Rengganis Jurnal Pengabdian Masyarakat
Volume 6 Nomor 2, November 2026
e-ISSN 2797-1694 | | p-ISSN 2797-1708
https://mathjournal.unram.ac.id/index.php/Rengganis/index

Penguatan *Scaffolding* Guru Berbasis TPACK melalui Media Quadrazzle untuk Berpikir Kritis Siswa

Diar Veni Rahayu[1*], Puji Lestari[2], Nani Ratnaningsih[3], Sri Tirto Madawistama[4], Evi Herayani[5], Dede Suwardi[6]

[1,2,3,4] Pendidikan Matematika, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya
[5,6] Mahasiswa Pendidikan Matematika, Program Pascasarjana, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya

diarvenirahayu@unsil.ac.id

Abstract

Mathematics learning on factoring quadratic equations at a boarding-based junior high school in Tasikmalaya Regency tended to be procedural and textbook-driven, while teachers were not yet confident in integrating technology into their pedagogy. This community service program aimed to strengthen teachers' TPACK-based scaffolding skills using Quadrazzle, a digital algebra-tile puzzle game, in order to foster students' critical thinking. The program adopted a Learning by Design approach delivered in five stages: socialization, workshop, guided technology implementation, in-class coaching and evaluation, and program sustainability. The participants were 5 mathematics teachers (in-class coaching was conducted with one of them, G1) and 20 ninth-grade students. Data were collected through a TPACK pre-test and post-test, scaffolding observation sheets, lesson-design portfolios, and observations of students' critical thinking, and were analyzed descriptively and using normalized gain. The results showed a mean N-gain of 0.93 (93.33%) in teachers' TPACK, categorized as high, with individual N-gain values ranging from 0.67 to 1.00 (SD = 0.149). In two in-class coaching meetings with one teacher (G1), the teacher began to provide graduated support, for example by adding green and red x-tiles step by step to help students understand zero pairs at the Pro level, so that students' logical arguments and self-corrections appeared more frequently during factoring tasks. The Adaptive Hint System helped teachers provide graduated support without giving answers directly. This program can serve as a model of continuous professional development for technology-integrated instruction on factoring quadratic equations.

Keywords: scaffolding; TPACK; Quadrazzle; critical thinking; algebraic factoring

Abstrak

Pembelajaran matematika pada materi pemfaktoran persamaan kuadrat di sebuah SMP berbasis asrama di Kabupaten Tasikmalaya cenderung prosedural dan bergantung pada buku teks, sementara guru belum percaya diri mengintegrasikan teknologi ke dalam pedagogi. Pengabdian ini bertujuan menguatkan keterampilan scaffolding guru berbasis TPACK menggunakan Quadrazzle, sebuah permainan puzzle blok aljabar digital, untuk menumbuhkan kemampuan berpikir kritis siswa. Kegiatan menggunakan pendekatan Learning by Design yang dilaksanakan dalam lima tahap, yaitu sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi secara terbimbing, pendampingan dan evaluasi di kelas, serta keberlanjutan program. Peserta kegiatan terdiri atas 5 guru matematika (pendampingan di kelas dilakukan bersama satu guru, yaitu G1) dan 20 siswa kelas IX. Data dikumpulkan melalui pre-test dan post-test TPACK, lembar observasi scaffolding, portofolio rancangan pembelajaran, serta observasi berpikir kritis siswa, kemudian dianalisis secara deskriptif dan dengan N-gain. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata N-gain kemampuan TPACK guru sebesar 0,93 (93,33%) dengan kategori tinggi, dengan rentang N-gain individu 0,67 sampai 1,00 (SD = 0,149). Pada dua pertemuan pendampingan di kelas bersama satu guru (G1), guru tersebut mulai memberikan bantuan secara bertahap dengan menambahkan blok x hijau dan merah secara bertahap agar siswa memahami pasangan nol (*zero pair*) pada level Pro, sehingga argumen logis dan koreksi mandiri siswa lebih sering muncul saat menyelesaikan tugas pemfaktoran. Fitur Adaptive Hint System membantu guru memberikan bantuan bertahap tanpa memberikan jawaban secara langsung. Program ini dapat menjadi model pengembangan keprofesian berkelanjutan untuk pembelajaran pemfaktoran persamaan kuadrat yang terintegrasi teknologi.

