JURNAL UPI

Tekmulogi: Jurnal Pengabdian Masyarakat

Journal homepage: https://ejournal.upi.edu/index.php/Tekmulogi

Implementasi Kit Manipulatif 3-in-1 Bit-Grid untuk *Scaffolding* Konsep Aljabar Materi Matematika SMP Melalui Pengayaan Terapan Pengolahan Citra Digital

Trisna Gelar[1], Aprianti Nanda Sari[2], Iwan Awaludin[3], Nurjannah Syakrani[4], Yudi Widhiyasana[5], Maisevli Harika[6]

[1-6]Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

Correspondence: E-mail: trisna.gelar@polban.ac.id

ABSTRAK

Rendahnya pemahaman konseptual aljabar dan keterbatasan laboratorium komputer menjadi hambatan utama peningkatan literasi numerasi siswa. Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini menerapkan *scaffolding* aljabar dan geometri SMP melalui pengayaan terapan Pengolahan Citra Digital (PCD) secara *unplugged*. Kit Manipulatif 3-in-1 Bit-Grid berbasis *Concrete-Pictorial-Abstract* (CPA) yang mengintegrasikan Algebra Tiles (pemodelan variabel dan *Zero Pairs*), Tangram (dekomposisi geometri dan rasterisasi), serta Ubin Warna 3-Bit (kodifikasi intensitas pixel 0–7). Pelaksanaan kegiatan menggunakan model Pendampingan, Demonstrasi, dan Simulasi (PDS) melalui *Training of Trainers* (ToT) bagi 20 guru perwakilan MGMP Matematika SMP Kabupaten Bandung. Evaluasi kognitif guru mencatatkan nilai N-Gain sebesar 0,554 pada modul Hari Ke-1 dan 0,705 pada modul Hari Ke-2. Rerata efikasi pedagogis guru meningkat dari rentang awal 2,13–2,30 menjadi 3,86–4,02 pada skala 5,00. Implementasi Kit 3-in-1 Bit-Grid berbasis PDS menunjukkan potensi dalam mendukung pembelajaran siswa serta membekali guru dengan kesiapan diseminasi media pembelajaran di lingkup MGMP.

© 2021 Kantor Jurnal dan Publikasi UPI

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel:
Diterima 08 September 2026
Revisi Diterima
30 September 2026
Diterima 15 Oktober 2026
Tersedia online untuk pertama
27 Oktober 2026
Tanggal Publikasi
01 November 2026

Kata Kunci:
Aljabar;
Bit-Grid;
Pengolahan Citra Digital;
Manipulatif;
Scaffolding.

Implementation of 3-in-1 Bit-Grid Manipulatives Kit for Scaffolding Algebra Concepts Through Applied Digital Image Processing Enrichment for Mathematics Teachers

Trisna Gelar[1], Aprianti Nanda Sari[2], Iwan Awaludin[3], Nurjannah Syakrani[4], Yudi Widhiyasana[5], Maisevli Harika[6]

[1-6]Politeknik Negeri Bandung, Indonesia
Correspondence: E-mail:

ABSTRACT

Low conceptual understanding of algebra and computer laboratory constraints serve as primary barriers to improving student numeracy literacy. This community service project applies middle school algebra and geometry scaffolding through applied digital image processing (DIP) enrichment in an unplugged manner. The implementation utilized the Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)-based 3-in-1 Bit-Grid Manipulatives Kit, which integrates Algebra Tiles (variable modeling and Zero Pairs), Tangram (geometric decomposition and rasterization), and 3-Bit Color Tiles (pixel intensity codification from 0 to 7). The activity executed the Mentoring, Demonstration, and Simulation (MDS) model through Training of Trainers (ToT) for 20 teacher representatives from the Sub Rayon 1 Junior High School Mathematics Subject Teacher Forum (MGMP) of Bandung Regency. Teacher cognitive evaluation recorded N-Gain scores of 0.5704 on Day 1 modules and 0.7264 on Day 2 modules. The mean teacher pedagogical efficacy increased from an initial range of 2.13–2.30 to 3.86–4.02 on a 5.00 scale. The MDS-based implementation of the 3-in-1 Bit-Grid Kit demonstrates significant potential to support student learning and equips teachers with readiness for disseminating instructional media.

© 2021 Kantor Jurnal dan Publikasi UPI

ARTICLE INFO

Article History:
Submitted/Received
08 September 2026
First Revised 30 September 2026
Accepted 15 October 2026
First Available online
27 October 2026
Publication Date
01 November 2026

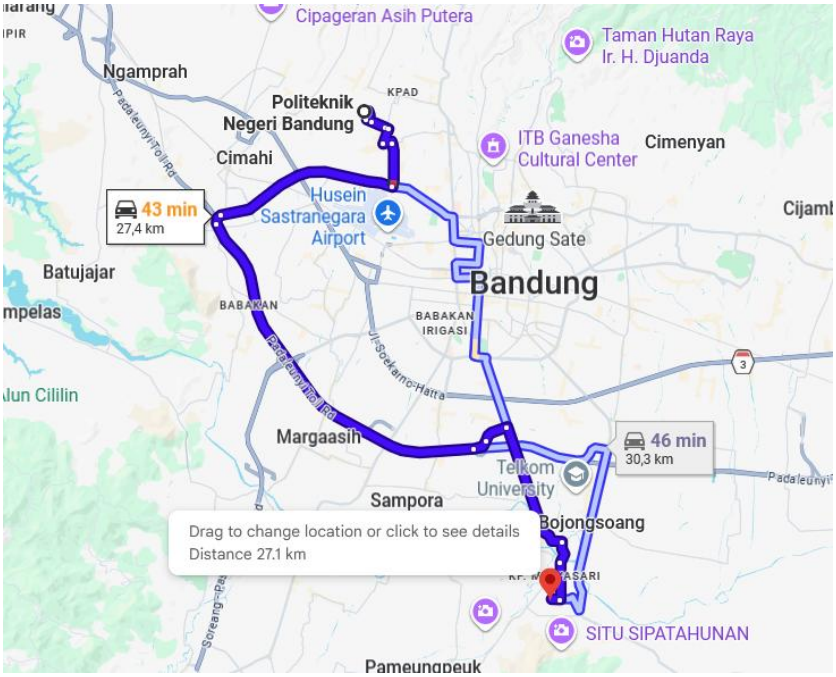
Keyword:
Algebra;
Bit-Grid;
Digital image processing;
Manipulatives;
Scaffolding.

