

Inovasi Pendidikan Matematika Inklusif dalam Pengembangan Materi Literasi Geometri Berbasis Taktil dan Teknologi bagi Siswa Tunanetra

Indah Rahayu Panglipur

Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas PGRI Argopuro Jember, Indonesia

*Correspondance

Email: indahmath89@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan materi pembelajaran matematika inklusif pada bidang literasi geometri bagi siswa tunanetra melalui integrasi media taktil dan teknologi aksesibel. Literasi geometri merupakan kompetensi fundamental dalam matematika, namun proses pembelajarannya umumnya masih didominasi pendekatan visual sehingga menciptakan kesenjangan bagi siswa buta maupun low vision. Untuk menjawab persoalan tersebut, penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (R&D) model Borg & Gall yang dimodifikasi, meliputi analisis kebutuhan, perancangan produk, validasi ahli, uji coba terbatas, dan revisi. Subjek penelitian adalah delapan siswa tunanetra tingkat SMA di Jember, dengan melibatkan guru matematika dan pakar pendidikan inklusif sebagai validator. Produk yang dihasilkan berupa materi literasi geometri yang memadukan media taktil (balok kayu, puzzle, model 3D) dengan dukungan teknologi berbasis audio sebagai representasi konkret sekaligus instruksi interaktif. Hasil validasi menunjukkan tingkat kevalidan sangat tinggi (rata-rata skor 4,35/5), sementara uji kepraktisan menunjukkan materi mudah digunakan dan relevan dengan kebutuhan siswa. Uji coba terbatas membuktikan efektivitas produk dalam mendukung perilaku berpikir kreatif siswa tunanetra, mencakup kelancaran, keluwesan, elaborasi, dan orisinalitas dalam penyelesaian masalah geometri. Dengan demikian, materi yang dikembangkan dinyatakan valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan literasi geometri secara inklusif. Inovasi ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pendidikan matematika, dengan menegaskan pentingnya integrasi pengalaman taktil dan teknologi untuk mewujudkan pembelajaran yang aksesibel, setara, dan bermakna.

Kata Kunci: literasi berpikir kreatif, geometri, media taktil, pendidikan matematika inklusif, teknologi aksesibel, tunanetra

ABSTRACT

This study aims to develop inclusive mathematics learning materials in the field of geometry literacy for visually impaired students by integrating tactile media and accessible technology. Geometry literacy is fundamental in mathematics, yet its learning process is often dominated by visual approaches, creating inequity for blind and low-vision learners. To address this gap, research and development (R&D) was conducted using a modified Borg & Gall model, including needs analysis, product design, expert validation, limited trials, and revision. The study involved eight visually impaired high school students in Jember, supported by mathematics teachers and experts in inclusive education as validators. The developed materials combine tactile media (wooden blocks, puzzles, 3D models) with audio-based technology to provide concrete representation and interactive support. Validation results indicated a high level of validity (average score 4.35/5), while practicality testing showed that teachers and students found the materials easy to use and relevant. Trial results revealed that the materials effectively supported creative thinking behaviors—fluency, flexibility, elaboration, and originality—during geometry problem-solving. Students actively explored, created alternative solutions, and demonstrated originality in constructing geometric forms. In conclusion, the developed materials are valid, practical, and effective for promoting inclusive geometry literacy. This innovation contributes to both theory and practice by offering a framework for fostering creativity while ensuring equity in mathematics learning for visually impaired students. The study highlights the importance of integrating tactile experiences with technology to create meaningful, accessible, and sustainable inclusive education.

Keywords: inclusive mathematics, geometry literacy, tactile media, accessible technology, visually impaired, creative thinking.

PENDAHULUAN

Pendidikan inklusif menekankan pada hak setiap individu, termasuk penyandang disabilitas, untuk memperoleh akses setara dalam proses (Lien, 2025). Dalam konteks pendidikan matematika, literasi geometri menjadi kompetensi esensial karena terkait dengan pemahaman bentuk, ukuran, relasi spasial, dan pemecahan masalah abstrak (Gardenfors, 2014; Kriegeskorte & Wei, 2021). Namun, bagi siswa tunanetra, keterbatasan akses visual menimbulkan tantangan serius dalam memahami konsep-konsep geometri yang secara tradisional diajarkan dengan representasi visual. Studi menunjukkan bahwa hambatan terbesar siswa tunanetra dalam pembelajaran matematika adalah keterbatasan media dan metode pembelajaran yang ramah indera non-visual (Baykaldi, 2017; Ibili et al., 2020).

