ANALISIS FLUKS ANGIN PERMUKAAN BERDASARKAN DATA BMKG MENGGUNAKAN INTEGRAL PERMUKAAN

Alvi Sahrin Nasution[1], Hamidah Nasution[2], Alya Dwi Lestari[3], Zahra Marsanda Mahisa[4], Riamonda[5], Riby Tamara[6]
alvisahrin@unimed.ac.id[1], hamida_mat67@yahoo.com[2], alyadwi602@gmail.com[3], zahramarshandamahisa@gmail.com[4], rmndasingarimbun@gmail.com[5], ribytamara925@gmail.com[6]
Universitas Negeri Medan

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fluks medan vektor angin permukaan berdasarkan data cuaca menggunakan pendekatan integral garis dan metode numerik. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa kecepatan dan arah angin di Kota Medan pada tanggal 11 April 2026 yang dicatat secara diskret setiap tiga jam . Data tersebut kemudian diolah menjadi bentuk medan vektor dua dimensi untuk merepresentasikan arah dan besar kecepatan angin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dengan analisis numerik, yaitu menggunakan metode Simpson gabungan (Simpson 3/8 dan Simpson 1/3) sebagai metode utama, serta metode trapesium sebagai pembanding. Perhitungan dilakukan untuk memperoleh nilai fluks sepanjang lintasan tertentu yang merepresentasikan aliran udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Simpson menghasilkan nilai fluks sebesar 4,40 yang bernilai positif, yang mengindikasikan adanya fenomena divergensi, yaitu aliran udara yang menyebar keluar dari suatu wilayah. Sementara itu, metode trapesium menghasilkan nilai fluks sebesar -0,09 yang mendekati nol, sehingga kurang mampu menggambarkan kondisi aliran udara secara akurat. Perbedaan hasil ini menunjukkan bahwa metode Simpson lebih efektif dalam menangkap perubahan data yang bersifat non-linear dibandingkan metode trapesium.

Kata Kunci: Fluks Medan Vektor, Integral Garis, Metode Simpson, Metode Trapesium, Kecepatan Angin.

ABSTRACT

This study aims to analyze the surface wind vector field flux based on weather data using a line integral approach and numerical methods. The data used are secondary data in the form of wind speed and direction in Medan City on April 11, 2026, which were recorded discretely every three hours. The data were then processed into a two-dimensional vector field to represent the direction and magnitude of the wind speed. The method used in this study is a quantitative approach with numerical analysis, namely using the combined Simpson method (Simpson 3/8 and Simpson 1/3) as the main method, and the trapezoidal method as a comparison. Calculations were carried out to obtain flux values along certain paths that represent air flow. The results show that the Simpson method produces a flux value of 4.40 which is positive, indicating the presence of a divergence phenomenon, namely air flow spreading outward from an area. Meanwhile, the trapezoidal method produces a flux value of -0.09 which is close to zero, so it is less able to describe air flow conditions accurately. This difference in results indicates that the Simpson method is more effective in capturing non-linear data changes than the trapezoidal method.

Keywords: *Vector Field Flux, Line Integral, Simpson's Method, Trapezoidal Method, Wind Speed.*

PENDAHULUAN

Atmosfer juga bertindak sebagai pelindung atau seperti payung bagi kehidupan di bumi dari. Sinar matahari yang sangat kuat di siang hari dan mencegah panas hilang ke luar ruang angkasa pada malam hari. Atmosfer juga bisa menghambat benda-benda langit yang bergerak melalui itu sehingga sebagian meteor yang melewati atmosfer akan menjadi panas

dan hancur sebelum mencapai permukaan bumi (Choi et all, 2015) . Cuaca atmosfer yang sangat tidak stabil sering terjadi. Terkait dengan fenomena ini, yang bisa dipengaruhi oleh berbagai faktor lokal dan regional. Karena kondisi udara yang lembap, suhu air laut yang hangat, dan pergerakan angin yang rumit. Pola hujan yang deras ini merupakan ciri umum di daerah tropis, khususnya di Indonesia. Dalam konteks Analisis berdasarkan gambar satelit menjadi cara penting untuk mempelajari fenomena cuaca ekstrem. termasuk hujan lebat karena dapat memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai waktu dan lokasi mengenai dinamika atmosfer serta evolusi awan konvektif