Kata Kunci: *scaffolding*; TPACK; Quadrazzle; berpikir kritis; pemfaktoran persamaan kuadrat

1. PENDAHULUAN

Matematika berperan penting dalam membangun nalar logis dan sistematis siswa. Salah satu kompetensi yang menjadi gerbang menuju konsep matematika tingkat lanjut adalah pemfaktoran bentuk kuadrat, karena keterampilan ini menjadi prasyarat untuk menyelesaikan persamaan kuadrat, menganalisis fungsi kuadrat, dan memodelkan masalah kontekstual. Kajian pada materi persamaan kuadrat menunjukkan bahwa siswa dapat mengidentifikasi metode pemfaktoran, tetapi masih memerlukan pendalaman dalam menjelaskan konsep secara sistematis dan cenderung kembali pada cara-cara konvensional (Alimuddin et al., 2024). Kondisi ini mengindikasikan bahwa pemfaktoran sering dikuasai sebagai prosedur, bukan sebagai hubungan bermakna antara representasi geometris (luas persegi panjang) dan representasi simbolis (hasil kali dua faktor linear). Alat peraga blok aljabar telah lama digunakan untuk menjembatani kedua representasi tersebut (Ariyanti & Husni, 2019).

Kesenjangan antara tuntutan kurikulum dan praktik pembelajaran juga ditemukan pada mitra pengabdian, yaitu SMP Quranic Science Boarding School, sebuah SMP berbasis asrama di Kabupaten Tasikmalaya yang mengintegrasikan nilai *Quranic Science* dengan pendekatan *discovery learning*. Mitra memiliki potensi berupa lingkungan belajar yang disiplin dan motivasi akademik siswa yang tinggi. Namun, studi pendahuluan menunjukkan bahwa pembelajaran pemfaktoran masih bergantung pada buku teks yang bersifat mekanistik, didominasi pola pasif-auditori, dan minim visualisasi, sehingga siswa kesulitan pada aspek teknis yang fundamental, seperti ketepatan tanda positif dan negatif. Guru memiliki penguasaan konten yang baik dan fasilitas laboratorium komputer telah tersedia, tetapi guru belum percaya diri memadukan teknologi dengan strategi pedagogis. Intervensi yang diberikan kepada siswa yang mengalami kesulitan pun cenderung berupa pemberian jawaban secara langsung.

Profil siswa asrama menambah kompleksitas permasalahan. Jadwal kegiatan keagamaan dan akademik yang padat dari pagi hingga malam membuat siswa rentan mengalami kelelahan mental saat mempelajari materi yang abstrak. Teori beban kognitif menjelaskan bahwa informasi baru diproses oleh memori kerja yang kapasitas dan durasinya terbatas, sehingga desain pembelajaran perlu mengurangi beban kognitif ekstraneus agar sumber daya mental dapat dialokasikan untuk membangun skema (Sweller et al., 2019). Dengan waktu belajar yang terbatas dan akses perangkat yang hanya tersedia di laboratorium, mitra membutuhkan media yang efisien, intensif, dan menyenangkan, disertai guru yang terampil memanfaatkannya secara pedagogis.

Kerangka *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) menegaskan bahwa integrasi teknologi yang efektif tidak cukup dengan menguasai teknologi, pedagogi, dan konten secara terpisah, melainkan menuntut pemahaman tentang interaksi ketiganya (Mishra & Koehler, 2006). Dalam praktiknya, guru menggunakan sejumlah kerangka pertimbangan desain ketika merancang pembelajaran berbasis TPACK (Koh & Chai, 2016). Salah satu bentuk pedagogi yang dapat diperkuat melalui teknologi adalah

scaffolding, yaitu bantuan sementara yang disesuaikan dengan kebutuhan siswa dan dikurangi secara bertahap (*fading*) seiring meningkatnya kemandirian. Meta-analisis terhadap 144 studi eksperimen menunjukkan bahwa *scaffolding* berbasis komputer efektif meningkatkan capaian kognitif pada pembelajaran STEM (Belland et al., 2017). Di sisi lain, pembelajaran berbasis permainan digital juga menunjukkan pengaruh positif terhadap hasil belajar matematika (Byun & Joung, 2018), meskipun besarnya pengaruh bervariasi antarstudi (Tokac et al., 2019). Variasi tersebut menunjukkan bahwa manfaat media digital sangat bergantung pada cara guru mengorkestrasikannya di kelas.