Urgensi penelitian ini berangkat dari kesenjangan literasi geometri antara siswa awas dan siswa tunanetra. Penelitian sebelumnya menegaskan bahwa siswa tunanetra dapat mengembangkan kemampuan penalaran matematis yang baik bila diberikan kesempatan untuk mengeksplorasi konsep melalui pengalaman taktil dan auditoris (Poskitt, 2016; Zhang & He, 2022). Penggunaan media taktil, seperti model 3D atau balok kayu, terbukti mendukung pemahaman konsep spasial (Andić et al., 2024; Phutane et al., 2022). Namun, penelitian terkini juga menekankan perlunya inovasi berbasis teknologi, misalnya layar sentuh multimodal, augmented reality, atau perangkat berbasis AI, untuk memperluas aksesibilitas pembelajaran matematika (Tennison et al., 2023; See & Advincula, 2021). Oleh karena itu, kombinasi antara media taktil tradisional dan teknologi aksesibel dipandang sebagai solusi strategis untuk menjawab kebutuhan pembelajaran geometri yang setara. Masalah utama yang diidentifikasi adalah terbatasnya materi literasi geometri yang dirancang khusus untuk siswa tunanetra, baik dari sisi konten maupun aksesibilitas. Keterbatasan media pembelajaran yang hanya mengandalkan instrumen taktil sederhana, sehingga belum mampu mengakomodasi keragaman gaya belajar siswa tunanetra. Minimnya integrasi teknologi aksesibel dalam pembelajaran geometri yang dapat memperkuat pengalaman belajar taktil. Kesenjangan ini menimbulkan risiko terjadinya eksklusi pedagogis, di mana siswa tunanetra tidak memperoleh pengalaman belajar yang bermakna, setara, dan kreatif. Beberapa solusi yang telah dikembangkan antara lain penggunaan alat bantu taktil tradisional seperti papan Braille, kompas khusus, atau balok geometri (Kusno & Setyaningsih, 2021). Pemanfaatan media digital berbasis audio untuk mendeskripsikan bentuk dan ukuran bangun (Klingenberg et al., 2019). Pengembangan media interaktif 3D melalui pencetakan model geometri (Jafri et al., 2017)(Andić et al., 2024).

Namun, solusi-solusi tersebut umumnya masih terpisah dan belum terintegrasi dalam satu sistem pembelajaran yang konsisten.

Solusi yang dipilih dalam penelitian ini adalah mengembangkan materi literasi geometri berbasis kombinasi media taktil dan teknologi aksesibel. Media taktil, seperti balok kayu, puzzle, atau model 3D, berfungsi sebagai representasi konkret yang memungkinkan siswa tunanetra mengeksplorasi bentuk, ukuran, serta relasi spasial melalui indera peraba (Panglipur et al., 2024). Pada saat yang sama, teknologi aksesibel berbasis audio dan digital interaktif dimanfaatkan untuk memberikan deskripsi, instruksi, maupun umpan balik yang memperkuat pemahaman abstrak. Integrasi dua pendekatan ini dipandang strategis karena mampu mengatasi keterbatasan media tradisional yang hanya mengandalkan indera peraba, sekaligus melengkapi kelemahan teknologi digital yang kurang menghadirkan pengalaman fisik langsung (Panglipur, 2023). Dengan kombinasi ini, siswa tunanetra tidak hanya memperoleh akses pembelajaran yang setara, tetapi juga terdorong untuk mengembangkan perilaku berpikir kreatif meliputi kelancaran, keluwesan, elaborasi, dan orisinalitas dalam menyelesaikan masalah geometri. Materi yang dihasilkan diharapkan menjadi inovasi praktis yang mendukung terwujudnya pembelajaran matematika inklusif, kreatif, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D) dengan tujuan menghasilkan materi literasi geometri berbasis kombinasi media taktil dan teknologi aksesibel bagi siswa tunanetra. Model pengembangan yang diadaptasi mengacu pada langkah-langkah Borg & Gall (2003) yang dimodifikasi secara lebih sederhana menjadi tahapan analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan produk awal, uji coba terbatas, revisi, dan validasi. Penelitian dilaksanakan selama enam bulan, mulai dari Februari hingga Juli 2025, dengan lokasi utama di Sekolah Luar Biasa (SLB) dan pusat layanan sumber belajar inklusif di Kabupaten Jember, Jawa Timur.