Angin puting beliung adalah kolom udara yang berputar dengan kuat dan bersentuhan dengan permukaan bumi serta awan cumulonimbus, atau dalam beberapa kasus jarang bisa pada dasar awan cumulus. Anginputing beliungyang umumnya berputar dengankecepatan melebihi 60-90 km/jam, berlangsung sekitar 5-10 menit, disebabkan oleh perbedaan tekanan yang signifikan di area kecil di sekitar awan Cumulonimbus (Cb) atau dalam istilah sederhananya angin puting beliung terjadi akibat kombinasi beberapa kondisi atmosfer yang tidak stabil (Sawal et all, 2024)

Sejauh ini kita mengenal fungsi real y=f(x)atau dalam bentuk implisit g(x,y)=0. Secara geometri, fungsi ini menyatakan kurva pada bidang Cartesius xy. Dalam menyatakan gerakan, perubahan koordinat (xⓜ,y) dari kurva tersebut menjadi fungsi waktu, yaitu x=x(t) dan y=y(t). Hal ini mengharuskan kita menyatakan posisi sebagai vektor, sehingga dikenal sebagai fungsi vektor, dan dapat dikembangkan perubahan posisi dalam ruang - xyz. Untuk fungsi dua peubah z=f(x,y), secara geometri merupakan permukaan di ruang (Siregar et all, 2025).

Beberapa survei menunjukkan bahwa informasi iklim yang diterima oleh berbagai sektor masih memiliki banyak kekurangan, seperti kurang akurat, terlambat, sulit dipahami, dan belum mencakup kebutuhan semua pengguna. Selain itu, hasil penelitian di berbagai negara juga mengungkap adanya kesenjangan antara penyedia dan pengguna informasi iklim, terutama dalam hal penafsiran. Informasi yang tidak sesuai kebutuhan pada akhirnya menjadi tidak bermanfaat.

Secara umum, informasi merupakan hasil pengolahan data menjadi sesuatu yang lebih berguna bagi penerimanya, yang mencerminkan kondisi nyata dan dapat membantu dalam pengambilan keputusan. Kualitas informasi ditentukan oleh tingkat relevansi, akurasi, kelengkapan, keandalan, keamanan, ketepatan waktu, serta nilai ekonomis dan efisiensinya (Haryoko et all, 2016)

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan analitik numerik yang bertujuan untuk menganalisis fluks medan vektor angin menggunakan integral garis serta pendekatan metode numerik. Pendekatan ini digunakan karena data yang tersedia berupa data diskret, sehingga tidak memungkinkan dilakukan integrasi secara analitik langsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. KONSEP FLUKS MEDAN VEKTOR ANGIN

Fluks medan vektor menggambarkan jumlah medan yang melewati lintasan atau permukaan. Dalam konteks angin:

Medan Vektor :

$$\vec{F}(t) = \big(u(t), v(t)\big)$$

Dimana :

- *u(t)* = kecepatan angin sepanjang sumbu x
- *v(t)* = kecepatan angin sepanjang sumbu y

Lintasan : $\vec{r}(t) = \big(x(t), y(t)\big)$ mewakili arah geral yang diamati.

Integral garis fluks sepanjang lintasan C didefinisikan:

$$\Phi = \int_C \vec{\boldsymbol{F}} \cdot d\vec{\boldsymbol{r}} = \int_{t_0}^{t_n} \left(u(t)\frac{dx}{dt} + v(t)\frac{dy}{dt} \right) dt$$

Jika lintasan horizontal (misal sepanjang sumbu x) maka $\frac{dy}{dt} = 0$, sehingga integral menjadi :

$$\Phi = \int_{t_0}^{t_n} u\,(t)\,dt$$

Ini berarti fluks hanya bergantung pada komponen kecepatan sejajar lintasan.

2. DATA DAN PERSIAPAN PERHITUNGAN

Data kecepatan angin diberikan secara diskret pada interval waktu

***t* (jam)**	***u* (m/s)**
0	1.37
3	1.18
6	0.98
9	0.00
12	-2.95
15	-4.32
18	3.61
21	1.57

3. PENDEKATAN SIMPSON UNTUK INTEGRAL DISKRET

Karena data angin tersedia secara diskret, integral garis dihitung menggunakan Simpson gabungan. Pendekatan ini membagi lintasan menjadi interval kecil:

- Simpson 3/8 untuk awal lintasan
  Rumus:

$$\int_{t_0}^{t_3} u(t)dt \approx \frac{3h}{8}[u_0 + 3u_1 + 3u_2 + u_3]$$

  Di mana h adalah jarak antar titik data.

