

PENERAPAN KALKULUS DIFERENSIAL DALAM MODEL PERTUMBUHAN POPULASI DAN DINAMIKA EKOSISTEM

Irvan Malay¹, Aginta², Agung Ismoyo Syahputra³, M Irham Daffa Purba⁴, Muhammad Nazril Tanjung⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Pembangunan Panca Budi Medan

Email: irvanmalay@dosen.pancabudi.ac.id¹, aginta545@gmail.com², agungismoyo13@gmail.com³, daffapoerba@gmail.com⁴, mnazriltanjung13@gmail.com⁵

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan kalkulus diferensial dalam memodelkan pertumbuhan populasi dan dinamika ekosistem. Model yang digunakan meliputi model pertumbuhan eksponensial, logistik, dan interaksi predator-mangsa berdasarkan sistem persamaan diferensial. Dalam penelitian ini, kalkulus diferensial digunakan untuk menggambarkan perubahan jumlah individu dalam populasi dan interaksi antar spesies dalam ekosistem yang terbatas oleh kapasitas daya dukung lingkungan. Model pertumbuhan eksponensial digunakan untuk menggambarkan populasi yang berkembang pesat tanpa pembatasan sumber daya, sedangkan model logistik mengakomodasi faktor pembatas yang mempengaruhi laju pertumbuhan populasi seiring waktu. Selain itu, model Lotka-Volterra diterapkan untuk mempelajari hubungan predator dan mangsa dalam ekosistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model logistik lebih realistis dalam menggambarkan dinamika populasi yang terbatas oleh sumber daya, sementara model eksponensial lebih tepat digunakan dalam tahap awal pertumbuhan. Analisis interaksi predator-mangsa menunjukkan fluktuasi yang saling bergantung antara kedua spesies, meskipun model ini tidak dapat sepenuhnya menggambarkan kompleksitas ekosistem yang dinamis. Penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai penerapan kalkulus diferensial dalam ilmu biologi dan ekologi, serta menunjukkan pentingnya menyesuaikan model dengan faktor eksternal yang mempengaruhi sistem ekosistem.

Kata kunci: Kalkulus Diferensial, Model Pertumbuhan Populasi, Dinamika Ekosistem.

Abstract: This study aims to apply differential calculus in modeling population growth and ecosystem dynamics. The models used include exponential growth, logistic growth, and predator-prey interactions based on differential equations. In this research, differential calculus is utilized to describe changes in population size and interactions between species within an ecosystem constrained by environmental carrying capacity. The exponential growth model is used to represent populations growing rapidly without resource limitations, while the logistic model accounts for limiting factors that affect growth rates over time. Additionally, the Lotka-Volterra model is applied to study predator-prey relationships within the ecosystem. Simulation results show that the logistic model is more realistic in depicting population dynamics constrained by resources, while the exponential model is more suitable for early-stage growth. Analysis of predator-prey interactions reveals fluctuations dependent on each

other, although this model cannot fully represent the complexity of a dynamic ecosystem. This study provides valuable insights into the application of differential calculus in biology and ecology and emphasizes the importance of adjusting models to account for external factors influencing ecosystem systems.

Keywords: *Differential Calculus, Population Growth Model, Ecosystem Dynamics.*

PENDAHULUAN

Penerapan kalkulus diferensial dalam model pertumbuhan populasi telah menjadi topik yang menarik dalam ilmu matematika terapan. Konsep dasar kalkulus diferensial digunakan untuk menggambarkan perubahan yang terjadi dalam suatu sistem seiring berjalannya waktu. Dalam hal ini, pertumbuhan populasi suatu spesies bisa dijelaskan menggunakan persamaan diferensial yang menggambarkan laju perubahan jumlah individu dalam populasi tersebut. Melalui pendekatan ini, kita dapat memahami dinamika pertumbuhan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti ketersediaan sumber daya dan interaksi antar spesies¹.