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

1. PENDAHULUAN

1.1. Profil Mitra

Mitra sasaran dalam program Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini adalah Musyawarah Guru Mata Pelajaran (MGMP) Matematika SMP Kabupaten Bandung, yang bersekretariat di SMP Negeri 1 Baleendah, Jl. Adipati Agung No.29, Baleendah (27.4KM dari POLBAN).



Gambar 1. Jarak Mitra Sekretariat MGMP SMP Kab. Bandung dengan POLBAN

Cakupan wilayah mitra meliputi tiga kecamatan, yaitu Baleendah, Pameungpeuk, dan Dayeuhkolot, yang menaungi total 32 sekolah menengah pertama. Mitra berfungsi sebagai wadah profesional bagi para guru matematika untuk meningkatkan kompetensi pedagogi dan profesional melalui kegiatan workshop bedah soal, penyusunan instrumen evaluasi, serta diseminasi Kurikulum Merdeka.

Sejak tahun 2023, anggota mitra yang berbasis di sekolah inti (SMPN 1 Baleendah) telah terlibat aktif dalam program penguatan kompetensi *Computational Thinking* (CT) (Su & Yang, 2023), mencakup pelatihan desain instruksional dan penggunaan media *unpluged* (Sari, Gelar, Firdaus, et al., 2024; Sari, Gelar, Hayati, et al., 2024).

1.2. Analisis Situasi

Kesenjangan numerasi dan literasi digital menjadi tantangan mendasar dalam sistem pendidikan nasional di Indonesia. Kesenjangan tersebut masih menjadi tantangan nyata dalam sistem pendidikan abad ke-21, terutama dalam menyelaraskan antara integrasi teknologi di sekolah dengan kesiapan kompetensi instruksional guru yang memadai (Mariana & Nurjanah, 2023; Pan et al., 2025). Kondisi tersebut dialami oleh mitra program, yaitu MGMP Matematika SMP Kabupaten Bandung. Data evaluasi internal MGMP tahun 2025 mengungkapkan bahwa capaian siswa dalam literasi digital (*computational thinking*) masih bersifat sektoral dengan minimnya penyebaran praktik baik yang terpublikasi. Efektivitas pembelajaran juga dibatasi oleh rasio perangkat laboratorium komputer yang belum ideal (1:3). Guna mengatasi hambatan fisik laboratorium tersebut, Politeknik Negeri Bandung telah membangun program pengabdian berkelanjutan bersama salah satu sekolah anggota MGMP mitra, yaitu SMP Negeri 1 Baleendah. Pada periode sebelumnya, tim PkM Polban mengimplementasikan teknologi tepat guna *unplugged* berupa perangkat robot mouse dan

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

modular card mat untuk mendukung proyek kolaborasi antar-mata pelajaran (Gelar et al., 2026).



Gambar 2. Guru menggunakan Hexagon Chips dan Card Mat Modular.

Sebagai langkah keberlanjutan, program PkM tahun ini difokuskan secara spesifik pada topik Aljabar pada mata pelajaran Matematika melalui penguatan kapasitas guru di tingkat MGMP. Laporan Asesmen Nasional dan Tes Kemampuan Akademik (TKA) SMP di Kabupaten Bandung menunjukkan capaian numerasi masih rendah (rataan 39.87). Pada elemen capaian pembelajaran Matematika, Aljabar dan Geometri Spasial merupakan topik dengan tingkat kesulitan tertinggi bagi siswa. Fokus pembelajaran matematika di sekolah pada penguasaan prosedur tanpa pemahaman konseptual yang utuh (Mustopa et al., 2024). Siswa sering mempertanyakan relevansi dan aplikasi nyata dari materi aljabar yang dipelajari di kelas.

Dalam kurikulum Matematika SMP, materi seperti sistem bilangan, operasi aljabar, matriks, dan geometri dijelaskan secara hafalan atau abstrak pada siswa. Sebagai contoh Guru mengajarkan *"Rumus Pelangi"* atau ekspansi *First, Outside, Inside, Last* (FOIL) untuk perkalian suku dua (*binomial*), serta memorisasi rumus jarak koordinat (Antonio & López, 2024). Ketergantungan pada aturan hafalan tanpa representasi visual menimbulkan miskonsepsi pada siswa. Sebagai contoh, kesalahan konseptual berulang Ketika siswa menganggap ekspresi $(\boldsymbol{a}+\boldsymbol{b})^{\boldsymbol{2}}$ sama dengan $\boldsymbol{a^2}+\boldsymbol{b^2}$ karena tidak memahami konstruksi geometri luas area di balik persamaan tersebut(Reinschlüssel et al., 2018).