- Simpson 1/3 untuk sisa lintasan
  Rumus:

$$\int_{t_3}^{t_n} u(t)dt \approx \frac{h}{3}[u_3 + 4u_4 + 2u_5 + \cdots + u_n]$$

Di mana h adalah jarak antar titik data.
h = 3 (interval waktu)
u (t) = data kecepatan angin

1. Simpson 3/8 (t = 0-9)
   Rumus:

$$\int_{t_0}^{t_3} u(t)dt \approx \frac{3h}{8}[u_0 + 3u_1 + 3u_2 + u_3]$$

$$subsitusi\ data:$$

$$\frac{3 \cdot 3}{8}[1{,}37 + 3(1{,}18) + 3(0{,}98) + 0]$$

$$= \frac{9}{8}[7{,}85] \approx 8{,}83$$

2. Simpson 1/3 (t = 9-21)
   Rumus:

$$\int_{t_3}^{t_7} u(t)dt \approx \frac{h}{3}[u_3 + 4u_4 + 2u_5 + 4u_6 + u_7]$$

$$subsitusikan:$$

$$1 \cdot [0 + 4(-2{,}95) + 2(-4{,}32) + 4(3{,}61) + 1{,}57] = -4{,}43$$

3. Fluks Total

$$\emptyset = 8{,}83 + (-4{,}43) = 4{,}40$$

   Hasil ini menunjukan fluks positif, artinya arah aliran angina searah lintasan pengukuran.
4. Perhitungan Metode Pembanding dengan Metode Trapesium
   Rumus Metode trapesium untuk data diskret dinyatakan sebagai:

$$\int_{t_0}^{t_n} u(t)dt \approx \frac{h}{2}[u_0 + 2u_1 + 2u_2 + \cdots + 2u_{n-1} + u_n]$$

$$subsitusikan:$$

$$\emptyset = \frac{3}{2}[1{,}37 + 2(1{,}18 + 0{,}98 + 0 - 2{,}95 - 4{,}32 + 3{,}61) + 1{,}57]$$

$$= \frac{3}{2}[1{,}37 - 3 + 1{,}57]$$

$$= -0{,}09$$

Analisis perbandingan perbedaan dengan metode simpson:

Perbedaan hasil ini cukup signifikan:

- Metode Simpson menghasilkan nilai positif (4.40)
- Metode trapesium menghasilkan nilai mendekati nol (-0.09)

Hal ini terjadi karena:

1. Metode Trapesium
- Mengasumsikan perubahan linier
- Tidak mampu menangkap fluktuasi tajam
- Nilai positif dan negatif saling meniadakan

2. Metode Simpson
   - Menggunakan pendekatan polinomial (non-linear)
   - Lebih sensitif terhadap perubahan data
   - Memberikan hasil yang lebih representatif

5. INTERPRETASI FISIK DAN METEOROLOGI

1. Arah aliran: positif → keluar dari lintasan
2. Fenomena yang terjadi: divergensi
   - Udara cenderung menyebar keluar
   - Mengindikasikan area tekanan rendah
   - Potensi terjadinya pergerakan vertikal udara → bisa membentuk awan
3. Hasil trapesium (~0) → seolah tidak ada aliran dominan
4. Hasil Simpson (4.40) → menunjukkan divergensi nyata
   Artinya:
   - Trapesium mengaburkan fenomena fisik
   - Simpson lebih menggambarkan kondisi atmosfer sebenarnya

Nilai fluks yang diperoleh dengan metode Simpson sebesar 4,40 menunjukkan bahwa secara keseluruhan aliran udara cenderung bergerak searah dengan lintasan yang dianalisis. Nilai positif ini mengindikasikan adanya dominasi komponen kecepatan angin ke arah tertentu, yang secara fisik berkaitan dengan fenomena divergensi, yaitu penyebaran massa udara dari suatu wilayah. Kondisi ini dapat mencerminkan adanya dinamika atmosfer yang aktif, terutama karena pada interval waktu 12.00–18.00 terlihat perubahan kecepatan angin yang cukup drastis, dari negatif ke positif, yang menunjukkan adanya perubahan arah dan intensitas aliran udara.

