

Peta Riset Neuroedukasi dalam Pembelajaran Sains: Kajian Bibliometrik dalam Dua Dekade dengan Data Scopus

Widya Wati ^{1*}, Apri Yulda²

¹ Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung, Indonesia

² Universitas Muhammadiyah Muara Bungo, Indonesia

* apriyulda08@gmail.com

Abstrak

Kajian neuroedukasi yang semakin mendapatkan perhatian dalam pengembangan pembelajaran abad ke-21, terutama dalam pendidikan sains yang menuntut pemahaman konseptual mendalam dan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Meskipun demikian, hingga kini belum tersedia pemetaan sistematis yang menunjukkan arah perkembangan, kontribusi ilmiah, dan kesenjangan penelitian dalam bidang ini. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan tren publikasi, topik-topik dominan, serta kesenjangan penelitian dalam kajian neuroedukasi pada pendidikan sains melalui pendekatan bibliometrik. Metode penelitian menggunakan analisis kuantitatif terhadap publikasi ilmiah yang diambil dari database Scopus selama dua dekade terakhir (2004–2024). Data dianalisis dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel* untuk pengolahan statistik dasar dan *VOSviewer* untuk visualisasi bibliometrik, termasuk analisis *co-authorship*, *co-occurrence* kata kunci, dan evolusi tematik. Dari hasil penyaringan, sebanyak 76 artikel yang relevan dianalisis berdasarkan berbagai parameter seperti tren publikasi tahunan, penulis dan institusi paling produktif, distribusi negara, jurnal yang paling banyak memuat publikasi, serta dinamika kata kunci. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah publikasi meningkat secara signifikan dalam lima tahun terakhir, dengan dominasi kontribusi dari negara-negara maju seperti Amerika Serikat dan Austria. Topik yang paling sering muncul mencakup *working memory*, *cognitive load*, dan *science education*. Analisis evolusi kata kunci menunjukkan pergeseran fokus dari pendekatan teoritis menuju penerapan berbasis kognitif dan teknologi pendidikan. Selain itu, kajian ini juga menemukan adanya kesenjangan riset dalam konteks lokal, khususnya di wilayah Asia Tenggara, serta minimnya eksplorasi terhadap tema-tema baru seperti *executive function* dan asesmen kognitif. Temuan ini memberikan gambaran komprehensif tentang lanskap riset neuroedukasi dalam pendidikan sains dan dapat menjadi dasar strategis bagi pengembangan riset yang lebih relevan dan kontekstual.

Kata Kunci: Peta Riset; Neuroedukasi; Pembelajaran Sains; Kajian Bibliometrik

Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mendorong dunia pendidikan untuk terus berinovasi dalam merancang pendekatan pembelajaran yang efektif dan sesuai dengan cara kerja otak manusia (Janssen et al., 2021). Di tengah era disrupsi informasi dan kompleksitas materi pelajaran, kebutuhan akan strategi pembelajaran yang tidak hanya bersifat kognitif, tetapi juga berbasis pada pemahaman tentang fungsi otak, menjadi semakin penting (Harden & Jones, 2022). Revolusi dalam pemahaman tentang bagaimana otak manusia memproses informasi telah membuka paradigma baru dalam dunia pendidikan, yang dikenal sebagai *neuroedukasi* atau pendidikan berbasis *neurosains* (Leisman, 2022). Dalam konteks

ini, *neuroedukasi* hadir sebagai pendekatan interdisipliner yang menggabungkan ilmu *neurosains*, psikologi, dan pedagogi untuk menciptakan pembelajaran yang lebih optimal (Hao et al., 2023). Urgensi pengembangan pendekatan ini semakin kuat seiring dengan tuntutan pendidikan abad ke-21 yang menekankan pada pembelajaran bermakna, adaptif, dan berbasis kemampuan otak yang unik pada setiap individu (Donthu et al., 2021).

Secara global, berbagai lembaga pendidikan dan pusat riset telah mulai mengadopsi temuan-temuan *neuroscience* dalam desain pembelajaran. Misalnya, UNESCO melalui *International Bureau of Education* mendorong integrasi hasil riset otak dalam kebijakan Pendidikan dan beberapa universitas di Eropa serta Amerika telah mengembangkan program khusus di bidang *educational neuroscience* (Gola et al., 2022). Namun, di sisi lain, adopsi pendekatan ini masih bersifat terbatas dan belum merata. Dalam konteks pendidikan sains, yang memiliki karakteristik unik yang membedakannya dari domain akademik lainnya, berupa tantangan dalam memahami konsep abstrak, hierarkis, dan memerlukan kemampuan visualisasi spasial yang kompleks, seperti pemahaman tentang struktur molekul dalam kimia, konsep medan magnetik dalam fisika, atau proses evolusi dalam biologi melibatkan proses kognitif yang berbeda dari pembelajaran berbasis teks tradisional dan seringkali menjadi hambatan utama bagi siswa (Pradeep et al., 2024). Hal ini, menunjukkan perlunya pendekatan pembelajaran yang lebih sesuai dengan cara kerja otak.

Temuan-temuan *neurosains* menunjukkan bahwa otak memproses informasi sains melalui jaringan neural yang spesifik, melibatkan region-region seperti *korteks prefrontal* untuk *reasoning*, *korteks parietal* untuk pemrosesan spasial, dan *hippocampus* untuk konsolidasi memori (Szomszor et al., 2020). Perkembangan teknologi *neuroimaging* seperti *functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI), *Electroencephalography* (EEG), dan *Near-Infrared Spectroscopy* (NIRS) telah memungkinkan peneliti untuk mengamati aktivitas otak secara *real-time* selama proses pembelajaran sains berlangsung (Wang et al., 2023). Penelitian-penelitian *pioneering* telah mengungkap fenomena menarik seperti bagaimana miskonsepsi sains teraktivasi di level *neural*, bagaimana *expertise* dalam domain sains terefleksi dalam pola aktivasi otak yang berbeda dan bagaimana intervensi pedagogis dapat mengubah struktur dan fungsi *neural* yang berkaitan dengan pembelajaran sains (Wang et al., 2022).

Topik *neuroedukasi* dalam pendidikan sains mencakup berbagai aspek mulai dari pemrosesan kognitif dalam memahami konsep sains, penggunaan representasi visual yang mendukung memori jangka Panjang, hingga penerapan pendekatan berbasis otak dalam strategi pengajaran (Uden et al., 2023). Pendekatan ini tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga menuntut dukungan empirik dan pedagogik yang kuat agar benar-benar dapat diimplementasikan secara efektif dalam ruang kelas (Goldwater et al., 2022). Dalam dua dekade terakhir, minat peneliti terhadap *neuroedukasi* dalam pembelajaran sains mengalami peningkatan eksponensial. Hal ini tercermin dari meningkatnya jumlah publikasi ilmiah, munculnya jurnal-jurnal khusus seperti *Mind, Brain, and Education*, serta terbentuknya konsorsium penelitian internasional dalam bidang ini. Namun demikian, belum ada analisis komprehensif yang memetakan perkembangan riset *neuroedukasi* dalam pembelajaran sains secara sistematis (Franconeri et al., 2021). Oleh karena itu, penting untuk mengetahui sejauh mana komunitas ilmiah telah mengembangkan dan mengkaji topik ini dalam berbagai publikasi ilmiah. Kajian *bibliometrik* menjadi penting untuk memahami evolusi bidang ini, mengidentifikasi tren penelitian dominan, pola kolaborasi antar peneliti, serta gap penelitian yang masih perlu dieksplorasi. Analisis *bibliometrik* telah terbukti efektif dalam memetakan perkembangan bidang ilmu yang emerging dan interdisipliner seperti *neuroedukasi* (Coumans & Wark, 2024). Melalui pendekatan kuantitatif terhadap literatur ilmiah, kajian *bibliometrik*

dapat mengungkap struktur intelektual suatu bidang, mengidentifikasi peneliti dan institusi yang berpengaruh, serta memprediksi arah perkembangan penelitian di masa depan (Pessin et al., 2022). Dalam konteks *neuroedukasi* pembelajaran sains, analisis *bibliometrik* dapat memberikan pemahaman tentang bagaimana bidang ini berkembang dari perspektif multidisipliner, bagaimana kolaborasi antar disiplin ilmu terbentuk, dan tema-tema penelitian apa yang mendominasi diskursus akademik (Chen et al., 2024).

