



Jarimatika Berbasis Teknologi untuk Meningkatkan Kemampuan Perkalian Satuan pada Murid Hambatan Pendengaran Fase B

Maria Agustina^{1✉}, Sukinah²

^{1,2}Pendidikan Luar Biasa, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

DOI: [10.31004/aulad.v9i3.1778](https://doi.org/10.31004/aulad.v9i3.1778)

✉ Corresponding author:

[maria0013fipp.2023@student.uny.ac.id]

ABSTRAK

Kemampuan perkalian merupakan keterampilan dasar matematika yang penting bagi murid tunarungu Fase B, tetapi pemahaman konsepnya masih menjadi tantangan karena murid tunarungu membutuhkan penyajian informasi yang visual, konkret, dan interaktif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan media pembelajaran interaktif berbasis teknologi bernama PERSIK (Perkalian Asik Jarimatika) untuk meningkatkan kemampuan perkalian satuan pada murid tunarungu Fase B. Penelitian menggunakan Research and Development (R&D) model ADDIE dengan subjek 30 murid tunarungu kelas III–IV di SLB B Pangudi Luhur Jakarta dan SLB B Karya Bakti Don Bosco Wonosobo. Produk berupa aplikasi digital interaktif dengan menu Tujuan, Materi, Game, Evaluasi, dan Profil yang menyajikan materi melalui visual, animasi, video tutorial, dan permainan dengan umpan balik langsung. Validasi ahli materi dan media berada pada kategori baik, serta respons guru dan murid menunjukkan media menarik, mudah digunakan, dan sesuai karakteristik murid tunarungu. Uji coba skala besar menunjukkan peningkatan skor rata-rata dari 73 (pretest) menjadi 92 (posttest) dengan hasil uji Wilcoxon $p < 0,05$. PERSIK dinyatakan layak dan efektif sebagai alternatif media pembelajaran perkalian satuan.

Kata kunci: *Jarimatika, Media pembelajaran interaktif, Perkalian satuan, Tunarungu*

ABSTRACT

Multiplication is an essential mathematical skill for students with hearing impairment in Phase B; however, understanding its concepts remains challenging because these students require information presented in visual, concrete, and interactive ways. This study aimed to develop an interactive technology-based learning media called PERSIK (Perkalian Asik Jarimatika) to improve their single-digit multiplication skills. A Research and Development (R&D) method with the ADDIE model was employed, involving 30 students with hearing impairment from Grades III–IV at SLB B Pangudi Luhur Jakarta and SLB B Karya Bakti Don Bosco Wonosobo. The product was an interactive digital application with Objectives, Materials, Game, Evaluation, and Profile menus, presenting content through visuals, animations, video tutorials, and interactive games with immediate feedback. Expert validation categorized the material and media aspects as good, and teachers' and students' responses showed that the media was engaging, easy to use, and suited to their learning characteristics. The large-scale trial showed an increase in the mean score from 73 in the pretest to 92 in the posttest, and the Wilcoxon test yielded $p < 0.05$. Therefore, PERSIK is feasible and effective as alternative learning media for single-digit multiplication.

Keywords: *Jarimatika, interactive learning media, single multiplication, deaf*

Article Info

Copyright (c) 2026 Maria Agustina, et al.

Received 15 September 2026, Accepted 3 October 2026, Published 3 October 2026

1. PENDAHULUAN

Kemampuan perkalian merupakan salah satu keterampilan dasar matematika yang penting dikuasai oleh murid hambatan pendengaran Fase B. Namun, pemahaman konsep matematika pada murid hambatan pendengaran masih dapat menjadi tantangan, termasuk dalam memahami hubungan antara simbol, kuantitas, dan prosedur perhitungan. Penelitian menunjukkan bahwa kesenjangan kemampuan matematika pada murid deaf/hard-of-hearing dapat muncul sejak sebelum memasuki pendidikan formal dan mencakup beberapa aspek dasar matematika (Pagliaro & Kritzer, 2013). Perkalian merupakan materi yang bersifat abstrak karena melibatkan simbol bilangan, hubungan kuantitas, serta prosedur perhitungan yang perlu dipahami secara bertahap. Dalam pembelajaran matematika, murid hambatan pendengaran juga dapat menghadapi hambatan dalam memahami istilah dan informasi matematika yang disampaikan secara verbal. Lang dan Pagliaro (2007) menunjukkan bahwa imagery dan familiarity berperan dalam kemampuan mengingat istilah matematika pada murid deaf, sehingga penggunaan representasi yang dapat divisualisasikan menjadi salah satu pertimbangan dalam pembelajaran matematika. (Pagliaro & Kritzer, 2013; Kelly et al., 2003; Henner et al., 2021)

Karakteristik pembelajaran murid hambatan pendengaran perlu diperhatikan dalam penyajian materi matematika. Akan tetapi, karakteristik tersebut tidak berarti bahwa seluruh murid hambatan pendengaran secara otomatis merupakan "visual learners". Marschark et al. (2013) menunjukkan bahwa tidak terdapat bukti bahwa murid deaf secara umum lebih tepat disebut visual learners dibandingkan murid dengar. Meskipun demikian, kemampuan visual-spasial memiliki hubungan dengan pemecahan masalah matematika, sehingga representasi visual yang dirancang sesuai dengan tujuan pembelajaran tetap dapat digunakan sebagai bagian dari strategi pembelajaran. Blatto-Vallee et al. (2007) juga menunjukkan bahwa penggunaan representasi visual-spasial yang bersifat skematis memiliki hubungan positif dengan kemampuan pemecahan masalah matematika pada murid deaf. Temuan tersebut menguatkan pentingnya penggunaan representasi yang membantu murid menghubungkan informasi matematika dengan proses berpikir yang dapat diamati. (Marschark et al., 2013, 2017; Olszak & Borowicz, 2025)

