



A University For
The Excellence

P-ISSN : 2339-2444
E-ISSN : 2549-8401

Jurnal Karya Pendidikan Matematika Universitas Muhammadiyah Semarang

HOME ABOUT LOGIN REGISTER SEARCH CURRENT ARCHIVES ANNOUNCEMENTS

SHORT REVIEW: MEDIA PEMBELAJARAN UNTUK PESERTA DIDIK TUNANETRA DALAM MENGAKSES BERBAGAI KONSEP MATEMATIKA

Siti Mutmainah^{1*}, Mega Suliani²

^a Universitas Nahdlatul Ulama Lampung & Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

^b Institut Sains dan Teknologi Muhammadiyah Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

* mutmainahsity.sm@gmail.com

Abstract

*Keyword: Short review,
Blind students, Braille,
Innovative mathematics
learning media.*

This literature review investigates the development and implementation of innovative mathematics learning media specifically engineered for blind students, addressing pedagogical challenges posed by the visual nature of mathematical concepts. Conventional instructional methodologies often prove inefficacious for these students, impeding their acquisition of abstract concepts, spatial visualization, and symbolic manipulation. This study synthesizes findings from six research initiatives focusing on adaptive pedagogical paradigms. A core innovation is the strategic utilization of tactile and multisensory materials, emphasizing textures, Braille, and embossed geometric configurations, empowering students to explore and manipulate mathematical constructs through their haptic sense. Key advancements include 3D aids for solid geometry, Braille books for planar figures, wooden manipulatives for early numeracy (e.g., "Brama"), integrated Braille and audio systems (e.g., "Blind's Playpad"), and tactile Cartesian coordinate boards (e.g., PANDIKAR). The efficacy of these resources is profoundly substantiated by neuroplasticity, wherein the central nervous systems of individuals with visual impairments compensate for sensory deficits through reorganized neural networks and enhanced processing via touch and audition. This adaptation renders multimodal sensory input indispensable for profound mathematical conceptualization. Consequently, these adaptive

1. PENDAHULUAN

Matematika sebagai disiplin ilmu fundamental yang melatih kemampuan berpikir logis, analitis, dan pemecahan masalah, merupakan kompetensi esensial dalam kurikulum pendidikan modern (Mathematics The National Council of Teachers of, 2000). Penguasaan konsep matematika yang kokoh tidak hanya menjadi prasyarat untuk keberhasilan akademis pada jenjang pendidikan selanjutnya, melainkan juga krusial dalam menunjang keterampilan hidup sehari-hari, pengambilan keputusan berbasis data, serta membuka prospek karir yang luas di era informasi (Polya, 2004). Namun, bagi peserta didik tunanetra, akses terhadap pengalaman belajar matematika yang komprehensif, mendalam, dan inklusif seringkali dihadapkan pada serangkaian tantangan yang signifikan. Keterbatasan visual menuntut adanya pergeseran paradigma pedagogis yang adaptif dan inovatif.

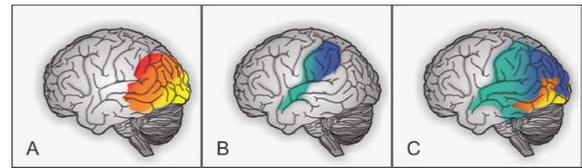
Pada konteks pembelajaran matematika bagi peserta didik tunanetra, tantangan utama terletak pada sifat intrinsik representasi matematika yang cenderung mengandalkan indera visual. Konsep-konsep seperti geometri misalnya, bangun ruang, sudut, dan simetri, grafik fungsi, diagram statistik, hingga notasi simbolik yang kompleks, secara tradisional disajikan melalui media visual yang tidak dapat diakses langsung oleh peserta didik tunanetra. Media pembelajaran konvensional seperti papan tulis, buku teks bergambar, atau tayangan proyektor menjadi tidak efektif atau bahkan sama sekali tidak bermanfaat bagi mereka. Akibatnya, peserta didik tunanetra seringkali mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep abstrak yang memerlukan visualisasi internal dan pemahaman spasial, memvisualisasikan hubungan antar elemen matematika seperti titik-titik pada grafik atau sisi-sisi bangun,

mengembangkan intuisi matematika yang kuat melalui eksplorasi visual dan manipulasi objek serta mengidentifikasi serta memanipulasi simbol-simbol matematika secara efisien dalam perhitungan atau penulisan.

