

Aplikasi Kalkulus Integral dalam Desain Infrastruktur Transportasi Berkelanjutan

Ai Fhatimah Susanti^{1*)}, Anisa Salsabila², Keisha Aura Salsabila³, Marsha Dwisifa Pujanata⁴, Rizki Nurhalim⁵, Salsabila Rahmadina⁶
1,2,3,4,5,6. Universitas Indraprasta PGRI

INFO ARTICLES

Key Words:

Kalkulus Integral, Infrastruktur Transportasi, Transportasi Berkelanjutan, Panjang Busur, Benda Putar.



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Abstract: Sustainable transportation infrastructure requires accurate, efficient, and environmentally responsible planning. Integral calculus is one of the mathematical approaches that supports this process. This article aims to examine the application of integral calculus in sustainable transportation infrastructure design through a literature study approach. Relevant data were obtained from scientific journals, conference proceedings, and academic books published between 2021 and 2026. The results show that integral calculus is applied to calculate areas in road planning, determine arc lengths of curved roads and bridges, estimate volumes of tunnels and drainage systems using solids of revolution, calculate earthwork volumes, and estimate construction material requirements. In addition, digital technologies such as GeoGebra, MATLAB, and artificial intelligence support the visualization and analysis of integral concepts. The application of integral calculus contributes to design optimization, material efficiency, cost reduction, while promoting the development of safer and more sustainable transportation systems.

Abstrak: Infrastruktur transportasi berkelanjutan memerlukan perencanaan yang akurat, efisien, dan ramah lingkungan. Salah satu pendekatan matematis yang mendukung proses tersebut adalah kalkulus integral. Artikel ini bertujuan mengkaji penerapan kalkulus integral dalam desain infrastruktur transportasi berkelanjutan melalui metode *literature review*. Data diperoleh dari jurnal, prosiding, dan buku yang diterbitkan pada periode 2021–2026. Hasil kajian menunjukkan bahwa kalkulus integral digunakan untuk menghitung luas daerah pada perencanaan jalan, menentukan panjang busur pada jalan dan jembatan lengkung, menghitung volume terowongan dan sistem drainase melalui konsep benda putar, memperkirakan volume galian dan timbunan, serta menentukan kebutuhan material konstruksi. Selain itu, teknologi digital seperti GeoGebra, MATLAB, dan kecerdasan buatan mendukung visualisasi dan analisis integral. Penerapan kalkulus integral berkontribusi terhadap optimasi desain, efisiensi penggunaan material, pengurangan biaya konstruksi, serta pembangunan infrastruktur transportasi yang lebih aman dan berkelanjutan.

Correspondence Address: Jln. Raya Tengah No.80, RT.1/RW.3, Gedong, Kec. Ps. Rebo, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13760, Indonesia; e-mail: aifhatimahs@gmail.com

How to Cite (APA 6th Style): Susanti, A. F., Salsabila, A., Salsabila, K. A., Pujanata, M. D., Nurhalim, R., & Rahmadina, S. (2026). Aplikasi Kalkulus Integral dalam Desain Infrastruktur Transportasi Berkelanjutan. *Prosiding Diskusi Panel Nasional Pendidikan Matematika*, 539-552.

Copyright: Ai Fhatimah Susanti, Anisa Salsabila, Keisha Aura Salsabila, Marsha Dwisifa Pujanata, Rizki Nurhalim, & Salsabila Rahmadina. (2026)

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan salah satu sektor yang berperan penting dalam menunjang mobilitas penduduk, kelancaran distribusi barang dan jasa, serta mendorong perkembangan ekonomi di suatu daerah. Ketersediaan infrastruktur transportasi yang memadai dapat meningkatkan konektivitas antardaerah, memperlancar aktivitas ekonomi, dan mendorong pemerataan pembangunan. Namun, meningkatnya kebutuhan transportasi juga menimbulkan berbagai tantangan, seperti kemacetan, tingginya konsumsi energi, peningkatan emisi gas rumah kaca, serta kebutuhan material konstruksi yang semakin besar. Oleh karena itu, konsep transportasi berkelanjutan menjadi salah satu pendekatan yang banyak diterapkan dalam pembangunan infrastruktur modern untuk mengembangkan sistem transportasi yang aman, efisien, dan berorientasi pada keberlanjutan lingkungan (Frazila dkk. 2021).

Transportasi berkelanjutan adalah pendekatan transportasi yang bertujuan memenuhi kebutuhan mobilitas masyarakat saat ini tanpa mengabaikan keberlangsungan kebutuhan generasi di masa depan. Penerapannya berfokus pada terciptanya keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam pembangunan serta pengelolaan transportasi. Selain itu, integrasi berbagai moda transportasi yang didukung teknologi berperan penting dalam mendukung mobilitas yang lebih efisien serta mengurangi tekanan terhadap lingkungan (Ardiansyah dan Tohir 2025). Upaya pengembangan sistem logistik dan transportasi yang terintegrasi juga diperlukan untuk mendukung efisiensi distribusi barang dan jasa secara berkelanjutan (Yulianita dkk. 2025).

Dalam proses perencanaan dan pembangunan infrastruktur transportasi, berbagai perhitungan matematis diperlukan untuk menentukan dimensi, luas, panjang, dan volume suatu struktur. Perhitungan yang kurang akurat dapat menyebabkan pemborosan material, peningkatan biaya konstruksi, serta menurunkan kualitas infrastruktur yang dibangun. Dengan demikian, dibutuhkan metode matematis yang dapat memberikan hasil perhitungan yang akurat dan dapat dijelaskan secara ilmiah. Dalam hal ini, kalkulus integral menjadi salah satu cabang matematika yang memiliki peran penting dalam mendukung penyelesaian berbagai permasalahan tersebut (Atkurrahman 2025).

Kalkulus integral adalah salah satu cabang matematika yang digunakan untuk menganalisis akumulasi suatu besaran yang berubah secara kontinu. Konsep integral digunakan untuk menentukan luas daerah, panjang kurva, luas permukaan, volume benda, serta berbagai besaran lain yang melibatkan perubahan secara kontinu. Menurut Fernandez dkk. (2023), integral merupakan salah satu konsep dasar dalam kalkulus yang memiliki banyak aplikasi dalam bidang teknik, fisika, ekonomi, dan ilmu terapan lainnya. Kemampuan integral dalam menyelesaikan berbagai permasalahan geometri yang kompleks menjadikannya sangat relevan dalam bidang rekayasa sipil dan transportasi.