Dalam perspektif konstruktivisme, pemahaman konsep dibangun melalui keterlibatan aktif peserta didik dalam menghubungkan pengalaman sebelumnya dengan informasi baru. Dalam konteks pembelajaran matematika, prinsip tersebut dapat diwujudkan melalui aktivitas yang memungkinkan murid mengeksplorasi, mempraktikkan, dan mengonstruksi konsep melalui pengalaman belajar yang bermakna (Wheatley, 1991; Gervasoni & Peter-Koop, 2020). Dengan demikian, media pembelajaran tidak hanya berfungsi sebagai penyampai informasi, tetapi juga sebagai sarana yang memungkinkan murid berinteraksi langsung dengan proses pembentukan konsep. (Wheatley, 1991; Gervasoni & Peter-Koop, 2020)

Jarimatika merupakan salah satu teknik berhitung yang menggunakan jari sebagai alat bantu dalam melakukan operasi hitung. Secara teknis, jarimatika menggunakan pola dan posisi jari yang sistematis untuk merepresentasikan proses perkalian sehingga membantu murid menghubungkan simbol bilangan dengan langkah perhitungan yang dapat diamati dan dipraktikkan secara langsung. Penggunaan jarimatika dalam pembelajaran perkalian juga telah dikembangkan dalam berbagai bentuk media pembelajaran interaktif. Andawiyah dan Pratiwi (2026), misalnya, mengembangkan media interaktif berbasis Articulate Storyline yang memuat jarimatika perkalian untuk meningkatkan kemampuan berhitung siswa kelas IV. Hal tersebut menunjukkan adanya peluang untuk mengintegrasikan prosedur jarimatika ke dalam media digital interaktif, khususnya untuk membantu murid memahami tahapan perhitungan secara sistematis. (Andawiyah & Pratiwi, 2026)

Perkembangan teknologi memberikan peluang untuk menyajikan pembelajaran matematika melalui media digital yang lebih interaktif. Teknologi pembelajaran dapat digunakan untuk menyajikan informasi melalui kombinasi teks, gambar, animasi, video, latihan, dan umpan balik. Dalam konteks murid hambatan pendengaran, pemanfaatan teknologi juga dapat membantu menyediakan akses terhadap informasi pembelajaran yang lebih sesuai dengan kebutuhan komunikasi dan representasi mereka. Rahmawati dan Pamungkas (2023) menunjukkan bahwa teknologi pembelajaran asistif dapat digunakan dalam pembelajaran matematika bagi murid hambatan pendengaran dan berfokus pada peningkatan kemampuan representasi matematika. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa teknologi memiliki potensi untuk mendukung pembelajaran matematika bagi murid hambatan pendengaran apabila dirancang sesuai dengan karakteristik materi dan kebutuhan peserta didik. (Rahmawati & Pamungkas, 2023; Shelton & Parlin, 2016; Techaraungrong et al., 2017; Vesel & Robillard, 2013)

Meskipun demikian, pemanfaatan teknologi untuk pembelajaran matematika murid hambatan pendengaran masih memiliki ruang untuk dikembangkan, terutama media yang secara khusus mengintegrasikan strategi berhitung dengan pengalaman belajar interaktif. Media yang hanya menyajikan materi dalam bentuk digital belum tentu memberikan dukungan terhadap proses memahami langkah-langkah perhitungan. Oleh karena itu, diperlukan media yang tidak hanya memindahkan materi ke dalam format digital, tetapi juga mengintegrasikan prosedur berhitung, visualisasi, latihan, dan umpan balik dalam satu pengalaman belajar. (Vasel & Ragonis, 2024; Santia et al., 2026; Azzahra et al., 2025; Mboneni & Cronje, 2024)

Sejalan dengan temuan tersebut, hasil wawancara yang dilakukan peneliti terhadap 15 guru di SLB di Jakarta dan Wonosobo menunjukkan bahwa 73,3% guru melaporkan murid mengalami kesulitan memahami konsep dan proses perkalian, 66,7% mengalami kesulitan mengingat fakta perkalian, dan 40% mengalami kesulitan memahami penjelasan guru. Selain itu, hasil wawancara dengan dua guru di SLB B Karya Bakti Don Bosco Wonosobo menunjukkan bahwa sekitar 20% murid telah memahami konsep sekaligus mengingat perkalian, 40% memahami konsep tetapi belum mengingat perkalian, dan 40% belum memahami konsep maupun mengingat perkalian. Temuan tersebut menunjukkan bahwa permasalahan pembelajaran tidak hanya berkaitan dengan kemampuan mengingat hasil perkalian, tetapi juga pemahaman terhadap proses perhitungannya.

Sejalan dengan temuan tersebut, praktik pembelajaran perkalian yang masih didominasi penjelasan guru, penggunaan papan tulis, dan lembar kerja sederhana menunjukkan adanya kebutuhan terhadap media yang dapat memvisualisasikan prosedur perhitungan secara bertahap serta memberikan kesempatan kepada murid untuk berlatih secara interaktif. Kondisi tersebut menjadi semakin penting karena pembelajaran matematika tidak hanya menuntut murid memperoleh jawaban akhir, tetapi juga memahami hubungan antarkonsep dan prosedur yang digunakan untuk memperoleh jawaban. (Pagliaro, 1998a, 1998b; Pagliaro & Kritzer, 2005; Pagliaro & Thom, 2021)

Kurikulum Merdeka Fase B menempatkan kemampuan memahami bilangan dan melakukan operasi hitung sebagai bagian dari kompetensi matematika yang perlu dikembangkan melalui berbagai representasi. Dalam konteks penelitian ini, terdapat kesenjangan antara tuntutan pembelajaran matematika Fase B dan kondisi pembelajaran perkalian yang ditemukan di lapangan. Sementara pembelajaran diharapkan dapat membantu murid memahami konsep melalui representasi yang sesuai, hasil wawancara menunjukkan bahwa sebagian besar murid hambatan pendengaran masih mengalami kesulitan memahami konsep, proses, dan fakta perkalian. Di sisi lain, pembelajaran yang berlangsung belum didukung media yang secara khusus mengintegrasikan representasi konkret, visual, prosedur jarimatika, dan latihan interaktif. Kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya media yang dapat menerjemahkan konsep perkalian ke dalam langkah-langkah yang lebih mudah diamati, dipraktikkan, dan diulang oleh murid. (Qi & Mitchell, 2012)

