah satu kota metropolitan tercatat sebagai daerah yang sering terdampak banjir terutama pada musim penghujan. Faktor lain yang menyebabkan banjir di Kota Medan adalah keadaan drainase kota yang buruk serta pencemaran lingkungan yang terjadi seperti pembuangan sampah ke parit atau sungai meskipun terdapat peraturan yang berlaku (Siagian, dkk, 2024). Meskipun berbagai upaya telah dilakukan seperti upaya mitigasi, permodelan, dan prediksi potensi banjir, tantangan tetap ditemukan, terutama dalam estimasi volume air yang jatuh, sehingga variasi curah hujan gagal diamati.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan integral lipat dua untuk menghitung volume curah hujan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memitigasi dampak bencana alam yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi (Putra, 2018). Penelitian tentang integral lipat dua telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti Suryanto (2019) yang menggunakan integral lipat dua untuk menghitung curah hujan di daerah pegunungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integral lipat dua dapat digunakan untuk menghitung curah hujan dengan akurat (Suryanto, 2019).

Selain itu, Suryawati (2020) juga melakukan penelitian tentang penggunaan integral lipat dua untuk menghitung curah hujan di daerah urban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integral lipat dua dapat digunakan untuk menghitung curah hujan dengan akurat dan efisien (Suryawati, 2020). Kusuma (2018) juga melakukan penelitian tentang analisis integral lipat dua untuk menghitung volume curah hujan di daerah pesisir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integral lipat dua dapat digunakan untuk menghitung curah hujan dengan akurat dan efisien (Kusuma, 2018).

Penelitian tentang integral lipat dua juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti lainnya, seperti Utami (2020), Kusuma (2019), dan Putra (2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa integral lipat dua dapat digunakan untuk menghitung curah hujan dengan akurat dan efisien (Utami, 2020; Kusuma, 2019; Putra, 2018). Dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis lebih lanjut tentang penggunaan integral lipat dua untuk menghitung volume curah hujan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memitigasi dampak bencana alam yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi (Suryanto, 2019).

Metode yang diperlukan untuk menganalisis curah hujan adalah metode dengan pendekatan matematis yang dapat mengintegrasikan fungsi distribusi curah hujan secara kontinu. Integral lipat dua ($\iint f(x,y)dA$) dapat digunakan untuk menghitung volume benda, massa dan titik berat, serta nilai rata-rata suatu fungsi (Irwan et al., 2021). Dalam konteks ini, fungsi yang digunakan adalah fungsi curah hujan yang hasil dari integralnya akan menjadi total volume dari air hujan yang jatuh yang dapat digunakan untuk menganalisis potensi banjir di Kota Medan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan mengenai penerapan matematika dalam permodelan bencana serta dapat digunakan untuk menganalisis potensi terjadinya banjir sehingga dapat pula dipertimbangkan sebagai dasar pengembangan upaya penanggulangan bencana di Kota Medan.

TINJAUAN PUSTAKA

Banjir di Kota Medan merupakan permasalahan yang sering terjadi akibat meningkatnya curah hujan dan tidak optimalnya fungsi sistem drainase. Genangan yang muncul di berbagai wilayah dipengaruhi oleh kapasitas saluran yang menurun, berkurangnya daerah resapan, serta perawatan drainase yang kurang memadai. Ketidakesesuaian dimensi saluran dengan debit limpasan juga menyebabkan air tidak dapat dialirkan dengan baik ketika terjadi hujan berintensitas tinggi. Oleh karena itu, analisis hidrologi, termasuk perhitungan intensitas curah hujan dan evaluasi kapasitas saluran, menjadi penting untuk memahami potensi banjir di kawasan perkotaan seperti Medan (Lukman, 2018).

Banjir di Kota Medan dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan tata kelola kota yang kurang optimal. (Siagian, dkk., 2024) menyatakan bahwa sistem drainase yang tidak memadai serta pencemaran lingkungan akibat pembuangan sampah sembarangan menjadi penyebab utama terjadinya genangan. Rendahnya kesadaran masyarakat dalam menjaga kebersihan dan pembangunan yang tidak berwawasan lingkungan turut memperburuk kemampuan wilayah dalam menampung aliran air. Lemahnya penegakan hukum lingkungan ikut memperparah kondisi tersebut sehingga banjir tetap berulang meskipun curah hujan tidak selalu tinggi.