Secara matematis, integral tentu dinyatakan sebagai:

$$\int_a^b f(x)dx$$

dengan $f(x)$ merupakan fungsi yang diintegrasikan, sedangkan (a) dan (b) berturut-turut menyatakan batas bawah dan batas atas integral. Integral tentu digunakan untuk menentukan akumulasi suatu besaran pada interval tertentu dan menjadi dasar berbagai perhitungan matematis yang berkaitan dengan luas daerah, panjang busur, serta volume benda.

Dalam konteks infrastruktur transportasi, kalkulus integral digunakan untuk menghitung luas lahan yang dibutuhkan pada pembangunan jalan, menentukan panjang jalan dan jembatan yang berbentuk lengkung, menghitung volume terowongan dan sistem drainase melalui konsep benda putar, serta memperkirakan volume galian dan timbunan tanah pada pekerjaan konstruksi. Selain itu, integral juga digunakan untuk menentukan kebutuhan material konstruksi sehingga dapat berkontribusi terhadap optimalisasi penggunaan sumber daya dan mengurangi pemborosan material (Amini dkk. 2025; Nasution dkk. 2025). Perhitungan volume pekerjaan tanah yang akurat turut berperan penting dalam menunjang keberhasilan pembangunan jalan dan infrastruktur transportasi lainnya (Azzumardi dkk. 2022).

Kemajuan teknologi digital semakin memperluas penerapan kalkulus integral dalam berbagai bidang. Berbagai perangkat lunak seperti *GeoGebra*, *MATLAB*, *WolframAlpha*, dan aplikasi komputasi lainnya mampu membantu visualisasi serta analisis konsep integral secara lebih cepat dan akurat. Penggunaan *GeoGebra* terbukti dapat membantu mahasiswa memahami konsep integral melalui visualisasi grafik dan simulasi interaktif (Koswara dan Damayanti 2022; Ranguly dkk. 2024). Selain itu, eksplorasi pembelajaran kalkulus integral berbantuan teknologi juga menunjukkan bahwa pemanfaatan media digital mampu meningkatkan pemahaman konseptual dan kemampuan pemecahan masalah matematis mahasiswa (Nuraeni dkk. 2024).

Perkembangan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dan teknologi komputasi modern semakin memperluas peluang penerapan kalkulus integral. Teknologi tersebut dapat digunakan untuk membantu proses analisis data, simulasi, optimasi desain, serta pengambilan keputusan pada berbagai sistem teknik dan transportasi. Penelitian Tawil dan Fajriani (2025) menunjukkan bahwa implementasi AI dalam pembelajaran kalkulus integral mampu meningkatkan efektivitas proses analisis dan penyelesaian masalah. Selain itu, integrasi metode komputasi modern dengan analisis matematis juga mampu meningkatkan efisiensi pemodelan dan pengolahan data pada berbagai sistem rekayasa (Han dkk. 2023).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas penerapan kalkulus integral dalam pembelajaran matematika maupun penyelesaian masalah teknik tertentu, kajian yang secara khusus mengintegrasikan konsep luas daerah, panjang busur, benda putar, volume pekerjaan tanah, kebutuhan material konstruksi, dan transportasi berkelanjutan masih relatif terbatas. Padahal, konsep-konsep tersebut memiliki keterkaitan yang erat dengan proses perencanaan dan pembangunan infrastruktur transportasi modern. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang mampu menjelaskan hubungan antara konsep kalkulus integral dan implementasinya dalam desain infrastruktur transportasi berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, artikel ini bertujuan untuk menganalisis penerapan kalkulus integral dalam desain infrastruktur transportasi berkelanjutan serta menjelaskan kontribusinya terhadap optimasi desain, efisiensi penggunaan material, pengurangan biaya konstruksi, dan pembangunan infrastruktur yang lebih efektif, aman, serta ramah lingkungan.

METODE

Penelitian ini menerapkan metode *literature review* atau kajian pustaka untuk menelaah berbagai hasil penelitian yang berkaitan dengan penerapan kalkulus integral dalam desain infrastruktur transportasi berkelanjutan. Metode ini dipilih karena memberikan kesempatan kepada peneliti untuk memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai konsep, perkembangan penelitian, serta implementasi kalkulus integral dalam bidang transportasi dan rekayasa sipil. Melalui kajian literatur, berbagai hasil penelitian yang telah dipublikasikan dapat dikumpulkan, dievaluasi, dan disintesis sehingga menghasilkan gambaran yang lebih luas mengenai kontribusi kalkulus integral terhadap pembangunan infrastruktur modern.

Sumber data penelitian berupa artikel jurnal nasional dan internasional, prosiding seminar, serta buku yang relevan dengan topik penelitian. Literatur diperoleh melalui berbagai basis data ilmiah seperti *Google Scholar*, *Crossref*, *Directory of Open Access Journals (DOAJ)*, dan sumber ilmiah lainnya. Untuk menjaga kebaruan informasi, literatur yang digunakan dibatasi pada rentang tahun 2020–2026. Literatur yang dipilih berfokus pada kajian mengenai kalkulus integral, luas daerah, panjang busur, benda putar, pemodelan matematika, teknologi digital, rekayasa sipil, infrastruktur transportasi, dan transportasi berkelanjutan (Fernandez dkk. 2023; Atkurrahman 2025).

Data penelitian dikumpulkan melalui serangkaian tahapan yang terstruktur. Tahap pertama dilakukan dengan mengidentifikasi literatur yang sesuai dengan topik penelitian menggunakan kata kunci *integral calculus*, *arc length*, *solid of revolution*, *transportation infrastructure*, *sustainable transportation*, *mathematical modeling*, *GeoGebra*, *artificial intelligence*, dan *digital technology*. Pada tahap kedua, literatur yang telah diperoleh disaring berdasarkan keterkaitannya dengan topik

penelitian, tahun publikasi, serta kesesuaian dengan tujuan penelitian. Tahap ketiga adalah analisis isi literatur untuk mengidentifikasi konsep, metode, dan hasil penelitian yang berkaitan dengan penerapan kalkulus integral dalam desain infrastruktur transportasi. Selanjutnya, literatur yang telah dipilih dikelompokkan ke dalam beberapa tema utama, yaitu aplikasi integral pada perencanaan jalan, perhitungan panjang busur pada jalan dan jembatan, penerapan benda putar pada terowongan dan drainase, estimasi volume pekerjaan tanah, perhitungan kebutuhan material konstruksi, pemanfaatan teknologi digital dalam analisis integral, serta kontribusi kalkulus integral terhadap pembangunan transportasi berkelanjutan.