Sejauh ini, pendekatan pada pembelajaran matematika bagi peserta didik tunanetra umumnya mengandalkan adaptasi materi melalui penggunaan huruf Braille untuk teks dan angka, serta modifikasi alat peraga sederhana yang dapat diraba (taktil) seperti balok hitung, kubus *interlocking*, atau model geometri padat. Meskipun metode ini telah memberikan dasar yang penting, efektivitasnya seringkali terbatas, terutama dalam memfasilitasi pemahaman konsep matematika yang lebih kompleks, dinamis, atau representasi multidimensi. Media pembelajaran matematika yang dirancang secara inovatif dan khusus untuk peserta didik tunanetra menjadi imperatif. Media-media ini harus mampu mentransformasi informasi visual matematika menjadi format yang dapat diakses melalui indra non-visual, utamanya sentuhan (taktil) dan pendengaran (auditori), atau bahkan kombinasi multi-sensori (Hersh & Johnson, 2008). Kemajuan pesat dalam teknologi asistif dan pedagogi inklusif telah membuka cakrawala baru untuk menciptakan media yang lebih interaktif, adaptif, dan menarik. Pemanfaatan media pembelajaran yang tepat tidak hanya akan membantu peserta didik tunanetra memahami konsep matematika dengan lebih baik dan mendalam, tetapi juga berpotensi meningkatkan kemandirian belajar mereka, menumbuhkan rasa percaya diri, mengurangi kecemasan terhadap matematika, dan mendorong partisipasi aktif dalam lingkungan belajar yang inklusif.

Kurangnya kemampuan visual pada seorang tunanetra secara signifikan akan mempengaruhi proses belajar bahasa

(Graham et al., 2015; Tran & Pho, 2020). Seseorang akan memperoleh bahasa dengan menggunakan kelima inderanya, selanjutnya mengembangkan empat keterampilan berbahasa yaitu mendengarkan, berbicara, membaca, dan menulis (Tran & Pho, 2020). Selain itu, variasi perkembangan bahasa tunanetra dapat juga disebabkan oleh berkurangnya pengalaman, perbedaan input linguistik, maupun faktor lainnya (Andersen et al., 1993). Lebih mendalam, terdapat fakta bahwa tunanetra memerlukan interaksi yang mendukung perkembangan bahasa lisan, kesadaran akan huruf Braille, dan kesempatan untuk mengeksplorasi tulisan (Erickson & Hatton, 2007). Terlepas dari kekurangan yang dimiliki oleh seorang tunanetra, ternyata terdapat fakta menarik bahwa seorang tunanetra dengan modalitas sensorik visual yang lebih rendah akan meningkatkan kemampuan indra-indra lainnya seperti sentuhan, pendengaran, maupun penciuman untuk mengkompensasi defisit sensorik (Frasnelli et al., 2011; Kohanova, 2006; Kupers & Ptito, 2014). Berkurangnya ketajaman indera visual memungkinkan otak untuk membuat jalur baru dalam upaya untuk mengatasi keterbatasan visual, hal tersebut dikenal dengan *Neuroplastisitas* (Silva et al., 2018). *Neuroplastisitas* merupakan kemampuan untuk mengatur ulang perkembangan dari jaringan normal di otak. Sehingga jaringan di otak yang bertugas untuk memproses informasi visual, mampu mempertahankan maupun mengembangkan fungsinya, bahkan ketika input bukan berasal dari indera penglihatan (Abboud et al., 2014; Maidenbaum et al., 2014). Kehilangan modalitas sensorik visual mampu memicu reorganisasi jaringan normal, terutama di tingkat kortikal, sehingga mampu memperluas pemrosesan informasi yang diterima oleh indera serta menjadikan jaringan normal lebih fungsional. Dengan demikian, seorang tunanetra memiliki perubahan kortikal sehingga menghasilkan peningkatan kapasitas fungsional (Silva et al., 2018; Striem-Amit et al., 2018). Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1



(Silva et al., 2018)

Gambar 1. Perluasan dan Peningkatan Kapasitas Fungsional

Pada Gambar 1. Area yang terkait dengan visual pada orang *awas* (A). Area yang terlibat dalam pemahaman bahasa dan proses semantik (B). *Neuroplastisitas* terkait dengan perluasan area visual pada tunanetra (C). Pada orang *awas* fungsi korteks visual adalah menerima dan memproses informasi visual dari indera penglihatan sedangkan pada tunanetra yang tidak melakukan pemrosesan informasi visual, konteks visual menerima informasi dari pendengaran, sentuhan, dan penciuman (Silva et al., 2018). Fakta tersebut didukung oleh pendapat bahwa, area pemrosesan informasi visual pada orang *awas* akan mengambil bagian dalam pemrosesan rangsangan dari modalitas yang tersisa pada tunanetra (Amedi et al., 2003; Cunningham et al., 2011; Poirier et al., 2007; Ptito et al., 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai media pembelajaran untuk peserta didik tunanetra dalam mengakses berbagai konsep matematika yang memiliki tingkat kesulitan yang bervariasi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan untuk menciptakan lingkungan belajar matematika yang lebih inklusif dan memungkinkan setiap peserta didik tunanetra untuk meraih keberhasilan akademis yang optimal serta mengembangkan potensi diri mereka sepenuhnya terutama dalam pelajaran

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah studi literatur. Studi literatur dijelaskan sebagai jenis penelitian yang tidak memerlukan pengamatan langsung di lapangan (Fatha Pringgar & Sujatmiko, 2020). Metode penelitian studi literatur melibatkan pendekatan yang

sistematis dalam mengumpulkan, mengevaluasi, dan mensintesis informasi dari berbagai sumber literatur relevan untuk suatu topik penelitian. Proses ini secara esensial dimulai dengan fase identifikasi dan pengumpulan literatur yang selaras dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