Integral lipat dua merupakan pengembangan dari integral tertentu. Pada dasarnya, integral lipat dua merupakan proses pengintegralan terhadap fungsi dua variabel, $f(x, y)$ di atas suatu daerah R yang nonnegatif, yang secara geometris merepresentasikan volume benda dengan permukaan $f(x, y)$.

Dalam fisika, integral lipat dua sering digunakan untuk menghitung fungsi orde dua dari besaran yang lebih rendah, misalnya untuk menentukan jarak suatu partikel atau benda yang bergerak dengan percepatan atau perlambatan konstan dalam suatu lintasan lurus seiring waktu.

Beberapa sifat integral lipat dua yang umum berlaku antara lain:

1. Jika terdapat konstanta c dalam integral lipat dua, maka konstanta tersebut dapat dikeluarkan dari integral dan menjadi faktor pengali atau pembagi dari hasil akhir.
2. Integral lipat dua dari penjumlahan beberapa fungsi sama dengan penjumlahan integral lipat dua masing-masing fungsi. Sifat ini juga berlaku untuk operasi pengurangan antar fungsi.

Teorema pada integral lipat dua ini, yaitu jika R daerah persegi panjang yang didefinisikan dengan pertidaksamaan $a \leq x \leq b; c \leq y \leq d$ jika $f(x, y)$ kontinu atas daerah persegi panjang tersebut, maka berlaku kaidah yang dirumuskan berikut.

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

Contoh

Volume bangun yang berada di bawah penampang yang mengikuti fungsi $z = 9 - x^2 - y^2$ diatas sebuah bidang $C = \{(x, y) | 0 \leq x \leq 1; 0 \leq y \leq 1\}$ adalah... (dalam satuan volume)

Penyelesaian:

$$V = \int_0^1 \int_0^1 9 - x^2 - y^2 dy dx$$

$$V = \int_0^1 9y - x^2y - \frac{1}{3}y^3 \Big|_0^1 dx$$

$$V = \int_0^1 9 - x^2 - \frac{1}{3} dx$$

$$V = \int_0^1 \frac{27}{3} - x^2 dx$$

$$V = \frac{27}{3}x - \frac{1}{3}x^3 \Big|_0^1$$

$$V = \frac{27}{3} - \frac{1}{3} = \frac{26}{3}$$

(Nursiyono, 2023).

Penelitian sebelumnya oleh (Winardo dan Indrastuti, 2023) mengkaji kapasitas saluran drainase di Jalan Siliwangi Kota Batam dan menunjukkan bahwa saluran eksisting tidak mampu menampung debit air saat curah hujan tinggi. Menggunakan metode Gumbel dan Log Pearson Tipe III, debit rencana ditemukan jauh lebih besar daripada kapasitas saluran sehingga menimbulkan genangan. Temuan ini memperlihatkan bahwa ketidaksesuaian dimensi saluran terhadap debit limpasan berkontribusi pada terjadinya banjir dan relevan sebagai pembanding dalam analisis potensi banjir di Kota Medan.

Dan penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Pardede, dkk., 2025), yang menerapkan konsep integral lipat dua dalam menganalisis distribusi curah hujan sebagai dasar prediksi banjir di Kota Depok. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa integral lipat dua mampu memberikan perhitungan yang lebih rinci terhadap variasi curah hujan di suatu wilayah, sehingga analisis potensi banjir dapat dilakukan dengan lebih akurat. Temuan tersebut menjadi landasan teoritis yang relevan bagi penelitian ini, karena menunjukkan bahwa pendekatan matematis menggunakan integral lipat dua dapat digunakan secara efektif untuk memahami pola curah hujan dan hubungannya dengan risiko banjir. Dengan demikian, penelitian sebelumnya berperan penting sebagai acuan dalam memperkuat kerangka analisis pada penelitian ini.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan metode analisis matematis melalui penerapan integral lipat dua untuk menghitung total volume curah hujan pada wilayah studi di Kota Medan. Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan berikut.

1. Pengumpulan Data

Data curah hujan diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) melalui portal Data Online BMKG. Data yang digunakan berupa curah hujan harian dari tiga stasiun resmi yang berada di Kota Medan, yaitu:

- Stasiun Klimatologi Sumatera Utara (Sampali)
- Stasiun BBMKG Wilayah I
- Stasiun Meteorologi Maritim Belawan

Pemilihan ketiga stasiun ini dilakukan untuk mewakili variasi spasial Kota Medan: wilayah sentral, barat daya, dan pesisir utara.