Untuk menjawab tantangan relevansi aljabar di dunia nyata, PCD menawarkan konteks pengayaan aplikatif, operasi matriks, sistem koordinat, dan fungsi aljabar menjadi fondasi utama teknologi komputasi visual. Contohnya, bagaimana titik koordinat dan matriks sederhana membentuk sebuah siluet objek (pixsel) (Reddy et al., 2023). Pendekatan *plugged* telah diterapkan untuk membantu memahami konsep abstrak, melalui integrasi aplikasi perangkat lunak, multimedia dan *mobile educational games*, simulator atau *interactive game* mampu meningkatkan keterlibatan dan minat belajar siswa (Ferreira et al., 2015; Natsupakpong & Suksawang, 2024; Puput Tri Anggara & Herman Dwi Surjono, 2023).

Namun, terdapat kesenjangan instruksional pada solusi *plugged* tersebut. Interaksi siswa dengan perangkat lunak atau gim edukasi digital umumnya bersifat *output-oriented*; siswa sekadar menggeser tombol atau mengaplikasikan filter visual otomatis tanpa memahami logika dibaliknya. Sebagai contoh bagaimana penjumlahan/pengurangan matriks digunakan untuk kecerahan gambar, bagaimana pasangan *Zero Pairs* aljabar mendasari penghapusan latar (*background removal*), serta bagaimana aturan pertidaksamaan linear (≥ dan <) bekerja sebagai pendeteksi tepi (*edge detection*) dan ekstraksi fitur (*feature extraction*). Pada Solusi *plugged* hal tersebut tetap tersembunyi di dalam *black box* perangkat digital yang abstrak (Videnovik et al., 2023).

Untuk mempermudah memahami konsep abstrak, diperlukan media perantara *unplugged* yang dapat merubah logika komputasi digital menjadi representasi fisik(Sala-Sebastià et al.,

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

2023). Kunci utama dari dekode visual, terletak pada integrasi dua jenis manipulatif dasar (*Algebra Tiles* dan *Tangram*) penggabungan ini memungkinkan siswa mengeksplorasi bagaimana konsep luas area, variabel, dan bentuk dasar bertransformasi menjadi koordinat sel dan matriks *pixel*. Implementasi komponen *Algebra Tiles* terbukti efektif meningkatkan pemahaman prinsip aljabar dasar melalui pemodelan luas area dan mekanisme *Zero Pairs* (Antonio & López, 2024). Di sisi lain, integrasi Tangram memberikan representasi taktil untuk materi geometri spasial, di mana dekomposisi bentuk kontinu ditransisikan secara intuitif menuju rasterisasi(Kmetová & Nagyová Lehocká, 2021; Lee et al., 2009).

Sebagai solusi teknologi tepat guna yang aplikatif bagi sekolah mitra, program ini tidak bertumpu pada perangkat lunak, tetapi prangkat *uplugged* Kit Manipulatif 3-in-1 *Bit-Grid*. Pendekatan melalui media taktil diadopsi untuk memberikan pengalaman belajar yang konkret berbasis *Concrete-Pictorial-Abstract* (CPA) (Looi et al., 2018). Penggunaan manipulatif ini memungkinkan siswa mengeksplorasi logika algoritma dan pemrosesan citra digital secara langsung (Murcia et al., 2025), selain itu menjembatani abstraksi aljabar dan geometri SMP dengan logika komputasional.

1.3 Tujuan dan Manfaat Kegiatan

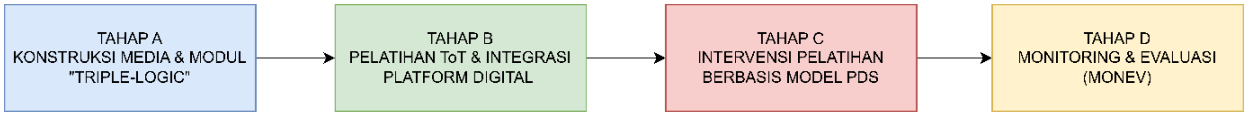
Berdasarkan analisis situasi dan permasalahan prioritas mitra, kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini bertujuan untuk:

1. Melakukan *scaffolding* pemahaman konseptual Aljabar dan Geometri SMP melalui penguatan kapasitas guru menggunakan Kit Manipulatif 3-in-1 Bit-Grid berbasis pendekatan CPA (Iyamuremye & Burns, 2025).
2. Menyajikan konteks PCD sebagai pengayaan terapan pembelajaran aljabar secara *unplugged*. Konsep PCD seperti matriks *pixel*, manipulasi kecerahan, *dan Local Binary Patterns* (LBP) difungsikan sebagai materi terapan untuk menjawab pertanyaan siswa mengenai relevansi aljabar di dunia nyata (Huang & Looi, 2020).
3. Menghasilkan inovasi pembelajaran yang berpotensi mendukung capaian pembelajaran siswa melalui kesiapan guru dalam mendiseminasikan master kit 3-in-1 Bit-Grid sebagai aset media pembelajaran bersama (*shared learning resources*) di lingkup MGMP Matematika Kabupaten Bandung (Gerosa et al., 2023; Jagust et al., 2018).

Manfaat utama dari kegiatan ini adalah terciptanya transisi media pembelajaran dari ketergantungan laboratorium PC (*PC-bound*) menjadi penggunaan media taktil dilingkungan MGMP.

2. METODE

Metode pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini dirancang secara sistematis melalui model Pendampingan, Demonstrasi, dan Simulasi (PDS) yang mengintegrasikan Kit Manipulatif 3-in-1 *Bit-Grid* dengan strategi *Training of Trainers* (ToT) bagi guru mitra.



Gambar 3. Diagram Pelaksanaan PkM Berbasis Model PDS yang Terintegrasi dengan Strategi Training of Trainers (ToT) Kit Bit-Grid 3-in-1.

