

Tinjauan Sistematis Dampak Visualisasi Interaktif terhadap Pemahaman Konsep Sistem Persamaan Nonlinier Mahasiswa

Habibi Ratu Perwira Negara¹, Farah Heniati Santosa², Jaka Wijaya Kusuma³,
Syaharuddin⁴

¹Pendidikan Matematika, Universitas Islam Negeri Mataram, Indonesia

²Pendidikan Matematika, Universitas Nahdlatul Wathan Mataram, Indonesia

³Pendidikan Matematika, Universitas Bina Bangsa, Indonesia

⁴Pendidikan Matematika, Universitas Muhammadiyah Mataram, Indonesia

habibiperwira@uinmataram.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 02-07-2024

Disetujui: 31-07-2025

Kata Kunci:

Visualisasi Interaktif
Matematis;
Pemahaman Konsep
Nonlinier;
Sistem Persamaan
Mahasiswa;
Pembelajaran
Matematika Digital.

Keywords:

Interactive Mathematical
Visualization;
Understanding Nonlinear
Concepts;
Student Equation
Systems;
Digital Mathematics
Learning.

ABSTRAK

Abstrak: Pemahaman konsep sistem persamaan nonlinier merupakan tantangan bagi banyak mahasiswa karena kompleksitas visual dan sifat dinamisnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis dampak visualisasi interaktif terhadap pemahaman konsep sistem persamaan nonlinier pada mahasiswa. Menggunakan Metode Kualitatif dengan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR), sebanyak 50 literatur dari database DOAJ, Scopus, dan Google Scholar yang diterbitkan dalam rentang tahun 2015 hingga 2025 ditelusuri, dan 18 studi yang relevan dianalisis secara mendalam. Hasil kajian menunjukkan bahwa visualisasi interaktif memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa melalui mekanisme representasi multipel, manipulasi parameter secara langsung, serta keterlibatan kognitif yang lebih tinggi.

Abstract: Understanding the concept of nonlinear equation systems is a challenge for many students due to their visual complexity and dynamic nature. This study aims to systematically examine the impact of interactive visualization on students' understanding of the concept of nonlinear equation systems. Using a Qualitative Method with a *Systematic Literature Review* (SLR) approach, 50 literature sources from the DOAJ, Scopus, and Google Scholar databases published between 2015 and 2025 were searched, and 18 relevant studies were analyzed in depth. The findings indicate that interactive visualization significantly contributes to enhancing students' conceptual understanding through mechanisms such as multiple representations, direct parameter manipulation, and higher cognitive engagement.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

A. LATAR BELAKANG

Pemahaman konsep merupakan aspek fundamental dalam pembelajaran matematika tingkat tinggi, termasuk dalam topik sistem persamaan nonlinier yang menjadi dasar dalam berbagai penerapan di bidang teknik, fisika, dan ekonomi. Sistem persamaan nonlinier memiliki karakteristik kompleks, seperti solusi yang tidak eksak, ketergantungan terhadap metode numerik, serta sensitivitas terhadap perubahan parameter, sehingga menuntut kemampuan konseptual yang kuat dari mahasiswa untuk memahami pola, struktur, dan interpretasi hasil secara mendalam.

Berbagai studi menunjukkan bahwa mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam memahami sifat dasar sistem ini, termasuk dalam menghubungkan representasi aljabar dengan bentuk grafis atau numerik dari solusi (Kirvan et al., 2015). Kesulitan ini diperparah oleh pendekatan pembelajaran konvensional yang cenderung menitikberatkan pada prosedur simbolik tanpa memberikan visualisasi yang mendukung proses berpikir konseptual. Ketika materi disajikan secara abstrak dan minim dukungan visual, mahasiswa berisiko mengalami miskonsepsi dan kesalahan dalam menyusun strategi penyelesaian, yang pada akhirnya berdampak pada rendahnya penguasaan materi (Qian & Lehman, 2017).

Salah satu pendekatan yang dinilai efektif dalam mendukung pemahaman konsep matematika yang kompleks adalah visualisasi interaktif (Salwa et al., 2022). Visualisasi interaktif merujuk pada representasi grafis dinamis yang memungkinkan pengguna untuk berinteraksi langsung dengan elemen-elemen visual, seperti mengubah parameter, mengeksplorasi solusi secara bertahap, dan mengamati secara real-time bagaimana perubahan input memengaruhi output. Dalam konteks pendidikan matematika, pendekatan ini terbukti mampu menjembatani pemahaman mahasiswa terhadap konsep-konsep abstrak, termasuk dalam topik sistem persamaan nonlinier yang secara alami sulit divisualisasikan melalui metode konvensional (Putri & Syaharuddin, 2019). Media interaktif seperti GeoGebra, MATLAB, dan aplikasi berbasis web telah banyak digunakan untuk memperkaya proses belajar dengan visualisasi grafis yang fleksibel, responsif, dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pembelajaran (Tatarczak & Mędreka, 2017). Selain meningkatkan kejelasan representasi matematis, visualisasi interaktif juga mendorong mahasiswa untuk aktif mengeksplorasi konsep secara mandiri, meningkatkan partisipasi dalam diskusi kelas, serta mengembangkan keterampilan pemecahan masalah berbasis eksplorasi visual (Fokuo et al., 2023). Bahkan beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan visualisasi interaktif dalam lingkungan belajar yang terintegrasi secara teknologi dapat memperkuat koneksi antara pemahaman konseptual dan representasi matematis yang beragam, sehingga mendukung perkembangan berpikir matematis tingkat tinggi (Yang & Baldwin, 2020).