Sejumlah kegiatan pengabdian telah berupaya meningkatkan kompetensi TPACK guru. Muhtadi et al. (2024) melatih 30 guru sekolah dasar di Kecamatan Cisayong, Kabupaten Tasikmalaya, dalam merancang pembelajaran matematika berbasis TPACK dengan *applet* GeoGebra dan melaporkan peningkatan pemahaman peserta dari 49,17% menjadi 91,83%. Kegiatan serupa dilakukan melalui pelatihan TPACK bagi guru sekolah dasar pada pembelajaran matematika (Ahmad et al., 2022), penyusunan perangkat pembelajaran berbasis TPACK (Zanthy et al., 2022), pengembangan *micro learning object* berbasis TPACK bagi guru SMA (Surahman et al., 2020), dan pengembangan modul ajar Kurikulum Merdeka berbasis TPACK (Nuraini et al., 2023). Pada materi aljabar, Ariyanti dan Husni (2019) melatih guru SMP menggunakan blok aljabar fisik untuk mengajarkan pemfaktoran persamaan kuadrat.

Pendampingan guru dalam memanfaatkan aplikasi pembelajaran juga telah dilaporkan. Meutia et al. (2026) mendampingi 17 guru taman kanak-kanak dalam menggunakan aplikasi Wordwall dan melaporkan bahwa guru mampu memanfaatkan inovasi pembelajaran berbasis teknologi dalam proses pembelajaran di kelas serta kompetensi teknologi guru meningkat. Namun, kegiatan tersebut berfokus pada penggunaan aplikasi dan perancangan pembelajaran dari templat, belum pada keterampilan memberikan bantuan bertahap saat siswa bekerja. Masih jarang pengabdian yang melatih keterampilan guru dalam memberikan *scaffolding* secara langsung saat siswa bekerja, yaitu kapan harus mengintervensi dan kapan harus mengurangi bantuan, dengan memanfaatkan manipulatif digital yang memiliki sistem petunjuk bertingkat dan secara eksplisit diarahkan pada berpikir kritis siswa. Kebaruan pengabdian ini terletak pada integrasi kerangka TPACK, strategi *scaffolding* bertahap, dan media Quadrazzle yang dikembangkan tim pengusul, yang dipadukan dengan pendampingan di kelas (*in-class coaching*) dalam konteks sekolah berbasis asrama yang memiliki keterbatasan waktu belajar.

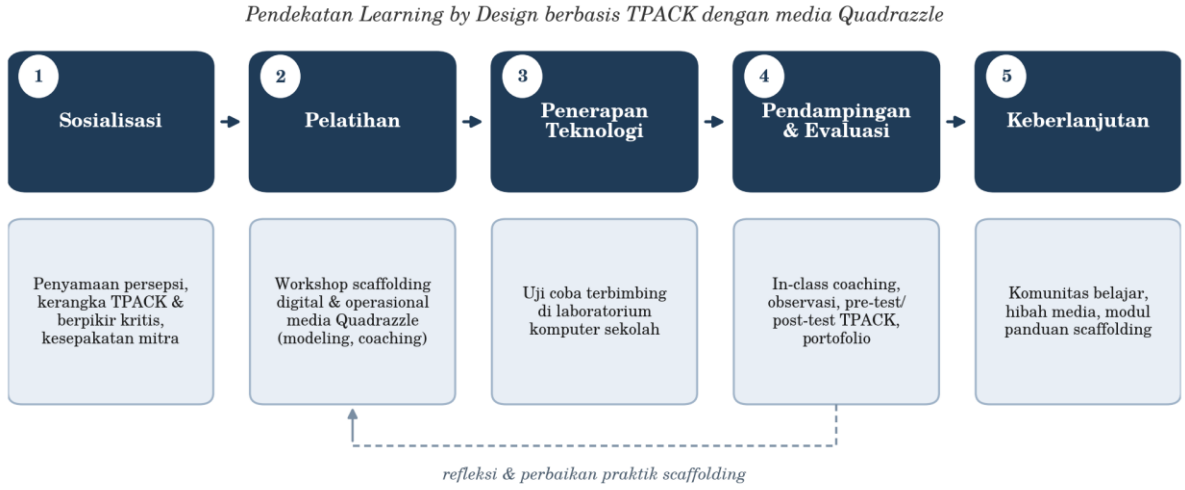
Berdasarkan uraian tersebut, pengabdian ini bertujuan untuk menguatkan keterampilan *scaffolding* guru berbasis TPACK melalui pemanfaatan media Quadrazzle guna menumbuhkan kemampuan berpikir kritis siswa pada materi pemfaktoran. Hasil yang diharapkan adalah meningkatnya kompetensi TPACK guru, tersusunnya skenario pembelajaran berbasis *scaffolding* digital, meningkatnya kualitas interaksi kelas yang memantik analisis dan evaluasi siswa, serta terbangunnya keberlanjutan inovasi di sekolah mitra. Kegiatan ini berkontribusi pada pencapaian *Sustainable Development*