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

Tahapan pelaksanaan meliputi empat fase utama:

A. Tahap Konstruksi Media dan Pengembangan Modul
   Fase awal difokuskan pada manufaktur 10 set master kit Bit-Grid berbahan akrilik presisi berbasis teknik *laser cutting*. Papan alas grid 17x12 dikalibrasi memiliki area aktif 15×10 dengan fitur *zero padding* pada tepiannya. Secara paralel, tim pelaksana menyusun materi utama dan panduan modul pelatihan berbasis pendekatan CPA yang terbagi dalam dua blok utama:
   1. Hari Ke-1 (Blok Aljabar & Matriks)
      Penggunaan *Algebra Tiles* untuk pemodelan luas area (*Area Model*) dan pembatalan nilai (*Zero Pairs*) sebagai dasar dari *Pixel Array* dan operasi citra (*Blending & Background Removal*).
   2. Hari Ke-2 (Blok PCD & Spasial *Pixel*)
      Dekomposisi bentuk *Tangram* untuk simulasi rasterisasi (>50% luas area), penggunaan *Kernel Frame* 3×3 untuk ekstraksi tekstur LBP via *pertidaksamaan linear* (≥ dan <), serta pengukuran Jarak Spasial (*Manhattan vs. Euclidean*).

B. Tahap Pelatihan ToT dan Integrasi Platform Digital Fase ini melibatkan pelatihan *Training of Trainers* (ToT) selama 2 hari bagi 20 guru perwakilan dari MGMP Matematika Kabupaten Bandung. Pelatihan difokuskan pada materi, demonstrasi interaktif, dan pendampingan hands-on.

C. Tahap Demonstrasi dan Simulasi Terbimbing (*Hands-On Workshop*) Pelaksanaan PDS difokuskan penuh di dalam forum pelatihan MGMP melalui dua tahapan utama:
   1. Demonstrasi Tim Pelaksana: Tim mendemonstrasikan cara kerja Kit Bit-Grid dalam menyimulasikan konsep aljabar dan pengayaan PCD secara bersamaan, diawali dengan sesi pemanasan game logika berbasis prinsip "*Calculating First, Acting Second*".
   2. Simulasi Terbimbing Guru: Guru melakukan simulasi mandiri secara berpasangan/kelompok menggunakan kit alat peraga. Guru menyimulasikan pengoperasian modul. Mulai dari peragaan ubin aljabar, pembentukan matriks warna 3-bit (0–7), hingga ekstraksi biner LBP. Untuk menguji pemahaman konseptual dan kesiapan teknis sebelum mendiseminasikannya di sekolah masing-masing.

D. Tahap Monitoring dan Evaluasi (Monev)
   Evaluasi dilakukan untuk mengukur efektivitas transfer teknologi PTTG dan peningkatan kapasitas guru melalui instrumen yang terukur:
   1. Analisis *Scaffolding* Kognitif Berjenjang (*N-Gain Score*): Mengukur peningkatan pemahaman konseptual dan logika numerasi digital guru melalui tes awal (*Pre-test*) dan tes akhir (Post-test) harian pada Hari Ke-1 (Aljabar Taktil & Dasar PCD) dan Hari Ke-2 (Spasial *Pixel*, LBP, & Pythagoras). Efektivitas penjenjangan kognitif (*scaffolding*) dianalisis menggunakan perhitungan skor N-Gain.
   2. Asesmen Efikasi Pedagogis & Kesiapan Diseminasi: Mengukur *efikasi* diri guru, kepercayaan diri pengoperasian alat peraga, persepsi relevansi pengayaan PCD, serta kesiapan sosialisasi mandiri di lingkungan sekolah asal/MGMP menggunakan instrumen Skala Likert 5-Tingkat.

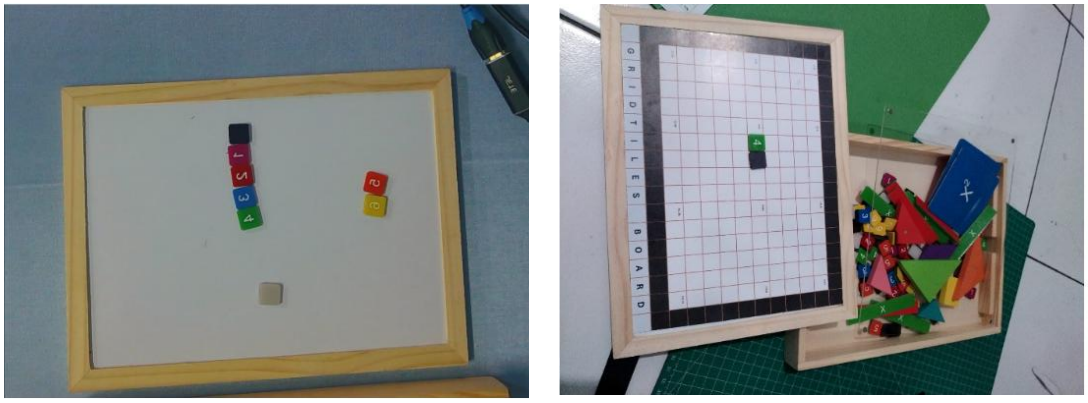
DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konstruksi Media dan Pengembangan Modul

Untuk menjembatani abstraksi aljabar dan geometri SMP ke dalam aplikasi PCD secara *unplugged*, Kit Manipulatif Bit-Grid dirancang menggunakan tiga komponen taktil utama yang terintegrasi di atas sebuah papan magnet (*Grid Tiles Board*):

1. Konstruksi *Grid Tiles Board* dan Batas Spasial(17x12)
   - Struktur fisik Grid Tiles Board berukuran 17×12 dirancang memiliki area utama/aktif sebesar 15×10 di bagian tengah, dengan 1 jalur/bingkai di bagian terluar yang difungsikan untuk penempatan *Zero Padding*.
   - Secara konseptual, batas fisik ini membatasi domain dan luas area *working frame*. Dalam komputasi visual, penataan *zero padding* ini dapat dianalogikan sebagai strategi *boundary handling* agar operasi konvolusi kernel 3×3 di area tepi matriks pixel tidak *out of bounds*.