Berbagai studi terdahulu telah membahas efektivitas visualisasi interaktif dalam konteks pembelajaran matematika, khususnya dalam meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa terhadap materi yang bersifat abstrak dan kompleks. Studi Amevor et al. (2021) terhadap 100 mahasiswa calon guru matematika di University of Zululand, Afrika Selatan, menunjukkan bahwa kelompok eksperimen yang menggunakan MATLAB mengalami peningkatan signifikan pada skor keterampilan visualisasi spasial dan rotasi mental berdasarkan pre-test kalkulus vektor dan post-test PSVT/R, dibandingkan kelompok kontrol, menegaskan efektivitas MATLAB sebagai alat visualisasi interaktif dalam meningkatkan representasi mental dan pemahaman struktur matematis abstrak seperti kalkulus vektor. Penelitian Malik et al.

(2025) menggunakan desain kuasi-eksperimen dengan 20 siswa SMA dan uji paired t-test menunjukkan peningkatan signifikan kompetensi matematika dari rata-rata 73,75% menjadi 89,06% setelah penggunaan GeoGebra, sekaligus meningkatkan partisipasi aktif dan pemahaman konsep matematika melalui alat pembelajaran interaktif tersebut. Visualisasi interaktif dinilai mampu membantu mahasiswa mengenali pola, memahami hubungan antarvariabel, dan menghubungkan simbol matematika dengan bentuk grafis secara intuitif (Ziatdinov & Valles, 2022). Studi lain oleh Amalia et al. (2024) menyatakan bahwa penggunaan media interaktif berbasis simulasi numerik memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan memfasilitasi pengembangan keterampilan pemecahan masalah.

Jika dilihat secara lebih spesifik, kajian yang secara langsung meneliti pengaruh visualisasi interaktif terhadap pemahaman sistem persamaan nonlinier masih tergolong terbatas. Sebagian besar penelitian masih berfokus pada topik-topik matematika lainnya yang lebih umum, seperti limit, fungsi, integral, atau sistem persamaan linear Dray & Manogue (2023), sementara sistem nonlinier yang memiliki karakteristik kompleks dan dinamis justru kurang banyak dikaji secara mendalam. Di sisi lain, variasi pendekatan metodologis, mulai dari studi eksperimental, kuasi-eksperimen, hingga studi kualitatif, serta perbedaan dalam jenis media interaktif yang digunakan, turut memengaruhi konsistensi temuan antar studi. Perbedaan indikator yang digunakan untuk mengukur pemahaman konseptual misalnya dari aspek kemampuan visualisasi, koneksi antar representasi, atau kemampuan interpretative juga membuat generalisasi hasil menjadi sulit dilakukan (Albo et al., 2019). Bahkan, beberapa penelitian tidak secara eksplisit membedakan antara visualisasi statis dan interaktif, sehingga menyulitkan penelusuran pengaruh spesifik dari fitur interaktivitas dalam mendukung proses belajar (Mahajan & Gokhale, 2018).

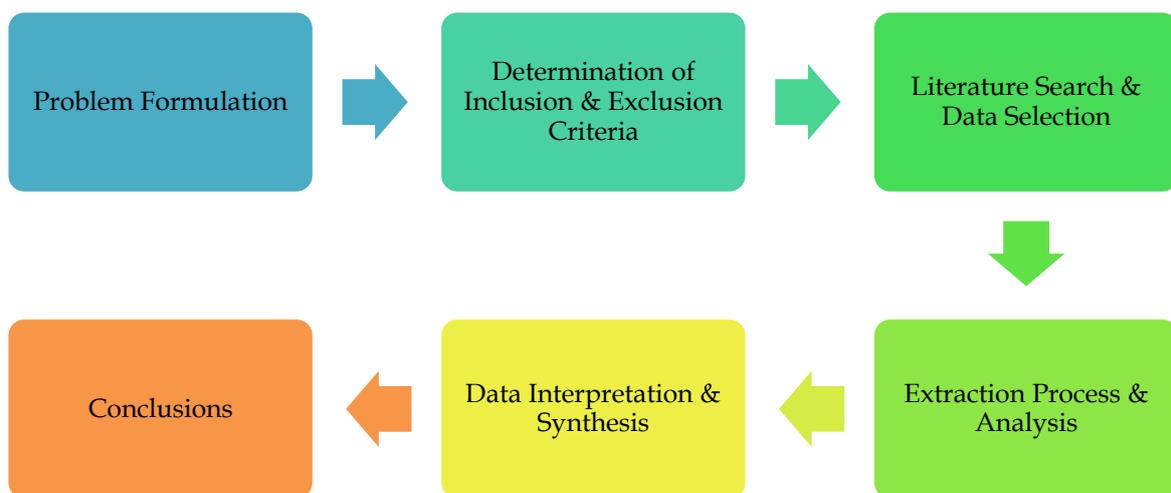
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan sistematis terhadap dampak visualisasi interaktif terhadap pemahaman konsep sistem persamaan nonlinier pada mahasiswa. Tinjauan ini akan mengidentifikasi jenis visualisasi interaktif yang digunakan dalam berbagai studi, mengevaluasi efektivitasnya dalam konteks pembelajaran sistem nonlinier, serta menggali tantangan dan peluang yang muncul dalam penerapannya. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan strategi pembelajaran berbasis teknologi visual yang lebih adaptif dan relevan untuk konteks pendidikan tinggi matematika.

B. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) dalam kerangka penelitian kualitatif, yang dirancang untuk mengevaluasi secara menyeluruh dampak visualisasi interaktif terhadap pemahaman konsep sistem persamaan nonlinier pada mahasiswa. Tahapan penelitian diawali dengan

perumusan masalah (problem formulation), yakni perlunya pemetaan mendalam terhadap kontribusi teknologi visualisasi interaktif seperti GeoGebra dan MATLAB dalam meningkatkan pemahaman matematis mahasiswa, khususnya pada materi sistem persamaan nonlinier. Selanjutnya, dilakukan penetapan kriteria inklusi dan eksklusi untuk menjamin relevansi dan kualitas studi yang dikaji. Kriteria inklusi mencakup artikel berbahasa Inggris atau Indonesia yang diterbitkan antara 2015 hingga 2025, bersumber dari jurnal peer-reviewed, prosiding konferensi, atau laporan resmi, serta membahas penggunaan visualisasi interaktif dalam konteks pembelajaran sistem persamaan nonlinier di pendidikan tinggi. Sebaliknya, artikel akan dikecualikan bila hanya menggunakan visual statis, tidak berbasis data empiris, melibatkan partisipan non-mahasiswa, tidak membahas pemahaman konsep, berfokus pada topik matematika lain, tidak berbahasa Inggris/Indonesia, atau hanya tersedia dalam bentuk abstrak.

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui basis data Google Scholar, DOAJ, dan Scopus menggunakan kata kunci: Visualisasi Interaktif Matematis, Pemahaman Konsep Nonlinier, Sistem Persamaan Mahasiswa, dan Pembelajaran Matematika Digital. Setelah dilakukan seleksi dan penyaringan artikel, tahap selanjutnya adalah ekstraksi dan analisis data, di mana temuan-temuan utama dari masing-masing studi dikodekan dan dikategorikan berdasarkan pendekatan visualisasi, jenis pemahaman konsep yang dikaji, serta hasil pembelajarannya. Data yang telah terkumpul kemudian diinterpretasikan melalui proses sintesis tematik kualitatif guna mengidentifikasi pola-pola temuan dan kecenderungan umum yang muncul dalam literatur. Akhirnya, penelitian ini menyimpulkan kontribusi utama visualisasi interaktif terhadap penguatan pemahaman sistem persamaan nonlinier pada mahasiswa serta mengemukakan arah penelitian selanjutnya, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur pelaksanaan penelitian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan penelusuran terhadap 50 literatur yang diperoleh dari berbagai database akademik, kami mengidentifikasi sebanyak 18 studi yang memenuhi kriteria inklusi dan secara substansial relevan dengan fokus serta tujuan penelitian ini. Studi-studi terpilih tersebut memberikan kontribusi signifikan dalam menjelaskan bagaimana visualisasi interaktif dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep sistem persamaan nonlinier, baik dari aspek representasi multipel, manipulasi parameter secara real-time, maupun keterlibatan kognitif dan afektif. Rincian karakteristik masing-masing studi, termasuk jenis visualisasi yang digunakan, pendekatan pembelajaran yang diterapkan, serta hasil utama dari setiap penelitian, disajikan secara sistematis dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Riset yang Dibahas dalam artikel

No	Fokus/Bidang	Nama-nama Penulis	Insight/ Variabel Riset yang Dibahas
1	Penggunaan perangkat lunak untuk visualisasi	Randjawali et al. (2022); Niazai et al. (2023); Ziatdinov & Valles (2022)	GeoGebra dan MATLAB dominan digunakan dalam membangun visualisasi interaktif sistem persamaan nonlinier; mengintegrasikan grafik, aljabar, dan simulasi numerik untuk pemahaman konsep.
2	Efektivitas visualisasi dinamis/interaktif	Kuosa et al. (2016); Starčič et al. (2016); Lowrie et al. (2019)	Visualisasi interaktif (berbasis parameter dinamis) lebih efektif dibanding visualisasi statis; mendorong eksplorasi, refleksi, dan pembentukan representasi mental yang lebih kuat.
3	Dampak visualisasi pada pemahaman konsep	McElhaney et al. (2015); Lizana & Ridho (2021); Lackmann et al. (2021)	Penggunaan visualisasi interaktif meningkatkan skor tes dan keterlibatan kognitif; video infografis terbukti meningkatkan perhatian dan hasil pembelajaran konsep kompleks.
4	Pemahaman relasi antar variabel dan grafik	Rolfes et al. (2020); Mavrikis et al. (2022); Firat et al. (2022)	Visualisasi membantu mahasiswa memahami representasi grafis dan keterkaitan antar variabel dalam sistem nonlinier; mendukung pengamatan pola dan penguatan konseptual.
5	Keterbatasan keterampilan teknologi	Mokotjo & Mokhele (2021); Bulyk & Kushniryk (2020)	Dosen dan mahasiswa mengalami kendala karena kurangnya pelatihan dan keterampilan awal untuk menggunakan software visualisasi seperti GeoGebra/MATLAB secara optimal.
6	Keterbatasan infrastruktur dan dukungan teknis	Matveeva et al. (2023); Tamam &	Hambatan mencakup minimnya fasilitas komputer, lisensi software, jaringan internet lemah, serta