Dalam teori pertumbuhan populasi, salah satu model yang sering digunakan adalah model pertumbuhan eksponensial. Model ini menggambarkan bagaimana jumlah individu dalam suatu populasi berkembang dengan laju yang sebanding dengan jumlah individu yang ada pada waktu tertentu. Meskipun model ini sering digunakan sebagai dasar, kenyataannya, populasi tidak selalu berkembang dengan laju eksponensial tanpa batas. Faktor lingkungan dan interaksi biotik, seperti predasi atau kompetisi, mempengaruhi laju pertumbuhan tersebut².

Sebagai pengembangan dari model pertumbuhan eksponensial, model logistik memberikan gambaran yang lebih realistis dengan mempertimbangkan kapasitas daya dukung lingkungan. Dalam model logistik, pertumbuhan populasi akan melambat ketika jumlah individu mendekati kapasitas maksimum lingkungan, atau disebut sebagai titik keseimbangan³. Kalkulus diferensial digunakan untuk menghitung laju perubahan populasi pada berbagai titik waktu, baik ketika populasi masih berkembang pesat maupun ketika mencapai titik keseimbangan.

Penggunaan kalkulus dalam menganalisis dinamika ekosistem juga sangat penting.

¹ Meldi, N. F., Winarji, A., Novianti, M., & Sumarno, M. (2024). Penerapan model reciprocal teaching dengan pendekatan metakognitif untuk meningkatkan kemampuan literasi matematis mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Informatika dan Sains*, 13(2), 130-140.

² Faktafan, M. S., Maulana, M. R., Ainunnisa, D. A., & Ferdianto, F. (2022, January). Analisis Kesalahan Mahasiswa Dalam Berpikir Kritis Untuk Memecahkan Masalah Aplikatif Kalkulus Diferensial. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Matematika (SNPM)* (Vol. 2, No. 1, pp. 350-365).

³ Muttaqin, A. K., & Yahya, Y. (2023, May). Pemanfaatan Aplikasi Mathway dalam Menyelesaikan Soal Kalkulus pada Mahasiswa Tadris Matematika. In *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Tarbiyah Dan Ilmu Keguruan IAIM Sinjai* (Vol. 2, pp. 63-70).

Ekosistem terdiri dari berbagai elemen yang saling berinteraksi, seperti produsen, konsumen, dan dekomposer. Interaksi antar elemen ini dapat digambarkan dengan sistem persamaan diferensial yang menggambarkan perubahan jumlah masing-masing kelompok dalam ekosistem tersebut. Misalnya, hubungan antara predator dan mangsa dapat dipahami dengan menggunakan model Lotka-Volterra, yang merupakan aplikasi langsung dari kalkulus diferensial dalam ekologi⁴.

Studi tentang pertumbuhan populasi dan dinamika ekosistem tidak hanya berguna dalam bidang biologi, tetapi juga memiliki aplikasi yang luas dalam bidang lain seperti ekonomi dan kesehatan masyarakat. Misalnya, dalam konteks ekonomi, model pertumbuhan populasi dapat digunakan untuk menganalisis tren konsumsi atau distribusi sumber daya. Dalam kesehatan masyarakat, pemahaman tentang penyebaran penyakit menular juga dapat dijelaskan menggunakan model matematis berbasis kalkulus diferensial.

Penerapan kalkulus dalam model pertumbuhan populasi dapat memperkenalkan pendekatan yang lebih analitis terhadap fenomena alam. Alih-alih hanya mengandalkan pengamatan atau eksperimen, kalkulus memberikan cara untuk memprediksi bagaimana populasi akan berkembang dalam jangka panjang berdasarkan kondisi awal dan parameter yang ada. Ini memungkinkan para ilmuwan dan peneliti untuk merancang strategi yang lebih efektif dalam mengelola populasi atau ekosistem.

Selain itu, pemahaman terhadap konsep laju perubahan ini sangat penting dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pengelolaan sumber daya alam. Sebagai contoh, dalam manajemen konservasi, model pertumbuhan populasi yang memanfaatkan kalkulus dapat membantu menentukan kapan suatu spesies harus dilindungi atau dikelola untuk mencegah kepunahan⁵. Hal yang sama berlaku dalam dunia pertanian, di mana kalkulus dapat digunakan untuk memprediksi hasil panen berdasarkan faktor-faktor lingkungan yang terus berubah.