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan riset *neuroedukasi* dalam pembelajaran sains selama dua dekade terakhir (2004-2024) melalui pendekatan *bibliometrik* dengan menggunakan data dari database *Scopus*. Pemilihan rentang waktu dua dekade didasarkan pada pertimbangan bahwa periode ini mencakup era awal pengembangan teknologi *neuroimaging* yang *accessible* untuk penelitian pendidikan hingga era *contemporary* dimana *neuroedukasi* mulai matang sebagai disiplin ilmu tersendiri. Database *Scopus* dipilih karena cakupannya yang komprehensif terhadap publikasi ilmiah berkualitas tinggi dan kemampuannya dalam menyediakan metadata yang lengkap untuk analisis *bibliometrik* (Jolles, 2021). Melalui pendekatan *bibliometrik*, penelitian ini memetakan karakteristik dan tren penelitian, termasuk kontributor utama, distribusi geografis, jurnal yang relevan, topik-topik utama, serta evolusi kata kunci dari waktu ke waktu. Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang utuh mengenai peta keilmuan di bidang ini, khususnya dalam kerangka global.

Beberapa studi sebelumnya telah membahas manfaat *neuroedukasi* dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan kapasitas memori siswa (Sridhar et al., 2023). Selain itu, ada pula penelitian yang mengeksplorasi efektivitas strategi pengajaran berbasis otak dalam mata pelajaran tertentu (Lagoudakis et al., 2022). Namun, sebagian besar studi tersebut bersifat lokal, studi kasus, atau eksperimen terbatas, dan belum ada kajian sistematis yang memetakan keseluruhan lanskap penelitian melalui analisis *bibliometrik* yang komprehensif (Arsalidou, 2024). Selain itu, belum banyak studi yang secara eksplisit menyoroti hubungan antara tren publikasi dan kesenjangan riset yang ada.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan karakteristik dan arah perkembangan kajian *neuroedukasi* dalam pendidikan sains melalui analisis *bibliometrik* terhadap publikasi ilmiah terindeks *Scopus* dalam dua *decade* (2004-2024). Penelitian ini menjawab enam pertanyaan utama: (1) bagaimana tren publikasi tahunan dalam topik ini?; (2) siapa saja penulis, afiliasi, dan negara yang paling produktif?; (3) jurnal apa saja yang paling sering menjadi media publikasi?; (4) kata kunci dan topik apa saja yang paling dominan?; (5) bagaimana evolusi topik dari waktu ke waktu?; dan (6) apa saja kesenjangan penelitian (*research gaps*) yang dapat membuka peluang riset ke depan?. Kebaruan penelitian ini terletak pada pemetaan sistematis dan kuantitatif terhadap literatur *neuroedukasi* dalam pembelajaran sains selama dua dekade terakhir menggunakan analisis bibliometrik berbasis data *Scopus*, yang belum pernah dilakukan secara komprehensif sebelumnya. Studi ini juga secara eksplisit mengidentifikasi kesenjangan riset dan pola kolaborasi multidisipliner, memberikan arah strategis bagi pengembangan penelitian *neuroedukasi* di masa depan.

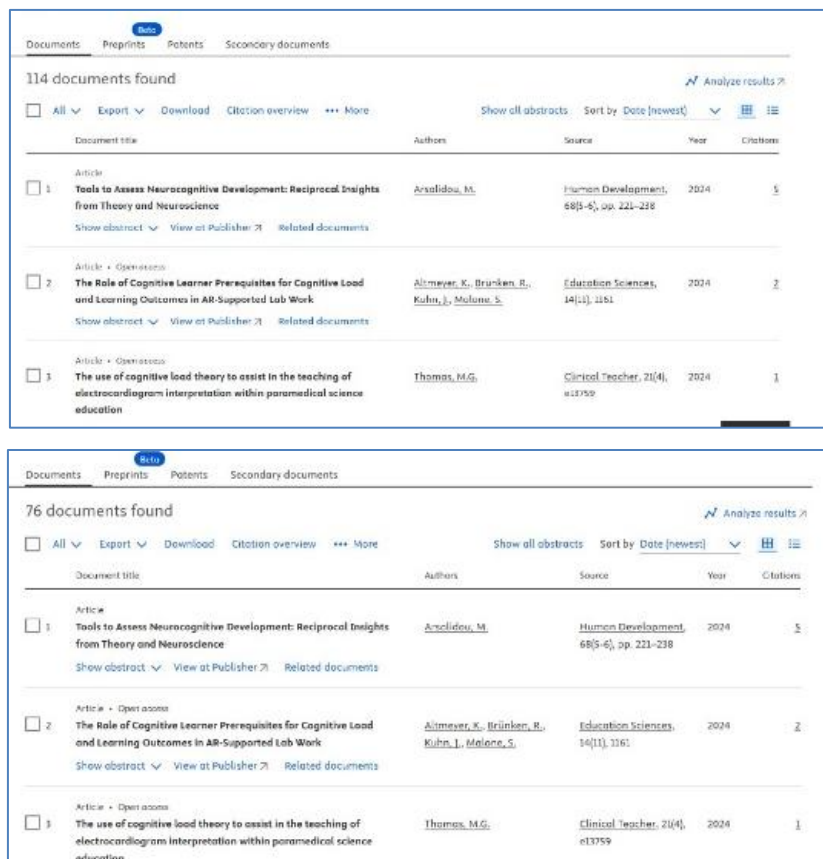
Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan *bibliometrik* untuk memetakan perkembangan, tren, dan kesenjangan penelitian dalam kajian *neuroedukasi* pada pendidikan sains. Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran kuantitatif dan visual terhadap dinamika publikasi ilmiah, termasuk identifikasi topik dominan, kontributor utama, serta evolusi istilah yang berkembang dari waktu ke waktu.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dalam empat tahapan utama yaitu, menentukan tujuan penelitian, menentukan data literatur yang relevan, analisis dan visualisasi, menafsirkan temuan hasil (Öztürk et al., 2024). Prosedur pertama yaitu menentukan tujuan penelitian yang dalam hal ini adalah (1) untuk mengetahui tren publikasi tahunan pada topik *neuroedukasi* dalam pembelajaran sains, (2) untuk mengetahui penulis, afiliasi dan negara paling produktif, (3) untuk mengetahui jurnal yang digunakan sebagai media publikasi, (4) untuk mengetahui kata kunci dan topik yang dominan, (5) untuk mengetahui evolusi topik dari waktu ke waktu dan (6) untuk mengetahui kesenjangan penelitian.

Prosedur kedua yaitu menentukan data literatur yang relevan. Data dikumpulkan dari sumber data scopus dengan kata kunci pencarian ("*educational neuroscience*" OR "*neuroeducation*" OR "*neuroscience and learning*" OR "*brain-based learning*" OR "*cognitive neuroscience*" OR "*working memory*") and ("*science education*" OR "*STEM education*" OR "*biology education*" OR "*chemistry education*" OR "*physics education*") pada pencarian judul, abstrak dan keyword. Jumlah data didapatkan 114 dokumen. Beberapa kriteria penyaringan data ditambahkan seperti tahun publikasi yaitu dari tahun 2004 sampai tahun 2024, tipe dokumen dibatasi pada artikel dan prosiding konferensi, serta Bahasa dipilih dalam Bahasa inggris. Setelah kriteria ditambahkan, dokumen berkurang menjadi 76 dokumen. 76 dokumen inilah yang kemudian di ekstrak dalam bentuk file CSV untuk dianalisis.



The image shows two screenshots of the Scopus search results interface. The top screenshot displays 114 documents found, and the bottom screenshot displays 76 documents found after applying filters. Both screenshots show a table with columns for Document title, Authors, Source, Year, and Citations.