Target penelitian ini adalah pengembangan materi pembelajaran geometri yang tidak hanya aksesibel, tetapi juga mendorong munculnya perilaku berpikir kreatif siswa tunanetra dalam menyelesaikan masalah geometri. Subjek penelitian terdiri dari 8 siswa tunanetra setingkat SMA/SMK, yang dipilih secara purposif berdasarkan kriteria: memiliki hambatan penglihatan total atau low vision, sudah mengenal konsep dasar geometri, dan bersedia

mengikuti rangkaian kegiatan uji coba. Selain siswa, penelitian ini juga melibatkan guru matematika SLB dan dosen pendidikan matematika sebagai validator ahli.

Prosedur penelitian diawali dengan analisis kebutuhan melalui observasi pembelajaran matematika di SLB dan wawancara dengan guru. Tahap berikutnya adalah perancangan materi literasi geometri berbasis taktil dan teknologi, yang mencakup modul pembelajaran, model 3D, serta aplikasi pendukung berbasis audio. Setelah produk awal selesai, dilakukan validasi ahli oleh pakar pendidikan matematika, pendidikan khusus, dan teknologi pembelajaran untuk menilai aspek kelayakan isi, tampilan, dan keteraksesan. Produk yang telah direvisi berdasarkan masukan ahli kemudian diuji coba terbatas kepada subjek penelitian untuk melihat keterbacaan, kemudahan penggunaan, dan ketercapaian tujuan.

Instrumen penelitian terdiri dari angket validasi ahli, lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran, pedoman wawancara siswa dan guru, serta tes literasi geometri yang dikembangkan khusus berbasis taktil. Data dikumpulkan melalui kombinasi teknik, yaitu angket (untuk data validasi), observasi (untuk menilai keterlaksanaan dan respons siswa), wawancara (untuk menggali pengalaman belajar), dan tes (untuk mengukur literasi geometri). Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif dan kuantitatif sederhana. Data kualitatif dari wawancara dan observasi dianalisis melalui tahapan reduksi, penyajian, dan penarikan kesimpulan, sedangkan data kuantitatif berupa skor validasi ahli dan hasil tes dianalisis menggunakan persentase dan rerata untuk menentukan tingkat kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan produk.

Melalui metode ini, penelitian diharapkan tidak hanya menghasilkan materi geometri yang aksesibel bagi siswa tunanetra, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap praktik pendidikan matematika inklusif, khususnya dalam mendukung tumbuhnya kreativitas, kemandirian, dan kebermaknaan belajar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini berupa pengembangan materi literasi geometri berbasis kombinasi media taktil dan teknologi aksesibel yang dirancang untuk mendukung proses belajar siswa tunanetra sekaligus menumbuhkan perilaku berpikir kreatif mereka. Produk yang dikembangkan melalui tahapan analisis kebutuhan, desain, validasi, uji coba terbatas, hingga revisi menghasilkan beberapa temuan penting. Tahap analisis kebutuhan menunjukkan bahwa guru matematika di SLB masih sangat terbatas dalam menggunakan media pembelajaran

geometri yang aksesibel. Pembelajaran banyak bergantung pada penjelasan verbal guru, sementara siswa tunanetra mengalami kesulitan membayangkan bentuk dan relasi spasial tanpa bantuan representasi taktil. Guru juga menyatakan kebutuhan mendesak akan materi yang terintegrasi dengan teknologi sederhana, seperti audio deskriptif atau aplikasi pembelajaran berbasis suara, agar siswa dapat belajar secara mandiri di luar kelas.

Berdasarkan temuan tersebut, dikembangkan materi literasi geometri yang memadukan dua komponen utama media taktil berupa balok kayu geometri, puzzle spasial, dan model 3D cetak serta dukungan teknologi aksesibel berupa file audio interaktif yang memberikan instruksi, deskripsi, dan umpan balik. Materi ini dikemas dalam modul pembelajaran literasi geometri yang terdiri dari beberapa topik utama, antara lain pengenalan bentuk geometri, sifat-sifat bangun, perbandingan ukuran, hingga konstruksi sederhana. Hasil validasi dari pakar pendidikan matematika, pendidikan khusus, dan teknologi pembelajaran menunjukkan bahwa materi memperoleh nilai rata-rata 4,35 dari skala 5, yang masuk kategori sangat valid. Aspek yang dinilai meliputi kesesuaian isi dengan kompetensi literasi geometri, kelayakan tampilan, kejelasan instruksi, dan tingkat aksesibilitas bagi siswa tunanetra. Masukan dari ahli digunakan untuk menyempurnakan instruksi audio, menambah variasi latihan, serta memperkuat keterkaitan antar topik.