No	Fokus/Bidang	Nama-nama Penulis	Insight / Variabel Riset yang Dibahas
		Dasari (2021); Pons et al. (2023)	kurangnya dukungan teknis di institusi pendidikan.
7	Integrasi pedagogi dan visualisasi	Pahmi et al. (2025)	Visualisasi sering belum terintegrasi dengan pendekatan pedagogis konseptual; penggunaan teknologi cenderung teknis dan kurang mendukung pemahaman mendalam jika tidak didesain secara pedagogis.

Tabel 1 menyajikan tujuh fokus utama dari penelitian-penelitian terkait visualisasi interaktif dalam pembelajaran sistem persamaan nonlinier. Fokus tersebut mencakup penggunaan perangkat lunak seperti GeoGebra dan MATLAB, efektivitas visualisasi dinamis dibandingkan visualisasi statis, serta dampaknya terhadap pemahaman konsep kompleks. Selain itu, tabel ini juga menyoroti peran visualisasi dalam memperkuat pemahaman relasi antar variabel dan grafik, serta mengungkap tantangan signifikan seperti keterbatasan keterampilan teknologi, infrastruktur pendukung, dan kurangnya integrasi antara teknologi visualisasi dengan pendekatan pedagogis berbasis konseptual. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa meskipun visualisasi interaktif memiliki potensi besar dalam mendukung pembelajaran matematika tingkat tinggi, efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh kesiapan teknis, institusional, dan desain pedagogis yang menyeluruh.

1. Bentuk dan Jenis Visualisasi Interaktif yang Digunakan dalam Pembelajaran Sistem Persamaan Nonlinier pada Mahasiswa

Sebagian besar studi menunjukkan bahwa perangkat lunak seperti GeoGebra dan MATLAB telah menjadi alat utama dalam membangun simulasi grafis, visualisasi tiga dimensi (3D), dan representasi numerik interaktif untuk meningkatkan pemahaman terhadap sistem persamaan nonlinier. GeoGebra, misalnya, banyak digunakan karena kemampuannya yang intuitif dalam mengintegrasikan aljabar, grafik, dan kalkulus dalam satu platform pembelajaran yang dinamis (Randjawali et al., 2022). Sementara itu, MATLAB menawarkan fleksibilitas tinggi dalam membangun model visual kompleks serta melakukan simulasi numerik yang akurat, menjadikannya pilihan populer di kalangan peneliti matematika terapan (Niazai et al., 2023). Selain itu, visualisasi interaktif yang dihasilkan melalui perangkat lunak ini terbukti mampu memfasilitasi mahasiswa dalam membangun koneksi antara representasi simbolik dan visual dari konsep matematika nonlinier yang abstrak (Ziatdinov & Valles, 2022).

Visualisasi interaktif yang bersifat dinamis dan manipulatif terbukti lebih efektif dibandingkan dengan visualisasi statis dalam pembelajaran matematika, khususnya pada materi sistem persamaan nonlinier. Hal ini karena visualisasi interaktif memungkinkan mahasiswa untuk secara langsung mengubah parameter dan melihat dampaknya terhadap solusi sistem secara real-time, sehingga mendorong eksplorasi aktif dan pemahaman konseptual yang lebih mendalam (Kuosa et al., 2016). Dengan

interaksi semacam ini, mahasiswa tidak hanya menjadi penerima informasi pasif, tetapi juga berperan aktif dalam membangun pengetahuan melalui proses manipulatif yang reflektif (Starčić et al., 2016). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penggunaan visualisasi dinamis membantu meningkatkan kemampuan penalaran matematis serta mendorong pembentukan representasi mental yang lebih kuat terhadap konsep-konsep abstrak (Lowrie et al., 2019).

