



Analisis Kesulitan Belajar Mahasiswa Dalam Mempelajari Materi Kebebasan Lintasan Pada Mata Kuliah Kalkulus Vektor

Analysis of Students' Learning Difficulties in Studying the Material on Freedom of Trajectories in the Vector Calculus Course

Suci Dahlya Narpila¹, Firis Nur Sakinah², Imelda³, Hairawani Karunia⁴

Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

Email: sucidahlyanarpila@uinsu.ac.id

Article Info

Article history :

Received : 17-06-2025

Revised : 18-06-2025

Accepted : 20-06-2025

Published : 22-06-2025

Abstract

This study aims to analyze the learning difficulties experienced by university students in understanding the concept of path independence in the Vector Calculus course. This topic is considered complex due to its demand for deep comprehension of line integrals and the conservative nature of vector fields. A qualitative approach was employed, with data collected through in-depth interviews and analysis of students' problem-solving responses. The findings reveal that students primarily struggle with theoretical understanding of path independence, the connection between line integrals and conservative fields, and procedural errors in solving related problems. Additionally, a lack of mastery in prerequisite mathematical concepts such as partial derivatives and gradient fields further contributes to their difficulties. These results are expected to inform educators in designing more effective and contextualized teaching strategies.

Keywords: *learning difficulties, vector calculus, path independence*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesulitan belajar yang dialami mahasiswa dalam memahami konsep kebebasan lintasan pada mata kuliah Kalkulus Vektor. Materi ini dikenal memiliki tingkat kompleksitas tinggi karena menuntut pemahaman mendalam terhadap konsep integral garis dan sifat konservatif suatu medan vektor. Pendekatan kualitatif digunakan dalam penelitian ini, dengan pengumpulan data melalui wawancara mendalam dan analisis terhadap penyelesaian soal oleh beberapa narasumber yang merupakan mahasiswa aktif pada program studi pendidikan matematika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesulitan utama mahasiswa terletak pada pemahaman konsep teoritis kebebasan lintasan, keterkaitan antara integral garis dan medan konservatif, serta kesalahan prosedural dalam menyelesaikan soal. Selain itu, ditemukan pula bahwa kurangnya penguasaan prasyarat matematika seperti turunan parsial dan medan gradien turut memperkuat hambatan dalam pembelajaran. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi dosen dalam merancang strategi pembelajaran yang lebih efektif dan kontekstual.

Kata kunci: kesulitan belajar, kalkulus vektor, kebebasan lintasan

PENDAHULUAN

Kalkulus merupakan salah satu mata kuliah fundamental dalam kurikulum pendidikan matematika di perguruan tinggi. Mata kuliah ini mencakup berbagai konsep penting seperti limit, turunan, integral, hingga analisis vektor, yang menjadi fondasi bagi pemahaman materi lanjutan lainnya, seperti analisis real, persamaan diferensial, dan fisika matematis. Salah satu bagian penting dalam kalkulus lanjutan adalah materi kebebasan lintasan (path independence), yang berhubungan



erat dengan integral garis dan medan vektor konservatif. Materi ini sangat penting dalam konteks kalkulus vektor karena tidak hanya menguji kemampuan analitis mahasiswa, tetapi juga pemahaman konseptual mendalam terhadap struktur medan vektor dan penerapan teorema-teorema dalam ruang tiga dimensi (Neldiana & Harisman, 2025)

Walaupun bersifat esensial, pembelajaran kalkulus seringkali menjadi sumber kesulitan bagi mahasiswa. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa mata kuliah kalkulus termasuk salah satu yang paling menantang dan menyebabkan tingkat kegagalan yang tinggi di kalangan mahasiswa. Berdasarkan temuan (Kertiyan, 2022), kesulitan mahasiswa dalam kalkulus tidak hanya berasal dari kompleksitas materi, tetapi juga dari kurangnya keterlibatan aktif dalam proses pembelajaran seperti latihan soal dan review materi. Hal ini diperparah oleh kurangnya variasi soal yang diberikan dosen dan kesulitan mahasiswa dalam memilih teorema yang tepat saat menyelesaikan masalah matematis.