Goals (SDGs) nomor 4 tentang pendidikan berkualitas dan nomor 9 tentang penguatan inovasi.

2. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan ini dilaksanakan melalui skema Program Penerapan Iptek Berbasis Masyarakat (PPIBM) Universitas Siliwangi tahun 2026 di SMP Quranic Science Boarding School, Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat, pada bulan Juli 2026. Subjek pengabdian adalah 5 guru matematika sebagai sasaran utama pelatihan, serta 20 siswa kelas IX yang terlibat pada tahap penerapan teknologi dan observasi pembelajaran. Pelatihan TPACK, strategi *scaffolding*, dan pengoperasian media diberikan kepada seluruh guru dalam bentuk pemberian materi secara teoretis. Adapun observasi kelas dan pendampingan langsung di lapangan hanya dilaksanakan bersama satu guru, yaitu guru G1, karena pembelajaran di kelas hanya dapat dijalankan bersama guru tersebut: jadwal mengajarnya kebetulan sesuai dengan waktu pelaksanaan kegiatan dan pada saat itu ia sedang mengajarkan materi pemfaktoran di kelas IX. Observasi dan pendampingan di kelas dilaksanakan dalam dua pertemuan, yaitu pada 1 September dan 3 September 2026. Kepala sekolah dilibatkan pada tahap sosialisasi dan penguatan komitmen kelembagaan. Tim pelaksana terdiri atas lima dosen Pendidikan Matematika dengan kepakaran strategi pembelajaran, media dan teknologi pembelajaran, evaluasi pembelajaran, inovasi pembelajaran, dan pengelolaan luaran, dibantu dua mahasiswa yang bertugas mendampingi guru secara individual dan mengelola data kegiatan.

Pendekatan yang digunakan adalah *Learning by Design*, yaitu guru mempelajari teknologi dengan cara merancang sendiri aktivitas pembelajaran yang akan dilaksanakan. Mitra berpartisipasi aktif dengan menyediakan laboratorium komputer, membebaskan jam mengajar guru selama pelatihan, dan memberikan masukan kontekstual untuk penyempurnaan fitur petunjuk (*hint*) agar sesuai dengan karakteristik siswa. Alur pelaksanaan kegiatan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur pelaksanaan kegiatan pengabdian

Tahap sosialisasi dilakukan melalui pertemuan formal dengan kepala sekolah dan guru matematika untuk memaparkan urgensi berpikir kritis, memperkenalkan kerangka TPACK, serta menyepakati jadwal, komitmen partisipasi, dan akses laboratorium. Tahap pelatihan dilaksanakan selama dua hari dengan dua fokus, yaitu lokakarya strategi *scaffolding* digital, yang mencakup kapan guru memberikan intervensi dan kapan melakukan *fading*, serta pelatihan operasional fitur Quadrazzle seperti *Smart Rotation*, *Adaptive Hint System*, dan *Instant Feedback*. Pelatihan menggunakan teknik *modeling* dan *coaching*. Pada tahap penerapan teknologi, guru mengimplementasikan skenario pembelajaran yang telah dirancang di laboratorium komputer secara terbimbing. Tahap pendampingan dan evaluasi dilakukan melalui *in-class coaching* bersama guru G1 dan refleksi bersama, sedangkan tahap keberlanjutan diwujudkan melalui pembentukan komunitas belajar, instalasi permanen media, dan penyusunan modul panduan. Rincian kegiatan, instrumen, dan indikator capaian setiap tahap disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tahapan kegiatan, instrumen, dan indikator capaian