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengintegrasian metode jarimatika ke dalam media pembelajaran digital interaktif yang dirancang secara khusus untuk pembelajaran perkalian satuan bagi murid hambatan pendengaran Fase B. Integrasi tersebut diwujudkan melalui visualisasi gerakan jari, animasi langkah-langkah perkalian, video tutorial, latihan dan permainan interaktif, serta evaluasi dengan umpan balik langsung dalam satu media pembelajaran. Dengan karakteristik tersebut, PERSIK tidak hanya mendigitalisasi materi perkalian, tetapi mengadaptasi prosedur jarimatika ke dalam pengalaman belajar interaktif yang memungkinkan murid mengamati, mempraktikkan, dan mengevaluasi proses perhitungan secara bertahap.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan, menguji kelayakan, dan mengetahui efektivitas media pembelajaran interaktif berbasis teknologi PERSIK (Perkalian Asik Jarimatika) dalam meningkatkan pemahaman konsep perkalian satuan pada murid hambatan pendengaran Fase B.

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D) yang berorientasi pada pengembangan produk pembelajaran (Azzahra et al., 2025; Santia et al., 2026). Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE, yang terdiri atas lima tahap, yaitu *analysis*, *design*, *development*, *implementation*, dan *evaluation*. Tahap *analysis* dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran serta permasalahan yang dihadapi murid tunarungu dalam memahami konsep perkalian satuan. Tahap *design* mencakup perancangan tujuan pembelajaran, penyusunan materi, serta perencanaan struktur media pembelajaran yang akan dikembangkan. Pada tahap *development*, peneliti mengembangkan aplikasi jarimatika interaktif yang kemudian divalidasi oleh ahli materi dan ahli media untuk menilai kelayakan produk.

Tahap *implementation* dilakukan melalui uji coba penggunaan media kepada murid tunarungu dalam pembelajaran perkalian satuan selama empat pertemuan dengan durasi 2 × 35 menit pada setiap pertemuan. Pembelajaran dilaksanakan sesuai jadwal matematika di kelas, dan pengukuran hasil belajar dilakukan melalui pretest dan posttest. Untuk meminimalkan pengaruh variabel luar, proses pembelajaran dilakukan oleh guru yang sama, menggunakan materi serta alokasi waktu yang seragam, dan dalam kondisi kelas yang relatif sama selama penelitian berlangsung. Tahap terakhir, yaitu *evaluation*, dilakukan untuk menilai kelayakan sekaligus efektivitas media pembelajaran yang telah dikembangkan.



Gambar 1. Prosedur penelitian dan pengembangan ADDIE

Subjek penelitian melibatkan 30 murid tunarungu kelas III–IV di SLB B Pangudi Luhur Jakarta dan SLB B Karya Bakti Don Bosco Wonosobo. Pemilihan subjek dilakukan secara purposif, dengan mempertimbangkan kesesuaian karakteristik murid terhadap sasaran pengguna media yang dikembangkan. (Qi & Mitchell, 2012)

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini adalah wawancara, angket, dan dokumentasi.

Instrumen penelitian terdiri atas pedoman wawancara, lembar validasi ahli materi dan ahli media, angket respons guru dan murid, serta instrumen tes berupa pretest dan posttest untuk mengukur kemampuan perkalian satuan..

Sebelum digunakan dalam pengambilan data, instrumen tes terlebih dahulu dilakukan pengujian validitas dan reliabilitas. Uji validitas dilakukan untuk mengetahui ketepatan setiap butir instrumen dalam mengukur kemampuan perkalian satuan. Validitas isi instrumen diperoleh melalui penilaian ahli (expert judgment) dengan mempertimbangkan kesesuaian butir soal dengan tujuan pembelajaran, materi perkalian satuan, karakteristik murid tunarungu Fase B, serta tingkat keterbacaan soal. Selanjutnya, validitas empiris butir soal diuji menggunakan korelasi Product Moment Pearson. Butir soal dinyatakan valid apabila nilai koefisien korelasi (r hitung) lebih besar daripada r tabel pada taraf signifikansi 5%.

Teknik analisis data yang digunakan terdiri dari teknik analisis kelayakan produk dan analisis efektivitas media. Data hasil validasi ahli materi, ahli media, serta respons guru dan murid dianalisis secara deskriptif menggunakan konversi skor untuk menentukan kategori kelayakan media.

Tabel 1. Konversi Data

No	Interval Skor	Kategori
1	$X > X_i + 1,8 S_{bi}$	Sangat Baik
2	$X_i + 0,6 S_{bi} < X \leq X_i + 1,8 S_{bi}$	Baik
3	$X_i - 0,6 S_{bi} < X \leq X_i + 0,6 S_{bi}$	Cukup
4	$X_i - 1,8 S_{bi} < X \leq X_i - 0,6 S_{bi}$	Kurang
5	$X \leq X_i - 1,8 S_{bi}$	Sangat Kurang

Keterangan:

X = skor aktual; X_i = rerata skor ideal; S_{bi} = simpangan baku skor ideal. Nilai X_i dan S_{bi} dihitung menggunakan rumus:

$X_i = \frac{1}{2} (\text{skor maksimal ideal} + \text{skor minimal ideal})$

$S_{bi} = \frac{1}{2} (\text{skor maksimal ideal} - \text{skor minimal ideal})$

Adapun teknik analisis keefektifan data dengan perhitungan pre-tes dan post-test, skor yang diperoleh dikonversi dalam bentuk persentase sebagai berikut:

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor}}{\text{Skor Maksimal}} \times 100\%$$

Hasil persentase selanjutnya dikategorikan berdasarkan kriteria kelayakan media pembelajaran menurut Widoyoko (2016), yaitu 81%–100% berkategori sangat layak, 61%–80% layak, 41%–60% cukup layak, dan $\leq 40\%$ tidak layak. Media pembelajaran dinyatakan layak digunakan apabila memperoleh skor minimal 61% atau berada pada kategori layak.