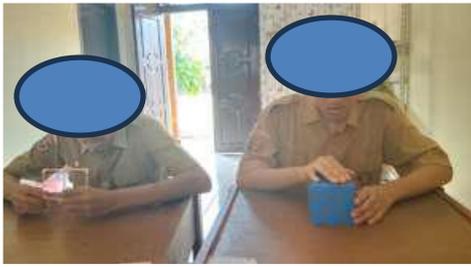
Peneliti mengadopsi teknik studi literatur untuk mengumpulkan data. Proses ini melibatkan pencarian komprehensif dari beragam sumber informasi, termasuk buku, artikel ilmiah, laporan penelitian, ensiklopedia, dan publikasi tertulis lainnya, baik dalam format cetak maupun elektronik. Fokus utama pencarian diarahkan pada jurnal-jurnal yang relevan guna menghimpun data spesifik mengenai berbagai media pembelajaran untuk peserta didik tunanetra dalam mengakses berbagai konsep matematika yang memiliki tingkat kesulitan yang bervariasi. Pencarian literatur diawali dengan penelusuran publikasi melalui basis data ilmiah seperti Sinta, DOAJ, dan Google Scholar. Data yang terkumpul kemudian melewati proses reduksi untuk mengidentifikasi informasi yang relevan dengan topik penelitian. Selanjutnya, data yang telah direduksi dideskripsikan dan disajikan secara ilmiah guna merumuskan kesimpulan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas media pembelajaran untuk peserta didik tunanetra dalam mengakses berbagai konsep matematika yang memiliki tingkat kesulitan yang bervariasi.

Pencarian literatur diawali dengan penelusuran publikasi artikel ilmiah melalui basis data ilmiah seperti Sinta, DOAJ, dan Google Scholar. Data yang terkumpul kemudian melewati proses reduksi untuk mengidentifikasi informasi yang relevan dengan topik penelitian. Selanjutnya, data yang telah direduksi dideskripsikan dan disajikan secara ilmiah guna merumuskan kesimpulan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas tentang media pembelajaran untuk peserta didik tunanetra dalam mengakses berbagai konsep matematika.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa penelitian atau artikel yang berkaitan dengan media pembelajaran untuk peserta didik tunanetra dalam mengakses berbagai konsep matematika yang telah ditemukan sebagai berikut:

- a. Efektivitas Media Pembelajaran Tiga Dimensi dalam Materi Bangun Ruang bagi Siswa Tunanetra (Indriyani et al., 2024). Penelitian ini secara mendalam mengeksplorasi efektivitas media pembelajaran tiga dimensi dalam meningkatkan kapabilitas belajar peserta didik tunanetra, khususnya pada penguasaan materi bangun ruang kubus. Media pembelajaran tiga dimensi berperan sebagai alat bantu visual, serta berperan sebagai instrumen esensial bagi pendidik untuk mengklarifikasi dan mengonkretkan berbagai aspek pembelajaran di dalam kelas. Pemanfaatan media pembelajaran tiga dimensi terbukti krusial dalam memfasilitasi transisi dari konsep-konsep matematika yang abstrak, seperti sifat-sifat geometris, jaring-jaring, atau volume bangun ruang, menjadi representasi yang lebih konkret dan taktil. Kemampuan media ini untuk diakses melalui indera peraba memungkinkan peserta didik tunanetra untuk menginternalisasi dan membangun pemahaman materi pembelajaran dengan lebih mudah dan komprehensif. Melalui eksplorasi multisensori, peserta didik tunanetra mampu merasakan langsung bentuk, ukuran relatif, dan orientasi spasial dari objek matematika. Representasi dari penggunaan media pembelajaran tiga dimensi ini disajikan secara ilustratif pada Gambar 2.



Gambar 2 Penggunaan Media Pembelajaran Tiga Dimensi

b. Proses Pembelajaran Siswa Tunanetra Pada Materi Bangun Datar Persegi (Hakim et al., 2023). Penelitian ini secara spesifik mendalami proses pembelajaran adaptif bagi peserta didik tunanetra dalam menguasai konsep-konsep bangun datar, khususnya persegi. Metodologi inti yang diterapkan dalam studi ini melibatkan penggunaan buku Braille sebagai media pembelajaran primer. Berbeda dengan buku teks konvensional, buku Braille ini secara khusus dicetak dengan gambar dan teks timbul, memungkinkan eksplorasi taktil yang mendalam terhadap karakteristik geometris persegi. Penelitian ini mengintegrasikan contoh konkret aplikasi benda-benda berbentuk persegi dari lingkungan sekitar peserta didik tunanetra untuk memperkuat pemahaman konseptual. Misalnya, pemanfaatan bentuk meja sebagai objek nyata memungkinkan peserta didik untuk secara langsung merasakan dan mengidentifikasi atribut-atribut esensial persegi, seperti empat sisi yang sama panjang dan empat sudut siku-siku, dalam konteks yang relevan dan familiar. Representasi dari bangun datar persegi yang disajikan dalam Buku Braille dapat diamati pada Gambar 3, yang menyoroti bagaimana taktil memfasilitasi pemahaman terhadap konsep bangun datar. Pendekatan holistik ini, yang menggabungkan media Braille dengan pengalaman konkret, terbukti sangat

efektif dalam membangun fondasi yang kuat bagi pemahaman geometri datar pada peserta didik tunanetra.



