



## Transformasi Pembelajaran Fisika Berbasis STEM *Deep Learning*: Peluang dan Tantangan Masa Depan

Mahyuna, Nurul Fajri Saminan, Deviyani Rusdiyanti Putri, Mahyana, Syamsul Rizal, Muhammad Azzarkasyi

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi XI)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

16 Agustus 2025

### Abstract

*This study aims to map the trends, collaborations, opportunities, and challenges of STEM-based physics learning integrated with deep learning. The method used is a bibliometric analysis of 282 documents from the Scopus database, published from 2015 to 2025, using keywords representing the connection between physics education, STEM education, and deep learning. The analysis was conducted with Scopus Analytics, Microsoft Excel, and VOSviewer to visualize publication trends, author collaboration networks, country distribution, and keyword maps. The results show that publications on this topic have increased significantly since 2023, peaking in 2024, with a dominant contribution from developed countries like the United States. "STEM education" and "artificial intelligence" were identified as the central research hubs, with "deep learning" acting as a connector to cutting-edge topics such as generative AI, chatbots, and adaptive learning. Implementation opportunities include personalized learning, interactive simulations, and automated data analysis, while challenges involve the need for high-quality data, potential biases, technical complexity, and educator readiness. These findings are expected to serve as a foundation for developing innovative, adaptive, and relevant physics learning strategies for the 21st century.*

**Keywords:** *Physics Education · STEM · Deep Learning · AI · Bibliometrics*

### PENDAHULUAN

Pemerintah, melalui Kemendikti Saintek memiliki visi untuk menciptakan pendidikan berkualitas yang merata dan berkelanjutan, didukung oleh infrastruktur dan teknologi. Saat ini Presiden secara aktif mendukung upaya ini dengan menekankan pentingnya peningkatan kualitas sumber daya manusia, khususnya pada bidang STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika). Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat telah membawa perubahan signifikan dalam dunia pendidikan, terutama pada metode dan media pembelajaran (Hariyasasti, 2025). Salah satu inovasi yang kini mulai banyak diadopsi adalah kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), yang memiliki potensi besar untuk meningkatkan efektivitas dan kualitas pembelajaran (Siregar et al., 2025; Saminan et al., 2025).

Pendidikan fisika, sebagai landasan ilmu pengetahuan alam, menghadapi tantangan signifikan dalam mempersiapkan siswa untuk era yang didominasi oleh teknologi. Pendekatan pembelajaran konvensional sering kali gagal menjembatani kesenjangan antara teori fisika yang abstrak dengan aplikasi praktis di dunia nyata, yang berujung pada kurangnya minat dan

✉ Mahyuna  
[mahyuna@serambimekkah.ac.id](mailto:mahyuna@serambimekkah.ac.id)

Deviyani Rusdiyanti Putri  
[deviyanirusdiyantiputri@serambimekkah.ac.id](mailto:deviyanirusdiyantiputri@serambimekkah.ac.id)

Syamsul Rizal  
[syamsul.rizal@serambimekkah.ac.id](mailto:syamsul.rizal@serambimekkah.ac.id)

Nurul Fajri Saminan  
[Nurul.fajri@serambimekkah.ac.id](mailto:Nurul.fajri@serambimekkah.ac.id)

Mahyana  
[mahyana@serambimekkah.ac.id](mailto:mahyana@serambimekkah.ac.id)

Muhammad Azzarkasyi  
[azzarkasyi@gmail.com](mailto:azzarkasyi@gmail.com)

*Physics Education Study Program, Universitas Serambi Mekkah, Aceh, Indonesia.*

**How to Cite:** Mahyuna, N.F., Putri, D.R., Mahyana, Rizal, S. & Azzarkasyi, M.(2025). Transformasi Pembelajaran Fisika Berbasis STEM *Deep Learning*: Peluang dan Tantangan Masa Depan. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 4(1), 253 - 263. <https://proceedings.upi.edu/index.php/sinafi/>

pemahaman yang mendalam. Dalam konteks ini, *Deep Learning* (DL), sebagai subbidang dari *Machine Learning* (ML) dan kecerdasan buatan (AI), menawarkan solusi transformatif. Urgensi penggunaan *Deep Learning* dalam pembelajaran fisika terletak pada kemampuannya untuk mempersonalisasi pembelajaran, sebuah fitur yang secara fundamental berbeda dari pendekatan konvensional. Melalui analisis real-time terhadap data siswa, model *Deep Learning* dapat mengidentifikasi pola kesalahan, miskonsepsi yang mendasari, dan tingkat pemahaman individu, kemudian secara otomatis menyesuaikan materi dan umpan balik yang diberikan (Roll & Wylie, 2016).