Gambar 4. Konstruksi *Living Board* $\mathbf{16} \times \mathbf{11}$ dengan Area Aktif $\mathbf{15} \times \mathbf{10}$.

2. Integrasi Algebra Tiles (Logika Variabel & Zero Pairs)
   - Spesifikasi taktil menggunakan set ubin akrilik dua sisi (*Smart-Flip*) yang merepresentasikan x^2 (*Large Square*), x (*Rectangle*), dan unit 1 (*Small Square*). Sisi terang melambangkan nilai positif $(+)$ dan sisi merah/gelap melambangkan nilai negatif $(-)$ (Stemele & Jina Asvat, 2024).
   - Peran konseptual digunakan untuk *scaffolding* ekspansi binomial dan faktorisasi kuadrat melalui *Area Model*. Mekanisme pembatalan nilai (+1 dan -1 saling meniadakan) secara taktil melatih hukum Invers Aditif (*Zero Pairs*), yang menjadi logika dasar fungsi pembatalan nilai dan eliminasi latar (*background removal*) pada citra digital.



Gambar 5. Pemodelan Aljabar dan Pasangan Nol (Zero Pairs) Menggunakan Algebra Tiles Dua Sisi

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

3. Integrasi Tangram (Logika Dekomposisi Geometri & Spasial)
   - Spesifikasi taktil menggunakan 7 keping geometri datar (5 segitiga, 1 persegi, 1 jajar genjang) yang dapat ditata di atas *Grid Tiles Board* dengan bantuan kertas grid.
   - Peran konseptual untuk Melatih dekomposisi bentuk kontinu. Ketika siluet Tangram diletakkan di atas grid koordinat (i, j), guru dan siswa mensimulasikan Rasterisasi menggunakan Aturan Keputusan $> 50\%$ Luas Area. Jika kepingan menutup lebih dari 50% sel grid, *pixel* dinyatakan aktif; jika kurang, *pixel* dianggap latar (0).



Gambar 6. Simulasi Rasterisasi Objek Tangram pada Koordinat (i, j) Berdasarkan Aturan Area $> 50\%$.

4. Kodifikasi Spektrum Warna 3-Bit ($2^3 = 8$ Tingkat Intensitas)
   - Konstruksi Warna: Untuk merepresentasikan derajat kecerahan (brightness) citra digital tanpa komputer, Bit-Grid membagi spektrum biner 3-bit (000 hingga 111) menjadi 8 tingkat warna fisik taktil dari 0 sampai 7 (hitam, ungu, merah, biru, hijau oranye, kuning dan putih).
     Dengan pemetaan 8 warna ini, operasi aritmatika aljabar sederhana langsung memiliki padanan visual fisik. Penjumlahan sel (misal: $2\,\text{Merah} + 3\,\text{Biru} = 5\,\text{Oranye}$) memvisualisasikan pencerahan foto (blending). Jika hasil penjumlahan > 7, warna tertahan di nilai $7\,(\text{Putih Susu})$, yang secara konkret menjelaskan konsep Saturasi Citra.
5. Modul pelatihan berbasis pendekatan CPA.

Tabel 1 Pemetaan Konseptual Aljabar SMP ke Logika PCD.

Topik Matematika SMP	**Konsep Taktil Kit Bit-Grid (CPA)**	**Istilah & Logika Pengayaan PCD**	**Aplikasi / Relevansi Dunia Nyata**
Sistem Bilangan & Operasi Dasar	Menggunakan ubin keabuan berangka 0 (Hitam) sampai 7 (Putih).	Direpresentasikan sebagai penyederhanaan konseptual Spektrum Sinyal 3-Bit / Intensitas Pixel ($\mathbf{2^3 = 8}$ tingkat warna).	Visualisasi dasar tingkat keabuan (*grayscale*) pada citra digital.
Aljabar: Invers Aditif ($a - a = 0$)	Memasangkan ubin $+x$ dan $-x$ (*Zero Pairs*) lalu diangkat dari papan.	Dianalogikan dengan prinsip dasar pengurangan citra	Memahami konsep dasar pemisahan latar (*background removal*) dan deteksi

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

		(*image subtraction*) atau eliminasi objek. Dianalogikan dengan operasi *Blending & Saturation* ($I_{out} = \min(I_1 + I_2, 7)$).	gerakan pada CCTV secara konseptual. Memahami bagaimana pencampuran dua lapisan citra bekerja dan bagaimana nilai pixel dibatasi maksimumnya.
Aljabar: Penjumlahan Suku Sejenis	Menumpuk ubin nilai positif pada sel yang sama.		
Geometri: Koordinat & Luas Area	Menata keping Tangram di atas Grid Tiles Board 17×12.	Digunakan sebagai penyederhanaan konseptual Rasterisasi Pixel (Aturan Keputusan $> \mathbf{50}\%$ Luas Area).	Konversi representasi bentuk vektor kontinu menjadi format raster/pixel digital.
Pertidaksamaan Linear ($\geq dan <$)	Menggeser Kernel Frame 3×3 dan membandingkan sel sekitar terhadap pusat ($T_i \geq P$).	Dianalogikan dengan mekanisme dasar deskriptor tekstur (*Local Binary Patterns* / LBP).	Pengenalan fitur lokal, tekstur, sudut, dan ekstraksi pola permukaan citra.
Teorema Pythagoras ($c = \sqrt{a^2 + b^2}$)	Menghitung jarak langkah lurus vs diagonal antar-sel koordinat.	Dianalogikan dengan perhitungan Jarak Spasial (*Euclidean vs. Manhattan Distance*).	Estimasi jarak antar-pixel dan analisis kedekatan objek pada citra.