Penelitian (Takaendengan et al., 2022) juga menemukan bahwa mahasiswa pendidikan matematika mengalami kesulitan signifikan dalam memahami materi kalkulus lanjutan. Mereka mengidentifikasi beberapa penyebab utama, seperti rendahnya kemampuan awal (prior knowledge), sifat materi yang sangat abstrak, dan pelaksanaan pembelajaran daring yang belum maksimal. Menurut (MUTAKIN, 2019) ketika konsep-konsep dasar seperti gradien, medan konservatif, dan integral garis tidak dipahami secara baik, maka pemahaman terhadap konsep kebebasan lintasan menjadi sangat terbatas. Akibatnya, mahasiswa kesulitan dalam menarik kesimpulan tentang apakah suatu medan vektor bersifat konservatif, serta dalam membuktikan teorema terkait kebebasan lintasan secara logis dan matematis.

Selain itu, literatur lain menegaskan bahwa kesulitan belajar dalam kalkulus juga berakar dari sikap dan keyakinan mahasiswa terhadap matematika. (Salsabila et al., 2024) dalam studi literatur mereka menunjukkan bahwa kecemasan terhadap matematika (math anxiety), kurangnya motivasi, serta rendahnya pemahaman konsep-konsep dasar matematika menjadi penyebab utama kesulitan belajar di kalangan mahasiswa pendidikan matematika. Hal ini menunjukkan bahwa hambatan belajar kalkulus bukan semata-mata bersifat kognitif, melainkan juga afektif dan metakognitif.

Menurut (Sumargiyani & Nafiah, 2020), mahasiswa yang tidak menguasai konsep dasar seperti turunan dan limit pada kalkulus diferensial, cenderung mengalami kesulitan dalam memahami kalkulus integral maupun kalkulus vektor. Dalam konteks ini, jika mahasiswa hanya mengandalkan hafalan rumus tanpa memahami struktur konseptualnya, maka mereka akan mengalami kebingungan ketika dihadapkan pada soal-soal yang membutuhkan pemahaman lintasan, konservatifitas medan, dan keterkaitan antara integral garis dengan gradien vektor.

Mengingat bahwa konsep kebebasan lintasan merupakan bagian penting dalam memahami apakah suatu integral garis hanya bergantung pada titik awal dan akhir lintasan, pemahaman yang lemah terhadap konsep ini akan mengakibatkan kegagalan dalam menyelesaikan persoalan integral garis yang lebih kompleks. Sayangnya, belum banyak penelitian yang secara khusus mengangkat kesulitan belajar mahasiswa pada aspek ini. Sebagian besar studi hanya mengelompokkan kesulitan



mahasiswa secara umum dalam mata kuliah kalkulus, tanpa menggali secara mendalam pada topik-topik tertentu seperti kebebasan lintasan.

Berangkat dari latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis secara mendalam kesulitan belajar mahasiswa dalam mempelajari materi kebebasan lintasan pada mata kuliah Kalkulus Vektor. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan sumber data utama berupa wawancara dan penyelesaian soal oleh narasumber yang merupakan mahasiswa pendidikan matematika. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi bentuk-bentuk kesulitan baik yang bersifat konseptual, prosedural, maupun representasional yang dialami mahasiswa, serta untuk merumuskan saran pembelajaran yang lebih efektif dan kontekstual dalam mengajarkan konsep kebebasan lintasan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perbaikan proses pembelajaran kalkulus di tingkat perguruan tinggi, terutama dalam konteks pendidikan calon guru matematika.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, dengan tujuan untuk menggali secara mendalam kesulitan belajar mahasiswa dalam memahami konsep kebebasan lintasan pada mata kuliah Kalkulus Vektor. Subjek penelitian terdiri atas tiga orang mahasiswa Program Studi Pendidikan Matematika di Universitas Islam Negeri Sumatera Utara yang telah memperoleh materi kebebasan lintasan dalam perkuliahan.

Pengumpulan data dilakukan melalui dua teknik utama, yaitu:

1. Wawancara mendalam (in-depth interview):

Wawancara semi-terstruktur dilakukan untuk mengetahui pemahaman konseptual mahasiswa, hambatan yang mereka alami, serta strategi yang mereka gunakan dalam menyelesaikan soal-soal terkait kebebasan lintasan.