Pendekatan ini menjadi sangat penting dalam konteks pendidikan saat ini, terutama untuk mata pelajaran seperti Fisika di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA), yang menuntut pemahaman konsep-konsep abstrak serta penerapan prinsip ilmiah pada situasi nyata (Amir, 2017; Mahyuna et al., 2024). Namun, implementasi pembelajaran mendalam memerlukan kompetensi guru yang memadai, khususnya dalam penyusunan modul ajar yang sesuai dengan prinsip *deep learning* dan pemanfaatan teknologi secara optimal (Firmansyah et al., 2025; Putri et al., 2024; Mahyana et al., 2024). Survei awal menunjukkan bahwa sebagian besar guru Fisika SMA masih memiliki keterbatasan dalam pemahaman konseptual dan keterampilan teknis untuk mengintegrasikan AI dalam pembelajaran (Firmansyah et al., 2025; Rizal et al., 2023).

Pembelajaran fisika abad ke-21 dituntut untuk lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi dan kebutuhan keterampilan global. Tantangan seperti rendahnya literasi sains, keterampilan berpikir kritis, dan kemampuan pemecahan masalah pada siswa menunjukkan bahwa metode konvensional seperti chalk and talk tidak lagi memadai (Azzarkasyi et al., 2015; Masyruhan et al., 2020; Defianti et al., 2021). Observasi di berbagai institusi menunjukkan rendahnya keterlibatan siswa pada praktikum tradisional, yang berdampak pada capaian pembelajaran di bawah standar.

Pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) menjadi solusi potensial untuk mengintegrasikan konsep lintas disiplin, mendorong pemecahan masalah autentik, dan mengembangkan keterampilan abad ke-21 (Handayani, 2020). Model *project-based learning* dan *discovery learning* berbasis STEM telah terbukti meningkatkan penguasaan konsep dan keterampilan kolaborasi (Dehong et al., 2020; Yustinaningrum, 2019). DL juga memungkinkan pengembangan simulasi fisika yang sangat realistis dan interaktif, memberikan siswa platform untuk bereksperimen dengan konsep abstrak seperti dinamika fluida atau interaksi partikel, sesuatu yang sulit diwujudkan dalam lingkungan kelas tradisional (Du, 2023).

Integrasi DL ke dalam pembelajaran fisika melalui kerangka STEM bukan hanya sekadar penggunaan alat bantu teknologi, melainkan sebuah transformasi pedagogi yang mendorong siswa untuk tidak hanya mengonsumsi pengetahuan ilmiah, tetapi juga memahami, menerapkan, dan bahkan menciptakan teknologi berbasis data. Mereka juga menjadi melek teknologi (*tech-literate*) dan terbiasa dengan alat-alat canggih yang akan mereka temui di dunia kerja nanti. Pengalaman ini mengajarkan mereka untuk berkolaborasi dengan AI, memanfaatkannya sebagai alat bantu untuk meningkatkan kemampuan manusia, bukan melihatnya sebagai ancaman (Khairul et al., 2025).

Perkembangan AI, khususnya deep learning menghadirkan peluang baru untuk mentransformasi pembelajaran fisika berbasis STEM. Teknologi ini dapat mempersonalisasi materi, memprediksi kesulitan belajar siswa, serta menghadirkan simulasi interaktif maupun laboratorium virtual yang adaptif (Baker & Inventado, 2014; Garcia & Hernandez, 2022; Lee

& Kim, 2024). Potensi ini memungkinkan terobosan dalam mengatasi keterbatasan metode konvensional, memberikan pengalaman belajar yang dinamis dan kontekstual. Meskipun potensi dan tantangan untuk pembelajaran fisika dengan pendekatan STEM dan *deep learning* sangat besar, kajian literatur yang memetakan perkembangan riset di irisan ketiga bidang ini masih terbatas. Penelitian yang ada umumnya bersifat terpisah, sehingga belum ada gambaran utuh mengenai tren, kolaborasi, peluang, dan tantangan yang ada (Gupta & Sharma, 2023).

Penggunaan analisis bibliometrik menjadi penting karena mampu memberikan gambaran makro mengenai arah perkembangan ilmu pengetahuan, sekaligus memetakan kontribusi dan celah riset yang belum tergarap. Dengan pendekatan ini, penelitian tidak hanya menghadirkan inovasi konseptual, tetapi juga berbasis bukti (*evidence-based*) yang dapat memperkuat posisi Indonesia dalam peta riset global terkait pembelajaran fisika berbasis STEM dan *deep learning*. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan analisis bibliometrik untuk:

1. Mengidentifikasi tren publikasi yang menghubungkan pembelajaran fisika, STEM, dan *deep learning*.
2. Menganalisis jejaring kolaborasi antar peneliti, institusi, dan negara.
3. Memetakan topik riset utama, peluang, dan tantangan implementasi *deep learning* dalam pembelajaran fisika berbasis STEM.