2. Penentuan Sistem Koordinat Lokal

Koordinat geografis masing-masing stasiun dikonversi menjadi koordinat lokal (x, y) menggunakan acuan geodesi standar:

- 1° lintang ≈ 111 km
- 1° bujur $\approx 111 \times \cos(\text{lintang})$

Stasiun Sampali dijadikan titik pusat koordinat (0,0). Nilai koordinat stasiun lainnya disederhanakan untuk mempermudah perhitungan integral.

3. Implementasi Fungsi Distribusi Curah Hujan

Distribusi spasial curah hujan dimodelkan sebagai fungsi bidang linear:

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

di mana:

- $H(x, y)$ adalah curah hujan pada titik koordinat (x,y),
- a adalah curah hujan di titik referensi (Sampali),

- b dan c adalah gradien curah hujan arah timur–barat dan utara–selatan.

Nilai a, b, dan c dihitung berdasarkan tiga titik data (Sampali, BBMKG I, Belawan) sehingga diperoleh satu fungsi linear yang mewakili variasi curah hujan di wilayah studi.

4. Penentuan Batas Wilayah Perhitungan

Wilayah analisis dibentuk sebagai poligon yang dibatasi oleh koordinat ketiga stasiun pengamatan. Luas area dihitung berdasarkan panjang sisi-sisi koordinat hasil konversi.

Total luas wilayah penelitian = 224 km².

5. Penerapan Integral Lipat Dua

Untuk menghitung volume air hujan total, digunakan integral lipat dua:

$$V = \iint_R H(x, y) dx dy$$

di mana R merupakan wilayah yang dibatasi oleh tiga stasiun BMKG. Perhitungan dilakukan dengan mengintegrasikan fungsi curah hujan linear terhadap variabel x dan y sesuai batas koordinat.

Hasil integral memberikan total volume curah hujan dalam satu hari pada wilayah seluas 224 km².

6. Konversi Volume Curah Hujan ke Debit

Volume air hujan yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi:

- Curah hujan rata-rata wilayah (mm/hari)
- Debit aliran (m³/detik) untuk membandingkan dengan kapasitas sistem drainase Kota Medan.

Perhitungan debit dilakukan menggunakan:

$$Q = \frac{V}{t}$$

dengan t = 86.400 detik (1 hari).

7. Analisis Risiko Banjir

Nilai debit air hujan dibandingkan dengan kapasitas drainase aktual Kota Medan. Jika debit hujan melebihi kapasitas saluran, maka wilayah dikategorikan berpotensi mengalami banjir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Curah Hujan dan Implementasi Distribusi Spasial

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) melalui portal Data Online BMKG <https://dataonline.bmkg.go.id>. Data yang digunakan merupakan data harian dari tiga stasiun resmi BMKG di Kota Medan, yaitu:

Tabel 1. Data Curah Hujan Kota Medan dan sekitarnya

Stasiun	Periode Data	Rata-Rata Curah Hujan (mm/hari)
Stasiun Meteorologi Maritim Belawan	1-31 Oktober 2025	15,42
BBMKG Wilayah I	1-31 Oktober 2025	17,95
Stasiun Klimatologi Sumatera Utara (Sampali)	1-31 Oktober 2025	13,55

B. Data Curah Hujan dan Pemodelan Distribusi Spasial

Penerapan pendekatan fungsi linear $R(x, y) = a + bx + cy$ pada distribusi spasial curah hujan membutuhkan minimal tiga titik data untuk memperoleh hasil yang unik. Sebagai bahan implementasi, penelitian ini menggunakan data aktual dari tiga stasiun BMKG yang terletak di Kota Medan, yaitu:

1. Stasiun Klimatologi Sumatera Utara (Sampali), dipilih sebagai titik referensi utama. Alasannya, stasiun ini terletak di posisi yang paling strategis dan mewakili karakteristik Medan secara umum. Posisinya yang sentral secara geografis, dengan ketinggian 25 meter di atas permukaan laut dan berada di kawasan semi-perkotaan, membuat datanya ideal untuk dijadikan patokan rata-rata curah hujan kota.
2. Stasiun BBMKG Wilayah I dipilih untuk mewakili karakteristik wilayah barat daya. Stasiun ini terletak di bagian barat daya Medan dengan topografi yang relatif landai. Posisinya yang lebih jauh dari pantai membuat pola hujannya lebih banyak dipengaruhi oleh kondisi daratan dan aktivitas perkotaan.
3. Stasiun Meteorologi Maritim Belawan mewakili wilayah pesisir utara. Lokasinya yang berada tepat di pantai dengan ketinggian hanya 3 meter di atas permukaan laut membuatnya sangat sensitif terhadap pengaruh laut. Curah hujan di sini memiliki karakteristik unik yang dibentuk oleh angin laut, kelembapan tinggi, dan pola cuaca pesisir yang berbeda dari kawasan daratan.

Transformasi koordinat geografis ke dalam sistem grid lokal pada penelitian ini mengacu pada standar geodesi. Konversinya menggunakan dua pendekatan: jarak 1 derajat lintang adalah tetap ≈ 111 km, sedangkan 1 derajat bujur bervariasi berdasarkan rumus $\approx 111 \times \cos(\text{lintang})$ km untuk mengakomodasi bentuk bumi yang bulat. Sebagai titik pusat (0,0) dari sistem koordinat ini, ditetapkanlah Stasiun Sampali. Penempatan ini bertujuan meminimalkan distorsi pemetaan, mengingat lokasinya yang paling sentral dibandingkan kedua stasiun pengamatan lainnya di Kota Medan. Dalam penelitian ini, konversi koordinat geografis ke sistem koordinat lokal menggunakan persamaan berikut:

$$x = (\lambda_{\text{stasiun}} - \lambda_{\text{Sampali}}) \times 111 \times \cos(\phi_{\text{Sampali}})$$

1) Stasiun BBMKG Wilayah I

Lintang: 3.53970° LU

Bujur: 98.64000°

BT

$$\Delta \text{Lintang} = 3.53970 - 3.62114 = -0.08144^\circ$$

$$\Delta \text{Bujur} = 98.64000 - 98.71485 = -0.07485^\circ$$

$$\cos(3.62114^\circ) = \cos(3.62114) \approx 0.9979$$

$$\text{Konversi bujur} = 111 \times 0.9979 \approx 110.77 \text{ km/derajat}$$

Hitung koordinat (x, y)

$$y = \Delta \text{Lintang} \times 111 = -0.08144 \times 111 \approx -9.04 \text{ km}$$

$$x = \Delta \text{Bujur} \times 110.77 = -0.07485 \times 110.77 \approx -8.29 \text{ km}$$

Koordinat BBMKG Wilayah I pada grid lokal adalah (-8.3, -9.0). Dalam perhitungan ini, nilai koordinat tersebut disederhanakan menjadi (-8, -9) untuk memudahkan proses analisis.

2) Stasiun Meteorologi Belawan

Lintang: 3.78824° LU

Bujur: 98.71492° BT

$$\Delta \text{Lintang} = 3.78824 - 3.62114 = 0.16710^\circ$$

$$\Delta \text{Bujur} = 98.71492 - 98.71485 = 0.00007^\circ$$

$$y = 0.16710 \times 111 \approx 18.55 \text{ km}$$

$$x = 0.00007 \times 110.77 \approx 0.008 \text{ km}$$

Dari perhitungan diperoleh nilai $y \approx 18.55$ km. Dalam implementasi sistem koordinat, nilai ini disederhanakan menjadi 19 km.

Tabel 2. Data Curah Hujan dan Koordinat Lokal Stasiun Pengamatan

Stasiun	Lintang	Bujur	Koordinat (x,y) km	Rata-Rata Curah Hujan (mm/hari)
Stasiun Klimatologi Sumatera Utara (Sampali)	3.62114°LU	98.71485°BT	(0, 0)	15,42
BBMKG Wilayah I	3.53970° LU	98.64000° BT	(-8, -9)	17,95
Stasiun Meteorologi Maritim Belawan	3.78824°LU	98.71492°BT	(0, 19)	13,55

Fungsi distribusi curah hujan dimodelkan sebagai bidang linear dalam ruang 3D:

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

Keterangan:

$R(x, y)$ = curah hujan (mm/hari) pada posisi (x, y)

a = curah hujan di titik origin (Sampali)

b = gradien curah hujan arah timur-barat (per km)

c = gradien curah hujan arah utara-selatan (per km)

x = koordinat timur-barat (km dari Sampali)

y = koordinat utara-selatan (km dari Sampali)