2. Analisis dokumen jawaban mahasiswa:

Mahasiswa diminta untuk menyelesaikan beberapa soal yang telah dirancang oleh peneliti dan divalidasi oleh dosen ahli. Jawaban mahasiswa kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi kesalahan konseptual, prosedural, dan representasional yang sering terjadi.

Analisis data dilakukan dengan teknik reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Validitas data dijaga dengan menggunakan teknik triangulasi sumber (hasil wawancara dan hasil penyelesaian soal) serta member checking kepada partisipan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Materi kebebasan lintasan merupakan salah satu topik penting dalam kalkulus vektor yang berkaitan erat dengan konsep medan konservatif dan integral garis. Mahasiswa dituntut untuk memahami bahwa dalam medan konservatif, hasil integral garis tidak bergantung pada lintasan yang diambil, melainkan hanya bergantung pada titik awal dan titik akhir. Namun, hasil wawancara menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami hubungan antara medan vektor konservatif dengan sifat kebebasan lintasan, serta mengalami kebingungan dalam menerapkan konsep tersebut dalam penyelesaian soal.



Berikut ini adalah hasil wawancara terhadap ketiga narasumber, yang bertujuan untuk menunjukkan secara lebih rinci bentuk-bentuk kesulitan belajar yang dialami mahasiswa. Tabel ini memuat pertanyaan peneliti dan tanggapan narasumber berdasarkan pengalaman dan pemahaman mereka terhadap materi kebebasan lintasan.

Pertanyaan Peneliti	Jawaban Narasumber
Narasumber Pertama (Subjek A)	
Menurut Anda, apa yang membuat materi ini sulit dipahami?	Sulitnya tuh dari yang aku pahami kalok integral garisnya bisa sama meskipun lewat jalur yang berbeda, itupun bisa kalok medannya konservatif, jadi sulitnya tuh ketika memahami gimana bisa medannya tuh konservatif, terus juga materi kebebasan lintasan tuh banyak mengaitkan beberapa materi yang lain juga.
Menurut Anda, apakah materi ini lebih sulit dibandingkan materi lain dalam Kalkulus Vektor?	Tidak, karena masih ada materi yang lebih sulit dipahami daripada materi ini.
Apa bagian dari materi kebebasan lintasan ini yang paling membingungkan bagi Anda?	Bingungnya tuh di bagian materi teorema kebebasan lintasan, kalau di buku halaman 115, itukan ada dikurang integral $-c_2$, kenapa jadi dikurang $-c_2$, padahal di atas nya itu ditambah integral c_2 , masih bingung disitu. Yang lainnya paham.
Narasumber Kedua (Subjek B)	
Menurut Anda, apa yang membuat materi ini sulit dipahami?	Menurut saya, materi pada bab IV tentang Kebebasan Lintasan sulit dipahami karena melibatkan banyak konsep baru secara bersamaan, seperti medan vektor konservatif, integral garis, dan syarat kebebasan lintasan. Selain itu, sulit juga memahami hubungan antara turunan parsial dan kondisi konservatif. Proses pembuktiannya juga seringkali panjang dan membutuhkan ketelitian dalam perhitungan.
Menurut Anda, apakah materi ini lebih sulit dibandingkan materi lain dalam Kalkulus Vektor?	Menurut saya, ya, materi tentang Kebebasan Lintasan terasa lebih sulit dibandingkan materi lain dalam Kalkulus Vektor. Hal ini karena konsepnya lebih abstrak dan menuntut pemahaman ruang tiga dimensi serta keterkaitan antara medan dan lintasan. Dibandingkan dengan materi seperti gradien atau divergensi yang lebih langsung, materi ini memerlukan penalaran lebih dalam dan pemahaman terhadap sifat medan secara keseluruhan.
Apa bagian dari materi kebebasan lintasan ini yang paling membingungkan bagi Anda?	Menurut saya, bagian yang paling membingungkan adalah ketika harus menentukan apakah suatu medan vektor konservatif atau tidak. Terutama saat memeriksa kondisi atau saat mencari fungsi potensial dari medan vektor. Kadang juga sulit memahami makna fisik dari "bebas lintasan" dan bagaimana itu diterapkan dalam integral garis.
Narasumber Ketiga (Subjek C)	
Menurut Anda, apa yang membuat materi ini sulit dipahami?	Narasumber Ketiga (Subjek C) tidak menemukan kesulitan dalam memahami materi kebebasan lintasan.
Menurut Anda, apakah materi ini lebih sulit dibandingkan materi lain dalam Kalkulus Vektor?	
Apa bagian dari materi kebebasan lintasan ini yang paling membingungkan bagi Anda?	