Hasil penelitian diharapkan menjadi landasan bagi pengembang kurikulum, peneliti, dan pendidik dalam merancang strategi pembelajaran fisika yang inovatif, relevan, dan responsif terhadap tuntutan masa depan.

## METODE

Jenis penelitian ini adalah penelitian kepustakaan dengan menggunakan metode bibliometrik yang mencakup lima tahapan penting. Langkah 1. *Data collection*. Pengumpulan data dilakukan dengan mengkompilasi data bibliometrik dari basis data Scopus. Hal ini dicapai melalui pencarian berbasis kata kunci (( "*STEM education*" or "*STEM-based learning*" or "*Physic teaching*" ) and ( "*Deep learning*" or "*Artificial intelligence*" )), menghasilkan 385 titik data. Setelah berfokus pada rentang waktu 2015–2025, kumpulan data tersebut disempurnakan menjadi 374 dokumen yang kemudian dipilah kembali dengan memilih *document type* "*conference paper dan article*" menjadi 294 kemudian memilah *keyword* dengan menghapus 82 kata kunci yang kurang cocok dengan tema penelitian sehingga menjadi 282 dan mengexport ke format *excel* dan *CSV*. Langkah 2. *Data Standardization*. Beberapa area yang tidak terstandarisasi dan dapat memengaruhi keandalan analisis, seperti variasi nomenklatur di mana satu penulis ditafsirkan sebagai dua penulis independen; beberapa perbedaan definisi kata kunci dengan parafrase yang sama oleh penulis yang berbeda; statistik dan indeks kolaborasi untuk jumlah kolaborasi multi-penulis dan publikasi penulis tunggal. Langkah 3. *Construction of a synonym data thesaurus library*. Langkah 4. *Information extraction*. 282 dokumen yang akan menjadi data utama untuk menjelaskan hasil dan mengexport ke format *excel* dan *CSV*. Langkah 5. *Data visualization*. Selanjutnya, analisis data dilakukan menggunakan beragam alat: analisis langsung pada *Scopus*, *Microsoft Excel 2016* untuk data yang lebih sederhana, dan *VOSviewer 1.6.20.0* untuk analisis yang lebih komprehensif. Visualisasi kemudian dieksekusi menggunakan perangkat lunak *VOSviewer*, yang memfasilitasi visualisasi jaringan, *overlay*, dan kepadatan. Visualisasi ini membantu dalam memahami penelitian tentang Pembelajaran Fisika Berbasis STEM dengan *Deep Learning*:

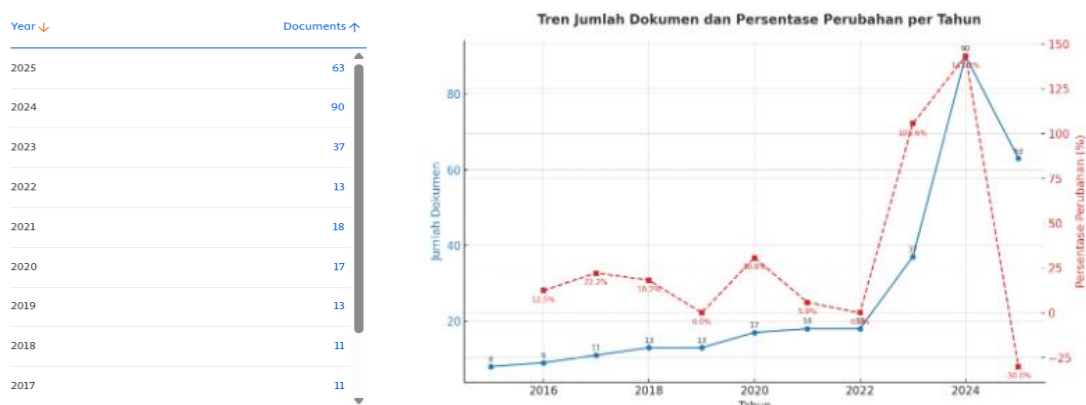


Peluang dan Tantangan Masa Depan. Akhirnya, data yang terkumpul diinterpretasikan, yang menjadi dasar hasil serta kesimpulan dan wawasan yang diperoleh dari studi bibliometrik ini (Zhao & Strotmann, 2015; Novia et al., 2021; Husaeni & Nandiyanto, 2022; Zhan et al., 2022; Saminan et al., 2023).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Distibusi tren publikasi yang menghubungkan jejaring kolaborasi antar peneliti, institusi, dan negara

Berdasarkan analisis bibliometrik, gambar 1 Menunjukkan jumlah publikasi terkait topik penelitian menunjukkan pola pertumbuhan yang jelas dari tahun 2015 hingga 2025. Pada periode 2015–2021, jumlah publikasi relatif rendah dan stabil, berkisar antara 8 hingga 18 dokumen per tahun. Rata-rata pertumbuhan pada periode ini hanya sekitar 7,2% per tahun, menunjukkan bahwa topik ini belum menjadi fokus perhatian utama komunitas akademik.