Tahap	Kegiatan Utama	Instrumen/Data	Indikator Capaian
Sosialisasi	Pemaparan urgensi berpikir kritis dan TPACK; penyepakatan jadwal dan komitmen	Daftar hadir, notula, dokumen kesepakatan	Tersusun kesepakatan tertulis dengan mitra
Pelatihan	Lokakarya *scaffolding* digital; pelatihan operasional Quadrazzle	*Pre-test* TPACK, lembar kerja skenario	Guru mampu mengoperasikan seluruh fitur media
Penerapan teknologi	Uji coba terbimbing di laboratorium komputer	Portofolio skenario, rekaman progres siswa	100% guru menyusun skenario berbasis *scaffolding* digital
Pendampingan dan evaluasi	*In-class coaching* dan refleksi	Lembar observasi *scaffolding* dan berpikir kritis, *post-test* TPACK, angket respons	Skor TPACK meningkat minimal 30%; argumen logis dan koreksi mandiri siswa meningkat
Keberlanjutan	Komunitas belajar, hibah dan instalasi media, modul panduan	Dokumen komunitas, berita acara hibah, draf modul	Media berfungsi 100% dan digunakan mandiri oleh guru

Keberhasilan program dievaluasi pada tiga level, yaitu reaksi peserta, peningkatan pengetahuan, dan perubahan perilaku mengajar di kelas (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2016). Data skor TPACK guru dianalisis secara deskriptif dan dihitung peningkatannya menggunakan *gain* ternormalisasi (Hake, 1998) dengan rumus berikut.

$$N\text{-}gain = (S_{post} - S_{pre}) / (S_{maks} - S_{pre}) \quad (1)$$

Keterangan: S_{pre} adalah skor *pre-test*, S_{post} adalah skor *post-test*, dan S_{maks} adalah skor maksimum. Nilai *N-gain* ≥ 0,70 dikategorikan tinggi, 0,30 ≤ *N-gain* < 0,70 sedang, dan *N-gain* < 0,30 rendah. Data observasi keterampilan *scaffolding* guru dan aktivitas berpikir kritis siswa dianalisis menggunakan persentase kemunculan indikator serta dideskripsikan secara kualitatif. Indikator berpikir kritis yang diamati meliputi analisis suku dan tanda, penyampaian argumen logis, evaluasi dan koreksi mandiri, serta kemampuan menghubungkan representasi geometris dengan simbolis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memaparkan hasil pelaksanaan setiap tahap kegiatan beserta data evaluasinya, kemudian membahas temuan tersebut dengan mengaitkannya pada teori dan hasil pengabdian sebelumnya.