Data penelitian dianalisis secara deskriptif dengan menggunakan pendekatan kualitatif. Data yang diperoleh dari berbagai sumber dianalisis dengan cara membandingkan, menginterpretasikan, dan menghubungkan hasil-hasil penelitian yang relevan. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara konsep kalkulus integral dengan penerapannya pada berbagai komponen infrastruktur transportasi. Selain itu, analisis juga dilakukan untuk mengkaji peran teknologi digital dan pemodelan matematika dalam meningkatkan efektivitas penggunaan integral pada proses perencanaan dan pembangunan infrastruktur (Ranguly dkk. 2024; Tawil dan Fajriani 2025).

Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk paparan deskriptif yang tersusun secara sistematis dan mencakup konsep dasar kalkulus integral, aplikasi integral dalam perencanaan infrastruktur transportasi, penggunaan teknologi digital dalam analisis integral, serta kontribusinya terhadap pembangunan transportasi berkelanjutan. Melalui pendekatan dengan harapan menghasilkan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai pentingnya kalkulus integral sebagai dasar analisis matematis dalam mendukung pembangunan infrastruktur transportasi yang efektif, efisien, dan berkelanjutan.

HASIL

Peran Kalkulus Integral dalam Desain Infrastruktur Transportasi

Berdasarkan hasil kajian literatur, kalkulus integral merupakan salah satu cabang matematika yang memiliki peranan penting dalam berbagai bidang teknik, termasuk perencanaan dan pembangunan infrastruktur transportasi. Integral digunakan untuk menentukan luas daerah, panjang kurva, luas permukaan, dan volume suatu objek yang memiliki bentuk tidak beraturan. Kemampuan integral dalam menghitung akumulasi suatu besaran secara kontinu menjadikannya sangat relevan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan rekayasa yang tidak dapat diselesaikan menggunakan metode geometri sederhana (Fernandez dkk. 2023; Atkurrahman 2025).

Secara umum, integral tentu dinyatakan sebagai:

$$\int_a^b f(x)dx$$

dengan $f(x)$ menyatakan fungsi yang diintegrasikan, sedangkan a dan b menyatakan batas bawah dan batas atas integral. Integral tentu digunakan untuk menentukan nilai akumulasi suatu besaran pada interval tertentu. Dalam bidang teknik sipil dan transportasi, konsep ini menjadi dasar dalam perhitungan luas daerah, panjang lintasan, volume material konstruksi, serta berbagai kebutuhan analisis geometrik lainnya.

Perkembangan infrastruktur transportasi modern menuntut adanya perencanaan yang lebih akurat dan efisien. Berbagai komponen seperti jalan, jembatan, terowongan, saluran drainase, dan fasilitas pendukung lainnya memerlukan perhitungan matematis yang tepat untuk menjamin keamanan, efisiensi biaya, dan keberlanjutan pembangunan. Model matematika menjadi salah satu pendekatan yang digunakan dalam proses perencanaan jaringan transportasi dan pengambilan keputusan terkait pembangunan infrastruktur (Giawa 2024).

Selain digunakan pada tahap perencanaan, pendekatan matematis juga berperan dalam evaluasi dan pengelolaan infrastruktur transportasi. Daeli dkk. (2024) menunjukkan bahwa analisis data dan model matematis dapat membantu proses pemeliharaan dan evaluasi kinerja jembatan sehingga umur

layanan infrastruktur dapat dipertahankan secara optimal. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kalkulus integral dan pemodelan matematis memiliki kontribusi penting dalam mendukung pembangunan infrastruktur transportasi yang berkelanjutan.

Perkembangan teknologi komputasi juga memperluas pemanfaatan integral dalam bidang rekayasa. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa metode integral dapat diintegrasikan dengan algoritma komputasi modern untuk memodelkan perubahan struktur, menganalisis data spasial, dan memprediksi kondisi infrastruktur secara lebih akurat. Dengan demikian, kalkulus integral tidak semata-mata digunakan sebagai alat perhitungan matematis, tetapi juga sebagai dasar dalam pengembangan sistem analisis dan pengambilan keputusan berbasis data pada infrastruktur transportasi modern.

Aplikasi Integral pada Perencanaan Jalan dan Luas Daerah

Salah satu aplikasi utama kalkulus integral dalam bidang transportasi adalah menghitung luas daerah yang dibatasi oleh suatu kurva. Dalam pembangunan infrastruktur jalan, perhitungan luas daerah digunakan untuk menentukan kebutuhan lahan, area median jalan, jalur hijau, area persimpangan, serta berbagai fasilitas pendukung lainnya. Pada kondisi medan yang tidak beraturan, penggunaan integral memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan metode geometri sederhana karena mampu mengakomodasi perubahan bentuk permukaan secara kontinu (Fernandez dkk. 2023).

Secara matematis, luas daerah yang dibatasi dua kurva dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$L = \int_a^b [f(x) - g(x)] dx$$

dengan $f(x)$ menyatakan fungsi kurva atas dan $g(x)$ menyatakan fungsi kurva bawah. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa luas daerah diperoleh dari selisih kedua fungsi yang diintegrasikan pada interval tertentu.

Dalam proses perencanaan jalan, perhitungan luas daerah sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap kebutuhan lahan dan biaya pembangunan. Kesalahan dalam estimasi luas dapat menyebabkan pembengkakan biaya pembebasan lahan maupun ketidaksesuaian desain dengan kondisi lapangan. Oleh karena itu, penggunaan integral pada tahap perencanaan membantu menghasilkan estimasi yang lebih akurat dan efisien.

Menurut Malay dkk. (2025), konsep integral tertentu merupakan metode yang efektif untuk menghitung luas bangun datar yang dibatasi oleh kurva. Metode ini memungkinkan perhitungan luas dilakukan secara sistematis meskipun bentuk objek yang dianalisis tidak beraturan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa integral memiliki peran penting dalam berbagai permasalahan geometri yang sering dijumpai pada proses perencanaan infrastruktur.

Selain digunakan untuk menentukan kebutuhan lahan, konsep luas daerah juga dapat diterapkan dalam analisis tata ruang transportasi. Perencanaan terminal, kawasan parkir, jalur pejalan kaki, dan fasilitas transportasi lainnya memerlukan estimasi luas yang tepat agar kapasitas layanan dapat memenuhi kebutuhan pengguna secara optimal. Dengan demikian, kalkulus integral menjadi salah satu alat matematis yang mendukung efisiensi penggunaan ruang dalam pembangunan transportasi modern.