Visualisasi interaktif dalam pembelajaran sistem persamaan nonlinier bukan sekadar alat bantu ilustratif, melainkan berfungsi sebagai media eksploratif yang memungkinkan mahasiswa membangun pemahaman konseptual secara aktif. Ketika mahasiswa memanipulasi parameter dan mengamati langsung perubahan grafik, mereka terlibat dalam proses berpikir matematis tingkat tinggi yang menumbuhkan rasa ingin tahu dan kemampuan analitis. Aktivitas ini tidak hanya memperkuat representasi mental terhadap sistem yang kompleks, tetapi juga menggeser posisi mahasiswa dari penerima pasif menjadi pembelajar aktif. Dibandingkan dengan visualisasi statis, pendekatan interaktif ini terbukti lebih efektif dalam mempertahankan perhatian mahasiswa dan meningkatkan pemahaman terhadap konsep-konsep abstrak, sebagaimana dibuktikan melalui berbagai indikator keterlibatan kognitif yang digunakan dalam penelitian.

2. Kontibusi Visualisasi Interaktif terhadap Peningkatan Pemahaman Konsep Mahasiswa

Studi-studi terkini menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada skor tes pemahaman konsep mahasiswa sebelum dan sesudah menggunakan visualisasi interaktif dalam pembelajaran matematika, khususnya pada materi sistem persamaan nonlinier. Penggunaan media visual yang interaktif tidak hanya memperjelas hubungan antar variabel dalam sistem, tetapi juga memungkinkan mahasiswa untuk memahami proses dinamika solusi secara lebih konkret (McElhaney et al., 2015). Studi oleh Lizana & Ridho (2021) yang melibatkan 50 mahasiswa Politeknik Statistika STIS menggunakan kuesioner dan uji Mann-Whitney menunjukkan bahwa mahasiswa yang menggunakan visualisasi data interaktif (seperti Line Chart dan Bar Chart) memberikan skor penilaian dan pemahaman yang lebih baik dibanding kelompok kontrol dengan metode konvensional, membuktikan keunggulan signifikan visualisasi interaktif dalam meningkatkan pemahaman dan keterlibatan. Temuan ini sejalan dengan studi oleh Lackmann et al. (2021) yang melibatkan 26 mahasiswa yang dibagi secara acak ke dalam dua kelompok pembelajaran, di mana video infografis dengan grafik animasi interaktif terbukti secara signifikan meningkatkan keterlibatan kognitif yang diukur melalui indikator neurofisiologis dan perilaku serta mempertahankan perhatian lebih lama dibandingkan rekaman kuliah konvensional; keterlibatan kognitif yang lebih tinggi ini juga berhubungan positif dengan peningkatan hasil pembelajaran pada konsep-konsep yang kompleks.

Mahasiswa mengalami peningkatan yang signifikan dalam kemampuan konseptual setelah menggunakan visualisasi interaktif, terutama dalam memahami representasi grafis dari solusi sistem nonlinier dan keterkaitan antar variabel di dalamnya. Melalui visualisasi yang dinamis, mahasiswa dapat melihat secara langsung bagaimana perubahan nilai parameter memengaruhi bentuk grafik dan solusi sistem, sehingga memperkuat pemahaman terhadap hubungan matematis yang kompleks (Rolfes et al., 2020). Pengalaman belajar yang bersifat eksploratif ini membantu mahasiswa membangun pemahaman yang lebih mendalam, tidak hanya pada aspek prosedural, tetapi juga pada aspek konseptual yang sering kali sulit dicapai dengan pendekatan pembelajaran konvensional (Mavrikis et al., 2022). Selain itu, visualisasi grafis yang terintegrasi dalam perangkat lunak interaktif juga mendorong mahasiswa untuk mengenali pola, kecenderungan, dan keterkaitan antar variabel dengan lebih jelas, yang merupakan kemampuan penting dalam menyelesaikan sistem persamaan nonlinier (Firat et al., 2022).

Visualisasi interaktif secara langsung mendorong pemahaman konseptual mahasiswa melalui representasi multipel, manipulasi parameter secara real-time, dan peningkatan keterlibatan kognitif. Mahasiswa dapat menghubungkan representasi simbolik, numerik, dan grafis, bereksperimen dengan perubahan parameter untuk memahami hubungan sebab-akibat, serta terlibat aktif secara mental dalam proses pembelajaran. Efektivitasnya terbukti melalui peningkatan skor pemahaman, hasil post-test, dan respons neurofisiologis yang menunjukkan keterlibatan kognitif mendalam. Selain memberikan dampak positif secara kuantitatif, kualitatif, dan neurosain, keberhasilan pendekatan ini tetap bergantung pada desain pembelajaran yang tepat, kesiapan infrastruktur teknologi, serta tingkat literasi visual mahasiswa agar tidak berubah menjadi sekadar alat bantu yang pasif.