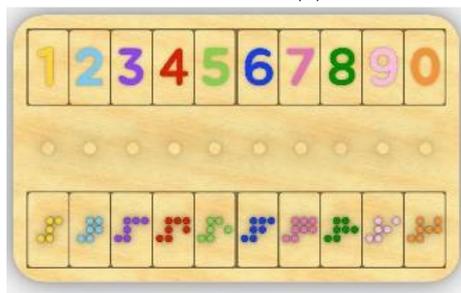
Gambar 3. Gambar Bangun Datar Persegi dalam Buku Braille

c. Perancangan Media Belajar Berhitung Untuk Anak Tunanetra Usia Dini 4 – 6 Tahun (Noreen et al., 2023). Penelitian ini memiliki tujuan utama yang sangat spesifik dan inovatif: merancang dan mengembangkan media pembelajaran berhitung yang didedikasikan secara eksklusif untuk anak-anak tunanetra usia dini (4 – 6 tahun). Fokus pada kelompok usia ini sangat krusial karena merupakan fase fundamental dalam pembentukan konsep numerik awal. Perancangan media pembelajaran ini didasarkan pada prinsip adaptasi holistik, di mana setiap aspek didesain untuk secara optimal membantu anak tunanetra mengenal angka dengan mempertimbangkan secara cermat kondisi fisik dan kemampuan kognitif mereka yang unik. Hal tersebut berarti bahwa media pembelajaran tidak hanya berfokus pada penyajian informasi, tetapi juga pada bagaimana informasi tersebut dapat diakses dan diinternalisasi melalui indera utama anak tunanetra, yaitu perabaan dan pendengaran. Media pembelajaran yang dikembangkan dalam penelitian ini mencakup beragam inovasi yang disesuaikan, memungkinkan anak-anak untuk mengeksplorasi dan memahami konsep angka melalui pengalaman multisensori.

Beberapa contoh konkret dari media pembelajaran yang telah dikembangkan dan diuji coba dalam penelitian ini dapat diamati pada Gambar 4 dan 5, yang memberikan gambaran visual mengenai desain dan fungsionalitasnya. Inisiatif ini diharapkan dapat meletakkan fondasi yang kuat bagi literasi numerik dan kesiapan matematika anak tunanetra sejak usia dini.



Gambar 4. Media Pembelajaran Mengenal Angka dan Berhitung Sederhana (1)



Gambar 5. Media Pembelajaran Mengenal Angka dan Berhitung Sederhana (2)

d. Penguatan Konsep Bangun Datar dan Satuan Panjang Pada Siswa Tunanetra Melalui Media *Blind's Playpad* (Jannah et al., 2021). Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan media pembelajaran inovatif yang secara khusus dirancang untuk peserta didik tunanetra. Inovasi ini mengintegrasikan dua modalitas sensorik krusial: huruf Braille sebagai antarmuka taktil, dan sistem audio overspeech yang menyediakan umpan balik pendengaran secara real-time. Konsep utama di balik pengembangan ini adalah memfasilitasi proses belajar sambil bermain (edutainment), khususnya dalam domain

pembelajaran matematika pada materi bangun datar dan satuan panjang.

Implementasi *Blind's Playpad* berbasis audio overspeech terbukti secara signifikan mampu meningkatkan minat dan kemampuan peserta didik tunanetra dalam pembelajaran matematika. Sinergi antara representasi Braille yang dapat diraba dan narasi audio yang jelas memungkinkan peserta didik tunanetra untuk menjelajahi konsep-konsep matematika, seperti bentuk geometris, dimensi, dan pengukuran dengan cara yang imersif dan interaktif. Media pembelajaran ini menghilangkan hambatan aksesibilitas yang sering ditemukan pada alat bantu konvensional, memberikan pengalaman belajar yang lebih mandiri dan memotivasi. Visualisasi dari media pembelajaran inovatif ini dapat dilihat pada Gambar 6, yang menunjukkan bagaimana teknologi ini diwujudkan untuk mendukung kebutuhan belajar matematika yang unik peserta didik tunanetra.