Document title	Authors	Source	Year	Citations
1 Tools to Assess Neurocognitive Development: Reciprocal Insights from Theory and Neuroscience	Ansaldiou, M.	Human Development, 68(5-6), pp. 221-238	2024	5
2 The Role of Cognitive Learner Prerequisites for Cognitive Load and Learning Outcomes in AR-Supported Lab Work	Altmeyer, K., Brinken, R., Kuhn, J., Malone, S.	Education Sciences, 14(1), 1161	2024	2
3 The use of cognitive load theory to assist in the teaching of electrocardiogram interpretation within paramedical science education	Thomas, M.G.	Clinical Teacher, 21(4), e13759	2024	1

Gambar 1. Hasil Pencarian Data Scopus Sebelum dan Sesudah Penambahan Kriteria

Tahap ketiga yaitu analisis dan visualisasi. Data dianalisis menggunakan *Microsoft office excel* 2021 yaitu untuk analisis jumlah publikasi per tahun, 10 penulis dengan dokumen terbanyak, 10 afiliasi dan 10 negara dengan kontribusi terbanyak, Serta 10 jurnal sebagai media publikasi dengan dokumen terbanyak. Sedangkan *VOS Viewer* 1.6.20 digunakan untuk

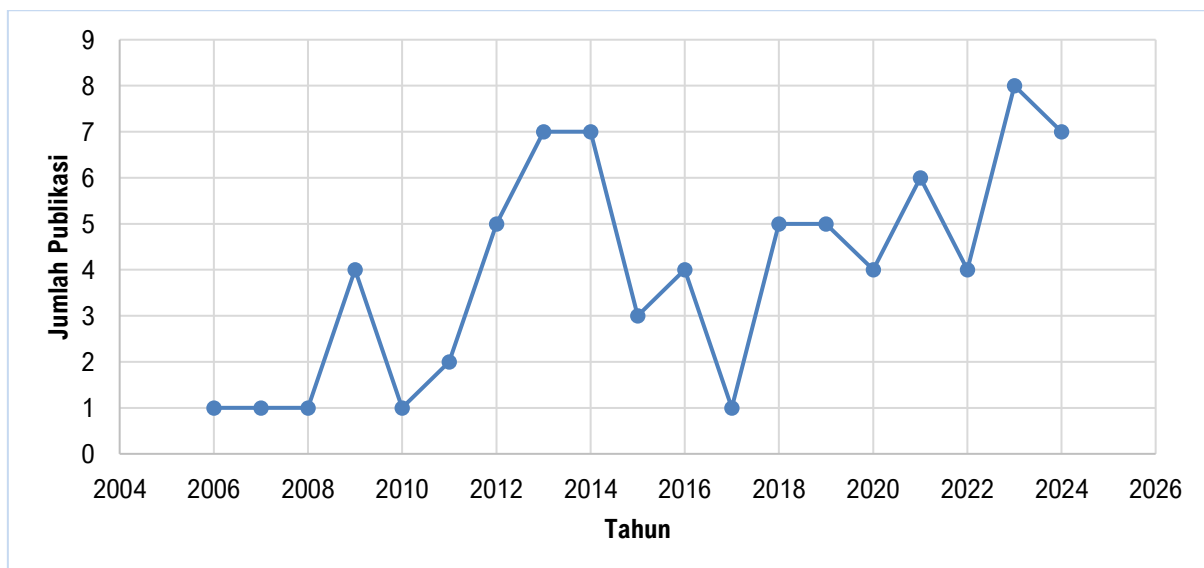
menganalisis topik dominan dan evolusi topik dari waktu ke waktu. Analisis dilakukan secara kuantitatif dengan visualisasi peta dan grafik.

Tahap keempat adalah interpretasi hasil, yang dilakukan dengan mencermati pola-pola keterkaitan antar kata kunci, tren pergeseran topik dari waktu ke waktu, serta persebaran kontribusi penelitian. Berdasarkan hasil visualisasi dan analisis, peneliti juga mengidentifikasi beberapa kesenjangan yang ditemukan dalam riset, seperti dominasi wilayah tertentu, terbatasnya eksplorasi tema baru secara empiris, dan minimnya konteks lokal.

Hasil

Tren Publikasi

Analisis tren publikasi dalam dua Dekade yaitu sejak 2004 sampai 2024 dalam metadata *scopus* menunjukkan bahwa penelitian mengenai *neuroedukasi* dalam pembelajaran sains mulai muncul sejak tahun 2006 dan mengalami fluktuasi signifikan selama dua dekade terakhir. Visualisasi tren publikasi tiap tahun selama dua dekade dapat dilihat pada Gambar 2 Berikut

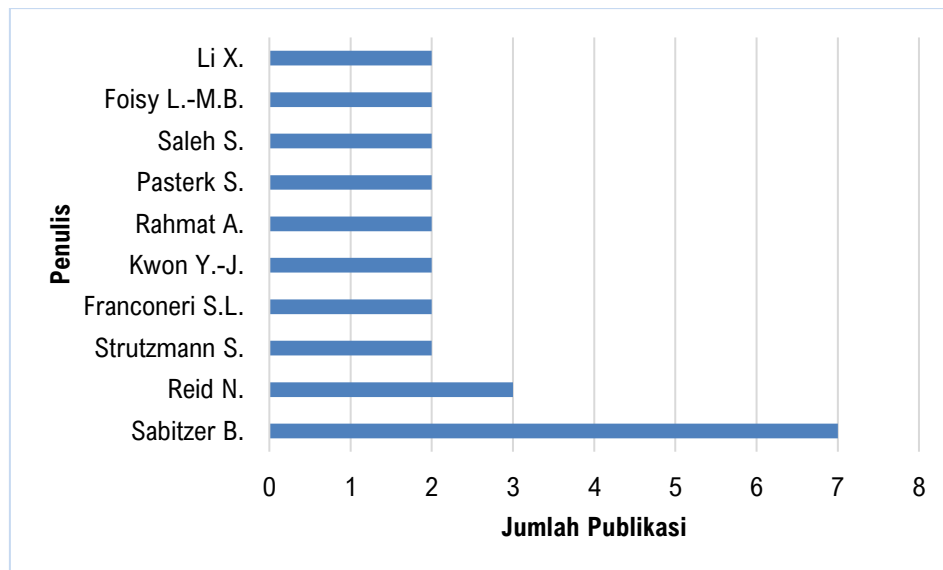


Gambar 1. Grafik Jumlah Publikasi per Tahun

Berdasarkan gambar 2 menunjukkan periode awal (2006–2010), jumlah publikasi relatif rendah dan stabil, dengan hanya 1 hingga 4 artikel per tahun. Kenaikan tajam pertama terjadi pada tahun 2011 hingga puncaknya di tahun 2013 dan 2014, masing-masing mencatat 7 publikasi. Tahun 2015–2017 menurun lagi, yang mungkin menunjukkan ketertarikan yang menurun atau transisi fokus riset. Namun, mulai tahun 2018 terjadi peningkatan kembali, dengan pola naik-turun namun cenderung stabil pada kisaran 4–6 publikasi per tahun. Puncak tertinggi terlihat pada tahun 2023 dengan total 8 publikasi, disusul sedikit penurunan di tahun 2024 (hingga saat ini) sebanyak 7 publikasi.

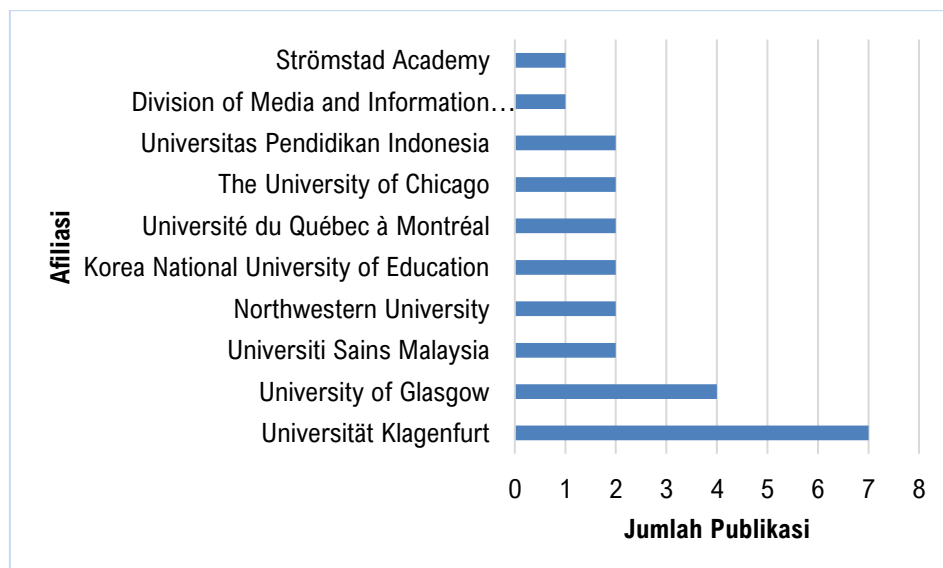
Penulis, Afiliasi, Negara Kontributor

Analisis terhadap penulis paling produktif, afiliasi dan negara kontributor, dilakukan dengan melihat sepuluh penulis dengan dokumen terbanyak, sepuluh afiliasi dan negara kontributor dengan dokumen terbanyak. Berikut temuan sepuluh penulis, afiliasi dan negara kontributor terbanyak.



