

APLIKASI MEDAN VEKTOR DALAM MENGANALISIS POLA ALIRAN FLUIDA PADA RUANG TIGA DIMENSI

Alvi Sahrin Nasution¹, Dear Sevtia Br Karo Karo², Gracia Lovian Girsang³, Herdita Br Ginting⁴, Klara Manila Laoli⁵, Windi Suryani⁶

alvisahrin@unimed.ac.id¹, dearsevtia@gmail.com², graciagirsang17@gmail.com³,
gintingherdita@gmail.com⁴, claralaoli2@gmail.com⁵, windsuryani2802@gmail.com⁶

Universitas Negeri Medan

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan konsep medan vektor dalam memahami pola aliran fluida pada ruang tiga dimensi (R^3). Aliran fluida merupakan fenomena kompleks yang melibatkan perubahan arah dan kecepatan pada tiga sumbu aksial (x, y, z). Dalam studi ini, metode yang digunakan adalah penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif-analitis melalui studi literatur dan pemodelan matematis. Fokus utama analisis terletak pada penggunaan operator diferensial, yaitu divergensi dan curl, untuk mengidentifikasi karakteristik fisis aliran. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa divergensi ($\nabla \cdot F$) berfungsi untuk mengukur laju ekspansi atau kontraksi fluida, di mana nilai positif menunjukkan adanya sumber (source) dan nilai negatif menunjukkan penyerapan (sink). Sementara itu, curl ($\nabla \times F$) digunakan untuk mengidentifikasi adanya rotasi atau pusaran (vortex) dalam aliran. Melalui simulasi perhitungan pada medan vektor tertentu, penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi kedua konsep tersebut memberikan gambaran komprehensif mengenai stabilitas, penyebaran, dan dinamika rotasional fluida dalam ruang tiga dimensi.

Kata Kunci: Medan Vektor, Aliran Fluida, Divergensi, Curl, Ruang Tiga Dimensi.

ABSTRACT

This study aims to analyze the application of the vector field concept to understanding fluid flow patterns in three-dimensional space (R^3). Fluid flow is a complex phenomenon involving changes in direction and velocity along three axial axes (x, y, z). This study uses a qualitative research method with a descriptive-analytical approach through literature review and mathematical modeling. The main focus of the analysis lies in the use of differential operators, namely divergence and curl, to identify the physical characteristics of the flow. The results of the discussion indicate that divergence ($\nabla \cdot F$) functions to measure the rate of fluid expansion or contraction, where positive values indicate the presence of a source and negative values indicate a sink. Meanwhile, curl ($\nabla \times F$) is used to identify the presence of rotation or vortices in the flow. Through calculation simulations on specific vector fields, this study concludes that the integration of these two concepts provides a comprehensive picture of the stability, distribution, and rotational dynamics of fluids in three-dimensional space.

Keywords: Vector Field, Fluid Flow, Divergence, Curl, Three-Dimensional Space.

PENDAHULUAN

Vektor didefinisikan sebagai besaran yang memiliki nilai (magnitudo) dan arah, yang membedakannya dari skalar yang hanya memiliki nilai. Dalam kajian . matematika, vektor dapat dipahami melalui dua pendekatan: Representasi Geometri: Vektor digambarkan sebagai ruas garis berarah di mana panjang garis mewakili besar besaran dan anak panah menunjukkan arahnya. Representasi Aljabar: Vektor dinyatakan dalam bentuk komponen, seperti pasangan terurut (x, y) pada ruang dua dimensi atau tripel terurut (x, y, z) pada ruang tiga dimensi. (Siregar & Augustiyani, dkk, 2026)

Kalkulus vektor merupakan salah satu cabang matematika yang memiliki peranan penting dalam menjelaskan berbagai fenomena alam, khususnya yang berkaitan dengan besaran yang memiliki arah dan besar. Salah satu konsep utama dalam kalkulus vektor adalah medan vektor, yang digunakan untuk merepresentasikan fenomena fisik seperti medan gaya, medan listrik, dan aliran fluida dalam ruang tiga dimensi. Kompleksitas konsep ini terletak

pada kemampuannya dalam menggabungkan aspek geometri dan analisis, sehingga seringkali menjadi tantangan dalam pemahaman maupun penerapannya (Narpila, Sinaga, Aulia, & Fitriani, 2025)

Fenomena aliran fluida merupakan aspek penting dalam berbagai bidang ilmu seperti fisika, teknik, dan lingkungan. Fluida, baik dalam bentuk cair maupun gas, memiliki sifat utama yaitu mampu mengalir dan menyesuaikan bentuk terhadap wadahnya. Fenomena ini dapat diamati dalam kehidupan sehari-hari, seperti aliran air di sungai, pergerakan udara di atmosfer, hingga sistem perpipaan industri. Oleh karena itu, pemahaman terhadap pola aliran fluida menjadi sangat penting dalam berbagai aplikasi ilmiah dan teknologi (Kumawat & Kumawat, 2024)