3.3 Implementasi Pelatihan ToT Berbasis Model PDS

Fase intervensi PkM dilaksanakan melalui skema Training of Trainers (ToT) selama dua hari (29 Agustus 2026 dan 5 September 2026) yang melibatkan 20 guru perwakilan dari MGMP Matematika SMP Kabupaten Bandung. Pelatihan dirancang secara terstruktur berbasis pendekatan PDS (Pendampingan, Demonstrasi, dan Simulasi) untuk mengalirkan materi secara gradual dari permainan logika spasial hingga abstraksi komputasi visual.

Tabel 2 Matriks Pelaksanaan Pelatihan ToT Berbasis Kerangka PDS

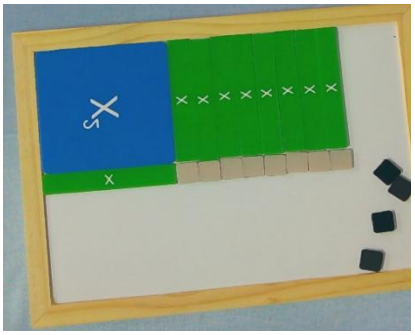
Hari / Tanggal	Siklus Model PDS	Aktivitas Utama & Konten Taktil Kit Bit-Grid	Luaran & Media
Hari 1 *(29 Agt 2026)*	**Apersepsi**	Asesmen *baseline experience* dan efikasi pedagogis awal.	Lembar Pre-Test H1.
	Demonstrasi (D)	Peragaan tim: Pemanasan game logika *"Calculating First"* dan eksplorasi *Algebra Tiles* $(x^2, x, 1)$	*Spatial Games* & Kit *Smart-Flip*.
	Simulasi (S)	Guru menyimulasikan pemodelan *Area Model*, *Zero Pairs* ke koordinat sel matriks (i, j)	*Grid Tiles Board* 17×12.

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

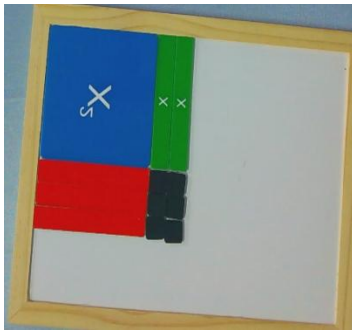
	Pendampingan (P)	*Coaching* tim pelaksana saat guru mengalami miskonsepsi manipulasi ubin serta diskusi refleksi H1.	Lembar Refleksi H1.
Hari 2 *(5 Sep 2026)*	**Apersepsi**	Review materi Hari 1 dan asesmen spasial *pixel* awal.	Lembar Pre-Test H2.
	Demonstrasi (D)	Peragaan tim: Dekomposisi geometri *Tangram* (rasterisasi $> 50\%$) dan operasi aritmatika citra hibrida.	*Tangram* & Kit Warna 3-Bit $(0-7)$.
	Simulasi (S)	Guru menyimulasikan operasi *Kernel* 3×3, ekstraksi biner LBP $(\geq, <)$, dan kalkulasi Jarak Pythagoras.	*Kernel Frame* 3×3.
	Pendampingan (P)	Evaluasi *post-test*, *coaching* kesiapan diseminasi, dan sosialisasi platform digital komputasikreatif.id.	Post-Test & Platform Digital.



Gambar 7a. Sesi pemanasan metakognitif.



Gambar 7b. hands-on pemodelan ekspansi binomial



Gambar 7c. hands-on pemodelan ekspansi binomial dengan negasi

Gambar 7 memvisualisasikan alur sintaks model PDS (Pendampingan, Demonstrasi, dan Simulasi) yang diterapkan selama dua hari pelatihan ToT. Gambar 7a hingga 3.2c memperlihatkan transisi awal pada Hari Ke-1, di mana tim memberikan Demonstrasi permainan logika untuk membiasakan prinsip calculating first, dilanjutkan dengan Simulasi guru dalam memanipulasi Algebra Tiles untuk mengikis miskonsepsi rumus pelangi.

Selanjutnya, Gambar 8a hingga 8c mengilustrasikan pendalaman materi pada Hari Ke-2, di mana guru melakukan Simulasi mandiri rasterisasi Tangram dan ekstraksi biner LBP berbasis pertidaksamaan linear ($\geq$ dan $<$). Selama simulasi berlangsung, tim memberikan Pendampingan (coaching) langsung untuk mengoreksi kekeliruan manipulasi taktil, lalu diakhiri dengan evaluasi Post-Test.

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990



Gambar 8a. Simulasi rasterisasi siluet Tangram



Gambar 8b. Peragaan Kernel Frame 3×3 untuk ekstraksi LBP.



Gambar 8c. Peragaan Kernel Frame 3×3 untuk ekstraksi Jarak Pixel

3.4 Monitoring dan Evaluasi (Monev)

Evaluasi kegiatan menggunakan instrumen tes tertulis dan angket skala Likert yang terbagi dalam dua sesi harian. Evaluasi kognitif diukur menggunakan soal tes terstruktur (5 butir soal pada Hari Ke-1 dan 4 butir soal pada Hari Ke-2) yang mencakup ranah pemahaman konseptual dan penalaran numerasi terapan. Sementara itu, efikasi pedagogis dan kesiapan guru diukur menggunakan angket Skala Likert 5 tingkat (rentang 1 sampai 5) dengan total 14 indikator pada Hari Ke-1 dan 15 indikator pada Hari Ke-2, yang mencakup aspek kepercayaan diri pengoperasian media, pemahaman konseptual, dan kesiapan diseminasi.