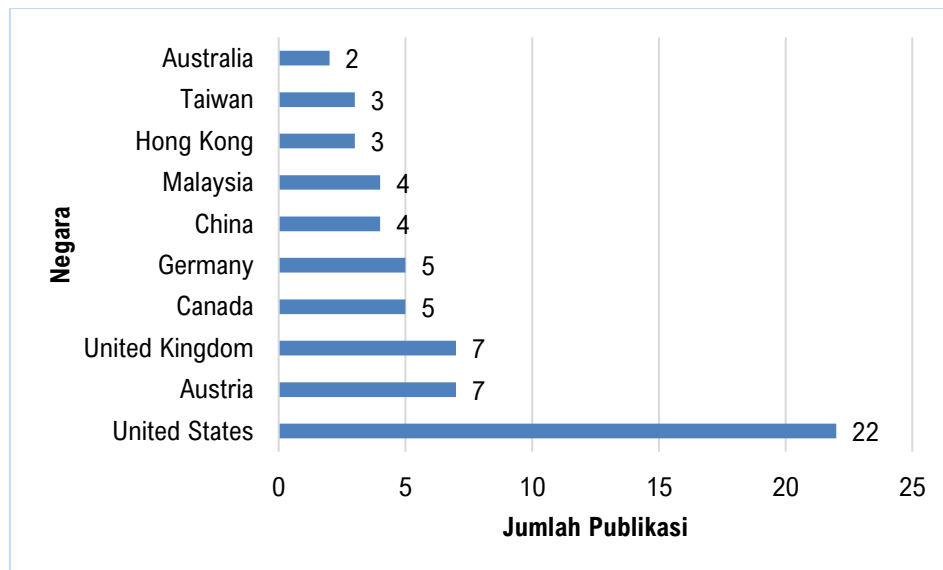
Gambar 3. Sepuluh Penulis Terproduktif dalam Penelitian Neuroedukasi

Analisis terhadap penulis paling produktif menunjukkan bahwa Sabitzer B. merupakan kontributor terbanyak dalam bidang *neuroedukasi* dalam pendidikan sains dengan total 7 publikasi. Posisi ini jauh melampaui penulis lainnya seperti Reid N. dan Strutzmann S., yang masing-masing mencatatkan 2 hingga 3 publikasi.



Gambar 4. Sepuluh Afiliasi Teratas dalam Publikasi Neuroedukasi

Analisis terkait kontribusi dari sudut pandang afiliasi yaitu dari Universität Klagenfurt (Austria) menempati posisi teratas sebagai institusi dengan kontribusi terbanyak dalam penelitian terkait *neuroedukasi* dalam pendidikan sains, dengan total 7 dokumen. Hal ini menunjukkan adanya konsistensi dan fokus riset yang kuat di institusi tersebut terhadap topik interdisipliner antara neurosains dan pendidikan. Disusul oleh University of Glasgow (UK) dengan 4 publikasi, serta beberapa institusi lain yang masing-masing menyumbang 2 dokumen, termasuk Universiti Sains Malaysia, Northwestern University (USA), Korea National University of Education, Université du Québec à Montréal, The University of Chicago, dan Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) sebagai satu-satunya wakil dari Indonesia.



Gambar 5. Sepuluh Negara Terproduktif dalam Penelitian Neuroedukasi

Negara kontributor dalam penelitian *neuroedukasi* dalam bidang sains yang didasari dari negara asal institusi peneliti, Amerika Serikat menjadi kontributor terbesar dengan total 22 dokumen. Jumlah ini jauh melampaui negara-negara lainnya, menunjukkan bahwa Amerika memiliki basis riset dan sumber daya yang kuat untuk mendorong pengembangan pendekatan berbasis *neurosains* dalam pendidikan. Disusul oleh Austria dan Inggris dengan masing-masing 7 dokumen, serta negara-negara lain seperti Kanada, Jerman, Cina, dan Malaysia yang mencatatkan kontribusi antara 4 hingga 5 dokumen. Sementara itu, negara-negara seperti Hong Kong, Taiwan, dan Australia juga mulai menunjukkan partisipasi, meskipun dalam jumlah yang lebih kecil.

Sebaran Jurnal Tempat Publikasi

Distribusi publikasi menurut jurnal dianalisis dengan temuan sepuluh jurnal yang memiliki dokumen terbanyak. Berikut data distribusi jurnal tempat publikasi untuk penelitian *neuroedukasi* dalam Pendidikan sains.

Tabel 1. Sebaran Sepuluh Jurnal Teratas dengan Dokumen Terbanyak

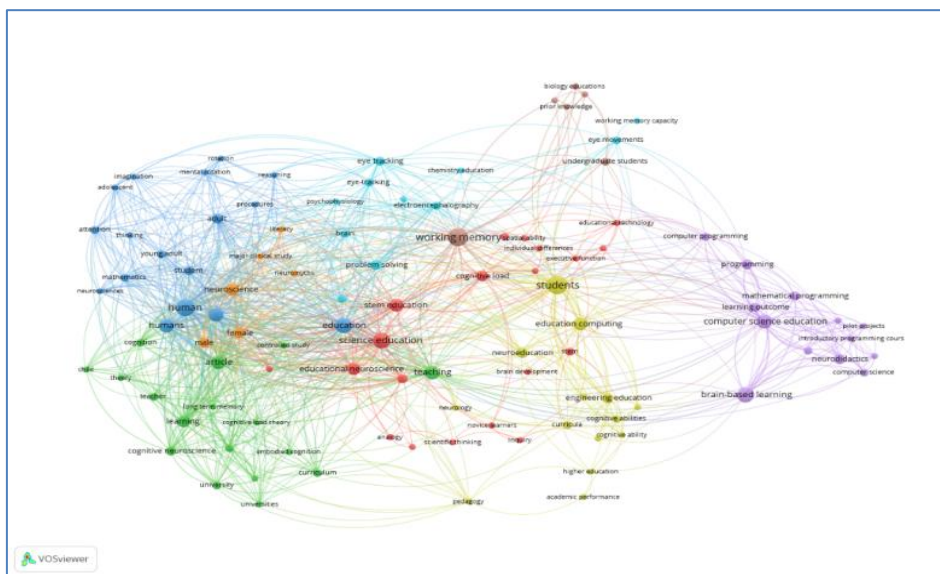
No	PUBLISER	Tahun Publikasi	Jumlah
1	Research In Science And Technological Education	2009, 2010, 2012	3
2	Annual Conference On Innovation And Technology In Computer Science Education Iticse	2013, 2018	2
3	IEEE Access	2021, 2024	2
4	International Journal Of Environmental And Science Education	2012	2
5	ACM International Conference Proceeding Series	2013, 2014	2
6	International Journal Of Knowledge And Learning	2016, 2024	2
7	International Journal Of Science And Mathematics Education	2014	2
8	Journal Of Physics Conference Series	2019	2
9	Mind Brain And Education	2010, 2022	2
10	Psychological Science	2013	2

Tabel 1 menunjukkan bahwa meskipun jumlah dokumen per jurnal relatif seimbang, terdapat variasi yang menarik dalam hal tahun distribusi publikasi. *Research in Science and Technological Education* menjadi jurnal yang paling konsisten, dengan tiga publikasi tersebar pada tahun 2009, 2010, dan 2012, menandakan bahwa jurnal ini telah terlibat dalam topik *neuroedukasi* sejak awal kemunculannya dalam literatur akademik. Sementara itu, beberapa jurnal lainnya seperti *IEEE Access*, *International Journal of Knowledge and Learning*, serta

Mind Brain and Education memiliki dua publikasi, tetapi tersebar antara tahun yang cukup jauh, yaitu antara 2010–2022 atau 2016–2024. Hal ini mengindikasikan adanya minat berkelanjutan, meskipun tidak setiap tahun secara rutin. Sebaliknya, terdapat jurnal-jurnal yang hanya mempublikasikan dua dokumen dalam satu tahun tertentu, seperti *Journal of Physics Conference Series* (2019), *Psychological Science* (2013), dan *International Journal of Environmental and Science Education* (2012). Ini menunjukkan bahwa publikasi mereka cenderung insidental, bukan bagian dari tren yang berkelanjutan.