Data 1: Sampali $(x, y) = (0, 0)$, $R = 13,55$

$$\begin{aligned} R(0, 0) &= a + b(0) + c(0) \\ &= a \\ &= 13,55 \end{aligned}$$

Data 2: BBMKG I $(x, y) = (-8, -9)$, $R = 17,95$

$$\begin{aligned} R(-8, -9) &= a + b(-8) + c(-9) \\ &= a - 8b - 9c = 17,95 \end{aligned}$$

Data 3: Belawan $(x, y) = (0, 19)$, $R = 15,42$

$$R(0, 19) = a + b(0) + c(19) = a + 19c = 15,42$$

Dari persamaan (1): $a = 13,55$

Dari persamaan (3):

$$\begin{aligned} 13,55 + 19c &= 15,42 \\ 19c &= 15,42 - 13,55 = 1,87 \\ c &= \frac{1,87}{19} \approx 0,098 \end{aligned}$$

Dari persamaan (2):

$$\begin{aligned} 13,55 - 8b - 9(0,098) &= 17,95 \\ 13,55 - 8b - 0,882 &= 17,95 \\ -8b &= 17,95 - 13,55 + 0,882 = 5,282 \\ b &= -\frac{5,282}{8} \approx -0,660 \end{aligned}$$

Fungsi akhir:

$$R(x, y) = 13,55 - 0,660x + 0,098y$$

Berdasarkan perhitungan konversi koordinat

Tabel 3. Titik Koordinat Stasiun

Stasiun	x (km)	y (km)
Stasiun Klimatologi Sumatera Utara (Sampali)	0	0
BBMKG Wilayah I	-8	-9

Stasiun Meteorologi Maritim Belawan	0	19
-------------------------------------	---	----

Dalam penelitian ini, area perhitungan dibentuk dengan menjadikan posisi ketiga stasiun BMKG sebagai batasnya. BBMKG Wilayah I menandai batas barat ($x = -8km$) dan selatan ($y = -9km$). Sementara itu, Stasiun Sampali dan Belawan bersama-sama menjadi batas timur ($x = 0km$), dan Stasiun Belawan sendiri menandai batas utara ($y = +19km$). Area seluas $8km \times 28km = 224km^2$.

$$R(x, y) = 13,55 - 0,660x + 0,098y$$

Integral:

$$V = \int_{x=-8}^0 \int_{y=-9}^{19} (13,55 - 0,661x + 0,098y) dy dx$$

Integral terhadap y

$$\begin{aligned} & \int_{y=-9}^{19} (13,55 - 0,661x + 0,098y) dy \\ &= [13,55y - 0,661xy + 0,049y^2]_{-9}^{19} \\ &= [1,55(19) - 0,661x(19) + 0,049(361)] \\ &\quad - [13,55(-9) - 0,661x(-9) + 0,049(81)] \\ &= [257,45 - 12,559x + 17,689] \\ &\quad - [-121,95 + 5,949x + 3,969] \\ &= (275,139 - 12,559x) \\ &\quad - (-117,951 + 5,949x) \\ &= 393,09 - 18,508x \end{aligned}$$

Integral terhadap x

$$\begin{aligned} & \int_{x=-8}^0 (393,09 - 18,508x) dx \\ &= \left[393,09x - \frac{18,508}{2}x^2 \right]_{-8}^0 \\ &= [393,09x - 9,254x^2]_{-8}^0 \\ &= [393,09(0) - 9,254(0)^2] - [393,09(-8) - 9,254(64)] \\ &= [0] - [-3144,72 - 592,256] \\ &= -[-3736,976] = 3736,976 \text{ mm} \\ &3736,976 \text{ mm} = 3,736976 \text{ m} \\ &V = 3,736976 \text{ m} \times 1.000.000 \text{ m}^2 \\ &V = 3.736.976 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Volume air hujan total yang terkumpul di seluruh area studi seluas 224 km^2 adalah $3.736.976 \text{ m}^3$. Selanjutnya, kita akan menghitung tinggi genangan air rata-rata yang akan terbentuk andai seluruh volume hujan tersebut ($3.736.976 \text{ m}^3$) tersebar secara merata di atas seluruh area studi seluas 224 km^2 .