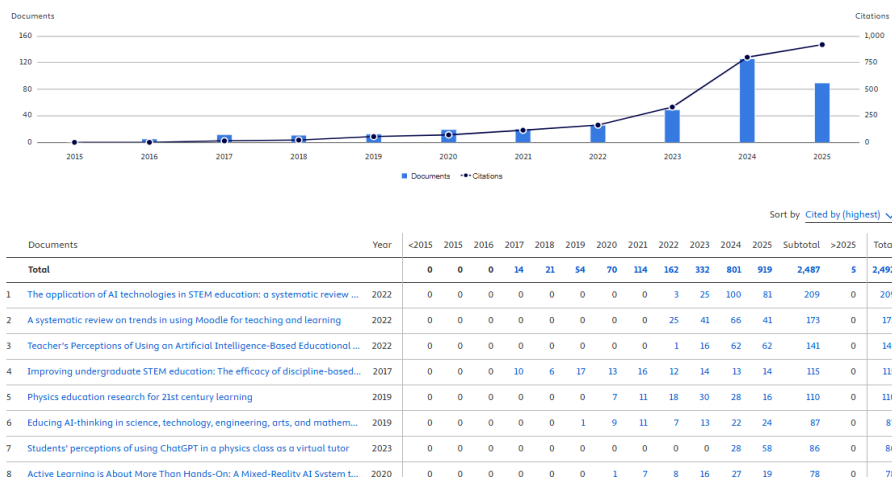
Gambar 1. Distribusi penelitian berdasarkan tahun penerbitan

Memasuki tahun 2022, jumlah publikasi mulai meningkat menjadi 18 dokumen (kenaikan 5,9% dibanding tahun sebelumnya). Lonjakan signifikan terjadi pada tahun 2023, yaitu mencapai 37 dokumen atau meningkat 105,6% dibandingkan 2022. Peningkatan paling drastis terjadi pada tahun 2024 dengan 90 publikasi, naik 143,2% dibandingkan tahun 2023. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan minat riset secara global terhadap topik ini, yang kemungkinan dipicu oleh perkembangan isu terkini, kemajuan teknologi pendukung, atau meningkatnya kolaborasi riset internasional.

Pada tahun 2025, jumlah publikasi menurun menjadi 63 dokumen, setara dengan penurunan 30% dibandingkan tahun 2024. Meskipun demikian, jumlah ini masih 70,3% lebih tinggi dibandingkan 2023, menandakan bahwa tingkat perhatian akademik terhadap topik ini masih berada pada fase tinggi. Penurunan ini dapat disebabkan oleh belum lengkapnya data tahun berjalan atau pergeseran fokus penelitian ke sub-tema yang lebih spesifik. Secara keseluruhan, tren publikasi ini menunjukkan adanya fase akselerasi penelitian yang sangat kuat sejak 2023, dengan titik puncak pada 2024, yang kemudian diikuti oleh fase konsolidasi pada 2025.

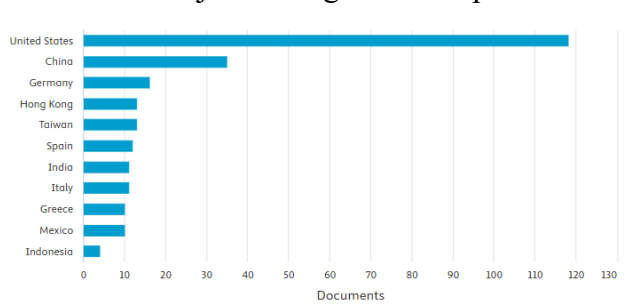
Gambar 2 menyajikan tren jumlah publikasi dan sitasi per tahun, serta daftar artikel dengan sitasi tertinggi pada topik penelitian. Grafik menunjukkan perkembangan jumlah dokumen dan

sitasi dari 2015 hingga 2025, sedangkan tabel menampilkan kontribusi masing-masing artikel terhadap total sitasi.