Efektivitas media dianalisis dengan membandingkan hasil pretest dan posttest untuk mengetahui perubahan kemampuan perkalian satuan setelah penggunaan media PERSIK. Karena data diperoleh dari kelompok yang sama sebelum dan sesudah perlakuan, pengujian perbedaan dilakukan menggunakan uji Wilcoxon Signed-Rank. Uji Wilcoxon digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan antara skor pretest dan posttest. Media dinyatakan memberikan peningkatan hasil belajar secara signifikan apabila nilai signifikansi (p) $< 0,05$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap Analisis

Pengembangan media PERSIK diawali dengan analisis terhadap karakteristik dan kebutuhan belajar murid, yang meliputi perkembangan kognitif dan bahasa, kemampuan awal matematika, karakteristik media yang dibutuhkan, aksesibilitas, serta kemampuan pengguna. Berdasarkan hasil wawancara dengan guru SLB, diketahui bahwa kemampuan murid hambatan pendengaran Fase B dalam memahami perkalian satuan beragam. Sebagian murid telah menguasai dasar perkalian, terutama yang telah memahami konsep penjumlahan berulang. Namun, sebagian murid masih mengalami kesulitan dalam membedakan simbol matematika, seperti tanda tambah dan tanda kali, melakukan penjumlahan secara lancar, serta mempertahankan ketelitian ketika menyelesaikan soal. Kesulitan dalam mengingat fakta perkalian juga

ditemukan pada beberapa murid. Pada sebagian murid, kondisi tersebut disertai kebutuhan khusus tambahan, seperti tunagrahita ringan, yang turut memengaruhi kemampuan memahami konsep matematika.

Perbedaan kemampuan dan kecepatan belajar antarmurid mendorong guru menggunakan strategi pembelajaran yang beragam, mulai dari pemberian instruksi secara umum hingga pemberian bimbingan secara individual. Hasil wawancara juga menunjukkan bahwa sebagian murid lebih mudah memahami konsep perkalian ketika materi disajikan melalui representasi visual, ilustrasi, dan pendekatan konkret, seperti penjumlahan berulang. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya media pembelajaran yang dapat menyajikan konsep perkalian melalui langkah-langkah yang dapat diamati dan dipraktikkan secara bertahap. Selain itu, media perlu memiliki navigasi yang sederhana, tampilan yang jelas, serta memberikan kesempatan kepada murid untuk mengulang latihan sesuai dengan kemampuan belajarnya.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, dikembangkan media pembelajaran digital interaktif bernama PERSIK (Perkalian Asik Jarimatika) menggunakan Smart Apps Creator. Media ini ditujukan bagi murid hambatan pendengaran Fase B untuk membantu memahami konsep dasar perkalian satuan melalui metode jarimatika. Jarimatika digunakan sebagai strategi berhitung yang memanfaatkan gerakan jari sebagai representasi konkret dan visual dari proses perhitungan. Dengan demikian, media dirancang tidak hanya untuk menyajikan hasil perkalian, tetapi juga untuk membantu murid mengamati dan mengikuti tahapan perhitungan secara sistematis.

Tahap Design

Tahap perancangan media PERSIK diawali dengan menetapkan tujuan pengembangan, yaitu membantu murid hambatan pendengaran Fase B memahami konsep dasar dan menghitung perkalian satuan melalui metode jarimatika. Perancangan dilakukan berdasarkan hasil analisis karakteristik dan kebutuhan murid yang diperoleh melalui observasi, wawancara guru, serta pengisian angket.

Rancangan tampilan media dibuat dengan mempertimbangkan keterbacaan, aksesibilitas, dan kemudahan penggunaan. Pemilihan warna, ikon, ukuran teks, serta tata letak disusun agar informasi pembelajaran dapat terlihat dengan jelas. Navigasi dibuat sederhana menggunakan ikon berukuran cukup besar, teks yang mudah dibaca, serta kombinasi warna yang memiliki kontras memadai. Penggunaan representasi visual tersebut dimaksudkan untuk memberikan akses informasi yang lebih jelas bagi murid hambatan pendengaran, bukan untuk mengasumsikan bahwa seluruh murid hambatan pendengaran memiliki gaya belajar yang sama.

Rancangan alur media dituangkan dalam bentuk flowchart dan storyboard menggunakan Canva. Rancangan tersebut selanjutnya diimplementasikan menjadi aplikasi menggunakan Smart Apps Creator. Untuk meningkatkan aksesibilitas, media dilengkapi video interpreter dan subtitle pada bagian video pembelajaran. Fitur tersebut digunakan untuk memberikan alternatif akses terhadap informasi yang disampaikan melalui video sehingga murid tidak hanya bergantung pada informasi verbal atau audio.

Dari aspek teknis, media dikembangkan dalam dua format, yaitu aplikasi Android (.apk) dan aplikasi untuk PC/laptop (.exe). Format tersebut memungkinkan media digunakan pada perangkat yang tersedia di sekolah maupun di rumah dengan pendampingan guru atau orang tua.



Gambar 2. Storyboard Tampilan Halaman Utama dan Menu



Gambar 3. Storyboard Tampilan Materi



Gambar 4. Storyboard Tampilan Evaluasi dan Game

Tahap Development

Pada tahap development, media pembelajaran interaktif PERSIK yang telah dirancang kemudian dikembangkan menggunakan Smart Apps Creator. Pengembangan dilakukan berdasarkan rancangan yang telah ditetapkan pada tahap desain dengan memperhatikan karakteristik murid hambatan pendengaran Fase B. Media dikembangkan dalam bentuk aplikasi yang dapat digunakan pada perangkat Android dengan format .apk dan pada PC atau laptop dengan format .exe. Media PERSIK terdiri atas beberapa menu utama, yaitu Tujuan, Materi, Game, Evaluasi, dan Profil. Materi pembelajaran memuat konsep perkalian satuan dengan menggunakan metode jarimatika yang disajikan melalui representasi gerakan jari, ilustrasi, animasi, dan video tutorial. Media juga dilengkapi permainan interaktif dan evaluasi untuk memberikan kesempatan kepada murid dalam mempraktikkan dan mengukur pemahaman terhadap materi yang telah dipelajari.