Uji coba terbatas yang dilakukan kepada 8 siswa tunanetra menunjukkan hasil yang positif. Siswa dapat memanfaatkan media taktil untuk memahami bentuk dan relasi spasial dengan lebih baik. Dukungan teknologi audio mempermudah siswa dalam mengikuti instruksi dan memberikan rasa percaya diri saat belajar mandiri. Observasi juga menemukan munculnya perilaku berpikir kreatif: siswa mampu menghasilkan berbagai ide jawaban (*fluency*), mencoba strategi yang berbeda (*flexibility*), memperinci hasil konstruksi (*elaboration*), dan menciptakan bentuk unik dari kombinasi balok (*originality*). Respons siswa secara umum sangat antusias karena media yang digunakan dianggap lebih menarik dan mudah dipahami dibanding pembelajaran sebelumnya. Analisis data menunjukkan bahwa produk ini tidak hanya valid secara isi, tetapi juga praktis untuk digunakan guru dan efektif dalam meningkatkan pengalaman belajar siswa. Nilai kepraktisan dari angket guru mencapai 87%, sementara peningkatan hasil tes literasi geometri siswa menunjukkan rata-rata kenaikan sebesar 18% setelah menggunakan produk. Temuan ini mendukung justifikasi bahwa kombinasi media taktil dan teknologi aksesibel dapat menjadi solusi inovatif dalam pendidikan matematika inklusif, terutama dalam literasi geometri bagi siswa tunanetra.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa materi literasi geometri berbasis taktil dan teknologi aksesibel yang dikembangkan mampu menjawab kebutuhan lapangan sekaligus memberikan kontribusi pada penguatan perilaku berpikir kreatif siswa tunanetra. Produk ini tidak hanya berfungsi sebagai instrumen pembelajaran, tetapi juga sebagai sarana pemberdayaan siswa dalam mengakses konsep-konsep geometri secara setara, kreatif, dan bermakna.

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa pengembangan materi literasi geometri berbasis kombinasi media taktil dan teknologi aksesibel dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran matematika bagi siswa tunanetra. Temuan ini sejalan dengan studi sebelumnya yang menekankan pentingnya pengalaman multisensori, khususnya sentuhan dan pendengaran, dalam mendukung pemahaman konsep geometri (Baykaldi, 2017; Andić et al., 2024). Melalui media taktil, siswa dapat langsung meraba, mengurutkan, dan menyusun bentuk geometri, sehingga konsep abstrak dapat diinternalisasi menjadi pengalaman konkret. Integrasi teknologi audio interaktif semakin memperkaya pengalaman belajar dengan memberikan instruksi, penjelasan, dan umpan balik yang jelas, sehingga siswa mampu belajar lebih mandiri.

Secara konseptual, pembelajaran ini berkontribusi terhadap pengembangan perilaku berpikir kreatif siswa. Data hasil uji coba memperlihatkan munculnya dimensi kelancaran (*fluency*) ketika siswa mampu menghasilkan banyak ide penyelesaian, keluwesan (*flexibility*) saat mencoba strategi berbeda, elaborasi ketika siswa memberi detail pada konstruksi bangun, serta orisinalitas ketika siswa menciptakan bentuk baru dari kombinasi balok dan puzzle (Panglipur et al., 2025). Temuan ini mendukung teori berpikir kreatif Torrance (2008) serta relevan dengan model *Creative Problem Solving* (CPS) yang menekankan pentingnya ide divergen dan eksplorasi alternatif dalam proses pemecahan masalah (Hooijdonk, 2023). Implikasi lain yang dapat ditarik adalah bahwa materi berbasis taktil dan teknologi tidak hanya memfasilitasi aksesibilitas, tetapi juga mendorong kesetaraan dalam pembelajaran matematika. Siswa tunanetra tidak lagi diposisikan sebagai penerima pasif dari penjelasan guru, melainkan sebagai individu yang aktif mengeksplorasi, membangun, dan menemukan konsep dengan cara mereka sendiri (Mulloy et al., 2014). Hal ini sejalan dengan prinsip pendidikan inklusif yang dikemukakan UNESCO (2020) bahwa akses pendidikan yang bermakna harus mengakomodasi keberagaman gaya belajar siswa.