Analisis Kata Kunci dan Tema Tematik

Analisis *co-occurrence* kata kunci menggunakan *VOS viewer* digunakan untuk melihat peta hubungan kata kunci pada *neuroedukasi* dalam Pendidikan sains. Berikut peta hubungan tersebut.



Gambar 2. Peta Hubungan Kata Kunci Neuroedukasi dalam Pendidikan Sains

Hasil analisis menunjukkan bahwa dari 104 kata kunci yang memenuhi ambang batas kemunculan minimal lima kali, terbentuk delapan klaster tematik yang saling terhubung. Peta visualisasi ini menghasilkan 1.078 hubungan antar kata kunci, dengan total kekuatan hubungan sebesar 1.603, yang mencerminkan struktur penelitian yang erat, interdisipliner, dan saling mendukung.

Hubungan kata kunci pada Gambar 6 dapat dibagi dalam delapan klaster, delapan klaster tersebut diwakili oleh warna yang berbeda. Kemunculan kata kunci terbesar ditunjukkan oleh node terbesar. Lima kata kunci terbesar dalam setiap klaster dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kata Kunci dengan Frekuensi Terbesar dalam Setiap Klaster

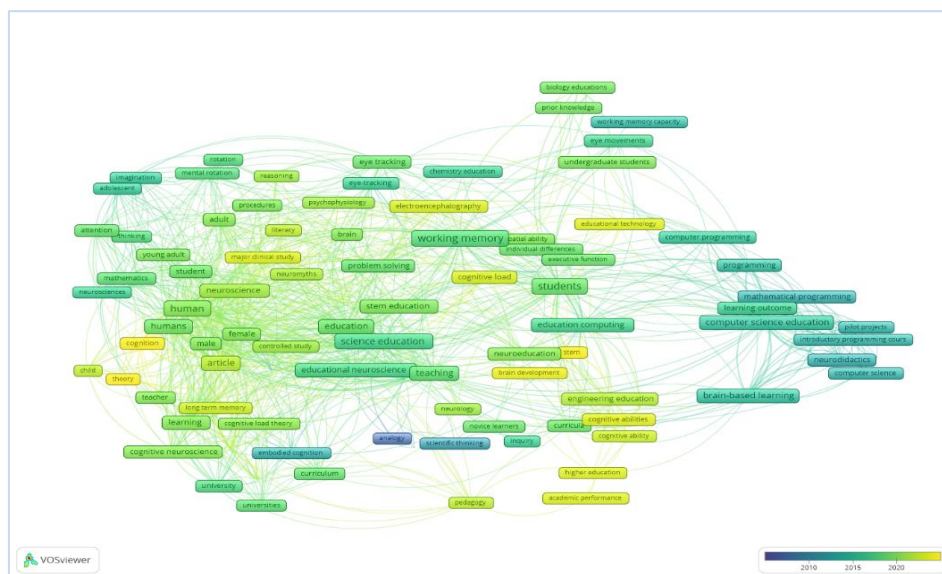
Klaster	Kode Warna	Kata kunci
1	Merah	Science Education, educational neuroscience, stem education, cognitive load, fmri
2	Hijau	Learning, teaching, article, cognition, cognitive neuroscience
3	Biru	Human, humans, education, human experiment, student
4	Kuning	Students, education computing, neuroeducation, engineering education, curricula
5	Ungu	Computer Science Education, brain based learning, neurodidactics, learning outcome, mathematical programing
6	Biru muda	Problem Solving, cognitive neurosciences, brain, eye tracking, chemistry education
7	Orange	Neuroscience, female, male, neuromyths, literacy
8	Pink	Working Memory, undergraduate students, prior knowledge, visual representations, biology education

Setiap kluster merepresentasikan fokus riset tertentu. Klaster merah menunjukkan dominasi tema *science education*, *educational neuroscience*, dan *cognitive load*, yang menandakan perhatian pada penerapan neurosains dalam konteks pendidikan sains dan STEM. Klaster hijau berpusat pada proses pembelajaran dan teori kognitif, ditandai dengan kemunculan kata kunci seperti *learning*, *teaching*, dan *cognitive neuroscience*. Klaster biru menggambarkan pendekatan eksperimental dengan subjek manusia, dengan kata kunci seperti *human*, *student*, dan *education*.

Klaster kuning menyoroti integrasi teknologi dan *neuroedukasi* dalam pendidikan teknik, sedangkan klaster ungu merepresentasikan pendekatan *neuroididaktik* dalam pembelajaran komputer, dengan fokus pada *computer science education*, *brain-based learning*, dan *learning outcome*. Klaster biru muda mengarah pada studi pemrosesan otak dan visualisasi kognitif, melalui kata seperti *problem solving*, *brain*, dan *eye tracking*. Klaster oranye membahas aspek perbedaan gender, literasi, dan *neuromitos* dalam *neuroedukasi*. Sementara itu, klaster pink menyoroti pentingnya *working memory* dalam mendukung proses pembelajaran mahasiswa, khususnya di bidang *biology education*.

Evolusi Topik dari Waktu ke Waktu

Topik-topik yang berkembang terkait *neuroedukasi* juga dapat ditinjau dari waktu ke waktu. Temuan topik-topik tersebut dapat dilihat dalam visualisasi Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Topik-topik yang Muncul dalam Dua Dekade

Gambar 7 menunjukkan visualisasi evolusi topik menggunakan VOSviewer memperlihatkan pergeseran tematik yang jelas dalam penelitian *neuroedukasi* dalam pendidikan sains. Topik-topik awal (sekitar 2006–2012), seperti *neuroididactics*, *scientific thinking*, dan *computer science education*, menunjukkan upaya awal untuk mengintegrasikan pendekatan komputasional dan teori belajar berbasis otak. Memasuki fase transisi (2013–2018), fokus penelitian bergeser ke arah implementasi konsep dalam konteks pembelajaran nyata, seperti *working memory*, *problem solving*, dan *educational neuroscience*. Dalam lima tahun terakhir (2019–2024), topik-topik seperti *cognitive load*, *education computing*, dan *academic performance* menunjukkan peningkatan perhatian terhadap efektivitas dan efisiensi pembelajaran berbasis otak dengan dukungan teknologi, serta hasil belajar peserta didik.

Identifikasi Kesenjangan Penelitian

Pemetaan kesenjangan penelitian ditampilkan pada Tabel 3, yang merinci aspek-aspek yang belum banyak dijelajahi, seperti kontribusi dari negara berkembang, dominasi tema lama, dan kurangnya riset empiris terhadap konsep-konsep kognitif.