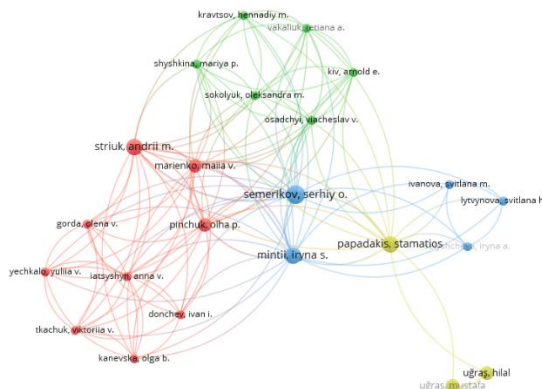
Gambar 2. Tren jumlah publikasi dan sitasi per tahun

Analisis bibliometrik menunjukkan bahwa publikasi pada topik ini relatif rendah pada 2015–2020, mulai meningkat pada 2021–2022, dan melonjak tajam pada 2023–2024, dengan puncak publikasi pada 2024. Lonjakan ini sejalan dengan peningkatan signifikan sitasi, yang didorong oleh karya berpengaruh seperti “*The application of AI technologies in STEM education: a systematic review*” (209 sitasi) dan “*A systematic review on trends in using Moodle for teaching and learning*” (173 sitasi). Meskipun jumlah publikasi 2025 sedikit menurun, sitasi tetap tinggi, menandakan relevansi kuat publikasi sebelumnya. Tren ini menunjukkan fase pertumbuhan pesat riset, khususnya pada penerapan AI dan teknologi digital dalam pendidikan STEM. Gambar 3 dibawah ini menunjukkan negara dalam publikasi terbanyak.



Gambar 3. Negara dengan Jumlah publikasi 2015-2025

Jika dibandingkan, Amerika Serikat memiliki hampir 120 dokumen, sedangkan Indonesia hanya menyumbang sekitar 8 dokumen. Artinya, kontribusi publikasi Indonesia hanya sekitar 6–7% dari jumlah publikasi Amerika Serikat. Perbedaan yang sangat besar ini menunjukkan adanya kesenjangan kapasitas penelitian dan keterlibatan Indonesia dalam topik ini, yang kemungkinan dipengaruhi oleh faktor seperti jumlah peneliti aktif, pendanaan riset, akses teknologi, dan jaringan kolaborasi internasional. Kesenjangan ini juga membuka peluang bagi Indonesia untuk meningkatkan kontribusi melalui kerja sama riset internasional, publikasi di jurnal bereputasi, dan fokus pada topik-topik yang sedang berkembang seperti AI dalam pendidikan STEM untuk pembelajaran fisika. Gambar 4 menunjukkan hasil kolaborasi penulis.

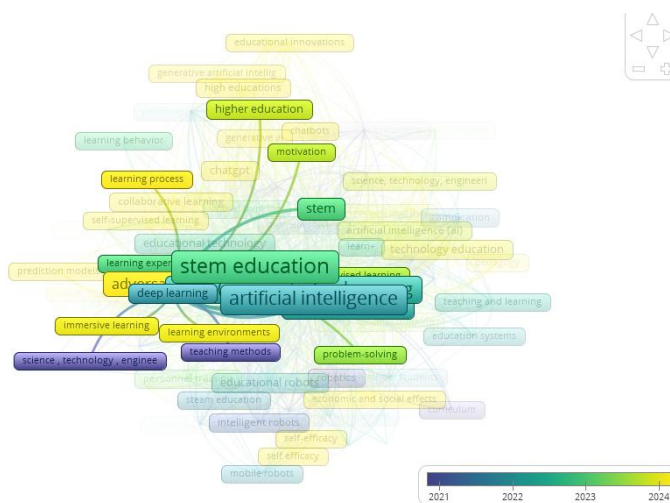


Gambar 4. Peta Kolaborasi penulis keterkaitan publikasi

Gambar 4 menunjukkan peta kolaborasi penulis yang terbagi dalam beberapa cluster berdasarkan keterkaitan publikasi bersama, di mana setiap warna mewakili kelompok yang saling berkolaborasi lebih intens. Cluster merah berpusat pada Striuk A.M. dengan jaringan padat antarpengarang, cluster hijau dipimpin oleh Krutii A. yang membentuk kolaborasi terpisah namun tetap terhubung dengan kelompok lain, sedangkan cluster biru dengan tokoh sentral Semenkov Serhiy O. dan Mintas Irma S. berperan penting sebagai penghubung antarcluster. Adapun cluster kuning merupakan kelompok kolaborasi terbaru, dengan Uglak Khalaf sebagai pusat dan hubungan yang masih terbatas. Pola ini menunjukkan adanya kolaborasi internasional yang kuat, di mana beberapa penulis berperan sebagai jembatan dalam pertukaran ide lintas komunitas riset.

### Hasil visualisasi pemetaan bibliometrik yang menghubungkan pembelajaran fisika, STEM, dan deep learning

Hasil penelitian tentang Pembelajaran fisika dengan pendekatan STEM dan Deep Learning diperoleh dari analisis kata kunci penelitian dengan menggunakan perangkat lunak *VOSviewer*. Hal ini dilakukan untuk menemukan variabel-variabel penelitian mengenai pendekatan STEM dan terintegrasi *deep learning* dalam pembelajaran fisika. Berdasarkan pemetaan *VOSviewer*, dapat ditemukan beberapa parameter hubungan antar variabel seperti pada gambar 5 dibawah ini.