3. Tantangan dan Keterbatasan dalam Penerapan Visualisasi Interaktif pada Pembelajaran Sistem Persamaan Nonlinier

Beberapa studi mencatat bahwa meskipun penggunaan alat visualisasi interaktif dalam pembelajaran matematika memiliki potensi besar, efektivitasnya sering terhambat oleh kesenjangan keterampilan teknologi di kalangan dosen dan mahasiswa. Banyak dosen yang masih mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam proses pembelajaran karena kurangnya pelatihan dan kepercayaan diri terhadap penggunaan perangkat lunak seperti GeoGebra atau MATLAB (Mokotjo & Mokhele, 2021). Di sisi lain, mahasiswa juga tidak selalu memiliki keterampilan awal yang memadai untuk memanfaatkan alat visualisasi secara optimal, sehingga membutuhkan waktu tambahan untuk pembiasaan teknis sebelum dapat memahami konsep yang disampaikan (Bulyk & Kushniryk, 2020). Tantangan ini semakin diperparah dengan keterbatasan infrastruktur teknologi di beberapa institusi pendidikan, yang menghambat akses merata terhadap perangkat lunak pendukung pembelajaran berbasis visualisasi (Matveeva et al., 2023).

Selain tantangan keterampilan teknologi, keterbatasan lain yang sering dijumpai dalam implementasi visualisasi interaktif adalah akses terhadap perangkat lunak dan infrastruktur yang memadai di sejumlah institusi pendidikan. Banyak sekolah dan perguruan tinggi yang belum memiliki fasilitas komputer yang memadai atau lisensi perangkat lunak seperti MATLAB dan GeoGebra, yang diperlukan untuk menjalankan simulasi visual yang kompleks (Tamam & Dasari, 2021). Bahkan ketika perangkat tersedia, kurangnya dukungan teknis dan jaringan internet yang tidak stabil juga menjadi hambatan utama dalam optimalisasi penggunaan visualisasi interaktif (Pons et al., 2023). Selain itu, integrasi visualisasi sering kali dilakukan secara terpisah dari pendekatan pedagogis berbasis konseptual, sehingga pembelajaran menjadi lebih berfokus pada aspek teknis daripada mendukung pemahaman mendalam terhadap konsep matematika yang diajarkan (Pahmi et al., 2025).

Visualisasi interaktif memang menawarkan keunggulan kognitif dan afektif dalam pembelajaran sistem persamaan nonlinier, namun efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh kesiapan institusional dan individual, khususnya dalam hal keterampilan teknologi dosen dan mahasiswa. Mahasiswa yang tidak memiliki kompetensi teknis dasar cenderung kesulitan memahami makna visualisasi secara konseptual, sementara dosen yang tidak terbiasa dengan perangkat lunak terkait akan kesulitan mengintegrasikannya secara optimal dalam strategi pembelajaran. Tantangan ini mencerminkan ketimpangan struktural dalam pendidikan digital, bukan hanya karena keterbatasan fasilitas, tetapi juga karena kurangnya integrasi antara pendekatan teknologi dan pedagogi. Ketidakterpaduan ini menghambat efektivitas pembelajaran pada materi kompleks, dan minimnya pelatihan berkelanjutan bagi dosen mempertegas perlunya kebijakan pendidikan yang mendukung transformasi digital secara menyeluruh.



Gambar 2. Perkembangan Variabel Riset antara Tahun 2015-2025

Gambar 2 disusun dari analisis 18 studi terpilih menggambarkan perkembangan fokus penelitian terkait penggunaan visualisasi interaktif dalam pembelajaran sistem persamaan nonlinier mahasiswa dari tahun 2015 hingga 2025. Pada periode awal (2015–2017), penelitian banyak menyoroti efektivitas visualisasi interaktif dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan keterlibatan kognitif mahasiswa, dengan fokus pada perbandingan antara visualisasi dinamis dan statis serta representasi hubungan antarvariabel. Memasuki periode 2018–2020, perhatian beralih pada pengaruh visualisasi terhadap penalaran matematis dan pengalaman belajar reflektif, terutama dalam konteks representasi multipel. Pada periode 2021–2023, studi lebih menekankan validasi empiris, seperti skor N-Gain dan uji statistik, serta mulai menyinggung keterbatasan teknis dan preferensi mahasiswa terhadap media visual tertentu. Sementara itu, pada periode terbaru (2024–2025), fokus penelitian meluas pada tantangan struktural dan integrasi pedagogis, seperti kesiapan infrastruktur, literasi visual, dan kesenjangan teknologi, yang secara signifikan memengaruhi efektivitas implementasi visualisasi interaktif. Mindmap ini menunjukkan bahwa meskipun potensi visualisasi sangat menjanjikan, efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh kesiapan teknis, pedagogis, dan institusional.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap berbagai studi yang telah dibahas, dapat disimpulkan bahwa visualisasi interaktif memiliki kontribusi signifikan terhadap peningkatan pemahaman konseptual mahasiswa dalam pembelajaran sistem persamaan nonlinier. Keunggulan utamanya terletak pada kemampuannya menjembatani abstraksi simbolik dengan representasi visual konkret, serta memfasilitasi proses berpikir eksploratif, reflektif, dan analitis secara simultan. Namun demikian, efektivitas strategi ini sangat dipengaruhi oleh kesiapan infrastruktur pendidikan, kompetensi teknologi pengguna, dan integrasi pedagogis yang bermakna. Kesenjangan yang mencolok terlihat pada aspek literasi teknologi dosen dan mahasiswa, terbatasnya akses terhadap perangkat dan perangkat lunak pendukung, serta rendahnya harmonisasi antara alat visual dengan pendekatan pembelajaran berbasis konsep. Selain itu, masih sedikit studi yang mengkaji secara mendalam bagaimana integrasi visualisasi interaktif dapat disesuaikan dengan karakteristik kognitif individu mahasiswa dan diferensiasi gaya belajar.