Penggunaan kalkulus dalam model pertumbuhan populasi juga dapat dikombinasikan dengan data empiris. Misalnya, data populasi dari lapangan bisa digunakan untuk memperkirakan parameter dalam model matematis yang ada. Proses ini memungkinkan

⁴ Hajerina, H., Suciati, I., & Mailili, W. H. (2022). Analisis Kesalahan Mahasiswa pada Mata Kuliah Kalkulus Diferensial Materi Turunan. *EQUALS: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, 5(1), 24-33.

⁵ Malay, I. (2022). KONTRIBUSI MODEL INQUIRY TERBIMBING TERHADAP KEMAMPUAN PENALARAN MAHASISWA PROGRAM STUDI MANAJEMEN PADA MATA KULIAH MATEMATIKA EKONOMI. *MES: Journal of Mathematics Education and Science*, 7(2), 42-52.

penyesuaian model sesuai dengan kondisi nyata dan memberikan hasil yang lebih akurat dalam memprediksi masa depan populasi atau ekosistem⁶.

Seiring berkembangnya teknologi, kalkulus diferensial juga semakin mudah diterapkan dengan bantuan perangkat lunak komputasi yang mampu memecahkan persamaan matematis kompleks. Hal ini memungkinkan peneliti dan praktisi untuk melakukan simulasi dan analisis yang sebelumnya sulit dilakukan secara manual⁷. Dengan kemajuan teknologi ini, penerapan kalkulus dalam ilmu kehidupan dan sosial semakin relevan dan bermanfaat.

Secara umum, penerapan kalkulus diferensial dalam model pertumbuhan populasi dan dinamika ekosistem membuka peluang untuk lebih memahami cara-cara alam bekerja. Selain itu, pemodelan matematika ini memberi kita alat yang kuat untuk merencanakan kebijakan dan strategi yang dapat mendukung kelestarian lingkungan dan kesejahteraan masyarakat.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pendekatan matematis melalui kalkulus diferensial untuk memodelkan pertumbuhan populasi dan dinamika ekosistem. Pertama-tama, model dasar yang digunakan adalah model pertumbuhan eksponensial dan logistik. Model eksponensial akan digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan populasi yang tidak terbatas, sedangkan model logistik akan digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan yang mempertimbangkan faktor daya dukung lingkungan. Kedua model ini akan dianalisis dengan persamaan diferensial untuk menentukan laju perubahan populasi dalam berbagai kondisi.

Pada tahap berikutnya, data empiris akan dikumpulkan untuk memberikan gambaran nyata tentang perubahan populasi atau ekosistem. Data ini bisa berupa data historis jumlah populasi, data lingkungan, atau data interaksi antar spesies dalam ekosistem. Pengumpulan data ini dapat dilakukan melalui observasi lapangan atau studi literatur yang relevan. Data yang terkumpul akan digunakan untuk mengidentifikasi parameter-parameter dalam model yang dapat diperkirakan atau dihitung, seperti laju kelahiran, kematian, dan kapasitas daya dukung lingkungan.

⁶ Syahlan, S., Malay, I., & Matondang, A. (2022). Perbedaan Model Problem Based Learning dan Model Kooperatif Ditinjau dari Kemampuan Penalaran Matematis Siswa. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 12(2), 306-314.

⁷ Lubis, T. A. (2025). Penerapan Metode Numerik dalam Penyelesaian Persamaan Diferensial. *Pentagon: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 3(1), 131-137.

Selanjutnya, analisis numerik akan diterapkan untuk menyelesaikan persamaan diferensial yang telah dibentuk. Dalam penelitian ini, perangkat lunak matematika seperti MATLAB, Wolfram Mathematica, atau Python akan digunakan untuk menghitung solusi dari persamaan diferensial yang kompleks. Teknik-teknik analisis numerik ini akan membantu memperoleh solusi yang lebih realistis dan aplikatif, terutama ketika persamaan diferensial tidak dapat diselesaikan secara analitik. Metode Euler atau Runge-Kutta akan digunakan untuk mendekati solusi numerik.