Pemanfaatan teknologi digital semakin mempermudah proses analisis luas daerah. *GeoGebra* memungkinkan pengguna memvisualisasikan kurva dan daerah yang dibatasi oleh fungsi tertentu sehingga proses perhitungan menjadi lebih mudah dipahami. Penggunaan media visual tersebut membantu meningkatkan ketelitian analisis sekaligus mempermudah interpretasi hasil perhitungan integral (Koswara dan Damayanti 2022; Ranguly dkk. 2024).

Aplikasi Panjang Busur pada Jalan dan Jembatan

Selain digunakan untuk menghitung luas daerah, kalkulus integral juga dapat digunakan untuk menentukan panjang suatu kurva atau panjang busur. Konsep ini sangat penting dalam desain geometrik jalan dan jembatan karena sebagian besar infrastruktur transportasi modern memanfaatkan bentuk lengkung untuk meningkatkan keamanan, kenyamanan, dan efisiensi penggunaan ruang.

Panjang busur suatu kurva dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$s = \int_a^b \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx$$

dengan s menyatakan panjang busur dan $\frac{dy}{dx}$ merupakan turunan fungsi terhadap variabel x .

Melalui persamaan tersebut, panjang aktual suatu jalan atau jembatan yang memiliki bentuk lengkung dapat dihitung secara lebih akurat. Perhitungan ini membantu menentukan kebutuhan material konstruksi, estimasi biaya pembangunan, serta kebutuhan pemeliharaan infrastruktur dalam jangka panjang.

Amini dkk. (2025) menunjukkan bahwa konsep panjang busur dapat digunakan untuk menentukan panjang sisi suatu objek yang memiliki bentuk lengkung kompleks. Dalam penelitiannya, panjang busur digunakan untuk menghitung dimensi desain *cone* es krim berbentuk kelopak bunga dan menghasilkan ukuran yang akurat. Meskipun diterapkan pada desain produk, konsep matematis yang digunakan sama dengan yang diterapkan dalam perencanaan jalan dan jembatan lengkung.

Pada bidang transportasi, perhitungan panjang busur sangat penting untuk menentukan geometri tikungan jalan. Tikungan yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan keselamatan pengguna jalan karena memungkinkan kendaraan bergerak secara lebih stabil. Selain itu, perhitungan panjang lintasan yang akurat juga membantu mengoptimalkan penggunaan material konstruksi sehingga mendukung efisiensi pembangunan.

Konsep panjang busur juga memiliki peran dalam desain jembatan lengkung yang banyak digunakan pada wilayah perkotaan maupun daerah dengan kondisi topografi tertentu. Analisis matematis yang tepat memungkinkan perancang memperoleh bentuk struktur yang kuat, aman, dan ekonomis. Oleh karena itu, penerapan kalkulus integral dalam perhitungan panjang busur menjadi salah satu aspek penting dalam proses desain infrastruktur transportasi modern.

Aplikasi Benda Putar pada Terowongan dan Sistem Drainase

Konsep benda putar merupakan salah satu aplikasi penting kalkulus integral yang banyak digunakan dalam bidang teknik sipil dan transportasi. Benda putar diperoleh dengan memutar suatu kurva terhadap sumbu tertentu sehingga membentuk objek tiga dimensi. Konsep ini sangat relevan dalam desain terowongan, gorong-gorong, saluran drainase, pipa air, dan berbagai komponen infrastruktur transportasi lainnya yang memiliki bentuk simetris terhadap suatu sumbu.

Volume benda putar dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V = \pi \int_a^b [f(x)]^2 dx$$

dengan V menyatakan volume benda putar dan $f(x)$ merupakan fungsi yang diputar terhadap sumbu tertentu. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa volume diperoleh dari hasil integrasi luas penampang melintang yang terbentuk selama proses rotasi kurva.

Dalam bidang transportasi, konsep benda putar sering digunakan pada desain terowongan. Terowongan umumnya memiliki bentuk melengkung untuk meningkatkan kekuatan struktur dalam menahan tekanan tanah dan beban di sekitarnya. Dengan menggunakan integral, volume ruang terowongan dapat dihitung secara lebih akurat sehingga kebutuhan material konstruksi dapat diperkirakan dengan tepat.

Amini dkk. (2025) menunjukkan bahwa metode benda putar dapat digunakan untuk menghitung volume objek yang memiliki bentuk geometris kompleks secara akurat. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa kalkulus integral mampu memberikan solusi matematis terhadap permasalahan desain yang melibatkan bentuk tiga dimensi. Temuan ini memperkuat pemanfaatan konsep benda putar dalam berbagai aplikasi rekayasa, termasuk pembangunan infrastruktur transportasi.

Selain pada terowongan, konsep benda putar juga diterapkan pada perencanaan sistem drainase. Saluran drainase yang dirancang dengan bentuk tertentu memerlukan perhitungan volume yang tepat

agar kapasitas aliran air dapat memenuhi kebutuhan. Kesalahan dalam menentukan volume drainase dapat menyebabkan genangan air dan menurunkan kualitas pelayanan infrastruktur transportasi. Oleh karena itu, penggunaan integral dalam perhitungan volume saluran menjadi sangat penting untuk mendukung keberlanjutan sistem transportasi.

Sari dkk. (2025) menjelaskan bahwa penggunaan *GeoGebra* dalam analisis volume benda hasil rotasi kurva membantu visualisasi bentuk tiga dimensi sehingga proses perhitungan menjadi lebih mudah dipahami. Pemanfaatan teknologi digital tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara kalkulus integral dan perangkat lunak komputasi dapat meningkatkan efektivitas analisis geometris yang berkaitan dengan volume benda putar.

Kristiyani dan Ernaningsih (2024) juga menunjukkan bahwa konsep benda putar dapat diterapkan pada berbagai objek nyata yang memiliki bentuk melengkung. Hal ini membuktikan bahwa konsep integral tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga memiliki keterkaitan langsung dengan berbagai permasalahan desain dan konstruksi di lapangan.

Dengan demikian, konsep benda putar menjadi salah satu aplikasi integral yang sangat penting dalam desain infrastruktur transportasi karena mampu membantu menentukan volume berbagai struktur secara lebih akurat, efisien, dan ekonomis.