Tabel 3. Kesenjangan Penelitian dan Arah Penelitian Masa Depan

Aspek Pemetaan	Kesenjangan Penelitian (Research Gaps)	Rekomendasi Arah Penelitian Masa Depan
Tren Publikasi (RQ1)	Jumlah publikasi masih terbatas; peningkatan hanya terjadi dalam 5 tahun terakhir.	Dorong peningkatan jumlah publikasi dan eksplorasi topik baru untuk memperkuat landasan literatur.
Kontribusi Penulis, Afiliasi, dan Negara (RQ2)	Penelitian didominasi oleh afiliasi dan negara tertentu (AS, Austria, Inggris); kontribusi negara berkembang masih rendah.	Perluas kolaborasi global dan dorong partisipasi afiliasi dari negara-negara berkembang.
Jurnal Publikasi (RQ3)	Topik <i>neuroedukasi</i> belum banyak diterbitkan dalam jurnal pendidikan sains utama.	Targetkan publikasi di jurnal pendidikan sains bereputasi agar pengaruh akademik lebih kuat.
Topik Penelitian Dominan (RQ4)	Beberapa tema lama mendominasi; tema baru belum banyak dikembangkan secara sistematis.	Kembangkan eksplorasi terhadap tema baru dengan pendekatan kualitatif, kuantitatif, atau campuran.
Evolusi Topik (RQ5)	Topik-topik baru seperti <i>cognitive load</i> dan <i>executive function</i> belum banyak diteliti secara empiris.	Lakukan studi empiris untuk menguji efektivitas konsep-konsep kognitif dan <i>neuroedukatif</i> .
Penerapan Kontekstual (implisit dari semua RQ)	Sedikit studi yang mengaitkan <i>neuroedukasi</i> dengan konteks pembelajaran lokal di negara berkembang.	Kaji penerapan <i>neuroedukasi</i> dalam konteks budaya dan sistem pendidikan lokal secara lebih spesifik.

Temuan dari sisi tren publikasi (RQ1), menunjukkan bahwa jumlah publikasi masih tergolong terbatas, dengan peningkatan baru terlihat dalam lima tahun terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa topik ini masih berada dalam fase pertumbuhan awal, dan perlu didorong lebih lanjut baik dalam kuantitas maupun diversifikasi topik untuk memperkaya fondasi literturnya. Aspek kontribusi penulis, afiliasi, dan negara (RQ2), terlihat bahwa penelitian didominasi oleh afiliasi dan negara tertentu, seperti Amerika Serikat, Austria, dan Inggris. Kontribusi dari negara-negara berkembang masih rendah, sehingga disarankan untuk memperluas kolaborasi internasional dan mendukung partisipasi institusi dari kawasan yang kurang terwakili. Terkait jurnal publikasi (RQ3), ditemukan bahwa topik *neuroedukasi* belum banyak diterbitkan dalam jurnal pendidikan sains utama. Oleh karena itu, strategi diseminasi perlu diarahkan ke jurnal-jurnal bereputasi di bidang pendidikan untuk meningkatkan visibilitas dan pengaruh akademik dari penelitian ini.

Topik penelitian dominan (RQ4), terlihat bahwa tema-tema lama seperti *brain-based learning* dan *neurodidactics* masih mendominasi, sementara tema-tema baru belum banyak dikembangkan secara sistematis. Hal ini menunjukkan perlunya eksplorasi terhadap topik-topik baru dengan berbagai pendekatan metodologis (kualitatif, kuantitatif, atau *mixed-method*). Dalam evolusi topik (RQ5), terdapat isu bahwa topik-topik baru seperti *cognitive load* dan *executive function* belum banyak diteliti secara empiris. Studi lebih lanjut diperlukan untuk menguji efektivitas dari pendekatan-pendekatan ini dalam konteks pembelajaran nyata. Aspek penerapan kontekstual, yang mencakup adaptasi *neuroedukasi* pada konteks budaya dan sistem pendidikan lokal, masih jarang dijadikan fokus studi. Padahal, pendekatan yang kontekstual sangat penting untuk menjamin relevansi dan keberhasilan implementasi *neuroedukasi* di negara berkembang.

Pembahasan

Perkembangan kajian *neuroedukasi* dalam konteks pembelajaran sains dari waktu ke waktu dapat dipahami dengan melakukan analisis awal terhadap tren publikasi tahunan. Analisis tren publikasi ini menjawab pertanyaan penelitian yang pertama. Analisis tren ini bertujuan untuk menggambarkan dinamika pertumbuhan jumlah artikel ilmiah yang membahas topik tersebut, serta mengidentifikasi periode-periode penting di mana terjadi peningkatan atau penurunan produktivitas penelitian (Liu et al., 2024). Temuan dari analisis tren publikasi menunjukkan adanya peningkatan perhatian terhadap kajian *neuroedukasi* dalam pendidikan sains, khususnya dalam lima tahun terakhir. Hal ini mengindikasikan bahwa pendekatan berbasis neurosains dalam pembelajaran mulai mendapat tempat dalam diskursus akademik global, seiring meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya metode pembelajaran yang sesuai dengan cara kerja otak.

Pertanyaan kedua terkait siapa saja pihak yang paling berkontribusi dalam pengembangan kajian *neuroedukasi* dalam pembelajaran sains, dapat dijawab dengan menganalisis data penulis dan institusi afiliasi yang tercatat dalam publikasi-publikasi terkait. Identifikasi terhadap penulis kunci ini penting untuk memahami sejauh mana penyebaran dan konsentrasi penelitian dalam bidang ini, serta untuk melihat potensi kolaborasi dan pengaruh akademik yang berkembang (Dumontheil et al., 2022). Temuan terhadap penulis yang produktif menulis dengan tema *neuroedukasi* dalam pembelajaran sains, menunjukkan bahwa meskipun topik ini berkembang, kontribusi masih terkonsentrasi pada beberapa individu kunci.

Analisis terhadap kontribusi afiliasi dan negara juga dilakukan untuk sepuluh afiliasi dan negara dengan dokumen publikasi terbanyak. Analisis kontribusi afiliasinya ini dapat memberikan informasi potensi kerjasama dan kolaborasi yang bersifat kelembagaan dan sebaran geografis kontribusi penelitian memberikan informasi peluang kolaborasi serta kerjasama tingkat internasional, serta memberikan landasan penguatan riset bagi negara yang belum berkontribusi (Bada & Jita, 2023). Dominasi kontribusi oleh institusi dan negara tertentu menunjukkan bahwa perkembangan kajian ini masih terpusat pada wilayah tertentu seperti Amerika Serikat dan Eropa Barat. Sementara itu, kehadiran institusi seperti UPI dari Indonesia menjadi indikasi bahwa kawasan Asia Tenggara mulai mengambil bagian dalam pengembangan bidang ini.

Hasil identifikasi jurnal ilmiah yang menjadi tempat publikasi *neuroedukasi* dalam bidang Pendidikan sains untuk menjawab pertanyaan penelitian yang ketiga. Untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai saluran publikasi yang digunakan oleh para peneliti, dilakukan analisis terhadap distribusi publikasi berdasarkan jurnal dan tahun terbitnya. Hal ini bertujuan untuk melihat tidak hanya jurnal mana yang paling produktif, tetapi juga bagaimana sebaran temporal dari publikasi-publikasi tersebut (Balta et al., 2021). Sebaran jurnal tempat publikasi ini menunjukkan bahwa kajian *neuroedukasi* dalam pendidikan sains menyebar di berbagai jurnal dengan fokus yang berbeda, termasuk pendidikan sains, psikologi, teknologi pembelajaran, hingga konferensi internasional. Pola ini mencerminkan sifat interdisipliner dan berkembangnya topik ini secara bertahap, serta memberikan panduan penting bagi peneliti yang ingin memilih kanal publikasi yang tepat sesuai konteks dan pendekatan riset mereka (Delgado-Sanchez et al., 2023).

Hasil analisis *co-occurrence* terhadap kata kunci menggunakan *VOSviewer* mengungkap bahwa kajian *neuroedukasi* dalam pendidikan sains tidak hanya tersebar dalam berbagai domain topik, tetapi juga saling terhubung secara erat. Hasil ini menjawab pertanyaan

penelitian keempat. Temuan ini memperkuat posisi *neuroedukasi* sebagai bidang yang mengintegrasikan *neurosains*, psikologi kognitif, teknologi pendidikan, dan pedagogi modern. Identifikasi klaster ini memberikan panduan strategis untuk pengembangan riset selanjutnya dan pemetaan kekuatan topik yang dapat dikembangkan lebih lanjut dalam ranah pendidikan sains berbasis otak (Allaire-Duquette et al., 2021).