Untuk mengukur efektivitas intervensi pelatihan berbasis model Pendampingan, Demonstrasi, dan Simulasi (PDS), tim pelaksana melakukan analisis kuantitatif dan kualitatif berdasarkan dua dimensi utama, yaitu *scaffolding* kognitif berjenjang dan efikasi pedagogis guru. Efektivitas penjenjangan kognitif (*scaffolding*) dianalisis menggunakan perhitungan skor *Normalized Gain* ($\boldsymbol{N\text{-}Gain}$) yang dihitung berdasarkan rumus Hake:

$$N\text{-}Gain = \frac{\text{Skor Post-test} - \text{Skor Pre-test}}{\text{Skor Ideal Maksimal} - \text{Skor Pre-test}}$$

Kategori perolehan skor dinilai berdasarkan kriteria standar: $\boldsymbol{g \geq 0.70}$ (Tinggi), $\boldsymbol{0.30 \leq g < 0.70}$ (Sedang), dan $\boldsymbol{g < 0.30}$ (Rendah).

Tabel 3 Rekapitulasi Capaian Scaffolding Kognitif dan Efikasi Pedagogis Guru(N=20)

Dimensi Evaluasi	Indikator Modul / Aspek Ukur	Rerata Pre-Test	Rerata Post-Test	Delta (Δ)	Skor	Interpretasi
1. Scaffolding Kognitif Berjenjang	Modul Hari 1: Aljabar Taktil & Dasar PCD	58.00	81.25	+23,25	0,5504	Sedang
	Modul Hari 2: Spasial *Pixel*, LBP & Pythagoras	67.75	90.50	+22,75	0,7054	Tinggi

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

2. Efikasi Pedagogis & Kesiapan ToT	Kepercayaan Diri Pengoperasian Kit Bit-Grid	2.25	4.0	+1,75	4,00/5,00	Tinggi
	Keyakinan Mereduksi Miskonsepsi Siswa	2.30	4.02	+1,72	4.02/ 5.00	Tinggi
	Persepsi Relevansi Pengayaan PCD	2.13	3.86	+1,73	3.86 / 5.00	Tinggi
	Kesiapan Diseminasi Mandiri di MGMP	2.19	3.91	+1,72	3.91 / 5.00	Tinggi

Berdasarkan rekapitulasi data evaluasi pada Tabel 3, intervensi pelatihan berbasis model Pendampingan, Demonstrasi, dan Simulasi (PDS) menunjukkan peningkatan yang konsisten pada seluruh dimensi pengukuran, baik pada aspek kognitif berjenjang maupun efikasi pedagogis guru.

Pada dimensi *scaffolding* kognitif, penilaian tes harian mencatatkan nilai $\boldsymbol{N\text{-}Gain}$ sebesar 0,554 (kategori Sedang) pada Modul Hari Ke-1 (Aljabar Taktil & Dasar PCD). Capaian ini menunjukkan bahwa guru dapat beradaptasi dengan baik terhadap penggunaan media *algebra tiles* dan pemetaan koordinat dasar. Selanjutnya, pada Modul Hari Ke-2 (Spasial Pixel, LBP, & Pythagoras), nilai $\boldsymbol{N\text{-}Gain}$ meningkat menjadi 0,705 (kategori Tinggi). Berdasarkan perbandingan antarmodul tersebut, peningkatan kategori dari sedang ke tinggi mencerminkan penguasaan materi yang semakin matang seiring dengan pengalaman manipulatif berkelanjutan yang difasilitasi melalui penggunaan grid koordinat $(\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j})$ dan kerangka kernel $\boldsymbol{3 \times 3}$.

Peningkatan rerata efikasi pedagogis dari kondisi awal $(2{,}13 - 2{,}30)$ menjadi $3{,}86 - 4{,}02$ pada tes akhir menunjukkan bahwa kombinasi Kit Bit-Grid 3-in-1 dan pendekatan PDS meningkatkan kapasitas guru. Intervensi ini membekali guru dengan keterampilan pengoperasian media, pemahaman konseptual yang berpotensi mengurangi miskonsepsi kemampuan aljabar siswa, serta kesiapan diseminasi di lingkup MGMP.

4. KESIMPULAN

Implementasi Kit Manipulatif 3-in-1 Bit-Grid berbasis pendekatan Pendampingan, Demonstrasi, dan Simulasi (PDS) menunjukkan peningkatan pemahaman konseptual aljabar dan pengayaan Pengolahan Citra Digital (PCD) serta efikasi pedagogis guru MGMP Matematika SMP Kabupaten Bandung. Peningkatan kompetensi kognitif guru terkonfirmasi melalui capaian skor N-Gain yang berpindah dari kategori sedang pada materi konvergensi aljabar dan dasar PCD menjadi kategori tinggi pada materi spasial *pixel*, LBP, perhitungan dan jarak *pixel*. Transisi capaian ini menunjukkan bahwa media taktil unplugged efektif menjembatani abstraksi aljabar sekolah menuju representasi matriks digital. serta berpotensi kuat untuk mendukung pembelajaran siswa melalui kesiapan diseminasi guru di lingkungan sekolah mitra.

Sebagai agenda pengabdian dan pengembangan berikutnya, pengenalan awal PCD direkomendasikan untuk direkayasa ulang dengan tidak langsung menerapkan operasi aritmetika dan logika keabuan 3-bit. Pembelajaran berbasis *scaffolding* dimulai dari domain citra biner 1-bit (hitam dan putih) menggunakan kerangka matriks 3×3 untuk mensimulasikan operasi tetangga, masking dasar, dan deteksi tepi sederhana. Pendekatan

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990

bertahap ini diharapkan dapat mereduksi beban kognitif awal sebelum guru atau siswa ditransisikan ke skala intensitas warna yang lebih kompleks.