Berdasarkan kesenjangan ini, topik riset yang mendesak untuk diteliti di masa mendatang adalah: *"Model desain pembelajaran sistem persamaan nonlinier berbasis visualisasi interaktif yang adaptif terhadap tingkat literasi teknologi dan gaya belajar mahasiswa."* Topik ini penting untuk menjawab kebutuhan akan pendekatan yang tidak hanya efektif secara kognitif, tetapi juga inklusif secara pedagogis dan kontekstual terhadap realitas pendidikan tinggi di berbagai wilayah. Riset ini diharapkan mampu menghasilkan kerangka implementasi visualisasi interaktif yang lebih holistik dan aplikatif, dengan memperhitungkan aspek teknologi, pedagogi, dan karakteristik peserta didik secara seimbang.

DAFTAR RUJUKAN

- Albo, Y., Lanir, J., & Rafaeli, S. (2019). A Conceptual Framework for Visualizing Composite Indicators. *Social Indicators Research*. 141(1), 1-30 <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1804-0>
- Amalia, L., Makmuri, M., & Hakim, L. El. (2024). Learning Design: To Improve Mathematical Problem-Solving Skills Using a Contextual Approach. *JiIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*. 7(3), 2353-2366 <https://doi.org/10.54371/jiip.v7i3.3455>
- Amevor, G., Bayaga, A., & Bossé, M. J. (2021). Assessing the impact of dynamic software environments (MATLAB) on rural-based pre-service teachers' spatial-visualisation skills. *Contemporary Educational Technology*. 13(4), ep327 <https://doi.org/10.30935/CEDETECH/11235>
- Bulyk, R. Y., & Kushniryk, O. V. (2020). Use of Visualization Tools In The Educational Process. *Clinical & Experimental Pathology*. 3(73) <https://doi.org/10.24061/1727-4338.xix.3.73.2020.22>
- Dray, T., & Manogue, C. A. (2023). Vector Line Integrals in Mathematics and Physics. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*. 9(1), 92-117 <https://doi.org/10.1007/s40753-022-00206-8>
- Fatus Atho'ul Malik, Bagus Hidayatullah, Wahyu Setiawan, Nor Amalliyah, M. N. (2025). Application of the GeoGebra Graphing Calculator in Mathematics Learning to Improve