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan terhadap tiga orang narasumber mahasiswa program studi pendidikan matematika yang telah mempelajari materi kebebasan lintasan pada mata kuliah Kalkulus Vektor, ditemukan beberapa poin penting yang mencerminkan adanya kesulitan belajar dalam memahami konsep tersebut. Narasumber pertama (Subjek A) menyampaikan bahwa



salah satu tantangan terbesar dalam memahami kebebasan lintasan adalah pada saat menghubungkan konsep integral garis dengan medan vektor konservatif. Mahasiswa ini merasa kesulitan untuk memahami bagaimana suatu medan dikatakan konservatif dan bagaimana hal itu berkaitan dengan konsep kebebasan lintasan, terlebih saat jalur yang berbeda memberikan hasil integral yang sama. Subjek A juga menunjukkan kebingungan terhadap bentuk notasi dan operasi simbolik, khususnya dalam penerapan teorema kebebasan lintasan pada soal-soal berbasis integral garis. Misalnya, ketika dihadapkan pada pengurangan atau penambahan konstanta seperti c_2 , ia kesulitan menjelaskan makna dan posisi konstanta tersebut dalam konteks integral garis, yang pada akhirnya menunjukkan bahwa kendala konseptual dan teknis terjadi secara bersamaan.

Narasumber kedua (Subjek B) juga mengungkapkan bahwa topik kebebasan lintasan terasa sulit karena memuat banyak konsep turunan yang saling berkaitan. Ia menyebutkan bahwa materi ini menuntut pemahaman terhadap medan vektor konservatif, integral garis, dan syarat kebebasan lintasan secara bersamaan. Kesulitan utama bagi Subjek B adalah dalam menentukan apakah suatu medan bersifat konservatif atau tidak, yang menurutnya memerlukan keterampilan analisis terhadap turunan parsial dan identifikasi potensi skalar dari medan vektor. Hal ini diperparah dengan panjangnya proses pembuktian dan pentingnya ketelitian dalam penerapannya. Ia juga menyoroti kebingungan dalam memahami makna frasa “bebas lintasan” secara konseptual, serta kesulitan menerapkannya dalam integral garis, terutama ketika tidak ada petunjuk eksplisit dalam soal. Temuan dari Subjek B ini menunjukkan adanya kesenjangan antara pemahaman teori dengan aplikasi matematis, yang menghambat mahasiswa dalam menyelesaikan soal atau menafsirkan sifat medan vektor secara benar.

Berbeda dengan dua subjek sebelumnya, Narasumber ketiga (Subjek C) menyatakan bahwa ia tidak mengalami kesulitan berarti dalam mempelajari materi kebebasan lintasan. Ia merasa mampu memahami materi tersebut dengan baik dan tidak menemukan bagian tertentu yang membingungkan. Meskipun demikian, keberadaan Subjek C sebagai minoritas dalam temuan ini justru memperkuat dugaan bahwa tingkat pemahaman mahasiswa terhadap kebebasan lintasan sangat bervariasi, tergantung pada latar belakang konsep yang telah dikuasai sebelumnya serta gaya belajar masing-masing.

Secara keseluruhan, wawancara ini menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan konsep-konsep penting dalam kalkulus vektor, khususnya dalam hal memahami medan konservatif, membedakan jalur lintasan, serta mengaplikasikan teorema kebebasan lintasan secara tepat. Temuan ini menegaskan perlunya strategi pengajaran yang lebih eksplisit, kontekstual, dan terstruktur untuk membantu mahasiswa membangun pemahaman konseptual yang kokoh terhadap materi ini.