Produk awal yang telah dikembangkan selanjutnya melalui tahap validasi untuk mengetahui kelayakan media sebelum digunakan dalam uji coba. Validasi dilakukan oleh ahli materi dan ahli media. Validasi materi dilakukan oleh Br. Dr. GBN, FIC., yang memiliki keahlian dalam bidang pendidikan khusus dan hambatan pendengaran. Penilaian ahli materi mencakup lima aspek, yaitu kesesuaian tujuan, keakuratan materi, kejelasan materi, keterpaduan materi dan media, serta kebermanfaatan. Masing-masing aspek memperoleh skor 12, sehingga jumlah skor keseluruhan adalah 60 dan berada pada kategori baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa materi yang disajikan dalam media PERSIK telah sesuai dengan tujuan pembelajaran dan karakteristik materi perkalian satuan untuk murid hambatan pendengaran Fase B.

Validasi media dilakukan oleh OP, S.Pd., M.Pd., yang merupakan praktisi pada Balai Teknologi Komunikasi Pendidikan (Tekkomdik) Dinas Dikpora DIY. Penilaian meliputi aspek desain atau tampilan, materi, interaktivitas, kemudahan akses, dan efektivitas. Hasil validasi memperoleh skor 15 pada aspek desain atau tampilan, 13 pada aspek materi, 14 pada aspek interaktivitas, 13 pada aspek kemudahan akses, dan 14 pada aspek efektivitas. Jumlah skor keseluruhan adalah 69 dan termasuk dalam kategori baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa media PERSIK telah memiliki tampilan, navigasi, interaktivitas, dan aksesibilitas yang mendukung penggunaannya sebagai media pembelajaran matematika.

Setelah melalui validasi ahli, media PERSIK diuji oleh empat praktisi pembelajaran. Penilaian praktisi mencakup aspek media, materi, dan penggunaan. Praktisi pertama memperoleh skor 36 pada aspek media, 20 pada aspek materi, dan 20 pada aspek penggunaan, dengan jumlah keseluruhan 76. Praktisi kedua memperoleh skor 40 pada aspek media, 20 pada aspek materi, dan 20 pada aspek penggunaan, dengan jumlah keseluruhan 80. Praktisi ketiga memperoleh skor 28 pada aspek media, 15 pada aspek materi, dan 14 pada aspek penggunaan, dengan jumlah keseluruhan 57. Praktisi keempat memperoleh skor 32 pada aspek media, 14 pada aspek materi, dan 16 pada aspek penggunaan, dengan jumlah keseluruhan 62. Rata-rata skor yang diperoleh adalah 34 untuk aspek media, 17,25 untuk aspek materi, dan 17,50 untuk aspek penggunaan, dengan rata-rata skor keseluruhan sebesar 68,75 yang termasuk dalam kategori baik.

Berdasarkan hasil validasi ahli dan praktisi, dilakukan beberapa revisi terhadap media PERSIK. Salah satu revisi dilakukan pada bagian evaluasi. Umpan balik yang sebelumnya diberikan setelah setiap jawaban pada evaluasi dihilangkan dan evaluasi hanya menampilkan skor akhir. Revisi ini dilakukan agar fungsi evaluasi dapat dibedakan dengan fungsi permainan yang memberikan umpan balik secara langsung. Selain itu, media dilengkapi dengan video interpreter dan subtitle untuk meningkatkan aksesibilitas informasi bagi murid hambatan pendengaran. Revisi tersebut dilakukan agar penyajian materi tidak hanya bergantung pada teks, tetapi juga memberikan dukungan visual dan bahasa yang lebih sesuai dengan kebutuhan aksesibilitas murid.

Tabel 2. Tabel Penilaian Ahli Materi

No.	Aspek	Skor
1	Kesesuaian tujuan	12
2	Keakuratan materi	12
3	Kejelasan materi	12
4	Keterpaduan materi dan media	12
5	Kebermanfaatan	12
Total		60

Aspek keakuratan materi, kejelasan materi, keterpaduan materi dan media, serta kebermanfaatan masing-masing juga memperoleh skor 12. Skor tersebut menunjukkan bahwa isi materi dinilai akurat dan tidak menimbulkan miskonsepsi, disampaikan dengan bahasa yang sederhana dan mudah dipahami, serta terintegrasi dengan baik ke dalam format media interaktif. Selain itu, kebermanfaatan media dalam mendukung proses belajar mengajar pun dipandang cukup signifikan oleh para validator. Dengan total skor keseluruhan 60, penilaian aspek materi ini berada dalam kategori “Baik”. Hal ini menguatkan bahwa secara isi, media Jarimatika berbasis teknologi ini telah memenuhi syarat kelayakan materi untuk digunakan dalam pembelajaran matematika dasar di SLB.

Evaluasi mengenai kelayakan penggunaan produk dilakukan oleh satu ahli media. Ahli media yang dilibatkan untuk menjadi validator media ini adalah OP, S.Pd., M.Pd., yang memiliki kompetensi di bidang pengembangan media pembelajaran untuk murid berkebutuhan khusus. Beliau saat ini bertugas di Balai Teknologi Komunikasi Pendidikan (Tekkomdik) Dinas Dikpora DIY.

Tabel 3. Penilaian Ahli Media

No.	Aspek	Skor
1	Desain/Tampilan	15
2	Materi	13
3	Interaktifitas	14
4	Kemudahan Akses	13
5	Evektivitas	14
Total		69

Secara keseluruhan, total skor kelayakan produk adalah 69, yang jika dibandingkan dengan kriteria termasuk dalam kategori “Baik”. Dengan demikian, produk media pembelajaran interaktif Jarimatika ini dinilai layak untuk digunakan dalam proses pembelajaran di SLB, terutama dalam pembelajaran matematika untuk murid hambatan pendengaran Fase B.

Kelayakan produk dievaluasi oleh 4 praktisi yang ada di sekolah nstrumen penilaian terdiri dari 16 butir pernyataan yang terbagi ke dalam tiga aspek utama, yaitu aspek media (8 butir), aspek materi (4 butir), dan aspek penggunaan media dalam pembelajaran (4 butir).