Pergeseran topik dari fondasi teoritis menuju pendekatan berbasis aplikasi dan teknologi pada lima tahun terakhir juga menunjukkan arah perkembangan bidang ini yang semakin kontekstual dan terukur. Tinjauan ini juga untuk menjawab pertanyaan penelitian yang ke lima. Dalam tinjauan ini, masih terdapat celah dalam riset, seperti minimnya studi empiris yang menguji efektivitas pendekatan neuroedukatif dalam konteks nyata, serta kurangnya instrumen *asesmen* yang valid untuk mengukur aspek-aspek seperti *cognitive load* atau *executive function*. Implikasi praktis dari temuan ini adalah perlunya pengembangan instrumen dan metodologi yang lebih relevan dengan konteks pembelajaran yang kompleks.

Evaluasi pertanyaan penelitian pertama hingga kelima, dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian yang keenam terkait kesenjangan penelitian dan arah penelitian masa depan. Kesenjangan penelitian (*research gaps*) ini dapat diidentifikasi dari hasil pemetaan *bibliometrik*. Kesenjangan ini mencerminkan area-area yang masih belum banyak dijelajahi atau kurang mendapat perhatian dalam literatur yang ada, baik dari segi kuantitas, distribusi kontribusi, maupun eksplorasi tematik. Dengan menelaah hasil-hasil dari RQ1 hingga RQ5 secara komprehensif, analisis ini bertujuan untuk merumuskan peluang riset baru yang dapat memperkaya dan memperluas cakupan kajian *neuroedukasi* dalam pendidikan sains.

Hasil pemetaan *bibliometrik* dari keseluruhan pertanyaan penelitian mengungkap sejumlah kesenjangan yang dapat dijadikan pijakan untuk arah penelitian masa depan dalam bidang *neuroedukasi* pada pendidikan sains. Pertama, dari segi tren publikasi, meskipun terdapat peningkatan dalam lima tahun terakhir, jumlah dokumen secara keseluruhan masih tergolong terbatas. Kedua, dominasi institusi dan negara tertentu, seperti Amerika Serikat, Austria, dan Inggris, mengindikasikan bahwa kontribusi riset global masih belum merata. Kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia, masih memiliki peluang besar untuk memperluas kontribusinya dalam bidang ini, khususnya dengan menyesuaikan pendekatan neuroedukatif pada konteks lokal yang lebih relevan (Jang et al., 2022).

Ketiga, dari sisi topik, analisis evolusi kata kunci menunjukkan bahwa beberapa tema seperti *neurodidactics* dan *computer science education* muncul sejak awal tetapi belum berkembang secara signifikan dalam literatur terbaru. Tren global seperti *computer science education* dan *neurodidactics* perlu dikaji juga dalam konteks lokal untuk menyesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi peserta didik di Indonesia atau Asia Tenggara. Riset *bibliometrik* komparatif antarnegara dapat memperkaya perspektif dalam pengembangan pendekatan pembelajaran yang relevan secara konteks budaya dan sosial. Tema baru seperti *cognitive load* dan *executive function* mulai mendapatkan perhatian, namun masih belum banyak dikaji dalam bentuk riset empiris yang sistematis. Kesenjangan ini membuka peluang untuk mengembangkan riset interdisipliner yang menghubungkan *neuroscience*, pendidikan STEM, dan teknologi pembelajaran. Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis *neurosains* yang mempertimbangkan kapasitas kognitif peserta didik akan menjadi langkah strategis untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran. Selain itu, melihat topik yang beragam dari lintas bidang, maka juga direkomendasikan untuk kolaborasi antara pendidik, ahli *neuroscience*, dan pengembang teknologi pembelajaran. Hal ini dapat mendorong lahirnya model-model pembelajaran baru yang tidak hanya berbasis teori tetapi juga berbasis bukti dari

studi neurosains dan psikologi kognitif. Hadirnya topik baru yang berkaitan dengan evaluasi hasil belajar, seperti *academic performance* dan *learning outcome*, masih terbatas jumlahnya, maka perlu dilakukan lebih banyak penelitian kuantitatif atau eksperimental untuk menguji efektivitas pendekatan *neuroedukatif* dalam meningkatkan hasil belajar. Beberapa topik terkini yang berfokus pada fungsi-fungsi kognitif memerlukan dukungan pengembangan instrumen asesmen yang valid dan reliabel. Instrumen tersebut dapat berupa skala beban kognitif, pengukuran fungsi eksekutif, atau bahkan perangkat digital yang mampu memantau proses berpikir siswa selama belajar.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan *neuroedukatif* memiliki potensi dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan daya ingat siswa melalui penguatan strategi visual dan multisensori (Pluck, 2023). Studi lain juga menegaskan efektivitas pengajaran berbasis otak dalam konteks mata pelajaran tertentu, meskipun sebagian besar masih terbatas pada studi kasus lokal dan belum berskala luas (Vogel & Smedt, 2021). Penelitian yang juga menyoroti pentingnya kolaborasi lintas disiplin antara ahli *neuroscience* dan pendidik dalam merancang intervensi pembelajaran yang sesuai dengan kapasitas kognitif siswa (Yang, 2025). Namun, hingga kini belum banyak studi yang secara sistematis menguji efektivitas pendekatan tersebut menggunakan desain kuantitatif atau eksperimental dalam konteks pendidikan sains di Asia Tenggara.

Pemetaan jurnal menunjukkan bahwa publikasi terkait *neuroedukasi* masih tersebar di berbagai jurnal interdisipliner, namun belum banyak masuk ke jurnal-jurnal pendidikan sains utama. Ini menjadi indikasi bahwa pendekatan ini masih relatif baru dan memerlukan strategi diseminasi yang lebih terarah agar dapat diterima secara luas dalam komunitas pendidikan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bidang *neuroedukasi* masih dalam tahap perkembangan awal dan banyak dipublikasikan di jurnal interdisipliner seperti *Mind, Brain, and Education*, bukan di jurnal pendidikan sains arus utama (Li & Wang, 2021). Hal ini mencerminkan tantangan dalam integrasi pendekatan *neuroedukatif* ke dalam wacana pendidikan sains yang mapan, serta perlunya strategi diseminasi yang lebih fokus dan lintas disiplin. Temuan-temuan ini diharapkan dapat mengantarkan riset mendatang untuk tidak hanya mengisi kekosongan topik, tetapi juga memperluas konteks, metode, dan strategi diseminasi agar kajian *neuroedukasi* dapat berkembang secara signifikan dan berdampak nyata dalam pembelajaran sains di berbagai level pendidikan. Dengan merujuk pada evolusi tematik yang telah dipetakan, rekomendasi ini diharapkan dapat menjadi dasar strategis dalam menyusun arah riset, kebijakan pendidikan, serta inovasi pengajaran berbasis *neuroscience* di masa mendatang.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil memberikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan dan tren riset *neuroedukasi* dalam pendidikan sains melalui analisis *bibliometrik*. Hasil penelitian mengkonfirmasi tujuan awal untuk memetakan lanskap riset dengan menunjukkan peningkatan signifikan publikasi dalam lima tahun terakhir, meskipun secara keseluruhan masih tergolong terbatas. Kontribusi penelitian didominasi oleh institusi dan negara-negara maju, terutama Amerika Serikat, Austria, dan Inggris, sementara representasi negara berkembang masih relatif rendah. Topik-topik dominan yang teridentifikasi meliputi *working memory*, *science education*, *cognitive load*, dan *educational neuroscience*, dengan evolusi topik yang bergerak dari pendekatan teoritis menuju penerapan kognitif dan teknologi pendidikan. Analisis kata kunci dan pemetaan tematik juga mengungkap adanya kesenjangan penelitian, seperti kurangnya

studi kontekstual dan minimnya eksplorasi tema-tema baru secara empiris. Temuan ini memiliki implikasi penting bagi pengembangan kebijakan pendidikan dan strategi penelitian di masa depan.