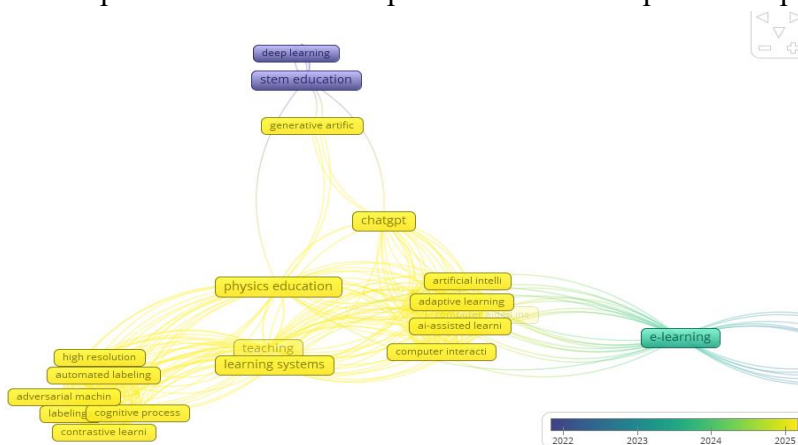
Gambar 5. Peta visualisasi jaringan kata kunci



menjadikan peserta didik kreatif dalam segala hal sehingga proses pendidikan akan berjalan seimbang (Solihin et al., 2021).

### Peluang dan tantangan Pembelajaran Fisika Berbasis STEM dengan Deep Learning di masa depan

Berikut adalah hasil jika dikaitkan antar ketika kata kunci sehingga menjadi peluang dan tantangan dalam dunia pendidikan di masa depan. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.

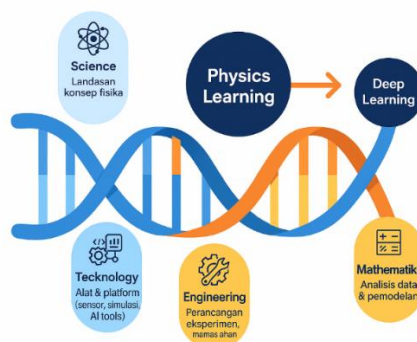


Gambar 7. Hubungan Topik *Physics Education*

Gambar 7. menunjukkan keterhubungan topik *physics education*, *STEM education*, dan *deep learning* dengan perkembangan terbaru seperti *generative artificial intelligence*, *ChatGPT*, dan teknologi pembelajaran adaptif (*adaptive learning*, *AI-assisted learning*). Dari perspektif peluang, integrasi *deep learning* dalam pembelajaran fisika berbasis STEM berpotensi menghasilkan sistem pembelajaran yang sangat personal, interaktif, dan efisien misalnya lewat *automated labeling*, *contrastive learning*, atau AI generatif untuk simulasi fisika yang kompleks (Chusni, 2022; Jiang & Jiang, 2024). Selain itu, keterhubungan dengan *e-learning* dan *computer interaction* membuka ruang untuk pembelajaran jarak jauh yang tetap kaya interaksi dan berbasis data (Vidak et al., 2023).

Namun, dari sisi tantangan, muncul isu teknis seperti kebutuhan *high resolution data* untuk melatih model, potensi bias dari *automated labeling*, serta kompleksitas penerapan *adversarial machine learning* yang bisa berdampak pada keamanan dan akurasi sistem (Yeadon & Hardy, 2023). Tantangan lain adalah kesiapan infrastruktur pendidikan dan kompetensi guru dalam mengintegrasikan AI canggih ke dalam pembelajaran fisika secara efektif (Vidak et al., 2023).

Secara keseluruhan, visualisasi ini menegaskan bahwa masa depan pembelajaran fisika berbasis STEM dan *deep learning* akan bergerak ke arah pemanfaatan AI generatif dan adaptif dengan peluang besar untuk inovasi, tetapi juga memerlukan strategi matang untuk mengatasi tantangan teknis dan pedagogis (Chusni, 2022; Jiang & Jiang, 2024; Yeadon & Hardy, 2023). Seperti halnya dapat ditunjukkan dari gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Peluang dimasa depan untuk pembelajaran fisika yang mengintegrasikan pendekatan STEM dan *Deep Learning*

Transformasi pembelajaran fisika di masa depan akan didorong oleh sinergi antara pendekatan STEM dan teknologi *deep learning*, di mana sains menyediakan landasan konsep fisika, teknologi menghadirkan alat seperti sensor, simulasi, dan *AI tools*. *Deep learning* berperan sebagai katalis yang mampu memodelkan fenomena fisika kompleks, menganalisis data eksperimen secara otomatis, menghadirkan pembelajaran adaptif yang personal, dan mempercepat proses penilaian melalui *AI-assisted grading*.