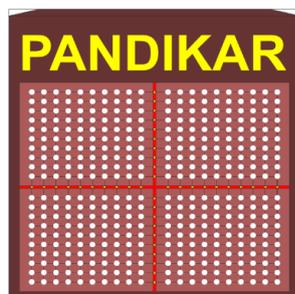


Gambar 6. Media Pembelajaran *Blind's Playpad*

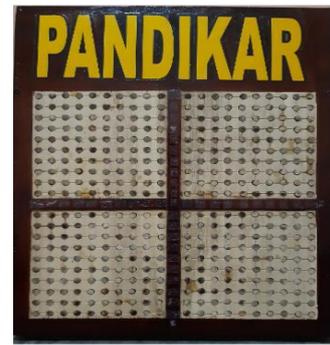
e. Mengatasi Kesulitan Belajar Matematika Pada Siswa Tunanetra Melalui Pengembangan Media PANDIKAR Berkode Braille (Rumantingsih et al., 2020). Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan media pembelajaran inovatif yang diberi nama PANDIKAR (Papan Koordinat

Kartesianus). PANDIKAR dirancang secara spesifik dengan mengintegrasikan kode Braille sebagai elemen kunci, menjadikannya sebuah alternatif media pembelajaran matematika yang sangat relevan dan efektif bagi peserta didik tunanetra, khususnya dalam menguasai materi sistem koordinat Kartesianus. Sistem koordinat Kartesianus seringkali menjadi konsep yang menantang bagi peserta didik tunanetra karena sifatnya yang sangat visual dan abstrak. PANDIKAR mengatasi tantangan ini dengan menyediakan representasi taktil dan multimodal dari sumbu X dan Y, titik, serta garis. Melalui kode Braille yang terintegrasi, peserta didik dapat merasakan dan mengidentifikasi koordinat, jarak, dan hubungan spasial antar titik dengan indera peraba mereka.

Desain fisik PANDIKAR tidak hanya berfokus pada fungsionalitas, tetapi juga pada kemudahan aksesibilitas dan kemandirian belajar. Perancangan ini memungkinkan peserta didik tunanetra untuk secara aktif memanipulasi elemen-elemen pada papan, memperkuat pemahaman konseptual mereka tentang sistem koordinat. Berikut disajikan desain fisik dan bentuk nyata dari media PANDIKAR, yang menunjukkan bagaimana inovasi ini diwujudkan untuk mendukung pembelajaran matematika yang inklusif dan efektif.



Gambar 7. Desain Fisik Media Pembelajaran PANDIKAR.



Gambar 8. Bentuk Nyata Media Pembelajaran PANDIKAR

Media pembelajaran PANDIKAR (Papan Koordinat Kartesianus) dirancang dengan cermat untuk secara komprehensif memfasilitasi pemahaman peserta didik tunanetra terhadap berbagai konsep krusial dalam geometri analitik. Desainnya memungkinkan eksplorasi taktil yang mendalam terhadap penentuan letak titik, proses pencerminan titik dan bangun datar, serta identifikasi bentuk bangun datar secara akurat pada bidang koordinat Kartesianus. PANDIKAR tidak sekadar menyajikan representasi datar; media ini secara cerdas dilengkapi dengan jalur timbul yang berfungsi sebagai penghubung intuitif antar titik, memungkinkan peserta didik merasakan lintasan dan hubungan spasial. Seluruh angka dan huruf yang relevan disajikan dalam format Braille, memastikan aksesibilitas penuh terhadap informasi numerik.

Fitur yang paling inovatif dan unik dari PANDIKAR adalah mekanisme interaktif pada setiap titiknya. Setiap titik pada bidang koordinat Kartesianus dirancang untuk mengalami elevasi (terangkat) saat ditekan, memberikan umpan balik taktil yang jelas dan memungkinkan peserta didik merasakan lokasi spesifik titik tersebut. Setelah eksplorasi, titik tersebut dapat kembali ke posisi semula saat ditekan kembali, mempersiapkan papan untuk interaksi selanjutnya atau

eksplorasi konsep berbeda. Desain ini tidak hanya meningkatkan akurasi identifikasi titik, tetapi juga memperkaya pengalaman belajar dengan memberikan dimensi taktil yang dinamis, esensial untuk membangun pemahaman spasial yang kuat pada peserta didik tunanetra.

- f. Brama, Alat Peraga Braille Matematika Karya Mahasiswa UMK. (<https://news.detik.com/berita-jawa-tengah/d-4632222/brama-alat-peraga-braille-matematika-karya-mahasiswa-umk>). Alat peraga inovatif ini, yang diberi nama "Brama", didesain secara khusus untuk membantu peserta didik tunanetra dalam fase fundamental pembelajaran angka. Berbeda dengan metode konvensional, Brama sepenuhnya berbahan dasar kayu, menawarkan pengalaman taktil yang kaya dan otentik. Brama terdiri dari dua komponen utama: sebuah wadah kayu dan serangkaian potongan kayu berbentuk kubus seukuran dadu. Wadah kayu didesain secara presisi untuk menampung potongan-potongan kubus ini. Setiap potongan kayu berbentuk dadu memiliki dua sisi yang fungsional: (1) Sisi pertama dikhususkan untuk penempatan angka; (2) Sisi kedua menampilkan tekstur timbul berupa titik-titik, yang merepresentasikan jumlah atau pola yang berkaitan dengan angka pada sisi sebaliknya. Seluruh komponen kayu diwarnai dengan warna coklat. Namun, untuk sisi-sisi fungsional yang memuat angka dan tekstur titik, digunakan warna yang beragam. Pilihan warna ini bukan sekadar dekorasi; ia berfungsi untuk memudahkan identifikasi dan meningkatkan daya tarik bagi peserta didik tunanetra, terutama jika ada sisa penglihatan (*low vision*). Keunggulan media pembelajaran Brama terletak pada kemampuannya untuk