Tabel 4. Hasil Validasi Praktisi

No	Validator	Aspek Media	Materi	Penggunaan	Total Skor
1	RC	36	20	20	76
2	AL	40	20	20	80
3	RS	28	15	14	57
4	ATP	32	14	16	62
Rata-Rata		34	17,25	17,50	68,75

Secara keseluruhan, total skor rata-rata dari seluruh aspek adalah 68,75 termasuk dalam kategori “Baik”. Dengan demikian, produk media pembelajaran interaktif ini layak digunakan dalam proses pembelajaran dengan beberapa perbaikan minor apabila diperlukan, khususnya pada aspek penyajian materi dan peningkatan kualitas media secara teknis.

Pada tahap pengembangan ini Revisi produk dilakukan sesuai saran dari validator ahli materi dan ahli media, juga evaluasi dari praktisi. Adapun sejumlah perbaikan yang telah dilakukan oleh peneliti pada tahap pengembangan produk.

Sebelum Revisi

Sesudah Revisi



Gambar 5. Sebelum dan Sesudah Revisi

Pada gambar di atas menampilkan tampilan evaluasi sebelum dan sesudah revisi serta sebelum. Hal yang direvisi adalah menghilangkan umpan balik pada bagian evaluasi dan hanya menampilkan skor total yang menggambarkan ketercapaian hasil belajarnya. Pada tampilan sebelumnya masih terdapat umpan balik pada evaluasi. Tujuan dari menghilangkan umpan balik adalah untuk membuat perbedaan antara evaluasi dan game.



Gambar 6. Sebelum dan Sesudah Revisi

Pada gambar-gambar tersebut menampilkan tampilan media sebelum dan sesudah direvisi. Bagian yang perlu direvisi adalah penambahan video interpreter bahasa lisan. Hal tersebut perlu ditambahkan karena murid hambatan pendengaran mengandalkan visual sebagai media utama untuk memahami informasi. Dengan adanya video interpreter, informasi yang disampaikan melalui video, teks serta suara dapat lebih mudah dipahami oleh murid hambatan pendengaran yang berkomunikasi menggunakan pendekatan oral-aural, sehingga memperkecil risiko miskomunikasi atau ketidakpahaman. Selain itu, ketika media pembelajaran menggunakan bahasa yang dipahami murid, mereka akan merasa dihargai, dipahami, dan lebih percaya diri dalam belajar. Hal ini berdampak positif pada peningkatan partisipasi dan motivasi belajar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa media pembelajaran interaktif PERSIK memiliki potensi dalam mendukung pembelajaran perkalian satuan pada murid hambatan pendengaran Fase B. Media dikembangkan dengan mengintegrasikan metode jarimatika ke dalam lingkungan pembelajaran digital sehingga prosedur perkalian dapat dipelajari melalui gerakan jari, representasi visual, animasi, video, permainan, dan evaluasi. Penggunaan berbagai representasi tersebut dimaksudkan untuk memberikan akses informasi yang lebih jelas dan konkret bagi murid hambatan pendengaran, bukan untuk mengasumsikan bahwa seluruh murid tunarungu memiliki gaya belajar visual yang sama. Marschark et al. (2013) menjelaskan bahwa murid tunarungu tidak dapat secara umum dikategorikan sebagai pembelajar visual. Namun, dukungan visual dan representasi spasial dapat membantu menyediakan akses terhadap informasi pembelajaran, terutama ketika informasi verbal atau auditori tidak sepenuhnya dapat diakses. Hal tersebut juga sejalan dengan Blatto-Vallee et al. (2007) yang menunjukkan pentingnya representasi visual-spasial dalam penyelesaian masalah matematika oleh murid tunarungu.

Pengintegrasian metode jarimatika ke dalam media digital memberikan kesempatan kepada murid untuk menghubungkan konsep perkalian dengan prosedur yang dapat diamati dan dipraktikkan. Gerakan jari dalam jarimatika memberikan representasi konkret terhadap proses perhitungan, sedangkan animasi dan video membantu memperjelas urutan langkah penggunaannya. Temuan ini sejalan dengan penelitian Andawiyah dan Pratiwi (2026) yang mengembangkan media pembelajaran interaktif berbasis Articulate Storyline dengan muatan jarimatika perkalian dan menunjukkan bahwa integrasi jarimatika dalam media digital dapat digunakan untuk mendukung pembelajaran kemampuan berhitung. Penggunaan teknologi dalam pembelajaran matematika bagi murid dengan hambatan pendengaran juga didukung oleh Rahmawati dan Pamungkas (2023), yang menunjukkan pentingnya teknologi pembelajaran sebagai sarana pendukung akses pembelajaran matematika bagi murid dengan hambatan pendengaran.

Hasil uji coba menunjukkan adanya perubahan kemampuan murid setelah penggunaan media PERSIK. Pada uji coba skala kecil, hasil analisis Wilcoxon menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,484, sedangkan pada uji coba skala besar diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,007. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada uji coba skala besar terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil sebelum dan sesudah penggunaan media pada taraf signifikansi 0,05. Meskipun demikian, hasil tersebut perlu ditafsirkan secara hati-hati karena penelitian menggunakan desain one-group pretest-posttest tanpa kelompok kontrol. Oleh karena itu, peningkatan skor setelah penggunaan PERSIK belum dapat sepenuhnya diatribusikan kepada media PERSIK. Perubahan hasil dapat pula dipengaruhi oleh pengalaman mengerjakan tes sebelumnya, familiaritas terhadap bentuk soal, dukungan guru selama pembelajaran, intensitas penggunaan media, maupun perbedaan kemampuan awal antarindividu. Dengan demikian, hasil penelitian ini lebih tepat dipahami sebagai bukti awal mengenai potensi efektivitas media PERSIK dalam mendukung kemampuan perkalian satuan pada murid hambatan pendengaran. (Kritzer & Pagliaro, 2013; Rahmawati & Pamungkas, 2023)