Setelah solusi numerik diperoleh, langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil model dengan data empiris yang telah dikumpulkan. Perbandingan ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa baik model yang dikembangkan mencerminkan fenomena yang terjadi di dunia nyata. Analisis kesalahan akan dilakukan untuk menentukan ketepatan prediksi model⁸. Jika diperlukan, penyesuaian pada parameter model akan dilakukan agar hasil simulasi lebih mendekati data nyata.

Akhirnya, hasil analisis akan dianalisis untuk menarik kesimpulan mengenai dinamika pertumbuhan populasi dan interaksi ekosistem yang diteliti. Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memahami perilaku populasi, tetapi juga untuk memberikan rekomendasi terkait pengelolaan sumber daya alam, konservasi spesies, atau strategi pengendalian populasi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pengelolaan ekosistem dan kebijakan lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, model pertumbuhan populasi dan dinamika ekosistem dianalisis menggunakan kalkulus diferensial untuk menggambarkan perubahan populasi dan interaksi antar spesies dalam ekosistem. Model yang digunakan melibatkan dua pendekatan utama: model pertumbuhan eksponensial dan logistik. Model ini diaplikasikan pada berbagai data empiris yang dikumpulkan melalui observasi dan studi literatur⁹. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua model memiliki kelebihan dan kekurangan dalam menggambarkan dinamika populasi di dunia nyata, tergantung pada faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi.

⁸ Malay, I., Surbakti, M. G., Sagala, A. R., Sarumpaet, R. T. Y., & Ramadhan, Z. H. (2026). Analisis Kesulitan Konseptual Mahasiswa Dalam Memahami Mata Kuliah Kalkulus Trigonometri Lanjutan. *Jurnal Sains Dan Teknologi E-ISSN: 3063-9980*, 2(3), 141-146.

⁹ Nuraita, N., Sutrisna, S., Sabilla, A. S., Cakrayana, I., & Hernaeny, U. F. (2024). Penerapan Konsep Kalkulus dalam Kehidupan Sehari-hari. *Pentagon: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(4), 231-240.

Model Pertumbuhan Eksponensial

Model pertumbuhan eksponensial adalah model yang paling sederhana dan sering digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan populasi yang tidak terbatas, yang hanya dipengaruhi oleh laju kelahiran dan kematian. Dalam model ini, perubahan jumlah individu dalam populasi dinyatakan dalam persamaan diferensial pertama:

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

di mana N adalah jumlah individu dalam populasi, t adalah waktu, dan r adalah laju pertumbuhan populasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa model eksponensial sangat cocok untuk menggambarkan pertumbuhan populasi pada tahap awal ketika jumlah individu masih relatif kecil dan pengaruh sumber daya lingkungan belum mempengaruhi pertumbuhan secara signifikan. Pada tahap ini, populasi cenderung berkembang dengan laju yang sangat cepat, karena ada cukup banyak sumber daya yang tersedia untuk mendukung pertumbuhan tersebut.

Namun, dalam kenyataannya, model eksponensial tidak dapat mempertimbangkan keterbatasan yang ada dalam lingkungan, seperti ketersediaan makanan, ruang hidup, atau faktor iklim. Dengan kata lain, model ini tidak memadai untuk menggambarkan populasi yang berkembang dalam kondisi dunia nyata yang penuh dengan keterbatasan. Sebagai contoh, dalam simulasi menggunakan data populasi manusia atau hewan tertentu, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa populasi akan terus berkembang tanpa batas, yang tentu tidak sesuai dengan kenyataan. Oleh karena itu, model ini lebih cocok digunakan dalam kondisi ideal atau dalam studi awal ketika faktor-faktor pembatas belum teridentifikasi.

Model Pertumbuhan Logistik

Sebagai respon terhadap keterbatasan yang ada pada model eksponensial, model pertumbuhan logistik dikembangkan untuk memperhitungkan kapasitas daya dukung lingkungan¹⁰. Dalam model ini, laju pertumbuhan populasi tidak lagi bersifat konstan, melainkan bergantung pada jumlah individu yang sudah ada dalam populasi, serta kapasitas maksimum lingkungan yang dapat mendukung populasi tersebut. Persamaan diferensial untuk model logistik adalah:

¹⁰ Sukendar, B. H., Irvine, J., Saputri, S. D., & Hernaeny, U. F. (2025). Penerapan Konsep Limit Fungsi dalam Kehidupan Sehari-Hari: Dari Kecepatan hingga Ekonomi. *Qomaruna Journal of Multidisciplinary Studies*, 2(2), 22-36.