menawarkan alternatif yang lebih interaktif dan menarik dibandingkan dengan alat bantu tradisional seperti riglet. Penggunaan media pembelajaran Brama, konsep angka menjadi lebih konkret dan dapat dimanipulasi secara fisik, memfasilitasi pemahaman numerik yang lebih intuitif dan menyenangkan. Visualisasi alat peraga Brama secara detail dapat diamati pada Gambar 9, yang menampilkan implementasi desain inovatif ini.



Gambar 9. Alat Peraga Brama

Berdasarkan analisis terhadap uraian di atas, terdapat enam studi atau artikel yang membahas pengembangan dan implementasi media pembelajaran matematika yang dirancang khusus untuk memfasilitasi peserta didik tunanetra. Fokus utama dari inovasi ini terletak pada pemanfaatan bahan baku solid khususnya kayu dan kertas tebal sebagai fondasi utama pembuatan media. Desain pada media pembelajaran menekankan pada tekstur sebagai elemen kunci. Setiap media pembelajaran yang disajikan dirancang dengan cermat untuk mengintegrasikan huruf dan angka Braille, serta bentuk-bentuk geometris seperti persegi yang dicetak timbul. Fitur-fitur taktil ini memungkinkan peserta didik tunanetra untuk secara efektif meraba, mengidentifikasi, dan memanipulasi konsep-konsep matematika melalui indera peraba yang dimiliki. Lebih lanjut, beberapa media pembelajaran bahkan dirancang dalam

bentuk kubus atau struktur tiga dimensi lainnya. Desain ini secara signifikan memfasilitasi transformasi konsep-konsep matematika yang abstrak, seperti volume, geometri ruang, atau bahkan representasi data, menjadi pengalaman yang lebih konkret dan realistis. Dengan demikian, media-media tersebut tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu belajar, tetapi juga sebagai jembatan yang krusial untuk membangun pemahaman konseptual yang mendalam dan mandiri bagi peserta didik tunanetra mempelajari konsep matematika.

Matematika sebagai disiplin ilmu fundamental, tidak hanya melatih kemampuan berpikir logis dan analitis, tetapi juga esensial dalam pengembangan keterampilan pemecahan masalah yang krusial untuk kehidupan sehari-hari dan prospek karier di era informasi. Namun, bagi peserta didik tunanetra, akses terhadap pengalaman belajar matematika yang komprehensif dan inklusif seringkali terhambat oleh tantangan signifikan. Sifat intrinsik representasi matematika yang cenderung visual seperti geometri, bangun ruang, sudut, grafik fungsi, hingga notasi simbolik menjadi tidak dapat diakses langsung, membuat media pembelajaran konvensional tidak efektif. Akibatnya, peserta didik tunanetra kesulitan memahami konsep abstrak, memvisualisasikan hubungan antar elemen, mengembangkan intuisi matematika, serta memanipulasi simbol secara efisien. Kondisi ini menuntut pergeseran paradigma pedagogis yang adaptif dan inovatif. Kemampuan representasi piktorial sangat penting bagi individu tunanetra untuk memahami dan menginterpretasikan informasi visual (Mutmainah et al., 2024). Pengembangan

kemampuan representasi piktorial untuk seorang tunanetra dapat difasilitasi oleh indera peraba dan indera pendengaran yang dimiliki (Mutmainah et al., 2021). Selain itu, kemampuan tersebut mampu dieksplorasi menggunakan media-media taktil yang terdapat pada media pembelajaran matematika yang telah diuraikan pada paragraf sebelumnya.

Penelitian yang ada secara tegas menunjukkan bahwa media pembelajaran matematika yang inovatif dan khusus dirancang untuk peserta didik tunanetra adalah sebuah keharusan. Media tersebut harus mampu mentransformasi informasi visual menjadi format yang dapat diakses melalui indra non-visual, terutama taktil dan pendengaran, bahkan kombinasi multisensori (Hersh & Johnson, 2008). Pemanfaatan media yang tepat sangat membantu pemahaman konsep matematika yang lebih baik, serta berpotensi meningkatkan kemandirian belajar, menumbuhkan rasa percaya diri, mengurangi kecemasan terhadap matematika, dan mendorong partisipasi aktif dalam lingkungan belajar yang inklusif.