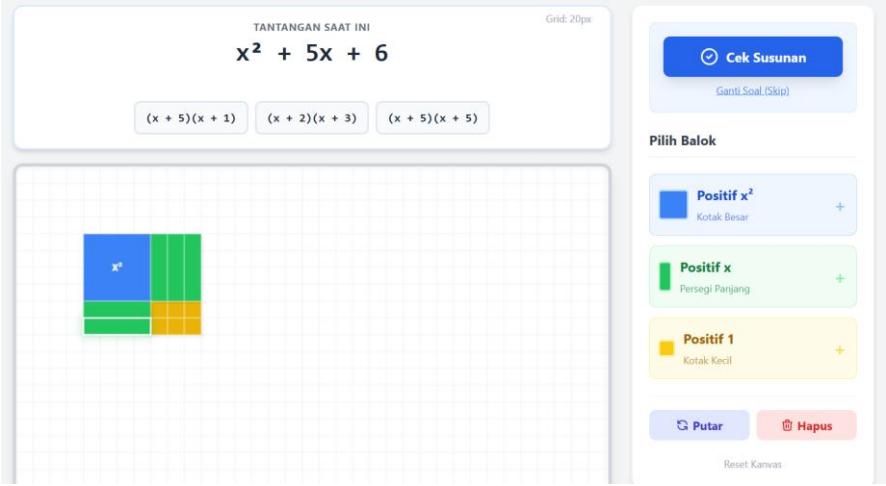
3.1 Hasil

3.1.1 Sosialisasi dan Penyamaan Persepsi

Sosialisasi dilaksanakan pada 22 Juli di SMP Quranic Science Boarding School dan dihadiri oleh kepala sekolah serta 5 guru matematika. Tim pengabdian memaparkan pentingnya berpikir kritis dalam pembelajaran matematika di era digital, memperkenalkan komponen-komponen TPACK, dan mendemonstrasikan secara singkat media Quadrazzle. Diskusi dengan guru mengonfirmasi permasalahan yang ditemukan pada studi pendahuluan. Sekolah ini menerapkan kurikulum Quranic Science, yang idealnya menuntut pembelajaran berbasis life science, yaitu pembelajaran yang dekat dengan kehidupan nyata dan memungkinkan siswa menemukan sendiri konsep yang dipelajari. Namun, dalam praktiknya, guru matematika mengalami kesulitan ketika harus menjelaskan materi yang bersifat abstrak melalui pendekatan tersebut. Akibatnya, guru cenderung kembali pada cara prosedural, yaitu menyampaikan langkah-langkah penyelesaian soal secara langsung tanpa memberi ruang yang cukup bagi siswa untuk menemukan konsep secara mandiri. Kondisi ini menunjukkan perlunya dukungan media pembelajaran dan penguatan kompetensi TPACK guru agar pembelajaran yang diharapkan kurikulum dapat terwujud. Tahap ini menghasilkan kesepakatan tertulis mengenai jadwal kegiatan, komitmen partisipasi guru, dan akses laboratorium komputer sekolah.

3.1.2 Pelatihan *Scaffolding* Digital dan Operasional Quadrazzle

Pelatihan dilaksanakan selama dua hari pada 29-30 Juli. Hari pertama difokuskan pada konsep *scaffolding*, *Zone of Proximal Development*, dan prinsip *fading*. Narasumber memodelkan cara memberikan pertanyaan pemantik yang menuntun siswa tanpa memberikan jawaban, kemudian guru berlatih secara berpasangan melalui simulasi (*coaching*). Hari kedua difokuskan pada pengoperasian Quadrazzle dan penyusunan skenario pembelajaran. Quadrazzle mentransformasikan blok aljabar menjadi objek digital yang terdiri atas blok x^2, blok x, dan blok satuan dengan pembeda warna untuk nilai positif dan negatif. Tampilan area kerja media disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan area kerja Quadrazzle pada soal $x^2 + 5x + 6$

Pada Gambar 2, siswa memilih balok dari inventaris, menyusunnya pada kanvas hingga membentuk persegi panjang utuh, lalu menekan tombol "Cek Susunan" untuk memvalidasi jawaban. Tombol "Putar" memungkinkan blok x diputar secara vertikal atau horizontal, sedangkan tombol "Hapus" dan "Reset Kanvas" memudahkan siswa mencoba kembali tanpa takut salah. Permainan disusun dalam tiga level, yaitu *Basic* (koefisien $a = 1$ dengan seluruh suku positif), *Intermediate* (variasi tanda positif dan negatif), dan *Advanced* (koefisien $a > 1$). Selama pelatihan, guru dilatih memetakan fitur-fitur tersebut ke dalam strategi *scaffolding* dan aspek berpikir kritis yang ingin distimulasi, sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Pemetaan fitur Quadrazzle, peran *scaffolding* guru, dan aspek berpikir kritis

Fitur	Bentuk Bantuan pada Media	Peran *Scaffolding* Guru	Aspek Berpikir Kritis
Hint 1	Menyoroti blok yang seharusnya digunakan dari inventaris	Mengajukan pertanyaan pemantik tentang makna setiap suku	Interpretasi dan analisis
Hint 2	Menampilkan bayangan transparan (*shadow layout*) posisi blok	Mendorong siswa memeriksa ulang dan memperbaiki susunan secara mandiri	Evaluasi dan koreksi diri

Pada akhir pelatihan, tim pengabdian dan guru berdiskusi tentang cara menggeneralisasikan konsep pemfaktoran kepada siswa, yaitu bagaimana guru membimbing siswa dari hasil susunan blok pada satu soal menuju pemahaman yang berlaku pada bentuk aljabar kuadrat lainnya. Diskusi ini juga membahas berbagai pertanyaan dan permasalahan lain yang mungkin diajukan siswa, serta bentuk bantuan yang dapat diberikan guru pada setiap tingkat kesulitan.