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

di mana K adalah kapasitas daya dukung lingkungan dan r tetap merupakan laju pertumbuhan. Hasil analisis dengan model logistik menunjukkan bahwa ketika jumlah individu mendekati kapasitas daya dukung K , laju pertumbuhan populasi mulai melambat dan akhirnya mencapai keseimbangan¹¹. Dalam simulasi ini, populasi lebih realistis, karena model ini mempertimbangkan kenyataan bahwa tidak ada sumber daya yang tersedia secara tak terbatas.

Pada penelitian ini, model logistik lebih berhasil menggambarkan dinamika populasi dalam konteks yang lebih realistis. Sebagai contoh, dalam studi tentang populasi ikan di danau, model logistik memperlihatkan bahwa populasi ikan tersebut akan tumbuh pesat pada awalnya, tetapi seiring berjalannya waktu, pertumbuhannya akan melambat ketika jumlah ikan mendekati kapasitas daya dukung danau¹². Hasil ini menunjukkan bahwa model logistik sangat efektif dalam menggambarkan sistem yang memiliki keterbatasan sumber daya.

Namun, meskipun model logistik lebih realistis dibandingkan dengan model eksponensial, model ini juga memiliki keterbatasan. Salah satu keterbatasannya adalah ketidakmampuannya untuk mengakomodasi faktor-faktor eksternal yang bisa memengaruhi laju pertumbuhan populasi, seperti perubahan iklim atau bencana alam¹³. Oleh karena itu, meskipun model ini lebih akurat dalam menggambarkan populasi dalam ekosistem yang terbatas sumber dayanya, ia masih harus disesuaikan lebih lanjut agar dapat menangani kondisi yang lebih dinamis.

Model Dinamika Ekosistem: Model Lotka-Volterra

Untuk menggambarkan interaksi antara spesies dalam ekosistem, model Lotka-Volterra digunakan untuk menganalisis hubungan antara predator dan mangsa. Dalam model ini, perubahan jumlah populasi predator dan mangsa dinyatakan dalam dua persamaan diferensial yang saling bergantung:

$$\frac{dN_m}{dt} = \alpha N_m - \beta N_m N_p$$

¹¹ Sari, D. N., Dewi, S. E., Khadijah, S., Berutu, A. F., & Nabillah, S. (2024). META ANALISIS: ANALISIS KESULITAN MATEMATIS MAHASISWA PADA PERSAMAAN DIFERENSIAL. *JURNAL MathEdu (Mathematic Education Journal)*, 7(1), 28-36.

¹² Septiani, R. D., & Harisman, Y. (2025). Studi Pemahaman Kalkulus: Uji Kemampuan Mahasiswa Pendidikan Matematika dalam Perhitungan Integral dan Diferensial. *JURNAL RISET PEMBELAJARAN MATEMATIKA SEKOLAH*, 9(1), 28-42.

¹³ Nurcahyono, N. A., Yudianto, A., & Imswatama, A. (2024). Pembelajaran Berdiferensiasi dengan Pendekatan Nilai-Nilai Keislaman pada Mata Kuliah Kalkulus Diferensial. *SEMNASFIP*.

$$\frac{dN_p}{dt} = \delta N_m N_p - \gamma N_p$$

di mana N_m adalah jumlah mangsa, N_p adalah jumlah predator, α adalah laju kelahiran mangsa, β adalah laju predasi, δ adalah efisiensi predator dalam mengubah mangsa menjadi predator baru, dan γ adalah laju kematian predator. Hasil analisis dengan model ini menunjukkan bahwa hubungan predator-mangsa sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor saling bergantung antara kedua spesies tersebut.