5. UCAPAN TERIMAKSIH

Pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini didukung oleh pendanaan DIPA Politeknik Negeri Bandung melalui skema Program Teknologi Tepat Guna (PTTG) berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksanaan PKM Nomor 233.8/R7/PE.08.01/2026 dari P3M POLBAN. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan dan para guru anggota MGMP Matematika SMP Sub Rayon 1 Kabupaten Bandung atas kerja samanya sebagai mitra sasaran.

6. CATATAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan terkait penerbitan artikel ini. Penulis menegaskan bahwa artikel ini bebas dari plagiarisme.

7. DAFTAR PUSTAKA

Antonio, J., and López, N. (2024). *Enhancing the acquisition of basic algebraic principles using algebra tiles*. *20*(7).

Ferreira, J., Pedro, M., and Correia, N. (2015). Geometry in the Real World: Mobile Image Processing for Educational Games. *Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*, 227–236.

Gelar, T., Firdaus, L. H., dan Rullyana, G. (2026). Peningkatan Kompetensi Abstraksi dan Dekomposisi Computational Thinking Melalui LKPD Digital dan Card Mat Modular bagi Guru SMPN 1 Baleendah. *Jurnal Pengabdian UNDIKMA*, *7*(2), 629–641.

Gerosa, A., Kallia, M., and Cutts, Q. (2023). A Systematic Literature Review on Physical and Action Based Activities in Computing Education for Early Years and Primary. *ACM International Conference Proceeding Series*, *September 2023*.

Huang, W., and Looi, C. K. (2020). A critical review of literature on "unplugged" pedagogies in K-12 computer science and computational thinking education. *Computer Science Education*, *00*(00), 1–29.

Iyamuremye, E., and Burns, D. (2025). Concrete-Pictorial-Abstract instruction: enhancing students' learning motivation and achievement in mathematics. *Cogent Education*, *12*(1).

Jagust, T., Krzic, A. S., Gledec, G., Grgic, M., and Bojic, I. (2018). Exploring Different Unplugged Game-like Activities for Teaching Computational Thinking. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, *2018-Octob*.

Kmetová, M., and Nagyová Lehocká, Z. (2021). Using Tangram as a Manipulative Tool for Transition between 2D and 3D Perception in Geometry. *Mathematics*, *9*(18), 2185.

Lee, J., Lee, J. O., and Collins, D. (2009). Enhancing Children's Spatial Sense Using Tangrams. *Childhood Education*, *86*(2), 92–94.

Mariana, R. R., and Nurjanah, N. (2023). Teacher Digital Literacy and Instructional Innovation in Southeast Asia: Comparative Insights from Global Educational Systems. *Sinergi International Journal of Education*, *1*(3), 121–137.

Mustopa, R. A., Damamaianti, V. S., Mulyati, Y., and Anshori, D. S. (2024). *Challenges of Reading Literacy Assessment in the Digital Age* (Issue Icollite 2023, pp. 408–416). Atlantis Press International BV.

Natsupakpong, S., and Suksawang, S. (2024). *Learning Image Processing Contents Through Game* (pp. 47–57).

Pan, Q., Reichert, F., Liang, Q., de la Torre, J., and Law, N. (2025). Measuring digital literacy across ages and over time: Development and validation of a performance-based assessment. *Education and Information Technologies*, *30*(15), 22065–22100.

Puput Tri Anggara, and Herman Dwi Surjono. (2023). Using Multimedia Interactive Learning Informatics Materials in Junior High Schools on Increasing Students' Cognitive Abilities. *Journal of Education Technology*, *7*(3), 572–580.

Reddy, P., Chaudhary, K., and Hussein, S. (2023). A digital literacy model to narrow the digital literacy skills gap. *Heliyon*, *9*(4), e14878.

Reinschlüssel, A., Alexandrovsky, D., Döring, T., Kraft, A., Braukmüller, M., Janßen, T., Reid, D., Vallejo, E., Bikner-ahsbahs, A., and Malaka, R. (2018). *Multimodal Algebra Learning : From Math Manipulatives to Tangible User Interfaces*. *17*(3), 201–209.

Sala-Sebastià, G., Breda, A., Seckel, M. J., Farsani, D., and Alsina, À. (2023). Didactic–Mathematical–Computational Knowledge of Future Teachers When Solving and Designing Robotics Problems. *Axioms*, *12*(2).

Sari, A. N., Gelar, T., Firdaus, L. H., Hayati, H., and Hodijah, A. (2024). Training development of instructional design teaching materials based educational robots with ADDIE method in SMP Negeri 1 Baleendah. *TEKMULOGI: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, *4*(2), 107–122.

Sari, A. N., Gelar, T., Hayati, H., Firdaus, L. H., Hodijah, A., dan Alifi, M. R. (2024). Pelatihan Pembelajaran Computational Thinking Untuk Guru SMP 1 Negeri Baleendah. *ABDIMAS IPTEK*, *4*(1), 50.

Stemele, B. P., and Jina Asvat, Z. (2024). Exploring Learner Errors and Misconceptions in Algebraic Expressions with Grade 9 Learners Through the use of Algebra Tiles. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, *28*(1), 153–170.

Su, J., and Yang, W. (2023). A systematic review of integrating computational thinking in early childhood education. *Computers and Education Open*, *4*(January), 100122.

Videnovik, M., Vold, T., Kiønig, L., Madevska Bogdanova, A., and Trajkovik, V. (2023). Game-based learning in computer science education: a scoping literature review. *International Journal of STEM Education*, *10*(1).

DOI: https://doi.org/10.17509/tmg.v6i2.105910
p-ISSN:2777-1199 | e-ISSN:2777-0990