Selain melalui wawancara, penelitian ini juga menggunakan analisis penyelesaian soal sebagai instrumen tambahan untuk mengidentifikasi lebih lanjut kesulitan belajar mahasiswa dalam memahami materi kebebasan lintasan. Mahasiswa diberikan sejumlah soal terstruktur yang dirancang secara khusus untuk mengukur kemampuan mereka dalam mengaplikasikan konsep-konsep utama seperti integral garis, medan vektor konservatif, dan sifat kebebasan lintasan. Soal



yang digunakan disusun oleh peneliti berdasarkan capaian pembelajaran kalkulus vektor dan telah divalidasi secara konseptual oleh dosen ahli.

Tujuan dari pemberian soal ini adalah untuk melihat secara langsung bagaimana mahasiswa menyusun langkah-langkah penyelesaian, mengenali medan konservatif, dan menerapkan teorema kebebasan lintasan dalam konteks integral garis. Proses ini penting untuk menangkap bentuk-bentuk kesalahan yang mungkin tidak terungkap dalam wawancara, seperti kesalahan dalam simbolisasi, kesalahan konseptual dalam menghubungkan antara gradien dan integral, atau prosedur teknis yang tidak tepat. Dalam tahap ini, peneliti juga menyusun kunci jawaban dan pembahasan sebagai acuan dalam menganalisis dan menginterpretasikan jawaban mahasiswa.

Berikut adalah tabel berisi daftar soal beserta jawaban model dari peneliti, yang berfungsi sebagai dasar pembandingan untuk mengevaluasi tingkat pemahaman dan bentuk kesalahan dari jawaban yang diberikan oleh para narasumber mahasiswa.

No	Soal dan Penyelesaian
1	Buktikan apakah fungsi berikut ini merupakan medan vektor konservatif atau tidak! $F = (8x - 3y) + (5y + 7x) + (xyz)$ Penyelesaian: Misal $P = 8x - 3y$, $Q = 5y + 7x$ dan $R = xyz$ Maka, $\frac{\partial P}{\partial y} = 8x$, $\frac{\partial Q}{\partial x} = 5y$, dan $\frac{\partial R}{\partial z} = yz$ $\frac{\partial P}{\partial y} \neq \frac{\partial Q}{\partial x}, \quad \frac{\partial P}{\partial z} \neq \frac{\partial R}{\partial x}, \quad \frac{\partial Q}{\partial z} \neq \frac{\partial R}{\partial y}$ Jadi, fungsi F tidak konservatif.
2	Buktikan bahwa integral garis yang diberikan bebas lintasan! $\int_{(0,0,0)}^{(1,1,1)} (6xy^3 + 2z^2)dx + (9x^2y^2)dy + (4xz + 1)dz$ Penyelesaian: $F = (6xy^3 + 2z^2)i + (9x^2y^2)j + (4xz + 1)k$ $f_x = 6xy^3 + 2z^2 \dots (1)$ $f_y = 9x^2y^2 \dots (2)$ $f_z = 4xz + 1 \dots (3)$ Integralkan persamaan (1) terhadap x $f(x, y, z) = 3x^2y^3 + 2xz^2 + g(y, z) \dots (4)$ Turunkan persamaan (4) terhadap y dan z $\frac{\partial f}{\partial y} = 9x^2y^2 + g'(y) \dots (5) \quad \frac{\partial f}{\partial z} = 4xz + g'(z) \dots (6)$ Bandungkan persamaan (2) dan (5) $9x^2y^2 + g'(y) = 9x^2y^2$ $g'(y) = 0$ $g(y) = c$ Bandungkan persamaan (3) dan (6) $4xz + g'(z) = 4xz + 1$ $g'(z) = 1$ $g(z) = z + c$ $f(x, y, z) = 3x^2y^3 + 2xz^2 + z + c$ $\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial z} \right) = (6xy^3 + 2z^2), (9x^2y^2), (4xz + 1)$ $\int F \cdot dr = f(1,1,1) - f(0,0,0) = (3(1)^2(1)^3 + 2(1)(1)^2 + 1) - (0) = 6 - 0 = 6$ Integral garis ini bebas lintasan, terbukti dengan teorema dasar integral garis dan nilai $\nabla f = F$



Analisis pemahaman dan identifikasi kesalahan Mahasiswa dalam mengerjakan soal pada materi Kebebasan Lintasan di mata kuliah Kalkulus Vektor.