## SIMPULAN

Hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian yang mengintegrasikan pembelajaran fisika, pendekatan STEM, dan teknologi *deep learning* mengalami perkembangan pesat sejak 2023 dengan puncak publikasi pada 2024, didorong oleh meningkatnya minat global terhadap pemanfaatan kecerdasan buatan dalam pendidikan. Peta kolaborasi penulis dan distribusi publikasi per negara mengindikasikan dominasi negara maju, khususnya Amerika Serikat, namun juga membuka peluang bagi Indonesia untuk meningkatkan kontribusi melalui kolaborasi internasional dan fokus pada topik inovatif. Visualisasi kata kunci mengungkapkan bahwa *STEM education* dan *artificial intelligence* menjadi pusat keterhubungan riset, dengan *deep learning* sebagai penghubung utama menuju topik-topik terkini seperti *generative AI*, *chatbots*, dan *adaptive learning*. Peluang yang muncul meliputi personalisasi pembelajaran, simulasi fisika interaktif, dan pemanfaatan AI untuk analisis data eksperimen, sedangkan tantangan meliputi kebutuhan data berkualitas tinggi, risiko bias, kompleksitas teknis, dan kesiapan sumber daya manusia. Dengan perencanaan strategi yang tepat, integrasi STEM dan *deep learning* berpotensi mentransformasi pembelajaran fisika menjadi lebih adaptif, interaktif, dan relevan dengan tuntutan abad ke-21.

## ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi atas dukungan dana penelitian melalui Hibah BIMA Tahun Anggaran 2025. Dukungan ini sangat vital dalam merealisasikan penelitian ini, mulai dari proses pengumpulan data, analisis, hingga penulisan publikasi. Kami sangat mengapresiasi kepercayaan yang telah diberikan dan berharap hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan inovasi di bidang pendidikan.

## REFERENCES

- Al Husaeni, D. F., & Nandiyanto, A. B. D. (2022). Bibliometric using Vosviewer with Publish or Perish (using google scholar data): From step-by-step processing for users to the practical examples in the analysis of digital learning articles in pre and post Covid-19 pandemic. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 2(1), 19-46.
- Amir, I. (2017). Pengembangan Buku Ajar dan Augmented Reality Pada Konsep Sistem Pencernaan di Sekolah Menengah Atas. Pascasarjana.
- Azzarkasyi, M., Halim, A., & Ilyas, S. (2015). Dampak penggunaan media simulasi phet untuk meminimalkan kuantitas miskonsepsi siswa pada pembelajaran listrik dinamis. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal Of Science Education)*, 3(1), 107-113.
- Baker, R. S., & Inventado, P. S. (2014). Educational Data Mining and Learning Analytics. In J. Larusson & B. White (Eds.), *Learning Analytics* (pp. 61–75). Springer.
- Chusni, M. M. (2022). A systematic review of adaptive learning research in physics education in Indonesia. *Jurnal Pendidikan Sains (JPS)*, 10(2), 53-62.
- Dehong, R., Kaleka, M. B. U., & Rahmawati, A. S. (2020). Analisis langkah-langkah penerapan model discovery learning dalam pembelajaran fisika. *EduFisika*, 5(2), 131–139.
- Du, T. (2023). Deep learning for physics simulation. In *ACM SIGGRAPH 2023 Courses* (pp. 1-25).
- Garcia, A., & Hernandez, B. (2022). *AI-integrated personalized learning for high school students*. World Journal of Engineering and Technology.
- Gupta, N., & Sharma, A. (2023). A bibliometric analysis of governance mechanisms in dividend decisions: an overview and emerging trends. *International Journal of Disclosure and Governance*, 20(4), 410–430.
- Handayani, M. (2020). Prospective elementary science teacher in developing lesson plan through integration of STEM-based TPACK. *Jurnal Pendidikan MIPA*.
- Han, S., Kang, H. K., Jeong, J. Y., Park, M. H., Kim, W., Bang, W. C., & Seong, Y. K. (2017). A deep learning framework for supporting the classification of breast lesions in ultrasound images. *Physics in Medicine & Biology*, 62(19), 7714.
- Hariyasasti, Y. (2025). Literasi Teknologi dan Pemanfaatan Alat Digital di Sekolah Dasar. *International Journal Of Social, Policy And Law*, 6(3), 13–29.
- Jafar, J., Muadyah, A. A., Yusran, A. A. F., Silas, E. I., & Amalia, P. (2025). Workshop Merancang Modul Ajar dengan Pendekatan Pembelajaran Mendalam (Deep Learning) Menggunakan AI pada Guru Biologi SMA/MA Kota Parepare. *Jurnal Pengabdian Nasional (JPN) Indonesia*, 6(2), 406–416.
- Jiang, Z., & Jiang, M. (2024). Beyond answers: Large language model-powered tutoring system in physics education for deep learning and precise understanding. *arXiv preprint arXiv:2406.10934*.
- Khairul, M., & Saminan, N. (2025). Beyond Technocentrism: A Tripartite Framework for Humanizing AI-Integrated Digital Content in Geography/Social Studies. *Equator Science Journal*, 3(2), 89-97.
- Lee, K., & Kim, M. (2024). Integrating Virtual Reality Laboratories in Chemistry Education: A Systematic Literature Review. *International Journal of Education*, 15(4), 127–142.
- Mahyana, M., Husnizar, H., & Nuralina, N. (2024). The Effect Of Implementing Phet Simulation Based Student Worksheets To Improve Student Learning Outcomes On Temperature Material And Calories. *Relativitas: Jurnal Riset Inovasi Pembelajaran Fisika*, 7(1), 57-63.
- Mahyuna, M., Hasja, Y., Liiman, M., Lismarita, L., & Rahmi, R. (2024). Merdeka Belajar Dengan Pendekatan Inkuiri Terbimbing: Melatih Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Dalam Pembelajaran Sains. *Journal of Technology and Literacy in Education*, 3(3), 182-190.
- Masyruhan, et al. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Arduino pada Pembelajaran STEM dalam Meningkatkan Literasi Sains dan Digital. *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*.