Perhitungan Volume Galian dan Timbunan pada Konstruksi Jalan

Perhitungan volume galian dan timbunan menjadi salah satu tahapan krusial dalam pembangunan jalan karena berkaitan erat dengan kebutuhan material, pengendalian biaya konstruksi, serta efektivitas pelaksanaan proyek. Pada umumnya, volume tanah dihitung berdasarkan perubahan luas penampang melintang jalan pada interval tertentu sepanjang trase jalan. Karena bentuk permukaan tanah cenderung tidak beraturan, diperlukan pendekatan matematis yang mampu memberikan hasil perhitungan yang lebih akurat.

Secara umum, volume suatu objek dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V = \pi \int_a^b A(x) dx$$

dengan $A(x)$ menyatakan luas penampang pada titik tertentu dan a serta b merupakan batas interval pengukuran.

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa volume diperoleh dari akumulasi luas penampang yang berubah secara kontinu sepanjang lintasan. Konsep ini sangat sesuai digunakan dalam perhitungan volume galian dan timbunan jalan yang memiliki variasi bentuk permukaan tanah.

Pada proyek pembangunan jalan, volume galian diperlukan untuk menentukan jumlah tanah yang harus dipindahkan, sedangkan volume timbunan digunakan untuk menentukan kebutuhan material pengisi pada area yang lebih rendah. Perhitungan yang akurat sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap kebutuhan alat berat, durasi pekerjaan, dan biaya konstruksi.

Penelitian mengenai perhitungan analisis volume material pada pekerjaan jalan raya melalui metode penampang rata-rata menunjukkan bahwa ketelitian perhitungan volume sangat menentukan keberhasilan perencanaan pekerjaan tanah. Perhitungan yang akurat dapat membantu mengurangi kesalahan estimasi serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya pada proyek konstruksi jalan. Oleh karena itu, konsep integral menjadi salah satu dasar matematis yang mendukung proses estimasi volume secara sistematis dan akurat.

Selain itu, Setyobudi (2025) menjelaskan bahwa pemodelan matematis pada analisis stabilitas lereng memerlukan estimasi geometri dan volume tanah yang akurat. Hal tersebut menunjukkan bahwa kalkulus integral tidak hanya berperan pada tahap perencanaan jalan, tetapi juga pada aspek keamanan dan keberlanjutan konstruksi infrastruktur.

Ketepatan perhitungan volume galian dan timbunan berpengaruh langsung terhadap efisiensi penggunaan material serta pengendalian biaya proyek. Dengan demikian, penerapan kalkulus integral dalam pekerjaan tanah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pembangunan infrastruktur transportasi yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Perhitungan Volume Material Infrastruktur Menggunakan Integral

Volume merupakan salah satu parameter penting dalam pembangunan infrastruktur transportasi karena berkaitan langsung dengan kebutuhan material dan biaya konstruksi. Pada proyek jalan, jembatan, terowongan, dan drainase, perhitungan volume digunakan untuk menentukan jumlah beton, aspal, baja, tanah timbunan, maupun material lainnya yang diperlukan selama proses pembangunan. Kesalahan dalam estimasi volume dapat menyebabkan pemborosan material, peningkatan biaya proyek, bahkan keterlambatan pelaksanaan konstruksi.

Kalkulus integral memberikan pendekatan matematis yang lebih akurat dalam menentukan volume berbagai objek yang memiliki bentuk tidak beraturan. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode kulit tabung (*shell method*), yang dinyatakan sebagai:

$$V = 2\pi \int_a^b x f(x) dx$$

Metode tersebut digunakan untuk menghitung volume benda yang terbentuk melalui rotasi suatu kurva terhadap sumbu tertentu. Dalam bidang teknik sipil, metode ini dapat diterapkan pada berbagai struktur berbentuk silinder atau lengkung yang banyak dijumpai pada infrastruktur transportasi.

Damanik dkk. (2025) menunjukkan bahwa pendekatan integral menggunakan metode kulit tabung menghasilkan nilai volume yang lebih presisi dibandingkan pendekatan geometris sederhana. Penelitian tersebut membuktikan bahwa integral dapat digunakan untuk menentukan volume suatu benda yang memiliki karakteristik bentuk kompleks dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

Nasution dkk. (2025) menjelaskan bahwa integral lipat dua dapat digunakan untuk menghitung volume struktur beton berbentuk tabung secara lebih tepat. Perhitungan volume yang akurat memungkinkan perencana menentukan kebutuhan material konstruksi secara lebih efisien sehingga dapat mengurangi pemborosan sumber daya dan menekan biaya pembangunan.

Kusuma dan Susilorini (2024) juga menegaskan bahwa estimasi volume beton merupakan salah satu komponen penting dalam perencanaan struktur karena berpengaruh langsung terhadap kebutuhan material dan biaya proyek. Oleh karena itu, penggunaan kalkulus integral dalam perhitungan volume material membantu meningkatkan kualitas perencanaan konstruksi serta mendukung efisiensi penggunaan sumber daya.

Selain itu, Malay dkk. (2025) menjelaskan bahwa integral tertentu dapat digunakan untuk menghitung volume berbagai bangun ruang yang memiliki bentuk tidak beraturan. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa konsep integral memiliki fleksibilitas yang tinggi dan dapat diterapkan pada berbagai kebutuhan perhitungan volume dalam bidang teknik dan konstruksi.

Dalam konteks pembangunan transportasi berkelanjutan, efisiensi penggunaan kebutuhan material menjadi salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan. Perhitungan volume yang akurat memungkinkan penggunaan material dilakukan sesuai kebutuhan sehingga dapat mengurangi limbah konstruksi, menghemat biaya, serta mendukung pembangunan yang lebih ramah lingkungan. Dengan demikian, kalkulus integral memberikan kontribusi yang signifikan terhadap optimasi penggunaan material dan keberlanjutan pembangunan infrastruktur transportasi.

Pemanfaatan Teknologi Digital dalam Analisis Integral

Perkembangan teknologi digital telah memperluas penerapan kalkulus integral dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan, teknik sipil, dan transportasi. Berbagai perangkat lunak seperti *GeoGebra*, *MATLAB*, *WolframAlpha*, *AutoCAD*, dan aplikasi komputasi lainnya memungkinkan proses visualisasi, simulasi, dan analisis matematis dilakukan dengan lebih cepat dan akurat dibandingkan metode manual.

GeoGebra merupakan perangkat lunak yang umum digunakan untuk membantu visualisasi konsep integral. Melalui *GeoGebra*, pengguna dapat menampilkan grafik fungsi, luas daerah, panjang busur, serta volume benda putar secara interaktif sehingga konsep integral yang bersifat abstrak menjadi lebih mudah dipahami. Koswara dan Damayanti (2022) menyatakan bahwa penggunaan *GeoGebra* berkontribusi dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang konsep integral melalui visualisasi grafik dan simulasi yang interaktif.