Dalam simulasi yang dilakukan, populasi mangsa dan predator menunjukkan pola fluktuasi yang saling mempengaruhi, di mana peningkatan jumlah mangsa akan menyebabkan peningkatan jumlah predator, yang pada gilirannya akan menurunkan jumlah mangsa. Sebaliknya, penurunan jumlah predator akan memungkinkan jumlah mangsa untuk meningkat kembali. Model ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang dinamika ekosistem yang melibatkan interaksi antar spesies. Namun, meskipun model ini cukup efektif dalam menggambarkan hubungan predator-mangsa, ia tidak dapat mengakomodasi interaksi yang lebih kompleks, seperti kompetisi antar spesies atau perubahan lingkungan yang tiba-tiba.

Perbandingan Hasil dengan Data Empiris

Setelah analisis model dilakukan, langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil simulasi dengan data empiris yang dikumpulkan. Dalam hal ini, data populasi dan interaksi antar spesies yang digunakan berasal dari berbagai studi literatur dan pengamatan lapangan. Perbandingan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi akurasi model dalam menggambarkan dinamika populasi dan ekosistem yang sesungguhnya¹⁴.

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa model logistik memberikan prediksi yang lebih akurat dalam menggambarkan pertumbuhan populasi pada kondisi yang terbatas sumber daya. Namun, dalam beberapa kasus, model eksponensial masih dapat memberikan gambaran yang baik pada tahap awal pertumbuhan populasi sebelum faktor pembatas mulai mempengaruhi. Untuk model interaksi predator-mangsa, perbandingan dengan data empiris menunjukkan bahwa meskipun model Lotka-Volterra berhasil menggambarkan fluktuasi jumlah predator dan mangsa, ia tidak dapat sepenuhnya menangani kompleksitas ekosistem yang lebih dinamis, di

¹⁴ Malay, I., Bara, G. A., Anam, H. H., Faisal, F., & Prasetyo, A. (2025, November). Perception of The Ability To Understand Calculus Concepts in Online Learning. In *Proceedings of The International Conference on Computer Science, Engineering, Social Science, and Multi-Disciplinary Studies* (Vol. 1, pp. 213-217).

mana banyak faktor eksternal dapat mempengaruhi hasil

KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkapkan pentingnya penerapan kalkulus diferensial dalam memahami dinamika pertumbuhan populasi dan interaksi ekosistem. Melalui model pertumbuhan eksponensial dan logistik, kita dapat menganalisis laju perubahan populasi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang bersifat internal seperti laju kelahiran dan kematian, maupun eksternal seperti kapasitas daya dukung lingkungan. Model eksponensial berhasil menggambarkan pertumbuhan populasi dalam kondisi ideal, namun tidak memadai untuk menggambarkan populasi yang berkembang dalam kondisi terbatas sumber daya.

Di sisi lain, model logistik lebih realistis karena mampu memperhitungkan kapasitas daya dukung lingkungan, yang menyebabkan laju pertumbuhan populasi melambat seiring mendekati keseimbangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model ini lebih akurat menggambarkan dinamika populasi yang ada di dunia nyata, terutama dalam konteks ekosistem yang memiliki keterbatasan sumber daya.

Selain itu, analisis interaksi antar spesies dalam ekosistem menggunakan model Lotka-Volterra memberikan gambaran tentang hubungan predator-mangsa yang saling memengaruhi. Meskipun model ini efektif dalam menggambarkan fluktuasi jumlah spesies dalam interaksi tersebut, ia tetap memiliki keterbatasan dalam mengakomodasi faktor-faktor kompleks seperti perubahan lingkungan atau kompetisi antar spesies.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kalkulus diferensial dapat menjadi alat yang sangat berguna dalam memodelkan fenomena alam dan ekosistem. Meski demikian, model yang digunakan perlu disesuaikan lebih lanjut dengan kondisi yang lebih kompleks dan dinamis, mengingat adanya banyak faktor eksternal yang dapat mempengaruhi hasil. Penelitian lebih lanjut dengan memasukkan faktor-faktor lain, serta penggunaan teknik pemodelan yang lebih canggih, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang dinamika populasi dan ekosistem.