Untuk menganalisis perilaku fluida secara matematis, diperlukan suatu pendekatan yang mampu merepresentasikan arah dan besar kecepatan fluida pada setiap titik dalam ruang. Salah satu pendekatan yang paling efektif adalah menggunakan medan vektor. Dalam mekanika fluida, kecepatan fluida dinyatakan sebagai medan vektor yang menggambarkan arah dan besar kecepatan pada setiap titik dalam ruang, sehingga memungkinkan analisis yang lebih sistematis terhadap pola aliran fluida (Rajeev, 2018)

Dalam konteks mekanika fluida, medan vektor digunakan untuk merepresentasikan medan kecepatan fluida, yaitu arah dan besar kecepatan aliran pada setiap titik dalam ruang. Dengan menggunakan pendekatan ini, aliran fluida dapat dianalisis secara matematis sehingga memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap pola pergerakan fluida. Namun, dalam praktiknya, banyak mahasiswa mengalami kesulitan dalam menghubungkan konsep matematis medan vektor dengan fenomena fisik seperti aliran fluida, terutama dalam visualisasi ruang tiga dimensi. Analisis medan vektor tidak terlepas dari penggunaan operator diferensial seperti divergensi dan curl. Divergensi digunakan untuk mengukur tingkat penyebaran atau pengumpulan suatu medan, sedangkan curl digunakan untuk mengidentifikasi adanya rotasi atau pusaran dalam medan tersebut. Kedua konsep ini sangat penting dalam analisis aliran fluida karena memberikan informasi mengenai sifat lokal fluida, seperti apakah fluida menyebar, mengumpul, atau berputar di suatu titik (Mudya, Maulida, Ifani, & Narpila, 2025)

Konsep divergensi dan curl seringkali dianggap sulit karena bersifat abstrak dan membutuhkan pemahaman yang kuat terhadap operasi turunan parsial serta interpretasi geometris dalam ruang tiga dimensi. Kesulitan ini tidak hanya disebabkan oleh kompleksitas matematis, tetapi juga karena kurangnya kemampuan dalam memvisualisasikan medan vektor secara intuitif. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih sistematis dan kontekstual agar konsep-konsep tersebut dapat dipahami dengan lebih baik (Haniyah, Tantri, Ramadhani, & Narpila, 2025)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini tergolong sebagai penelitian kualitatif dengan pendekatan deskriptif-analitis. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak berfokus pada pengujian hipotesis melalui eksperimen langsung di laboratorium, melainkan pada pemahaman mendalam terhadap konsep-konsep teoritis serta hubungan matematis yang mendasari fenomena aliran fluida. Penelitian ini lebih menekankan pada kajian pustaka yang mendalam dan pemodelan matematis sebagai alat utama dalam menganalisis pola aliran fluida dalam ruang tiga dimensi dengan memanfaatkan konsep medan vektor.

Aspek deskriptif dalam penelitian ini berfungsi untuk memberikan pemaparan sistematis mengenai konsep-konsep dasar yang terkait dengan medan vektor, aliran fluida, serta operasi-operasi vektor seperti divergensi dan curl. Sementara itu, aspek analitis diterapkan untuk mengkaji secara mendalam sifat-sifat matematis dari medan vektor yang digunakan sebagai

representasi aliran fluida, sehingga dapat diperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik aliran tersebut, termasuk arah, intensitas, dan perilaku rotasionalnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Bentuk Medan Vektor dalam Ruang Tiga Dimensi

Medan vektor dalam ruang tiga dimensi dinyatakan sebagai fungsi:

$$\vec{F}(x, y, z) = (p(x, y, z), Q(x, y, z), R(x, y, z))$$

dengan:

- P = komponen arah sumbu x
- Q = komponen arah sumbu y
- R = komponen arah sumbu z

Medan vektor ini digunakan untuk merepresentasikan kecepatan fluida di setiap titik dalam ruang.