3.1.3 Penerapan Teknologi melalui Uji Coba Terbimbing

Uji coba terbimbing dilaksanakan di laboratorium komputer sekolah pada 17 September dengan melibatkan 20 siswa kelas IX. Guru membuka pembelajaran dengan tutorial singkat, kemudian siswa bereksplorasi menyusun blok untuk menemukan faktor-faktor dari bentuk kuadrat yang diberikan, sesuai dengan sintaks *discovery learning*. Setelah puzzle terbentuk, siswa menuliskan panjang dan lebar persegi panjang sebagai hasil pemfaktoran sehingga terjadi transisi dari representasi geometris ke simbolis. Pada pendampingan di kelas bersama G1, tim pengabdian mengamati bahwa sebagian siswa mengalami kesulitan pada level Pro karena adanya pasangan nol (*zero pair*). Guru G1 kemudian memberikan bantuan secara bertahap dengan menambahkan blok hijau x, lalu blok merah x, disertai pertanyaan tentang nilai persamaan pada setiap langkah. Cuplikan dialog berikut diambil dari pertemuan kedua dan menggambarkan proses tersebut.

Guru: Di papan sudah ada satu blok hijau x. Kalau ibu tambahkan satu blok hijau x lagi, berapa nilai persamaan sekarang?
Siswa: Dua x.
Guru: Benar. Sekarang ibu tambahkan satu blok merah x. Berapa nilainya sekarang?
Siswa: Mm... x?
Guru: Coba jelaskan, kenapa x?
Siswa: Karena hijaunya dua, merahnya satu, jadi tersisa satu hijau.
Guru: Tepat. Kalau ibu tambahkan satu blok merah x lagi, berapa nilainya sekarang?
Siswa: Nol. Hijau dan merahnya sama banyak, jadi saling menghilangkan.
Guru: Betul. Satu blok hijau dan satu blok merah yang dipasangkan disebut pasangan nol atau zero pair. Kalau kita menambahkan pasangan nol ke suatu persamaan, apakah nilainya berubah?
Siswa: Tidak berubah.

Pada tahap ini guru memulai dari pertanyaan konkret dengan blok, meminta siswa menjelaskan alasannya, lalu mengarahkan siswa pada kesimpulan bahwa blok berwarna berlawanan yang digabungkan bernilai nol. Bantuan diberikan tepat pada saat siswa mengalami kesulitan, sehingga siswa dapat membangun sendiri pemahaman tentang pasangan nol.

3.1.4 Pendampingan dan Evaluasi

Tim pengabdian memberikan materi TPACK secara teoretis kepada seluruh guru untuk membantu guru memahami cara mengintegrasikan pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten dalam pembelajaran pemfaktoran persamaan kuadrat menggunakan Quadrazzle. Dalam kegiatan ini, guru dibimbing menghubungkan komponen TPACK dengan praktik scaffolding, yaitu menentukan kapan dan bagaimana bantuan diberikan pada tugas pemfaktoran. Sementara itu, observasi dan pendampingan langsung di kelas hanya dilakukan bersama guru G1. Hasil pre-test dan post-test TPACK guru disajikan pada Gambar 3.

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
NgainScor	5	.67	1.00	.9333	.14907
Ngainpersen	5	66.67	100.00	93.3333	14.90712
Valid N (listwise)	5				

Gambar 3. Hasil *pre-test* dan *post-test* TPACK guru

Gambar 3 menunjukkan bahwa kemampuan TPACK guru mengalami peningkatan setelah kegiatan pendampingan. Hal ini tampak dari rata-rata N-gain sebesar 0,93 atau 93,33%, yang termasuk kategori tinggi menurut kriteria Hake ($g \geq 0{,}70$) dan kategori efektif (> 76%). Berdasarkan data dari 5 orang guru, N-gain terendah adalah 0,67 (66,67%) dan tertinggi adalah 1,00 (100%), dengan standar deviasi 0,149 (14,91%). Nilai standar deviasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan TPACK antarguru cukup merata. Dengan demikian, rangkaian kegiatan pendampingan, termasuk pendampingan di kelas yang mencakup observasi praktik mengajar, umpan balik segera, dan refleksi, efektif meningkatkan kompetensi TPACK guru.

Pendampingan di kelas dilakukan sebanyak 2 kali pertemuan, yaitu pada 1 September dan 3 September 2026 di kelas IX, dalam bentuk observasi dan pendampingan langsung di lapangan bersama guru G1. Keempat guru lainnya mengikuti pelatihan berupa pemberian materi secara teoretis dan tidak diobservasi di kelas karena pembelajaran di kelas hanya dapat dilaksanakan bersama G1 sesuai dengan kecocokan jadwal mengajarnya. Tim pengabdian mengamati praktik mengajar guru, memberikan umpan balik segera setelah pembelajaran, dan memfasilitasi refleksi tentang ketepatan waktu pemberian bantuan. Refleksi ini membantu guru menilai apakah bantuan yang diberikan sudah sesuai dengan kesulitan siswa, misalnya saat siswa mengalami kesulitan pada pasangan nol (*zero pair*) di level Pro.