Bagian ini akan membahas secara jelas berbagai kesalahan yang sering dilakukan mahasiswa saat mengerjakan soal-soal tentang kebebasan lintasan, terutama yang berkaitan dengan teorema dasar kebebasan lintasan dan teorema rotasi dalam materi Kalkulus Vektor. Kesalahan-kesalahan ini ditemukan dengan cara menganalisis jawaban tertulis mahasiswa yang berbentuk soal pemahaman. Selain itu, dilakukan juga wawancara semi terbuka setelah mereka mengerjakan soal, untuk mengetahui lebih dalam bagaimana mereka memahami soal, bagaimana mereka memikirkan langkah-langkah penyelesaiannya, dan apa saja yang menyebabkan mereka melakukan kesalahan. Lewat pendekatan ini, diharapkan bisa tergambar lebih lengkap pola-pola kesalahan yang terjadi, baik yang berkaitan dengan pemahaman konsep, langkah-langkah pengerjaan, maupun hitungan teknis.

Berikut adalah pembahasan tentang hasil jawaban para narasumber Mahasiswa dari soal yang diberikan peneliti:

Subjek A

4.) $\vec{F}(x, y, z) = (2x - 3y)\vec{j} + (5y + 3z)\vec{k} + 4xz\vec{i}$
 Penyelesaian:
 Misalkan:
 $A = 2x - 3y$
 $B = 5y + 3z$
 $C = 4xz$
 $\nabla \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A & B & C \end{vmatrix}$
 $= \left(\frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial B}{\partial z} \right) \vec{i} - \left(\frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial z} \right) \vec{j} + \left(\frac{\partial B}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial y} \right) \vec{k}$
 $= (4 - 3) \vec{i} - (4 - 0) \vec{j} + (5 - (-3)) \vec{k}$
 $= 1 \vec{i} - 4 \vec{j} + 8 \vec{k} \neq 0$
 Karena $\nabla \times \vec{F} \neq 0$, maka bukan medan konservatif.

5.) $\int_C (6xy^2 + 2z^2) dx + (9x^2y) dy + (4xz + 1) dz$
 Batas dan titik $A = (0, 0, 0)$ ke $B = (1, 1, 1)$
 Penyelesaian:
 Misalkan:
 $P = 6xy^2 + 2z^2$
 $Q = 9x^2y$
 $R = 4xz + 1$

$\frac{\partial P}{\partial y} = 12xy$ $\frac{\partial R}{\partial x} = 4z$
 $\frac{\partial Q}{\partial x} = 18xy$ $\frac{\partial Q}{\partial z} = 0$
 $\frac{\partial P}{\partial z} = 4z$ $\frac{\partial R}{\partial y} = 0$
 Karena semua pasangan turunan silang sama,
 maka $\vec{F}$ adalah medan konservatif, integral
 garisnya bebas lintasan.

Gambar 1: jawaban subjek A untuk soal di tabel 1



1. Untuk hasil jawaban dari narasumber sudah benar fungsi F tidak konservatif, namun pada penyelesaian narasumber menggunakan rumus yang tidak sesuai untuk membuktikan teorema rotasi, narasumber melakukan penyelesaian dengan menggunakan rumus Curl. Dengan demikian terjadi kekeliruan pada penyelesaian soal tersebut serta kurangnya pemahaman dari narasumber yang membuat hasil jawaban tidak sesuai dengan konteks materi.
2. Untuk hasil jawabannya sudah benar integral garisnya bebas lintasan, namun dalam penyelesaian soal, narasumber tidak sesuai dalam menggunakan rumus untuk mencari jawabannya. Kesalahan utama terletak pada pemahaman narasumber tentang langkah-langkah dalam menyelesaikan soal tersebut. Narasumber tidak menggunakan langkah penyelesaian dengan menggunakan teorema dasar kebebasan lintasan, tetapi narasumber menggunakan langkah penyelesaian dengan menggunakan teorema rotasi. Dengan adanya kekeliruan dalam membaca soal dan juga kurangnya pemahaman narasumber dalam materi yang di gunakan membuat hasil jawaban tidak sesuai.