- Novia, N., Permanasari, A., & Riandi, R. (2021, March). Research on educational games in STEM area 2010-2020: A bibliometric analysis of literature. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1806, No. 1, p. 012209). IOP Publishing.
- Putri, D. R., Hasja, Y., Nuhari, I., & Azzarkasyi, M. (2024, April). Improving science process skills using guided inquiry-based student worksheet. In *Proceedings of International Conference on Education* (Vol. 2, No. 1, pp. 488-493).
- Rizal, S., Azzarkasyi, M., & Firmansyah, J. (2023). Perceptions of Science Teachers in Developing Student Learning Outcomes Instruments Online. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(9), 6957-6961.
- Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International journal of artificial intelligence in education*, 26(2), 582-599.
- Saminan, N. F., Khairul, M., Saminan, S., Mahyuna, M., & Rizal, S. (2025, June). The Role of AI in Promoting Learning Independence and Scientific Explanation Ability among Physics Education Students. In *Proceedings of International Conference on Education* (Vol. 3, No. 1, pp. 123-127).
- Saminan, N. F., Suhandi, A., Kaniawati, I., Riandi, S., Saminan, S., Khairul, M., & Novia, N. (2023). Digital content contribution of earth and space phenomena to science during 2003-2023: Bibliometric analysis. *Journal of Engineering Science and Technology*, 18(6), 91-99.
- Siregar, K. A., Nasution, S., & Nabawy, P. (2025). Analisis Sentimen Netizen Indonesia Terhadap Kampanye Penggunaan Kecerdasan Buatan Oleh Pemerintah Menggunakan Algoritma Naive Bayes. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Informatika* E-ISSN: 3063-9026, 1(4), 112-120.
- Solihin, A., Wibowo, F. C., & Astra, I. M. (2021, October). Review of trends project based learning (PjBL) integrated STEM in physics learning. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2019, No. 1, p. 012031). IOP Publishing.
- Susilawati, S. (2020). Challenge of Applying STEM Education to Improve Physics Problem Solving Skills in Islamic Boarding Schools. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 6(2).
- Sutiani, A. (2021). Implementation of an inquiry learning model with science literacy to improve student critical thinking skills. *International Journal of Instruction*, 14(2), 117-138.
- Vidak, A., Šapić, I. M., Mešić, V., & Gomzi, V. (2024). Augmented reality technology in teaching about physics: a systematic review of opportunities and challenges. *European journal of physics*, 45(2), 023002.
- Yeadon, W., & Hardy, T. (2024). The impact of AI in physics education: a comprehensive review from GCSE to university levels. *Physics Education*, 59(2), 025010.
- Yustinaningrum, B. (2019). Penerapan model discovery learning (DL) untuk meningkatkan keaktifan dan hasil belajar matematika siswa kelas V SD. *JMP Online*, 3(11), 1465-1475.
- Zhan, Z., Shen, W., Xu, Z., Niu, S., & You, G. (2022). A bibliometric analysis of the global landscape on STEM education (2004-2021): towards global distribution, subject integration, and research trends. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 16(2), 171-203.
- Zhao, D. and Strotmann, A. (2015), "Analysis and visualization of citation networks", *Synthesis Lectures on Information Concepts, Retrieval, and Services*, Vol. 7 No. 1, pp. 1-207, doi: 10.2200/S00624ED1V01Y201501ICR039.