Penggunaan media interaktif juga memberikan kesempatan kepada murid untuk belajar melalui aktivitas yang lebih bervariasi. Materi tidak hanya disampaikan melalui penjelasan guru, tetapi juga melalui animasi, video tutorial, permainan, dan latihan. Kondisi tersebut memungkinkan murid memperoleh kesempatan untuk mengamati, mencoba, memperoleh umpan balik, dan mengulangi prosedur yang belum dikuasai. Dalam konteks pembelajaran murid hambatan pendengaran, penggunaan representasi visual dan konkret dalam media PERSIK diposisikan sebagai bentuk dukungan aksesibilitas pembelajaran, bukan sebagai penerapan asumsi bahwa semua murid tunarungu memiliki karakteristik belajar yang identik. (Shelton & Parlin, 2016; Ugalde et al., 2021; Güler et al., 2022)

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pengembangan media perlu mempertimbangkan aspek aksesibilitas sejak tahap perancangan. Penambahan video interpreter dan subtitle menjadi salah satu bentuk penyesuaian agar informasi dalam media dapat diterima melalui lebih dari satu bentuk representasi. Selain itu, penggunaan ikon, animasi, dan navigasi yang sederhana dapat membantu murid memahami fungsi setiap bagian media. Hal ini menjadi penting karena kemampuan membaca dan pemahaman bahasa pada murid hambatan pendengaran dapat beragam sehingga penyajian informasi yang hanya mengandalkan teks dapat menjadi kurang optimal bagi sebagian murid. (Borgna et al., 2011; Vesel & Robillard, 2013; Olszak & Borowicz, 2025)

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa PERSIK dapat menjadi salah satu alternatif media pembelajaran yang menggabungkan metode jarimatika dan teknologi interaktif untuk pembelajaran perkalian satuan. Namun, temuan penelitian ini belum dapat dipandang sebagai bukti definitif mengenai efektivitas PERSIK karena tidak adanya kelompok kontrol dan adanya kemungkinan faktor lain yang memengaruhi perubahan hasil belajar. Penelitian lanjutan dengan desain eksperimen yang melibatkan kelompok pembandingan, jumlah subjek yang lebih besar, dan karakteristik murid yang lebih beragam diperlukan untuk memperoleh bukti yang lebih kuat mengenai efektivitas media PERSIK. (Ansell & Pagliaro, 2006; Pagliaro & Ansell, 2012)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan, media pembelajaran interaktif PERSIK (Perkalian Asik Jarimatika) yang dikembangkan berbasis teknologi dapat digunakan sebagai alternatif media pembelajaran untuk membantu meningkatkan kemampuan perkalian satuan pada murid hambatan pendengaran. Pengembangan media dilakukan melalui model ADDIE dengan mempertimbangkan analisis kebutuhan murid, terutama pada aspek visualisasi materi, kemudahan navigasi, serta dukungan terhadap pembelajaran mandiri. Produk yang dihasilkan berupa aplikasi interaktif yang dapat digunakan pada perangkat Android dan PC, serta memadukan berbagai fitur seperti animasi gerakan jarimatika, video pembelajaran, permainan edukatif, dan evaluasi otomatis. Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa media yang dikembangkan berada pada kategori baik dan sesuai dengan kebutuhan aksesibilitas pembelajaran melalui representasi visual dan aktivitas konkret. Hasil uji coba juga menunjukkan adanya peningkatan kemampuan murid dalam menyelesaikan perkalian satuan setelah menggunakan media tersebut. Secara teoretis, temuan ini mendukung pendekatan konstruktivistik yang menekankan pentingnya pengalaman konkret dan visual dalam pembelajaran matematika bagi murid dengan hambatan pendengaran. Secara praktis, media PERSIK dapat menjadi salah satu alternatif sumber belajar yang membantu guru dalam menyajikan materi perkalian secara lebih menarik, interaktif, dan mudah dipahami oleh murid tunarungu. Dengan demikian, pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi yang mengintegrasikan metode jarimatika berpotensi mendukung proses pembelajaran matematika yang lebih inklusif dan adaptif terhadap kebutuhan murid berkebutuhan khusus. Untuk penelitian selanjutnya, media PERSIK dapat dikembangkan pada materi matematika lainnya, seperti pembagian, pecahan, atau operasi hitung bilangan yang lebih kompleks. Selain itu, uji coba dapat diperluas dengan melibatkan jumlah dan karakteristik subjek yang lebih beragam serta sekolah yang lebih banyak untuk memperoleh gambaran penggunaan media yang lebih luas.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Negeri Yogyakarta, dosen pembimbing, para validator, serta pihak SLB B Pangudi Luhur Jakarta dan SLB B Karya Bakti Don Bosco Wonosobo atas dukungan dan kerja sama yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Andawiyah, K. N., & Pratiwi, S. (2026). Pengembangan media pembelajaran interaktif berbasis Articulate Storyline bermuatan jarimatika perkalian untuk meningkatkan kemampuan berhitung pada mata pelajaran matematika kelas IV. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 11(1), 32–45. <https://doi.org/10.23969/jp.v11i01.43744>
- Ansell, E., & Pagliaro, C. M. (2006). The relative difficulty of signed arithmetic story problems for primary level deaf and hard-of-hearing students. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 11(2), 153–170. <https://doi.org/10.1093/deafed/enj030>
- Azzahra, A., Mawarsari, V. D., & Suprayitno, I. J. (2025). AISITARU: Pengembangan media pembelajaran interaktif pendekatan realistic mathematics education (RME) materi luas bangun datar untuk siswa tunarungu. *Issues in Mathematics Education*, 9(1). <https://doi.org/10.35580/imed.v9i1.6626>
- Blatto-Vallee, G., Kelly, R. R., Gaustad, M. G., Porter, J., & Fonzi, J. (2007). Visual-spatial representation in mathematical problem solving by deaf and hearing students. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 12(4), 432–448. <https://doi.org/10.1093/deafed/enm022>
- Borgna, G., Convertino, C., Marschark, M., Morrison, C., & Rizzolo, K. (2011). Enhancing deaf students' learning from sign language and text: Metacognition, modality, and the effectiveness of content scaffolding. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 16(1), 79–100. <https://doi.org/10.1093/deafed/enq036>
- Gervasoni, A., & Peter-Koop, A. (2020). Inclusive mathematics education. *Mathematics Education Research Journal*, 32(1), 1–4. <https://doi.org/10.1007/s13394-020-00315-0>