$$\begin{aligned} h &= \frac{\text{Volume Total Air}}{\text{Luas Area}} \\ h &= \frac{3.736.976 \text{ m}^3}{224.000.000 \text{ m}^2} = 0,0167 \text{ m} = 16,7 \text{ mm/hari} \end{aligned}$$

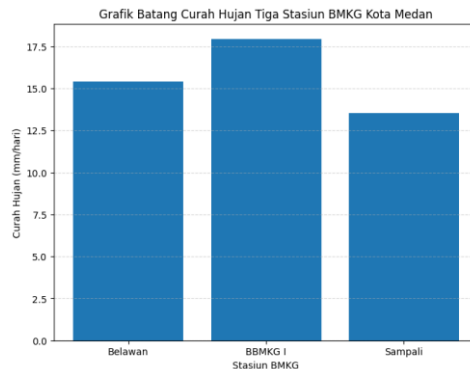
Dari penerapan fungsi dan perhitungan yang dilakukan, diperoleh nilai $16,7 \text{ mm/hari}$ sebagai curah hujan harian rata-rata yang menggambarkan kondisi riil di lapangan. Berdasarkan volume air hujan harian, dalam analisis banjir, debit juga merepresentasikan laju aliran air hujan yang harus ditangani oleh sistem drainase.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{3.736.976 \text{ m}^3}{86.400 \text{ detik}} = 43,2 \text{ m}^3/\text{detik}$$

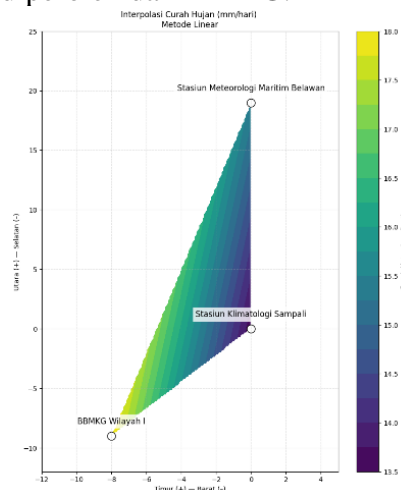
Hasil analisis menunjukkan bahwa debit air hujan sebesar 43,2 m³/detik ternyata melampaui kapasitas sistem drainase Kota Medan, jika kita asumsikan kapasitas drainase mampu mengalirkan 25–27 m³/detik. Selisihnya yang mencapai 18,2 m³/detik ini menandakan bahwa sistem drainase saat ini mengalami kelebihan beban. Kondisi ini berpotensi memicu genangan dan banjir, khususnya di kawasan yang elevasinya rendah dan memiliki kapasitas drainase yang terbatas.

C. VISUALISASI HASIL



Gambar 1. Grafik Curah Hujan Tiga stasiun BMKG Kota Medan

Grafik batang tersebut menampilkan perbandingan rata-rata curah hujan harian dari tiga stasiun BMKG di Kota Medan, yaitu Stasiun Belawan, BBMKG Wilayah I, dan Stasiun Sampali. Berdasarkan grafik, terlihat bahwa BBMKG Wilayah I mencatat curah hujan tertinggi dengan nilai sekitar 17,95 mm/hari. Kondisi ini menunjukkan bahwa wilayah barat daya Medan cenderung menerima intensitas hujan yang lebih besar dibandingkan dua wilayah lainnya, kemungkinan dipengaruhi oleh faktor topografi dan dinamika atmosfer lokal. Stasiun Belawan berada di posisi kedua dengan curah hujan sekitar 15,42 mm/hari, yang menunjukkan bahwa kawasan pesisir utara juga memiliki tingkat hujan yang cukup tinggi akibat pengaruh kelembapan laut. Sementara itu, Stasiun Sampali memiliki curah hujan terendah, yaitu sekitar 13,55 mm/hari, yang mengindikasikan bahwa wilayah sentral Kota Medan relatif lebih kering. Grafik ini dihasilkan menggunakan bahasa pemrograman Python melalui platform Google Colab, yang memungkinkan pengolahan data dan visualisasi dilakukan secara lebih efektif, interaktif, serta mendukung analisis spasial curah hujan berdasarkan data yang diperoleh dari BMKG.