Subjek B

$$F(x,y,z) = (x^2 + y^2 + z^2) \mathbf{i} + (x^2 + y^2 + z^2) \mathbf{j} + (x^2 + y^2 + z^2) \mathbf{k}$$

$$\text{curl } F = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ x^2 + y^2 + z^2 & x^2 + y^2 + z^2 & x^2 + y^2 + z^2 \end{vmatrix}$$

$$= (2z - 2z) \mathbf{i} - (2x - 2x) \mathbf{j} + (2y - 2y) \mathbf{k} = \mathbf{0}$$

Jadi karena $\text{curl } F = \mathbf{0}$ maka lintasan bebas lintasan.

$$\int_C F \cdot d\mathbf{r} = \int_C (x^2 + y^2 + z^2) dx + (x^2 + y^2 + z^2) dy + (x^2 + y^2 + z^2) dz$$

$$\text{dik } A(0,0,0) \text{ ke } B(1,1,1)$$

misal misalkan

$$x = t, y = t, z = t$$

$$dx = dt, dy = dt, dz = dt$$

$$\frac{3t^2}{2} = \frac{1^3 - 0^3}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{3t^2}{2} = \frac{10^3 - 0^3}{2}$$

$$\frac{3t^2}{2} = \frac{1}{2}$$

Karena syarat persamaan lintasan sama maka $\mathbf{r}$ adalah lintasan integral

Gambar 2: jawaban subjek B untuk soal di tabel 1

1. Sama seperti narasumber pertama, narasumber kedua juga sudah benar fungsi F tidak konservatif, pada penyelesaian juga narasumber menggunakan rumus curl bukan rumus pada Teorema rotasi. Dengan demikian terjadi kekeliruan pada penyelesaian soal tersebut serta kurangnya pemahaman dari narasumber yang membuat hasil jawaban tidak sesuai dengan konteks materi.
2. Seperti halnya narasumber pertama, narasumber kedua juga mengalami kesulitan dalam pemahaman materi. Untuk hasil jawabannya sudah benar integral garisnya bebas lintasan, namun dalam penyelesaian soal, narasumber tidak sesuai dalam menggunakan rumus untuk mencari jawabannya. Kesalahan utama terletak pada pemahaman narasumber tentang langkah-langkah dalam menyelesaikan soal tersebut. Narasumber tidak menggunakan langkah penyelesaian dengan menggunakan teorema dasar kebebasan lintasan, tetapi narasumber menggunakan langkah penyelesaian dengan menggunakan teorema rotasi. Dengan adanya



kekeliruan dalam membaca soal dan juga kurangnya pemahaman narasumber dalam materi yang di gunakan membuat hasil jawaban tidak sesuai.

Subjek C

1. Buktikan apakah fungsi ini merupakan medan Vektor konservatif atau bukan
 $F = (6x-3y) + (5y+7x) + xz$
 $P = 6x-3y$
 $Q = 5y+7x$
 $R = xz$
 $\frac{\partial P}{\partial y} = -3$ $\frac{\partial Q}{\partial x} = 7$
 $\frac{\partial P}{\partial z} = 0$ $\frac{\partial R}{\partial x} = z$
 $\frac{\partial Q}{\partial z} = 0$ $\frac{\partial R}{\partial y} = 0$
 $\frac{\partial P}{\partial z} \neq \frac{\partial R}{\partial x}$ $\frac{\partial Q}{\partial z} \neq \frac{\partial R}{\partial y}$
 Signifikat konservatif
 $\frac{\partial P}{\partial y} \neq \frac{\partial Q}{\partial x}$ $\frac{\partial P}{\partial z} \neq \frac{\partial R}{\partial x}$ $\frac{\partial Q}{\partial z} \neq \frac{\partial R}{\partial y}$
 Tidak konservatif

2. Buktikan bahwa integral garis yang di berikan bebas lintasan 0 end
 $(0,0,0)$
 $(1,1,1)$
 $P = 6x^3 + 2z^2$
 $Q = 3x^2y$
 $R = 4xz + 1$
 $\frac{\partial P}{\partial y} = 0$ $\frac{\partial Q}{\partial x} = 2xy$ $\frac{\partial R}{\partial x} = 4z$
 $\frac{\partial P}{\partial z} = 4z$ $\frac{\partial Q}{\partial z} = 0$ $\frac{\partial R}{\partial y} = 0$
 $\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\partial R}{\partial x}$ $\frac{\partial Q}{\partial z} = \frac{\partial R}{\partial y}$
 $\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial Q}{\partial x}$
 Konservatif