- Students' Mathematical Competence. *IJoASER (International Journal on Advanced Science, Education)*, 8(1), 94-104 <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.33648/ijoaser.v8i1.794>
- Firat, E. E., Joshi, A., & Laramée, R. S. (2022). Interactive visualization literacy: The state-of-the-art. *Information Visualization*, 21(3), 285-310 <https://doi.org/10.1177/14738716221081831>
- Kirvan, R., Rakes, C. R., & Zamora, R. (2015). Flipping an Algebra Classroom: Analyzing, Modeling, and Solving Systems of Linear Equations. *Computers in the Schools*, 32, no. 3-4 (2015): 201-223 <https://doi.org/10.1080/07380569.2015.1093902>
- Kuosa, K., Distanto, D., Tervakari, A., Cerulo, L., Fernández, A., Koro, J., & Kailanto, M. (2016). Interactive visualization tools to improve learning and teaching in online learning environments. *International Journal of Distance Education Technologies*, 14(1), 1-21 <https://doi.org/10.4018/IJDET.2016010101>
- Lackmann, S., Léger, P. M., Charland, P., Aubé, C., & Talbot, J. (2021). The influence of video format on engagement and performance in online learning. *Brain Sciences*, 11(2), 128 <https://doi.org/10.3390/brainsci11020128>
- Lizana, H. I. N., & Ridho, F. (2021). Implementasi dan Evaluasi Visualisasi Data Interaktif pada Publikasi Laporan Bulanan Data Sosial Ekonomi Indonesia. *Seminar Nasional Official Statistics*. (Vol. 2021, No. 1, pp. 947-957) <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2021i1.795>
- Lowrie, T., Logan, T., & Hegarty, M. (2019). The Influence of Spatial Visualization Training on Students' Spatial Reasoning and Mathematics Performance. *Journal of Cognition and Development*, 20(5), 729-751 <https://doi.org/10.1080/15248372.2019.1653298>
- Mahajan, K. N., & Ajay Gokhale, L. (2018). Comparative Study of Static and Interactive Visualization Approaches. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 10(3), 85-91 <https://doi.org/10.21817/ijcse/2018/v10i3/181003016>
- Mary Osei Fokuo, Nelson Opoku-Mensah, Richard Asamoah, Josephine Nyarko, Kofi Dwumfuo Agyeman, Caroline Owusu-Mintah, & Samuel Asare. (2023). The use of visualization tools in teaching mathematics in college of education: A systematic review. *Open Access Research Journal of Science and Technology*, 4(1) <https://doi.org/10.53022/oarjst.2023.9.1.0057>
- Matveeva, N., Dorel, L., Kosareva, I., & Sabirova, F. (2023). The influence of educational information visualization trends in higher education for students in the Russian Federation. *Frontiers in Education*. (Vol. 8, p. 1190150) <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1190150>
- Mavrikis, M., Rummel, N., Wiedmann, M., Loibl, K., & Holmes, W. (2022). Combining exploratory learning with structured practice educational technologies to foster both conceptual and procedural fractions knowledge. *Educational Technology Research and Development*, 70(3), 691-712 <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10104-0>
- McElhaney, K. W., Chang, H. Y., Chiu, J. L., & Linn, M. C. (2015). Evidence for effective uses of dynamic visualisations in science curriculum materials. *Studies in Science Education*, 51(1), 49-85 <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.984506>
- Mokotjo, L. G., & Mokhele, M. L. (2021). Challenges of Integrating GeoGebra in the Teaching of Mathematics in South African High Schools. *Universal Journal of Educational Research*, 9(5): 963-973 <https://doi.org/10.13189/ujer.2021.090509>
- Niazai, S., Rahimzai, A. A., & Atifnigar, H. (2023). Applications of MATLAB in Natural Sciences: A Comprehensive Review. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 1(5), 1006-15 [https://doi.org/10.59324/ejtas.2023.1\(5\).87](https://doi.org/10.59324/ejtas.2023.1(5).87)
- Pahmi, S., Priatna, N., & Martadiputra, B. A. P. (2025). From learning to teaching: A study of mathematics academic and pedagogical anxiety in prospective elementary education teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(6), em2651.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.29333/ejmste/16512>
- Pons, M., Valenzuela, E., Rodríguez, B., Nolasco-Flores, J. A., & Del-Valle-Soto, C. (2023). Utilization of 5G Technologies in IoT Applications: Current Limitations by Interference and Network Optimization Difficulties—A Review. *Sensors*. 23(8), 3876 <https://doi.org/10.3390/s23083876>
- Putri, M., & Syaharuddin, S. (2019). Implementations of Open and Closed Method Numerically: A Non-linear Equations Solution Convergence Test. *IJECA (International Journal of Education and Curriculum Application)*, 2(2), 1. <https://doi.org/10.31764/ijeca.v2i2.2041>
- Qian, Y., & Lehman, J. (2017). Students' misconceptions and other difficulties in introductory programming: A literature review. In *ACM Transactions on Computing Education*. 18(1), 1-24 <https://doi.org/10.1145/3077618>
- Randjawali, E., Ndakularak, I. L., Nuhamara, Y. T. I., Ngaba, A. L., Bima, S. A., Sanit, I. N., Taunu, E. S., Nggaba, M. E., Eko, Y. S., Wadu, D. I., Wulandari, M. R., & Lapu, M. L. (2022). Pelatihan Penggunaan Geogebra Untuk Meningkatkan Kemampuan Penggunaan Media Pembelajaran Matematika Bagi Guru Sma Di Kabupaten Sumba Timur. *Abdi Wina Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 2(1), 18-23 <https://doi.org/10.58300/abdiwina.v2i1.246>
- Rolfes, T., Roth, J., & Schnotz, W. (2020). Learning the Concept of Function With Dynamic Visualizations. *Frontiers in Psychology*. 11, 693 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00693>
- Salwa, H. Y., Syaharuddin, S., Sulistina, L., & ... (2022). Perbandingan Metode Newton Midpoint Halley, Metode Olver dan Metode Chabysave Dalam Penyelesaian Akar-Akar Persamaan Non-Linear. *Indonesian Journal of Engineering (IJE) (IJE)*, 3(1), 1-15. <https://unu-ntb.e-journal.id/ije/article/view/297%0Ahttps://unu-ntb.e-journal.id/ije/article/download/297/196>
- Starčić, A. I., Cotic, M., Solomonides, I., & Volk, M. (2016). Engaging preservice primary and preprimary school teachers in digital storytelling for the teaching and learning of mathematics. *British Journal of Educational Technology*. 47(1), 29-50. <https://doi.org/10.1111/bjet.12253>
- Tamam, B., & Dasari, D. (2021). The use of Geogebra software in teaching mathematics. *Journal of Physics: Conference Series*. (Vol. 1882, No. 1, p. 012042) <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012042>
- Tatarczak, A., & Mędrek, M. (2017). Educational Experience In Teaching Mathematics Online: A Case Study on The Implementation of Geogebra in An Interactive Learning Environment. *INTED2017 Proceedings*. (pp. 5416-5424) <https://doi.org/10.21125/inted.2017.1262>
- Yang, D., & Baldwin, S. J. (2020). Using Technology to Support Student Learning in an Integrated STEM Learning Environment. *International Journal of Technology in Education and Science*. 4(1), 1-11 <https://doi.org/10.46328/ijtes.v4i1.22>
- Ziatdinov, R., & Valles, J. R. (2022). Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach for Teaching and Learning STEM Topics. In *Mathematics*. 10(3), 398 <https://doi.org/10.3390/math10030398>