Sebaliknya, metode trapesium menghasilkan nilai fluks sebesar -0,09 yang mendekati nol. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan linier cenderung mereduksi pengaruh fluktuasi data, sehingga perubahan signifikan pada beberapa interval waktu tidak tergambarkan secara optimal. Perbedaan hasil antara kedua metode ini menegaskan bahwa metode Simpson lebih mampu menangkap pola perubahan non-linier pada data kecepatan angin, sehingga memberikan gambaran yang lebih representatif terhadap kondisi aliran udara dibandingkan metode trapesium.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis fluks medan vektor angin menggunakan pendekatan integral garis dengan metode numerik, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Perhitungan fluks medan vektor angin dengan menggunakan metode Simpson

menghasilkan nilai sebesar 4,40, yang menunjukkan bahwa secara keseluruhan aliran udara cenderung bergerak searah dengan lintasan yang dianalisis.

Nilai fluks yang positif mengindikasikan adanya fenomena divergensi, yaitu kondisi di mana massa udara menyebar keluar dari suatu wilayah. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan pergerakan udara ke arah luar yang dapat berpengaruh terhadap dinamika atmosfer.

Perbandingan metode numerik menunjukkan adanya perbedaan hasil yang signifikan. Metode trapesium menghasilkan nilai fluks sebesar -0,09 yang mendekati nol, sedangkan metode Simpson menghasilkan nilai yang lebih besar dan representatif. Hal ini disebabkan karena metode trapesium hanya menggunakan pendekatan linier, sehingga kurang mampu menangkap perubahan data yang bersifat non-linear.

Metode Simpson terbukti lebih efektif dalam merepresentasikan fluktuasi data kecepatan angin, terutama pada interval waktu yang menunjukkan perubahan signifikan, seperti pada rentang waktu 12.00 hingga 18.00.

Secara keseluruhan, pendekatan integral garis yang dikombinasikan dengan metode Simpson dapat digunakan sebagai metode yang cukup akurat dalam menganalisis fluks medan vektor angin berbasis data diskret.

Saran

Berdasarkan hasil dan keterbatasan penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data angin dalam bentuk dua atau tiga dimensi, sehingga analisis fluks dapat dilakukan tidak hanya berdasarkan waktu, tetapi juga mempertimbangkan variasi spasial.
2. Perlu dilakukan pengembangan model dengan memasukkan faktor-faktor meteorologi lain seperti tekanan udara, suhu, dan kelembapan agar hasil analisis lebih mendekati kondisi atmosfer yang sebenarnya.
3. Penggunaan metode numerik lain seperti metode Romberg atau metode Gauss dapat dipertimbangkan sebagai pembanding tambahan untuk meningkatkan validitas hasil perhitungan.
4. Disarankan untuk menggunakan data observasi langsung dari lembaga resmi seperti Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika agar hasil penelitian memiliki tingkat akurasi dan keandalan yang lebih tinggi.
5. Visualisasi data dalam bentuk grafik medan vektor atau peta aliran angin perlu ditambahkan untuk mempermudah interpretasi hasil analisis secara lebih intuitif.

DAFTAR PUSTAKA

Choi, Alice (2018) "MATERI ATMOSFER."

Dummit, E. (2023). Calculus III: Vector calculus. Northeastern University.

Fehribach, J. D. (2020). Multivariable and vector calculus. Walter de Gruyter.

Haryoko, Urip. "Identifikasi Kekuatan dan Kelemahan Komponen Sistem Informasi Iklim (strength And Weakness Identification Of Climate Information Component)." Agromet 22.2 (2016): 246582.

Lilly, J. M., Feske, J., Fox-Kemper, B., & Early, J. (2023). Integral theorems for the gradient of a vector field with applications to fluid dynamics. arXiv preprint arXiv:2309.13157.

Qani, Y. (2022). Newton–Cotes formulas for numerical integration. International Journal of Mathematics and Statistics Studies, 10(2), 52–59.

Sawal, Muhamad. "Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Angin Puting Beliung Tanjung Balai Karimun (Studi Kasus: 14 Mei 2024)." Megasains 15.2 (2024): 38-48.

Siregar, Torang. Matematika dan sains. Goresan Pena, 2025.
Suherly, T., & Shiddiq, M. (2020). Estimasi volume menggunakan metode Simpson. Jurnal Media Informatika Budidarma, 4(3), 535–543.
Vidia, Trimawarti Esti, Yahya Darmawan, and Widodo Widodo. "Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Hujan Lebat dengan Metode Red Green Blue (RGB) dan Cloud Convective Overlays (CCO) di Balikpapan (Studi Kasus 09 Agustus 2024)." Indexia 6.2 (2024): 112-122.