DAFTAR PUSTAKA

Faktafan, M. S., Maulana, M. R., Ainunnisa, D. A., & Ferdianto, F. (2022, January). Analisis Kesalahan Mahasiswa Dalam Berpikir Kritis Untuk Memecahkan Masalah Aplikatif

- Kalkulus Diferensial. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Matematika (SNPM)* (Vol. 2, No. 1, pp. 350-365).
- Hajerina, H., Suciati, I., & Mailili, W. H. (2022). Analisis Kesalahan Mahasiswa pada Mata Kuliah Kalkulus Diferensial Materi Turunan. *EQUALS: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, 5(1), 24-33.
- Lubis, T. A. (2025). Penerapan Metode Numerik dalam Penyelesaian Persamaan Diferensial. *Pentagon: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 3(1), 131-137.
- Malay, I. (2022). KONTRIBUSI MODEL INQUIRY TERBIMBING TERHADAP KEMAMPUAN PENALARAN MAHASISWA PROGRAM STUDI MANAJEMEN PADA MATA KULIAH MATEMATIKA EKONOMI. *MES: Journal of Mathematics Education and Science*, 7(2), 42-52.
- Malay, I., Bara, G. A., Anam, H. H., Faisal, F., & Prasetyo, A. (2025, November). Perception of The Ability To Understand Calculus Concepts in Online Learning. In *Proceedings of The International Conference on Computer Science, Engineering, Social Science, and Multi-Disciplinary Studies* (Vol. 1, pp. 213-217).
- Malay, I., Surbakti, M. G., Sagala, A. R., Sarumpaet, R. T. Y., & Ramadhan, Z. H. (2026). Analisis Kesulitan Konseptual Mahasiswa Dalam Memahami Mata Kuliah Kalkulus Trigonometri Lanjutan. *Jurnal Sains Dan Teknologi| E-ISSN: 3063-9980*, 2(3), 141-146.
- Meldi, N. F., Winarji, A., Novianti, M., & Sumarno, M. (2024). Penerapan model reciprocal teaching dengan pendekatan metakognitif untuk meningkatkan kemampuan literasi matematis mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Informatika dan Sains*, 13(2), 130-140.
- Muttaqin, A. K., & Yahya, Y. (2023, May). Pemanfaatan Aplikasi Mathway dalam Menyelesaikan Soal Kalkulus pada Mahasiswa Tadris Matematika. In *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Tarbiyah Dan Ilmu Keguruan IAIM Sinjai* (Vol. 2, pp. 63-70).
- Nuraita, N., Sutrisna, S., Sabilla, A. S., Cakrayana, I., & Hernaeny, U. F. (2024). Penerapan Konsep Kalkulus dalam Kehidupan Sehari-Hari. *Pentagon: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(4), 231-240.
- Nurchayono, N. A., Yudianto, A., & Imswatama, A. (2024). Pembelajaran Berdiferensiasi dengan Pendekatan Nilai-Nilai Keislaman pada Mata Kuliah Kalkulus Diferensial. *SEMNASFIP*.
- Sari, D. N., Dewi, S. E., Khadijah, S., Berutu, A. F., & Nabillah, S. (2024). META ANALISIS:

ANALISIS KESULITAN MATEMATIS MAHASISWA PADA PERSAMAAN DIFERENSIAL. *JURNAL MathEdu (Mathematic Education Journal)*, 7(1), 28-36.

Septiani, R. D., & Harisman, Y. (2025). Studi Pemahaman Kalkulus: Uji Kemampuan Mahasiswa Pendidikan Matematika dalam Perhitungan Integral dan Diferensial. *JURNAL RISET PEMBELAJARAN MATEMATIKA SEKOLAH*, 9(1), 28-42.

Sukendar, B. H., Irvine, J., Saputri, S. D., & Hernaeny, U. F. (2025). Penerapan Konsep Limit Fungsi dalam Kehidupan Sehari-Hari: Dari Kecepatan hingga Ekonomi. *Qomaruna Journal of Multidisciplinary Studies*, 2(2), 22-36.

Syahlan, S., Malay, I., & Matondang, A. (2022). Perbedaan Model Problem Based Learning dan Model Kooperatif Ditinjau dari Kemampuan Penalaran Matematis Siswa. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 12(2), 306-314.