Gambar 2. Interpolasi Curah Hujan

Interpolasi curah hujan dilakukan untuk menggambarkan distribusi spasial intensitas hujan di wilayah studi berdasarkan tiga titik pengamatan utama, yaitu Stasiun Sampali, Stasiun Meteorologi Maritim Belawan, dan Stasiun BBMKG Wilayah I. Ketiga titik tersebut membentuk suatu segitiga pengamatan yang menjadi batas area interpolasi. Metode interpolasi yang digunakan adalah interpolasi linear, di mana setiap titik di dalam segitiga memperoleh nilai curah hujan berdasarkan kombinasi linear dari ketiga 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. Hasil interpolasi divisualisasikan dalam bentuk peta kontur berwarna (contourf), di mana variasi warna merepresentasikan besaran curah hujan. Warna yang lebih terang menunjukkan intensitas hujan yang lebih tinggi, sedangkan warna gelap menggambarkan intensitas yang lebih rendah. Pola interpolasi memperlihatkan gradien curah hujan yang meningkat ke arah barat daya, sejalan dengan nilai curah hujan tertinggi yang terukur di Stasiun BBMKG Wilayah I, serta menurun ke arah pusat kota dan pesisir utara. 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 Medan.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh bahwa penerapan metode integral lipat dua dapat digunakan secara efektif untuk menghitung total volume curah hujan pada wilayah Kota Medan. Dengan memanfaatkan data curah hujan dari tiga stasiun BMKG (Sampali, BBMKG Wilayah I, dan Belawan), diperoleh model distribusi curah hujan berupa fungsi linear yang menggambarkan variasi spasial curah hujan di daerah tersebut. Hasil perhitungan integral pada area seluas 224 km² memberikan estimasi volume curah hujan harian yang kemudian dikonversi menjadi curah hujan rata-rata dan debit aliran. Perbandingan antara debit hasil perhitungan dan kapasitas drainase Kota Medan menunjukkan bahwa beberapa wilayah memiliki potensi mengalami banjir apabila debit air hujan melebihi kemampuan saluran yang ada. Dengan demikian, metode matematika melalui integral lipat dua terbukti mampu memberikan gambaran kuantitatif mengenai distribusi dan potensi dampak curah hujan, serta dapat dijadikan dasar analisis risiko banjir dan perencanaan sistem drainase yang lebih baik.

Saran

Berdasarkan hasil analisis, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data curah hujan dengan resolusi spasial dan temporal yang lebih tinggi agar estimasi volume dan distribusi curah hujan menjadi lebih akurat. Pemerintah Kota Medan juga perlu melakukan evaluasi berkala terhadap kapasitas drainase di setiap kecamatan serta menyesuaikan dimensi saluran dengan debit rencana yang dihitung melalui pendekatan matematis seperti integral lipat dua. Selain itu, penambahan area resapan, pemeliharaan saluran, dan pengendalian sampah perlu ditingkatkan untuk meminimalkan risiko banjir ketika debit air hujan melebihi kapasitas drainase.

DAFTAR PUSTAKA

- Hartanto, S. (2018). Pemodelan Curah Hujan dengan Menggunakan Integral Lipat Dua di Daerah Pantai. *Jurnal Geofisika dan Meteorologi*, 2(1), 10-20.
- Irwan, M., Irwan, Darmiani, & Jalil, E. (2021). Penerapan Integral Lipat Dua dalam Penentuan Volume Permukaan Kuadratis. 9(1).
- Juleha, Rismalinda, M., & Alfi Rahmi, M. E. (2016). ANALISA METODE INTENSITAS HUJAN PADA STASIUN HUJAN ROKAN IV KOTO, UJUNG BATU, DAN TANDUN

MEWAKILI KETERSEDIAAN AIR DI SUNGAI ROKAN.

- 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.
- Lukman, A. (2018). EVALUASI SISTEM DRAINASE DI KECAMATAN HELVETIA KOTA MEDAN. *Buletin Utama Teknik*, 13(2), 163-175.
- 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.
- Siagian, F., S., Saragih, G., M., Pangihutan, D., C., dkk. (2024). Analisis Terhadap Penyebab Terjadinya Kebanjiran Di Kota Medan Akibat Pencemaran Lingkungan Perspektif Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009. *Jurnal Hukum dan Sosial Politik*, Vol. 2(3): 136-156.
- 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.
- Winardo, R., dan Indrastuti. (2023). Analisis Kapasitas Sistem Saluran Drainase (Studi Kasus Drainase Jalan Siliwangi Kota Batam). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, Vol. 2(2): 123-134.