- Güler, M., Bütüner, S. Ö., Danişman, Ş., & Gürsoy, K. (2022). A meta-analysis of the impact of mobile learning on mathematics achievement. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1725–1745. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10640-x>
- Henner, J., Pagliaro, C., Sullivan, S., & Hoffmeister, R. (2021). Counting differently: Assessing mathematics achievement of signing deaf and hard of hearing children through a unique lens. *American Annals of the Deaf*, 166(3), 318–341. <https://doi.org/10.1353/aad.2021.0023>
- Kelly, R. R., Lang, H. G., & Pagliaro, C. M. (2003). Mathematics word problem solving for deaf students: A survey of practices in grades 6–12. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 8(2), 104–119. <https://doi.org/10.1093/deafed/eng007>
- Kritzer, K. L., & Pagliaro, C. M. (2013). An intervention for early mathematical success: Outcomes from the hybrid version of the Building Math Readiness Parents as Partners (MRPP) project. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 18(1), 30–46. <https://doi.org/10.1093/deafed/ens033>
- Lang, H. G., & Pagliaro, C. (2007). Factors predicting recall of mathematics terms by deaf students: Implications for teaching. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 12(4), 449–460. <https://doi.org/10.1093/deafed/enm021>
- Marschark, M., Morrison, C., Lukomski, J., Borgna, G., & Convertino, C. (2013). Are deaf students visual learners? *Learning and Individual Differences*, 25, 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.02.006>
- Marschark, M., Paivio, A., Spencer, L. J., Durkin, A., Borgna, G., Convertino, C., & Machmer, E. (2017). Don't assume deaf students are visual learners. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 29(1), 153–171. <https://doi.org/10.1007/s10882-016-9494-0>
- Mboneni, Z., & Cronje, J. (2024). Using a mobile application to teach mathematics to learners with special educational needs: Exploring teachers' experiences. *Journal of Education Technology*, 8(4), 776–784. <https://doi.org/10.23887/jet.v8i4.86673>
- Olszak, I., & Borowicz, A. (2025). Learning styles and strategies of D/deaf and hard of hearing students in foreign language acquisition—a research report. *Frontiers in Education*, 10, 1553031. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1553031>
- Pagliaro, C. M. (1998a). Mathematics reform in the education of deaf and hard of hearing students. *American Annals of the Deaf*, 143(1), 22–28. <https://doi.org/10.1353/aad.2012.0089>
- Pagliaro, C. M. (1998b). Mathematics preparation and professional development of deaf education teachers. *American Annals of the Deaf*, 143(5), 373–379. <https://doi.org/10.1353/aad.2012.0137>
- Pagliaro, C. M., & Ansell, E. (2012). Deaf and hard of hearing students' problem-solving strategies with signed arithmetic story problems. *American Annals of the Deaf*, 156(5), 438–458. <https://doi.org/10.1353/aad.2012.1600>
- Pagliaro, C. M., & Kritzer, K. L. (2005). Discrete mathematics in deaf education: A survey of teachers' knowledge and use. *American Annals of the Deaf*, 150(3), 251–259. <https://doi.org/10.1353/aad.2005.0033>
- Pagliaro, C. M., & Kritzer, K. L. (2013). The math gap: A description of the mathematics performance of preschool-aged deaf/hard-of-hearing children. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 18(2), 139–160. <https://doi.org/10.1093/deafed/ens070>
- Pagliaro, C. M., & Thom, J. S. (2021). A new stepping-stone on the path to mathematics success for DHH learners. *American Annals of the Deaf*, 166(3), 309–317. <https://doi.org/10.1353/aad.2021.0032>
- Qi, S., & Mitchell, R. E. (2012). Large-scale academic achievement testing of deaf and hard-of-hearing students: Past, present, and future. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 17(1), 1–18. <https://doi.org/10.1093/deafed/enr028>
- Rahmawati, F., & Pamungkas, M. D. (2023). The use of assistive learning technology in learning mathematics for hearing impairment students. *Indonesian Journal of Mathematics Education*, 6(1), 35–39. <https://doi.org/10.31002/ijome.v6i1.556>
- Santia, I., Muzaki, M. N., Handayani, A. D., & Murtafiah, W. (2026). Enhancing numeracy learning among deaf students through BIMA: Design, development, and evaluation of an interactive mobile mathematical sign language application. *Journal of Advanced Sciences and Mathematics Education*, 6(3). <https://doi.org/10.58524/jasme.v6i3.1443>
- Sarchet, T., Marschark, M., Borgna, G., Convertino, C., Sapere, P., & Dirmyer, R. (2014). Vocabulary knowledge of deaf and hearing postsecondary students. *Journal of Postsecondary Education and Disability*, 27(2), 161–178.
- Shelton, B. E., & Parlin, M. A. (2016). Teaching math to deaf/hard-of-hearing (DHH) children using mobile games: Outcomes with student and teacher perspectives. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 8(1), 1–17. <https://doi.org/10.4018/IJMBL.2016010101>

- Techaraungrong, P., Suksakulchai, S., Kaewprapan, W., & Murphy, E. (2017). The design and testing of multimedia for teaching arithmetic to deaf learners. *Education and Information Technologies*, 22(1), 215–237. <https://doi.org/10.1007/s10639-015-9441-1>
- Ugalde, L., Santiago-Garabieta, M., Villarejo-Carballido, B., & Puigvert, L. (2021). Impact of interactive learning environments on learning and cognitive development of children with special educational needs: A literature review. *Frontiers in Psychology*, 12, 674033. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.674033>
- Vasel, H., & Ragonis, N. (2024). Empowering hearing-impaired students: A mobile learning intervention in Israeli Arab elementary education. *Journal of Research in Special Educational Needs*. <https://doi.org/10.1111/1471-3802.12697>
- Vesel, J., & Robillard, T. (2013). Teaching mathematics vocabulary with an interactive signing math dictionary. *Journal of Research on Technology in Education*, 45(4), 361–389. <https://doi.org/10.1080/15391523.2013.10782610>
- Wheatley, G. H. (1991). Constructivist perspectives on science and mathematics learning. *Science Education*, 75(1), 9–21. <https://doi.org/10.1002/sce.3730750103>