Hasil penelitian Ranguly dkk. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan aplikasi *GeoGebra* pada materi integral membantu mahasiswa memahami hubungan antara fungsi, grafik, dan hasil integral secara lebih baik. Visualisasi yang ditampilkan memungkinkan mahasiswa memahami proses pembentukan luas daerah maupun volume benda putar secara lebih jelas sehingga meningkatkan efektivitas pembelajaran.

Sejalan dengan hasil tersebut, Nuraeni dkk. (2024) mengemukakan bahwa pemanfaatan teknologi digital dalam pembelajaran kalkulus integral mampu meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa serta membantu proses penyelesaian masalah matematika yang kompleks. Dengan bantuan teknologi, konsep integral dapat divisualisasikan secara lebih konkret sehingga lebih mudah dipahami oleh pengguna.

Selain *GeoGebra*, perkembangan teknologi komputasi modern juga memungkinkan penerapan integral dalam berbagai proses analisis teknik. *MATLAB* dan perangkat lunak numerik lainnya digunakan untuk melakukan simulasi, optimasi, dan pemodelan berbagai sistem yang melibatkan perhitungan integral. Penggunaan teknologi tersebut membantu mempercepat proses analisis sekaligus meningkatkan ketelitian hasil perhitungan.

Pesatnya perkembangan (*Artificial Intelligence/AI*) membuka peluang yang lebih luas bagi penerapan teknologi dalam bidang matematika. Tawil dan Fajriani (2025) menjelaskan bahwa *AI* dapat dimanfaatkan untuk membantu proses pembelajaran dan penyelesaian masalah kalkulus integral secara lebih efektif. Teknologi *AI* memungkinkan analisis dilakukan secara otomatis sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses perhitungan.

Harnawati dan Hidayati (2024) juga menegaskan bahwa teknologi kecerdasan buatan dapat berperan penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran dan analisis matematika melalui berbagai aplikasi berbasis teknologi digital. Selain itu, Han dkk. (2023) menunjukkan bahwa integrasi metode komputasi modern dan analisis matematis mampu meningkatkan efisiensi proses pemodelan dan pengambilan keputusan pada berbagai sistem teknik.

Dengan demikian, teknologi digital tidak hanya digunakan sebagai media visualisasi, tetapi juga sebagai sarana untuk meningkatkan kualitas pembelajaran analisis matematis dan mendukung penerapan kalkulus integral dalam pembangunan infrastruktur transportasi modern.

Kontribusi Kalkulus Integral terhadap Infrastruktur Transportasi Berkelanjutan

Pembangunan infrastruktur transportasi berkelanjutan memerlukan pendekatan yang mampu mengoptimalkan penggunaan sumber daya, meningkatkan efisiensi konstruksi, serta meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dalam konteks tersebut, kalkulus integral memiliki kontribusi yang signifikan karena memungkinkan berbagai perhitungan teknis dilakukan secara lebih akurat dan sistematis. Melalui konsep luas daerah, panjang busur, volume benda putar, dan estimasi volume material, integral membantu menghasilkan desain infrastruktur yang lebih efisien dan ekonomis.

Salah satu kontribusi utama kalkulus integral adalah meningkatkan ketepatan perencanaan infrastruktur. Perhitungan yang akurat memungkinkan kebutuhan lahan, material konstruksi, serta volume pekerjaan tanah dapat diperkirakan dengan lebih baik. Akibatnya, risiko pemborosan material dan peningkatan biaya konstruksi dapat diminimalkan. Efisiensi penggunaan material juga berkontribusi pada pengurangan limbah konstruksi sehingga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan.

Frazila dkk. (2021) menjelaskan bahwa sistem transportasi berkelanjutan harus mampu memenuhi kebutuhan mobilitas masyarakat dengan tetap memperhatikan keseimbangan antara dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Oleh karena itu, perencanaan yang didukung oleh pendekatan matematis yang akurat menjadi salah satu faktor penting dalam mewujudkan sistem transportasi yang berkelanjutan.

Selain itu, integrasi transportasi multimoda yang didukung teknologi juga berperan dalam meningkatkan efisiensi sistem transportasi. Ardiansyah dan Tohir (2025) menyatakan bahwa integrasi transportasi multimoda berbasis teknologi memberikan manfaat berupa peningkatan kenyamanan pengguna, efisiensi waktu perjalanan, serta penurunan emisi gas rumah kaca. Dalam

implementasinya, berbagai model matematis, termasuk kalkulus integral, dapat digunakan untuk mendukung proses perencanaan dan optimasi jaringan transportasi tersebut.

Yulianita dkk. (2025) juga menekankan pentingnya integrasi antarmoda transportasi dalam mendukung sistem logistik yang efisien dan berkelanjutan. Infrastruktur yang dirancang berdasarkan analisis matematis yang tepat akan membantu meningkatkan efektivitas distribusi barang dan mobilitas masyarakat sehingga mendukung pembangunan ekonomi sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan.

Dengan demikian, kalkulus integral tidak hanya berfungsi sebagai alat perhitungan matematis, tetapi juga sebagai dasar analisis dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan desain, optimasi, dan pengelolaan infrastruktur transportasi. Pemanfaatan integral mendukung pengembangan sistem transportasi yang efisien, aman, dan berkelanjutan sehingga mampu menjawab kebutuhan pembangunan modern.

Tantangan dan Peluang Penerapan Kalkulus Integral dalam Infrastruktur Modern

Meskipun kalkulus integral memiliki berbagai manfaat dalam bidang teknik dan transportasi, penerapannya di lapangan masih menghadapi beberapa tantangan. Salah satu tantangan utama adalah kompleksitas bentuk geometris infrastruktur modern yang sering kali sulit direpresentasikan menggunakan model matematis sederhana. Infrastruktur seperti jembatan bentang panjang, terowongan bawah tanah, simpang bertingkat, dan jaringan transportasi multimoda memerlukan analisis yang lebih kompleks sehingga membutuhkan dukungan teknologi komputasi yang memadai.

Selain itu, pembangunan infrastruktur modern menghasilkan volume data yang sangat besar dan kompleks. Pengolahan data tersebut memerlukan metode analisis yang cepat dan akurat agar hasil analisisnya dapat dijadikan dasar dalam menentukan keputusan secara tepat. Oleh karena itu, penggunaan integral secara manual sering kali tidak lagi memadai dan perlu dikombinasikan dengan perangkat lunak komputasi serta teknologi digital lainnya.