Selain itu, keterlibatan guru dalam proses validasi produk menunjukkan adanya peningkatan pemahaman dan kesadaran akan pentingnya inovasi media pembelajaran inklusif. Guru memperoleh alternatif konkret yang dapat langsung diterapkan dalam praktik pembelajaran, sehingga penelitian ini juga berdampak pada penguatan kapasitas pendidik. Aspek ini selaras dengan rekomendasi Phutane et al., (2022) yang menekankan bahwa keberhasilan pembelajaran bagi siswa tunanetra sangat dipengaruhi oleh kompetensi guru dalam memanfaatkan media yang tepat. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah subjek yang masih terbatas serta penggunaan teknologi yang sederhana berbasis audio, sehingga belum sepenuhnya mengeksplorasi potensi teknologi mutakhir seperti aplikasi berbasis augmented reality atau AI (Ammamarihta et al., 2017). Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas subjek penelitian dengan melibatkan siswa dari berbagai tingkat pendidikan serta mengintegrasikan teknologi digital yang lebih interaktif. Dengan cara ini, pembelajaran matematika inklusif dapat semakin adaptif terhadap perkembangan teknologi sekaligus menjangkau kebutuhan siswa yang lebih beragam.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa pengembangan materi literasi geometri berbasis taktil dan teknologi mampu menjawab kebutuhan praktis pendidikan inklusif. Produk yang dihasilkan bukan hanya membantu siswa tunanetra memahami konsep geometri, tetapi juga menumbuhkan kreativitas, kemandirian, dan rasa percaya diri mereka dalam belajar matematika. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi teoretis pada literatur pendidikan matematika inklusif dan kontribusi praktis pada pengembangan inovasi pembelajaran yang lebih aksesibel dan berkeadilan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menghasilkan inovasi pembelajaran matematika inklusif berupa materi literasi geometri berbasis kombinasi media taktil dan teknologi aksesibel yang dirancang khusus untuk siswa tunanetra. Proses pengembangan dilakukan melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan produk, validasi ahli, uji coba terbatas, dan revisi, sehingga menghasilkan produk yang sesuai dengan kebutuhan lapangan. Materi yang dikembangkan mencakup modul pembelajaran, model 3D, puzzle geometri, serta dukungan audio interaktif yang saling melengkapi. Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa materi ini memiliki tingkat validitas sangat tinggi, baik dari sisi isi, tampilan, maupun aksesibilitas. Uji coba terbatas membuktikan bahwa materi ini praktis digunakan oleh guru dan dapat diterima dengan

baik oleh siswa tunanetra. Lebih jauh, materi ini juga terbukti efektif dalam mendukung perkembangan perilaku berpikir kreatif siswa, ditandai dengan munculnya aspek kelancaran, keluwesan, elaborasi, dan orisinalitas dalam menyelesaikan masalah geometri.

Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa pengembangan materi literasi geometri berbasis taktil dan teknologi merupakan solusi inovatif yang mampu mengatasi keterbatasan pembelajaran tradisional. Produk yang dihasilkan tidak hanya memberikan akses setara kepada siswa tunanetra, tetapi juga memperkuat dimensi kreativitas, kemandirian, dan kebermaknaan belajar mereka. Penelitian ini berkontribusi pada penguatan teori dan praktik pendidikan matematika inklusif, sekaligus menjadi pijakan untuk pengembangan media pembelajaran yang lebih adaptif dan berbasis teknologi pada penelitian selanjutnya.

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar guru matematika memanfaatkan materi literasi geometri berbasis taktil dan teknologi sebagai sarana pembelajaran inklusif yang mendorong kreativitas siswa tunanetra. Sekolah dan lembaga pendidikan inklusif perlu memberikan dukungan sarana serta pelatihan guru agar media ini dapat digunakan secara berkelanjutan. Pembuat kebijakan diharapkan menjadikan temuan ini sebagai dasar dalam penyusunan standar nasional pembelajaran inklusif yang lebih aksesibel. Selain itu, penelitian lanjutan penting dilakukan dengan melibatkan lebih banyak subjek dan mengintegrasikan teknologi mutakhir seperti AR dan AI, sehingga inovasi pembelajaran matematika inklusif semakin relevan, adaptif, dan berkeadilan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammamarihta, A., Syahputra, E., & ... (2017). Development of learning devices oriented problem based learning to increase student's combinatorial thinking in mathematical problem solving ability. *2nd Annual International* <https://www.atlantispress.com/proceedings/aisteel-17/25887379>
- Andić, B., Lavicza, Z., Ulbrich, E., Cvjetičanin, S., Petrović, F., & Maričić, M. (2024). Contribution of 3D modelling and printing to learning in primary schools: a case study with visually impaired students from an inclusive Biology classroom. *Journal of Biological Education*, 58(4), 795–811. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2118352>
- Baykaldi, G. (2017). *Exploring Challenges of Mathematics Teachers Who Teach High School Mathematics for Visually Impaired Students in Turkey*. September. <https://repository.bilkent.edu.tr/items/e536114e-e649-472a-89d2-ded6af6a1547>
- Gardenfors, P. (2014). *The geometry of meaning: Semantics based on conceptual spaces*. MIT press.
- Hooijdonk, M. Van. (2023). Creative problem solving in primary school students. *Learning and Instruction*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2023.101823>
- İbili, E., Çat, M., Resnyansky, D., Şahin, S., & Billinghamurst, M. (2020). An assessment of geometry teaching supported with augmented reality teaching materials to enhance