Gambar 3: jawaban subjek C untuk soal di tabel 1

1. Untuk hasil jawaban dari narasumber ini sudah benar. Narasumber juga mengerjakan dengan rumus yang sesuai yaitu rumus Teorema rotasi. Maka dari itu narasumber sudah memahami materi tentang teorema rotasi.
2. Seperti halnya narasumber pertama dan kedua, narasumber ketiga juga mengalami kesulitan dalam pemahaman materi. Untuk hasil jawabannya sudah benar integral garisnya bebas lintasan, namun dalam penyelesaian soal, narasumber tidak sesuai dalam menggunakan rumus untuk mencari jawabannya. Kesalahan utama terletak pada pemahaman narasumber tentang langkah-langkah dalam menyelesaikan soal tersebut. Narasumber tidak menggunakan langkah penyelesaian dengan menggunakan teorema dasar kebebasan lintasan, tetapi narasumber menggunakan langkah penyelesaian dengan menggunakan teorema rotasi. Dengan adanya kekeliruan dalam membaca soal dan juga kurangnya pemahaman narasumber dalam materi yang di gunakan membuat hasil jawaban tidak sesuai.



KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan melalui wawancara mendalam dan analisis penyelesaian soal, dapat disimpulkan bahwa mayoritas mahasiswa mengalami kesulitan signifikan dalam memahami konsep kebebasan lintasan pada mata kuliah Kalkulus Vektor. Kesulitan tersebut terutama terletak pada pemahaman teoritis mengenai medan vektor konservatif, hubungan antara integral garis dan sifat bebas lintasan, serta penerapan teorema kebebasan lintasan secara tepat. Selain itu, kurangnya penguasaan terhadap konsep prasyarat seperti turunan parsial, medan gradien, dan fungsi potensial turut memperkuat hambatan belajar mahasiswa. Meskipun sebagian mahasiswa mampu menjawab soal dengan benar, namun banyak di antara mereka yang keliru dalam prosedur dan penggunaan teorema yang sesuai, seperti kekeliruan membedakan antara teorema rotasi dan teorema dasar kebebasan lintasan. Hasil ini menunjukkan perlunya pendekatan pembelajaran yang lebih kontekstual, eksplisit, dan terstruktur guna membangun pemahaman konseptual yang lebih kuat pada mahasiswa, terutama dalam menghadapi materi yang bersifat abstrak dan multidimensi seperti kebebasan lintasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Kertiyan, N. M. I. (2022). Analisis Kesulitan Mahasiswa dalam Mata Kuliah Kalkulus I. *LF Amath: Jurnal Pendidikan Matematika*, 3(3), 234–241.
- MUTAKIN, T. Z. (2019). ANALISIS KESULITAN BELAJAR KALKULUS 1 MAHASISWA TEKNIK INFORMATIKA. *Jurnal Formatif*, 3(1), 49–60.
- Neldiana, R., & Harisman, Y. (2025). Peranan Integral dan Diferensial Terhadap Kalkulus. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 09, 273–283.
- Salsabila, A., Hasanah, R. U., Fitri, D., Br, S., Hadatul, S. Z., Iskandar, J. W., Pasar, V., & Estate, M. (2024). Studi Literatur Review: Analisis Kesulitan Belajar Mahasiswa Pendidikan Matematika. *Jurnal Arjuna: Publikasi Ilmu Pendidikan, Bahasa Dan Matematika*, 2(3).
- Sumargiyani, & Nafiah, B. (2020). Analisis kesulitan Mahasiswa dalam Menyelesaikan Soal Kalkulus Diferensial. *Prisma: Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 3, 591–598.
- Takaendengan, B. R., Asriadi, A., & Takaendengan, W. (2022). Analisis Kesulitan Belajar Mahasiswa pada Mata Kuliah Kalkulus Lanjut. *SEPREN: Journal of Mathematics Education and Applied*, 3(2), 67–75. <https://doi.org/10.36655/sepren.v3i2.690>