Secara keseluruhan, penelitian-penelitian tersebut mengonfirmasi bahwa media pembelajaran yang menggabungkan fitur taktil, audio, dan desain 3D mampu berfungsi sebagai alat bantu, serta sebagai jembatan krusial untuk membangun pemahaman konseptual yang mendalam dan mandiri bagi peserta didik tunanetra dalam berbagai konsep matematika. Selain itu, pemahaman tentang *Neuroplastisitas* juga sangat penting dalam merancang media pembelajaran untuk tunanetra. Fakta bahwa kurangnya kemampuan visual dapat memicu reorganisasi jaringan otak

memungkinkan area korteks visual untuk memproses informasi dari indera lain seperti sentuhan dan pendengaran merupakan dasar ilmiah yang kuat untuk pendekatan multisensori. Perubahan kortikal ini meningkatkan kapasitas fungsional otak tunanetra, yang harus dimanfaatkan secara optimal dalam proses pembelajaran (Silva et al., 2018). Pembelajaran pada peserta didik tunanetra dengan menggunakan media pembelajaran PANDIKAR atau Brama, membuat area otak yang biasanya memproses visual mampu diaktivasi untuk memahami bentuk, dimensi, dan hubungan spasial. Demikian pula, penggunaan audio overspeech pada *Blind's Playpad* melengkapi pemahaman taktil dengan informasi auditori yang terstruktur, membantu membangun representasi mental yang lebih kaya dari konsep matematika. Representasi mental pada tunanetra dapat juga diartikan sebagai representasi visual yang dilakukan oleh seorang tunanetra (Kartika & Mutmainah, 2019). Dengan demikian, media yang dibahas dalam penelitian ini tidak hanya merupakan adaptasi pedagogis, tetapi juga selaras dengan kapasitas kognitif dan neurologis unik peserta didik tunanetra. Desain media yang memanfaatkan kemampuan kompensasi sensorik ini secara fundamental mengubah cara konsep matematika abstrak dapat diakses dan diinternalisasi, memfasilitasi pemahaman yang lebih mendalam dan komprehensif.

4. KESIMPULAN

Media pembelajaran matematika untuk peserta didik tunanetra penting dirancang dengan adaptif, mengingat sifat visual konsep matematika yang lebih sulit diakses oleh peserta didik tunanetra.

Penelitian-penelitian yang ada telah menunjukkan bahwa media taktil dan multisensori menjadi kunci, memanfaatkan bahan solid seperti kayu dan kertas tebal, serta desain yang menonjolkan tekstur, huruf Braille, dan bentuk timbul. Inovasi meliputi media 3D untuk bangun ruang kubus, buku Braille yang diperkuat contoh konkret untuk bangun datar, alat peraga berhitung "Brama" dari kayu, *Blind's Playpad* berbasis *audio-overspeech*, dan PANDIKAR (Papan Koordinat Kartesius) berkode Braille dengan fitur interaktif. Keberhasilan media ini didukung oleh *Neuroplastisitas*, di mana otak tunanetra mengkompensasi defisit visual dengan mengoptimalkan indera lain, memungkinkan pemahaman matematika yang lebih dalam dan mandiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih terhadap pihak yang berkontribusi dalam penelitian ini, baik dalam proses pengumpulan data sampai dengan proses penulisan artikel.

REFERENCES

- Abboud, S., Hanassy, S., Levy-tzedek, S., & Maidenbaum, S. (2014). *EyeMusic: Introducing a " visual " colorful experience for the blind using auditory sensory substitution*. 32, 247–257. <https://doi.org/10.3233/RNN-130338>
- Amedi, A., Raz, N., Pianka, P., Malach, R., & Zohary, E. (2003). Early 'Visual' Cortex Activation Correlates with Superior Verbal Memory Performance in the Blind. *Nature Neuroscience*, 6, 758–766. <https://doi.org/10.1038/nm1072>
- Andersen, E. S., Dunlea, A., & Kekelis, L. (1993). The Impact of Input: Language Acquisition in the Visually Impaired. *First Language*, 13, 23–49. <https://doi.org/10.1177/01427237930130370>
- Cunningham, S. I., Weiland, J. D., Bao, P., & Tjan, B. S. (2011). Visual Cortex