Keterbatasan dalam penelitian ini meliputi terbatasnya jumlah data yang diperoleh dari Scopus yakni hanya 76 artikel, yang mungkin kurang memadai untuk analisis bibliometrik yang idealnya memerlukan *database* dengan *volume* data yang lebih besar untuk menghasilkan analisis kuantitatif yang kuat dan andal. Keterbatasan lainnya adalah cakupan *database* yang terbatas pada Scopus saja, fokus pada publikasi berbahasa Inggris, serta tidak dapat menangkap aspek kualitatif mendalam dari konten penelitian. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya mencakup: (1) peningkatan keterlibatan peneliti dari negara berkembang melalui kolaborasi internasional; (2) pengembangan riset berbasis konteks lokal untuk memperkaya perspektif global; (3) eksplorasi tema-tema baru dengan pendekatan interdisipliner yang menggabungkan *neurosains*, psikologi kognitif, dan teknologi pendidikan; (4) penerapan metodologi penelitian yang lebih beragam termasuk *mixed methods* dan *longitudinal studies*; dan (5) pengembangan *framework* teoritis yang lebih solid untuk menghubungkan temuan *neurosains* dengan praktik pendidikan sains. Penelitian ini diharapkan menjadi landasan strategis dalam merumuskan arah pengembangan neuroedukasi sebagai bidang interdisipliner yang berkembang pesat.

Acknowledgment

-

Daftar Pustaka

- Allaire-Duquette, G., Brault Foisy, L. M., Potvin, P., Riopel, M., Larose, M., & Masson, S. (2021). An fMRI study of scientists with a Ph.D. in physics confronted with naive ideas in science. *Npj Science of Learning*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00091-x>
- Arsalidou, M. (2024). Tools to Assess Neurocognitive Development: Reciprocal Insights from Theory and Neuroscience. *Human Development*. <https://doi.org/10.1159/000540164>
- Bada, A., & Jita, L. (2023). Effect of Brain-Based Teaching Method on Secondary School Physics Students' Retention and Self-Efficacy. *Journal of Technology and Science Education*, 13(1), 276–287. <https://doi.org/10.3926/jotse.1629>
- Balta, J. Y., Supple, B., & O'Keeffe, G. W. (2021). The Universal Design for Learning Framework in Anatomical Sciences Education. *Anatomical Sciences Education*, 14(1), 71–78. <https://doi.org/10.1002/ase.1992>
- Chen, J., Yu, K., Bi, Y., Ji, X., & Zhang, D. (2024). Strategic Integration: A Cross-Disciplinary Review of the fNIRS-EEG Dual-Modality Imaging System for Delivering Multimodal Neuroimaging to Applications. In *Brain Sciences* (Vol. 14, Issue 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/brainsci14101022>
- Coumans, J. V. F., & Wark, S. (2024). Impact of Problem-Based Learning Coaching and Neuroeducation in the Development of 21st Century Lifelong Learners. In *Mind, Brain, and Education* (Vol. 18, Issue 1, pp. 35–42). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/mbe.12406>
- Delgado-Sanchez, J. M., Benítez-Temiño, B., Moreno-Tejera, S., Larrañeta, M., Silva-Pérez, M., & Lillo-Bravo, I. (2023). Visual Resources for Learning Thermodynamics: A

- Neuroeducation Perspective. *Education Sciences*, 13(10).
<https://doi.org/10.3390/educsci13101030>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Dumontheil, I., Brookman-Byrne, A., Tolmie, A. K., & Mareschal, D. (2022). Neural and Cognitive Underpinnings of Counterintuitive Science and Math Reasoning in Adolescence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 34(7), 1205–1229. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01854
- Franconeri, S. L., Padilla, L. M., Shah, P., Zacks, J. M., & Hullman, J. (2021). The Science of Visual Data Communication: What Works. *Psychological Science in the Public Interest*, 22(3), 110–161. <https://doi.org/10.1177/15291006211051956>
- Gola, G., Angioletti, L., Cassioli, F., & Balconi, M. (2022). The Teaching Brain: Beyond the Science of Teaching and Educational Neuroscience. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.823832>
- Goldwater, M. B., Hilton, C., & Davis, T. H. (2022). Developing an educational neuroscience of category learning. *Mind, Brain, and Education*, 16(2), 167–182. <https://doi.org/10.1111/mbe.12306>
- Hao, X., Xu, Z., Guo, M., Hu, Y., & Geng, F. (2023). The effect of embedded structures on cognitive load for novice learners during block-based code comprehension. *International Journal of STEM Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00432-9>
- Harden, V., & Jones, V. N. (2022). Applying the Principles of Brain-Based Learning in Social Work Education. *Advances in Social Work*, 22(1), 145–162. <https://doi.org/10.18060/25142>
- Jang, C. S., Lim, D. H., You, J., & Cho, S. (2022). Brain-based learning research for adult education and human resource development. *European Journal of Training and Development*, 46(5–6), 627–651. <https://doi.org/10.1108/EJTD-02-2021-0029>
- Janssen, T. W. P., Grammer, J. K., Bleichner, M. G., Bulgarelli, C., Davidesco, I., Dikker, S., Jasińska, K. K., Siugzdaite, R., Vassena, E., Vatakis, A., Zion-Golumbic, E., & van Atteveldt, N. (2021). Opportunities and Limitations of Mobile Neuroimaging Technologies in Educational Neuroscience. *Mind, Brain, and Education*, 15(4), 354–370. <https://doi.org/10.1111/mbe.12302>
- Jolles, J., & Jolles, D. D. (2021). On Neuroeducation: Why and How to Improve Neuroscientific Literacy in Educational Professionals. In *Frontiers in Psychology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.752151>
- Lagoudakis, N., Vlachos, F., Christidou, V., & Vavougiou, D. (2022). The effectiveness of a teaching approach using brain-based learning elements on students' performance in a Biology course. *Cogent Education*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2022.2158672>
- Leisman, G. (2022). On the Application of Developmental Cognitive Neuroscience in Educational Environments. *Brain Sciences*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/brainsci12111501>

- Li, X., & Wang, W. (2021). Exploring Spatial Cognitive Process Among STEM Students and Its Role in STEM Education: A Cognitive Neuroscience Perspective. *Science and Education*, 30(1), 121–145. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00167-x>
- Liu, D., Jamshaid, S., & Wang, L. (2024). Neural Mechanisms of Inhibition in Scientific Reasoning: Insights from fNIRS. *Brain Sciences*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/brainsci14060606>
- Öztürk, O., Kocaman, R., & Kanbach, D. K. (2024). How to design bibliometric research: an overview and a framework proposal. *Review of Managerial Science*. <https://doi.org/10.1007/s11846-024-00738-0>
- Pessin, V. Z., Yamane, L. H., & Siman, R. R. (2022). Smart bibliometrics: an integrated method of science mapping and bibliometric analysis. *Scientometrics*, 127(6), 3695–3718. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04406-6>
- Pluck, G. (2023). Visual Perceptual Ability and Academic Achievement in Undergraduate Engineering. *8th International STEM Education Conference, ISTEM-Ed 2023 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/iSTEM-Ed59413.2023.10305605>
- Pradeep, K., Sulur Anbalagan, R., Thangavelu, A. P., Aswathy, S., Jisha, V. G., & Vaisakhi, V. S. (2024). Neuroeducation: understanding neural dynamics in learning and teaching. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1437418>
- Sridhar, S., Khamaj, A., & Asthana, M. K. (2023). Cognitive neuroscience perspective on memory: overview and summary. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1217093>
- Szomszor, M., Adams, J., Fry, R., Gebert, C., Pendlebury, D. A., Potter, R. W. K., & Rogers, G. (2020). Interpreting Bibliometric Data. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 5. <https://doi.org/10.3389/frma.2020.628703>
- Uden, L., Sulaiman, F., Ching, G. S., & Rosales, J. J. (2023). Integrated science, technology, engineering, and mathematics project-based learning for physics learning from neuroscience perspectives. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1136246>
- Vogel, S. E., & De Smedt, B. (2021). Developmental brain dynamics of numerical and arithmetic abilities. In *npj Science of Learning* (Vol. 6, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00099-3>
- Wang, L., Li, M., Yang, T., Wang, L., & Zhou, X. (2022). Mathematics Meets Science in the Brain. *Cerebral Cortex*, 32(1), 123–136. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab198>
- Wang, Q., Wang, H., Chen, S., Deng, H., & Zhu, Y. (2023). Scientific Problem Solving and Brain Symmetry Index: An exploratory EEG study. *2023 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/EMBC40787.2023.10340154>
- Yang, L., & Wang, Z. (2025). Applications and advances of combined fMRI-fNIRs techniques in brain functional research. In *Frontiers in Neurology* (Vol. 16). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1542075>