- students' 3D geometry thinking skills. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51(2), 224–246. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1583382>
- Jafri, R., Aljuhani, A. M., & Ali, S. A. (2017). A tangible user interface-based application utilizing 3D-printed manipulatives for teaching tactual shape perception and spatial awareness sub-concepts to visually impaired children. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 11, 3–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2016.12.001>
- Klingenberg, O. G., Holkesvik, A. H., & Augestad, L. B. (2019). Drawings as External Representations of Children's Fundamental Ideas and the Emotional Atmosphere in Geometry Lessons. *British Journal of Visual Impairment*, 38(1), 38–57. <https://doi.org/10.1177/0264619619876975>
- Kriegeskorte, N., & Wei, X.-X. (2021). Neural tuning and representational geometry. *Nature Reviews Neuroscience*, 22(11), 703–718. <https://doi.org/10.1038/s41583-021-00502-3>
- Kusno, & Setyaningsih, E. (2021). The geometric literacy skills of prospective teachers in the 4.0 era. *Journal of Physics: Conference Series*, 1778(1), 0–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1778/1/012029>
- Lien, V. (2025). Decolonising Special Educational Needs and Disabilities (SEND): A Systems Theoretical Framework for Global Inclusivity. *Systems Research and Behavioral Science*, 42(2), 517–530. <https://doi.org/10.1002/sres.3138>
- Mulloy, A. M., Gevarter, C., Hopkins, M., Sutherland, K. S., & Ramdoss, S. T. (2014). *Assistive Technology for Students with Visual Impairments and Blindness BT - Assistive Technologies for People with Diverse Abilities* (G. E. Lancioni & N. N. Singh (Eds.); pp. 113–156). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8029-8_5
- Panglipur, I. R. (2023). Analisis Gaya Belajar dan kemampuan Literasi Matematika Pada Tuna Rungu. *Math-Edu: Jurnal Ilmu Pendidikan Matematika*, 8(April), 37–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.32938/jipm.8.1.2023.24-36>
- Panglipur, I. R., Lestari, N. D. S., Yudianto, E., & Susanto. (2025). Systematic literature review: The framework of creative thinking behavior. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8(2), 2516–2529. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i2.5729>
- Panglipur, I. R., Sunardi, Lestari, N. D. S., & Yudianto, E. (2024). The uniqueness of blind students in creative thinking. *AIP Conference Proceedings*, 3148(1), 1–9. <https://doi.org/10.1063/5.0241586>
- Phutane, M., Wright, J., Castro, B. V., Shi, L., Stern, S. R., Lawson, H. M., & Azenkot, S. (2022). Tactile Materials in Practice: Understanding the Experiences of Teachers of the Visually Impaired. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 15(3). <https://doi.org/10.1145/3508364>
- Poskitt, J. (2016). Assessment for Learning: Meeting the Challenge of Implementation. In *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice* (Vol. 4, Issue 6). <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-39211-0>
- See, A. R., & Advincula, W. D. (2021). *applied sciences Creating Tactile Educational Materials for the Visually Impaired and Blind Students Using AI Cloud Computing tive personalization . In their research , it was found that the in conducted by Chen.*
- Tennison, J. L., Goswami, S., Hairston, J. R., Merlin Drews, P., Smith, D. W., Giudice, N. A., Stefik, A., & Gorlewicz, J. L. (2023). Bridging the Gap of Graphical Information Accessibility in Education With Multimodal Touchscreens Among Students With Blindness and Low Vision. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 117(6), 453–466. <https://doi.org/10.1177/0145482X231217496>

Zhang, H., & He, R. (2022). A study on digital inclusion of Chinese rural older adults from a life course perspective. *Frontiers in Public Health*, 10(1).
<https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.974998>