Perkembangan teknologi digital memberikan peluang besar untuk mengatasi berbagai tantangan tersebut. *GeoGebra*, *MATLAB*, *AutoCAD*, dan perangkat lunak berbasis komputasi lainnya memungkinkan proses visualisasi, simulasi, dan analisis integral dilakukan secara lebih cepat dan efisien. Penggunaan teknologi tersebut membantu meningkatkan akurasi perhitungan serta mempermudah interpretasi hasil analisis (Ranguly dkk. 2024; Nuraeni dkk. 2024).

Kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) juga membuka peluang baru dalam penerapan kalkulus integral. Teknologi AI dapat digunakan untuk membantu proses pemodelan, optimasi desain, prediksi kondisi infrastruktur, dan analisis data transportasi secara otomatis. Tawil dan Fajriani (2025) menjelaskan bahwa AI mampu meningkatkan efektivitas penyelesaian masalah kalkulus integral melalui pemanfaatan algoritma cerdas yang dapat mempercepat proses analisis dan pengambilan keputusan.

Han dkk. (2023) menunjukkan bahwa integrasi metode komputasi modern dengan pendekatan matematis dapat menghasilkan sistem analisis yang lebih akurat dan efisien. Pemanfaatan algoritma berbasis kecerdasan buatan dan komputasi numerik memberikan peluang baru dalam proses pemodelan, simulasi, dan optimasi berbagai sistem teknik yang melibatkan konsep integral. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kalkulus integral memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut dalam berbagai aplikasi rekayasa modern.

Di masa depan, integrasi antara kalkulus integral, kecerdasan buatan, sistem informasi geografis (*Geographic Information System/GIS*), *Building Information Modeling (BIM)*, serta teknologi pemodelan tiga dimensi diperkirakan akan menjadi salah satu pendekatan utama dalam pembangunan infrastruktur transportasi. Kombinasi berbagai teknologi tersebut memungkinkan proses perencanaan dan evaluasi infrastruktur dilakukan secara lebih komprehensif, cepat, dan berbasis data.

Dengan semakin berkembangnya teknologi digital, kalkulus integral memiliki peluang yang semakin besar untuk diterapkan pada berbagai permasalahan infrastruktur transportasi modern. Oleh karena itu, penguasaan konsep integral dan kemampuan memanfaatkan teknologi pendukung menjadi

faktor penting dalam mendukung pembangunan transportasi yang lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, kalkulus integral memiliki peran yang sangat penting dalam desain infrastruktur transportasi berkelanjutan. Konsep integral tidak hanya digunakan sebagai materi teoritis dalam matematika, tetapi juga diterapkan secara nyata dalam berbagai aspek perencanaan dan pembangunan infrastruktur. Aplikasi integral pada perhitungan luas daerah membantu menentukan kebutuhan lahan dan tata ruang transportasi secara lebih akurat. Selain itu, konsep panjang busur digunakan dalam perancangan jalan dan jembatan lengkung, sedangkan konsep benda putar dimanfaatkan dalam perhitungan volume terowongan, sistem drainase, dan berbagai struktur berbentuk tiga dimensi.

Kajian ini juga menunjukkan bahwa kalkulus integral berperan dalam perhitungan volume galian dan timbunan, estimasi kebutuhan material konstruksi, serta optimasi penggunaan sumber daya. Melalui pendekatan integral, berbagai bentuk geometris yang kompleks dapat dianalisis secara lebih akurat sehingga membantu meningkatkan efisiensi biaya dan mengurangi pemborosan material pada proyek infrastruktur transportasi.

Perkembangan teknologi digital seperti *GeoGebra*, *MATLAB*, kecerdasan buatan, dan berbagai perangkat lunak komputasi lainnya semakin memperkuat penerapan kalkulus integral melalui visualisasi, simulasi, dan analisis yang lebih akurat serta efisien. Integrasi antara kalkulus integral dan teknologi digital membuka peluang yang luas untuk mendukung pembangunan infrastruktur transportasi yang modern, berbasis data, dan berorientasi pada keberlanjutan.

Dengan demikian, kalkulus integral memberikan kontribusi yang signifikan terhadap optimasi desain, efisiensi penggunaan material, pengurangan biaya konstruksi, serta pembangunan infrastruktur transportasi yang lebih aman, efektif, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pemahaman dan penerapan konsep integral perlu terus dikembangkan, baik dalam bidang pendidikan maupun praktik rekayasa, agar mampu mendukung terciptanya sistem transportasi yang lebih cerdas dan ramah lingkungan di masa depan.

DAFTAR RUJUKAN

- Amini, Asni Al, Kenjo Oktaviano Damanik, Monica Triyuni Sinaga, Riby Tamara, Zahra Marsanda Mahisa, dan Suvriadi Panggabean. 2025. "Aplikasi Integral dalam Menghitung Volume dan Panjang Busur pada Design Cone Es Krim Berbentuk Kelopak Bunga." *Algoritma: Jurnal Matematika, Ilmu pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa* 3(3), 25–35. doi:<https://doi.org/10.62383/algoritma.v3i3.480>.
- Ardiansyah, Bayu, dan Muhammad Tohir. 2025. "Integrasi Transportasi Multimoda Berbasis Teknologi untuk Mendukung Mobilitas Berkelanjutan." *Jurnal Siber Transportasi dan Logistik (JSTL)* 3(1), 28–32. doi:<https://doi.org/10.38035/jstl.v3i1>.
- Atkurrahman, Moh. 2025. "Analisis Konseptual dan Aplikatif Konteks Integral dalam Kehidupan Sehari-hari: Tinjauan Pustaka Kontekstual-Tematik." *Jurnal Pendidikan Matematika (AL KHAWARIZMI)* 5(2):56–62. doi:<https://doi.org/10.46368/kjpm.v5i2.4088>.
- Azzumardi, Ilham Alfin, Yanto Budisusanto, dan Yuwono. 2022. "Analisis Pengaruh Interval Jarak Profil Melintang untuk Perhitungan Volume dengan Metode Penampang Rata-rata." *Jurnal Teknik ITS* 11(1). doi:<https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i1.81850>.
- Daeli, Jefri Rahmat, Jun Fajar Krisman Giawa, Kevin Berkat Mendrofa, Dermawan Zebua, Agusrahmat Ndruru, Inat Selamat Ziliwu, dan Cristopher Zebua. 2024. "Penerapan Metode Statistik dalam Evaluasi Kinerja Jembatan dengan Menggunakan Data Pemeliharaan dan Inspeksi." *IDENTIK: Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik* 01(1), 57–65.

doi:<https://doi.org/10.70134/identik.v1i1.245>.