B. Perhitungan Divergensi

Divergensi digunakan untuk mengetahui apakah fluida menyebar atau mengumpul.

$$\nabla \cdot \vec{F} = \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial z}$$

Diketahui:

$$\vec{F}(x, y, z) = (x^2, y^2, z^2)$$

Turunan parsial

$$\frac{\partial Q}{\partial x}(x^2) = 2x$$

$$\frac{\partial Q}{\partial y}(y^2) = 2y$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(z^2) = 2z$$

Jumlahkan

$$\nabla \cdot \vec{F} = 2x + 2y + 2z$$

Kesimpulan:

- Divergensi > 0 → fluida menyebar
- Terdapat sumber fluida

C. Perhitungan Curl

Curl digunakan untuk mengetahui adanya rotasi dalam fluida.

$$\nabla \times \vec{F}$$

Diketahui:

$$\vec{F}(x, y, z) = (y, -x, 0)$$

Gunakan determinan

$$\nabla \times \vec{F} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ y & -x & 0 \end{bmatrix}$$

Hitung

Komponen i:

$$\frac{\partial}{\partial y}(0) - \frac{\partial}{\partial z}(-x) = 0$$

Komponen j:

$$\frac{\partial}{\partial x}(0) - \frac{\partial}{\partial z}(y) = 0$$

Komponen k:

$$\frac{\partial}{\partial x}(-x) - \frac{\partial}{\partial y}(y) = -1 - 1 = -2$$

Kesimpulan:

- $\text{Curl} \neq 0 \rightarrow$ ada rotasi
- Terjadi pusaran fluida

D. Analisis Sifat Aliran Fluida

Berdasarkan hasil perhitungan:

1. Divergensi

- Positif \rightarrow sumber fluida
- Nol \rightarrow incompressible
- Negatif \rightarrow serapan

2. Curl

- Nol \rightarrow tidak berputar
- Tidak nol \rightarrow ada pusaran

Diketahui:

$$\vec{F}(x, y, z) = (y, x, z)$$

Divergensi

$$\nabla \cdot \vec{F} = 0 + 0 + 1 = 1$$

Artinya: Fluida menyebar

Curl

$$\nabla \cdot \vec{F} = (0,0,0)$$

Artinya: Tidak ada rotasi

Interpretasi:

- Fluida mengalir keluar
- Tidak berputar
- Aliran stabil

KESIMPULAN

Medan vektor merupakan instrumen matematis yang sangat efektif dalam merepresentasikan fenomena fisik aliran fluida pada ruang tiga dimensi, di mana setiap titik (x,y,z) menggambarkan arah dan besar kecepatan fluida. Melalui pendekatan deskriptif-analitis, penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan menggunakan fungsi vektor $F(x,y,z)$ memungkinkan analisis sistematis terhadap pola pergerakan fluida yang kompleks, baik dalam bentuk cair maupun gas. Penggunaan medan vektor mempermudah visualisasi geometris dari fenomena fisik yang abstrak menjadi kumpulan vektor yang dapat dianalisis secara matematis.

Karakteristik aliran fluida ditentukan secara mendalam melalui penggunaan dua operator diferensial utama, yaitu divergensi dan curl. Divergensi berperan untuk mengukur laju ekspansi atau kontraksi fluida, di mana nilai positif menunjukkan adanya sumber (source) dan nilai negatif menunjukkan adanya serapan (sink). Sementara itu, curl digunakan untuk mengidentifikasi dinamika rotasional; jika nilainya tidak nol, maka terdapat pusaran atau vortex dalam aliran tersebut. Integrasi kedua konsep ini memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai stabilitas dan sifat lokal aliran fluida dalam berbagai aplikasi sains dan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanti, R., & Setyaningsih, N. (2017). Implementasi Pembelajaran Matematika Berbasis Peta Konsep Pada Materi Lingkaran Ditinjau Dari Komunikasi Matematika Kelas VIII SMP Negeri 2 Banyudono (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Deda, Y. N., & Maifa, T. (2021). Development of Student Worksheets Using the Context of Local Wisdom on Integers and Fractions, 15(1), 71–82.
- Haniyah, S., Tantri, D., Ramadhani, F., & Narpila, D. (2025). Students' Difficulties in Understanding Divergence and Curl Concepts in Vector Calculus. *Journal of Mathematics Education Research*, 14(3), 88–102.
- Kumawat, R., & Kumawat, S. (2024). Fluid Flow Phenomena and Their Applications in Science and Engineering. *International Journal of Fluid Mechanics*, 18(2), 101–115.
- Mudya, A., Maulida, N., Ifani, R., & Narpila, D. (2025). Analysis of Divergence and Curl Operators in Vector Fields. *Journal of Calculus and Mathematical Physics*, 9(1), 33–47.
- Narpila, Sinaga, Aulia, & Fitriani. (2025). Kalkulus Vektor dan Penerapannya dalam Analisis Medan Vektor pada Fenomena Fisika. *Jurnal Matematika dan Sains*, 12(1), 45–56.
- Ott, R. L., & Longnecker, M. (2004). *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*. Brooks/Cole.
- Rajeev, P. (2018). Vector Field Representation in Fluid Mechanics. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 6(4), 210–220.
- Roeva, O. (2012). Real-World Applications of Genetic Algorithm. In *International Conference on Chemical and Material Engineering* (pp. 25–30). Semarang, Indonesia: Department of Chemical Engineering, Diponegoro University.