- Activation Induced by Tactile Stimulation in Late- Blind Individuals with Retinitis Pigmentosa. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, 2841–2844. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6090785>
- Erickson, K. A., & Hatton, D. (2007). Literacy and Visual Impairment. *Seminars in Speech and Language*, 28(1), 58–68. <https://doi.org/10.1055/s-2007-967930>
- Fatha Pringgar, R., & Sujatmiko, B. (2020). Penelitian Kepustakaan (Library Research) Modul Pembelajaran Berbasis Augmented Reality pada Pembelajaran Siswa. *Jurnal IT-EDU*, 05(01), 317–329.
- Frasnelli, J., Collignon, O., Voss, P., & Lepore, F. (2011). Crossmodal Plasticity in Sensory Loss. In *Progress in Brain Research* (1st ed., Vol. 191). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53752-2.00002-3>
- Graham, L., Berman, J., & Bellert, A. (2015). Sustainable Learning: Inclusive Practices for 21st Century Classrooms. In *Sustainable Learning: Inclusive Practices for 21st Century Classrooms* (Issue January). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107280243>
- Hakim, A., Suriani, D., Nuraini, S., Ramadhani, D. D., Jumain, Pinastika, R. A., Sagita, Y. A. L., & Ikmawati. (2023). Proses Pembelajaran Siswa Tunanetra Pada Materi Bangun Datar Persegi. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Matematika, Universitas Mulawarman*, 3, 42–48.
- Hersh, M. A., & Johnson, M. A. (2008). Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-867-8>
<https://news.detik.com/berita-jawa-tengah/d-4632222/brama-alat-peraga-braille-matematika-karya-mahasiswa-umk>
- Indriyani, H., Herlina, H., & Wardany, O. F. (2024). Efektivitas Media Pembelajaran Tiga Dimensi dalam Materi Bangun Ruang bagi Siswa Tunanetra. *Jurnal Basicedu*, 8(4), 2745–2754. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v8i4.8254>
- Jannah, D., Samsiah, E., Widyandana, L. A. D., Hadist, E. T., Maharani, F. E., & Soemantri, S. (2021). Penguatan Konsep Bangun Datar Dan Satuan Panjang Pada Siswa Tunanetra Melalui Media Blind’S Playpad. *SELAPARANG Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 5(1), 1023. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v5i1.6804>
- Kartika, H., & Mutmainah, S. (2019). Representasi Pengetahuan Secara Visual: Kajian Terhadap Orang Tunanetra dan Pemecahan Masalah Matematika Soal Cerita. *Jurnal Kajian Pembelajaran Matematika*, 3(2), 58–66. <http://journal2.um.ac.id/index.php/jkpm>
- Kohanova, I. (2006). *Teaching Mathematics to Non-Sighted Students: With Specialization in Solid Geometry*. Comenius University Bratislava.
- Kupers, R., & Ptito, M. (2014). Compensatory Plasticity and Cross-modal Reorganization Following Early Visual Deprivation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 41, 36–52. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.08.001>
- Maidenbaum, S., Abboud, S., & Amedi, A. (2014). Sensory Substitution: Closing the Gap between Basic Research and Widespread Practical Visual Rehabilitation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 41, 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.11.007>
- Mathematics The National Council of Teachers of, N. (2000). Principles Standards and for School

- Mathematics. In *The National Council of Teachers of Mathematics*.
<https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/siklus/article/view/298%0Ahttp://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jana.2015.10.005%0Ahttp://www.biomedcentral.com/1471-2458/12/58%0Ahttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&P>
- Mutmainah, S., Siswono, T. Y. ., & Abadi, A. (2021). External Pictorial Representation of Blind Students. *Sriwijaya International Conference On Basic And Applied Sciences*.
- Mutmainah, S., Siswono, T. Y. E., & Abadi, A. (2024). Development of a Pictorial Representation Measurement Tool Specifically for Blind Students in Junior High School. *Hrvatska Revija Za Rehabilitacijska Istrazivanja*, 60(1), 11-24.
<https://doi.org/10.31299/hrri.60.1.2>
- Noreen, N. G., Nurhidayat, M., & Bahri, N. F. (2023). Perancangan Media Belajar Berhitung Untuk Anak Tunanetra Usia Dini 4-6 Tahun. *JP2M (Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Matematika)*, 9(2), 152-160.
<https://doi.org/10.29100/jp2m.v9i2.4280>
- Poirier, C., De Volder, A. G., & Scheiber, C. (2007). What Neuroimaging Tells us about Sensory Substitution. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 31(7), 1064-1070.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2007.05.010>
- Polya, G. (2004). *How to solve it: A New Aspect of Mathematical Method*. Princeton University Press.
- Ptito, M., Matteau, I., Zhi Wang, A., Paulson, O. B., Siebner, H. R., & Kupers, R. (2012). Crossmodal Recruitment of the Ventral Visual Stream in Congenital Blindness. *Neural Plasticity*, 2012.
<https://doi.org/10.1155/2012/304045>
- Rumantingsih, D. K., Astuti, E. P., & Purwoko, R. Y. (2020). Mengatasi Kesulitan Belajar Matematika Pada Siswa Tunanetra Melalui Pengembangan Media Pandikar Berkode Braille. *FIBONACCI: Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*, 6(2), 105.
<https://doi.org/10.24853/fbc.6.2.105-114>
- Silva, P. R., Farias, T., Cascio, F., dos Santos, L., Vinícius, P., Crespo, E., Ayres, C., Ayres, M., Marinho, V., Bastos, V. H., Ribeiro, P., Velasques, B., Orsini, M., Fiorelli, R., de Freitas, M. R. G., & Teixeira, S. (2018). Neuroplasticity in Visual Impairments. *Neurology International*, 10, 111-117.
<https://doi.org/10.4081/ni.2018.7326>
- Striem-Amit, E., Wang, X., Bi, Y., & Caramazza, A. (2018). Neural Representation of Visual Concepts in People Born Blind. *Nature Communications*, 9(1), 1-12.
<https://doi.org/10.1038/s41467-018-07574-3>
- Tran, T. M. P., & Pho, P. D. (2020). A Case Study of How Visually Impaired Learners Acquire Language. *Ethical Lingua: Journal of Language Teaching and Literature*, 7(1), 1-10.
<https://doi.org/10.30605/25409190.97>