- Damanik, Rizka Nabila, Grace Purba, Klara Laoli, Bobby Delon Togatorop, Windy Suryani, dan Suvriadi Panggabean. 2025. "Estimasi Volume Air Waduk Lau Kawar Menggunakan Pendekatan Integral Volume Kulit Tabung." *Algoritma : Jurnal Matematika, Ilmu pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa* 3(3), 36–45. doi:<https://doi.org/10.62383/algoritma.v3i3.483>.
- Fernandez, Aloysius Joakim, Khairina, Ummi Habibah, dan Fairus. 2023. *Kalkulus Integral*. diedit oleh Lisa. Aceh: Yayasan Penerbit Muhammad Zaini Anggota.
- Frazila, Russ Bona, Febri Zukhruf, Taufiq Suryo Nugroho, Rudy Hermawan Karsaman, dan Harmein Rahman. 2021. "Pengembangan Metode Penilaian Indikator Transportasi Berkelanjutan di Indonesia." *Jurnal Teknik Sipil* 28(1). doi:10.5614/jts.2020.28.1.8.
- Giawa, Jun Fajar Krisman. 2024. "Strategi Perencanaan Jaringan Transportasi Menggunakan Model Matematika Teknik Sipil." *IDENTIK: Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik* 01(03), 186–194. doi:<https://doi.org/10.70134/identik.v2i4.239>.
- Han, Shuman, Hongyu Zhao, Yi Zhang, Chen Yang, Xiaonan Han, dan Huizhao Wu. 2023. "Application of Machine Learning Standardized Integral Area Algorithm in Measuring The Scoliosis." *Scientific Reports* 1–10.
- Harnawati, dan Ully Hidayati. 2024. "Persepsi Mahasiswa Calon Guru Matematika terhadap Pemanfaatan Teknologi Kecerdasan Buatan dalam Konteks Pembelajaran." *JagoMIPA: Jurnal Pendidikan Matematika dan IPA*, 4(1), 50–59. doi:<https://doi.org/10.53299/jagomipa.v4i1.389>.
- Koswara, Ucu, dan Tanti Damayanti. 2022. "Meningkatkan Kemampuan Pemahaman Siswa Melalui Software Geogebra Versi 5 pada Materi Penggunaan Integral dalam Menentukan Luas Daerah Kurva." *Pi-Math - Jurnal Pendidikan Matematika* Sebelas April I(1), 68–74. <https://ejournal.unsap.ac.id/index.php/pi-math/article/view/247>.
- Kristiyani, Ika Murti, dan Zeny Ernarningsih. 2024. "Eksplorasi Etnomatematika pada Kerajinan Gerabah dan Penerapannya dalam Pembelajaran Kalkulus Integral." *Jurnal Axioma: Jurnal Matematika dan Pembelajaran*, 9(1), 39–53. doi:<https://doi.org/10.56013/axi.v9i1.2602>.
- Kusuma, Zhima Ratna, dan Retno Susilorini. 2024. "Analisis Perhitungan Kebutuhan Tulangan dan Volume Beton pada Pekerjaan Perencanaan Struktur Kolom." *Jurektik* 1(2), 136–44.
- Malay, Irvan, Azis Aditia, Aditya Tri Pratama, David Veliye Nainggolan, dan Wiastica Dwi Febri Br. Purba. 2025. "Aplikasi Integral Tertentu dalam Menentukan Luas dan Volume Bangun Datar dan Bangun Ruang." *Jurnal Pendidikan Tambusai* 9(3), 41–46. doi:<https://doi.org/10.31004/jptam.v9i3.35650>.
- Nasution, Alvi Sahrin, Dear Sevtia Br Karo Karo, Gracia Lovian Girsang, Br Ginting, Klara Manila Laoli, dan Windi Suryani. 2025. "Penerapan Integral Lipat Dua untuk Menghitung Volume Tiang Beton Berbentuk Tabung sebagai Dasar Estimasi Kebutuhan Material pada Struktur Pondasi Gedung." *Pentagon : Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam* 3(4), 13–22. doi:<https://doi.org/10.62383/pentagon.v3i4.888>.
- Nuraeni, Reni, Nurjanah, dan Hesty Marwani Siregar. 2024. "Eksplorasi Pembelajaran Kalkulus Integral dengan Menggunakan Teknologi." *Plusminus: Jurnal Pendidikan Matematika* 4, 83–94. doi:<https://doi.org/10.31980/plusminus.v4i1.1526>.
- Ranguly, Alex, Mesak Ratuanik, dan Yoseph Watratan. 2024. "Penggunaan Aplikasi Geogebra pada Materi Integral untuk Mahasiswa Semester II Pogram Studi Pendidikan Matematika Universitas Lelemuku Saumlaki." *KAMBOTI Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora* 4(2). doi:<https://doi.org/10.51135/kambotivol4issue2page88-101>.
- Sari, Lisma Dian Kartika, Zainul Munawwir, dan Darsih Idayani. 2025. "Eksplorasi Kalkulus Integral dalam Mengukur Volume Benda Hasil Rotasi Kurva Sederhana Berbantu Geogebra." *Jurnal Pendidikan MIPA* 15(4):1543–50. doi:<https://doi.org/10.37630/jpm.v15i4.3518>.
- Setyobudi, Risang. 2025. "Analisis Stabilitas Lereng Berbasis Model Matematis untuk Perencanaan Infrastruktur Perkotaan Berkelanjutan." *Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology* 1(2), 48–57. doi:<https://doi.org/10.65310/nh16y873>.
- Tawil, Akhyar H. M., dan Fajriani. 2025. "Analysis of the Impact of Artificial Intelligence (AI) Technology Implementation in Integral Calculus Learning." *EMTEKA: Jurnal Pendidikan*

Matematika 6(2), 779–789. doi:<https://doi.org/10.24127/emteka.v6i2.7531>.

Yulianita, Prisca Evelyn, Qotrunnada Salsabila, Mochammad Gentar Wisnu Wijaya, dan Laras Putri Effendi. 2025. “Reimajinasi Logistik Sumatera: Kerangka Rekayasa Nilai Hijau untuk Integrasi Transportasi Berkelanjutan.” *TECHNOPEX-2025 Institut Teknologi Indonesia* 9(1), 516–522.