3.1.5 Keberlanjutan Program

Untuk menjaga keberlanjutan, dibentuk Komunitas Belajar Matematika Digital di internal sekolah yang beranggotakan 5 guru dan dikoordinasikan oleh Bapak Encep Denih, M.Pd., selaku Kepala Sekolah. Media Quadrazzle dihibahkan dan diinstal secara permanen pada perangkat laboratorium sekolah agar dapat digunakan pada tahun ajaran berikutnya. Selain itu, tim menyusun Modul Panduan Strategi *Scaffolding* Berbasis Quadrazzle yang telah diserahkan kepada sekolah sebagai rujukan pembelajaran materi pemfaktoran persamaan kuadrat. Media Quadrazzle juga sedang dalam proses pendaftaran HKI.

3.2 Pembahasan

Peningkatan kompetensi TPACK guru dapat dijelaskan melalui pendekatan *Learning by Design* yang digunakan dalam pengabdian ini. TPACK dipandang sebagai bentuk pengetahuan yang muncul dari interaksi teknologi, pedagogi, dan konten, bukan sekadar penjumlahan ketiganya (Mishra & Koehler, 2006). Ketika guru merancang skenario

pemfaktoran dengan Quadrazzle, guru dituntut mempertimbangkan sekaligus karakteristik materi (konten), strategi bantuan (pedagogi), dan fitur media (teknologi). Proses ini sejalan dengan temuan Koh dan Chai (2016) bahwa guru membangun TPACK melalui kerangka-kerangka pertimbangan desain. Temuan ini juga konsisten dengan hasil Muhtadi et al. (2024) yang melaporkan peningkatan pemahaman TPACK guru setelah pelatihan perancangan pembelajaran. Perbedaannya, pengabdian ini tidak berhenti pada tahap perancangan, tetapi berlanjut pada praktik di kelas yang disertai pendampingan. Hal ini penting karena penerapan TPACK dalam situasi kelas nyata merupakan tantangan tersendiri yang memerlukan pengalaman langsung (Santos & Castro, 2021).

Perubahan praktik *scaffolding* guru menunjukkan bahwa media digital berfungsi optimal ketika ditempatkan dalam strategi pedagogis yang tepat. Tiga tingkat *hint* pada Quadrazzle merepresentasikan prinsip kontingensi, yaitu bantuan diberikan sesuai tingkat kesulitan siswa, dan prinsip *fading*, yaitu bantuan dikurangi seiring meningkatnya kemandirian. Meta-analisis Belland et al. (2017) menunjukkan bahwa *scaffolding* berbasis komputer efektif meningkatkan capaian kognitif dan dapat dirancang dalam berbagai bentuk tanpa kehilangan efektivitasnya. Namun, petunjuk yang tertanam pada media tidak menggantikan peran guru. Guru tetap diperlukan untuk membaca respons siswa, mengajukan pertanyaan yang menantang, dan memutuskan kapan bantuan media perlu dilengkapi dengan dialog. Oleh karena itu, pergeseran dari pola *spoon-feeding* menuju bantuan bertahap merupakan indikator penting keberhasilan program.

Meningkatnya aktivitas berpikir kritis siswa berkaitan dengan cara Quadrazzle menghubungkan representasi geometris dan simbolis. Siswa tidak langsung menerima rumus, tetapi menyusun blok hingga membentuk persegi panjang dan menyimpulkan faktor dari panjang dan lebarnya. Proses ini menuntut siswa menganalisis suku, mengevaluasi ketepatan tanda, dan menjelaskan alasan susunannya. Temuan ini melengkapi Ariyanti dan Husni (2019) yang menggunakan blok aljabar fisik. Versi digital mengatasi kendala logistik alat peraga fisik dan memudahkan eksplorasi bentuk kuadrat dengan koefisien besar serta tanda negatif. Temuan ini juga merespons hasil Alimuddin et al. (2024) bahwa siswa yang menggunakan GeoGebra masih kesulitan menjelaskan konsep secara sistematis; tahap refleksi simbolis dan pertanyaan pemantik guru dirancang untuk mengisi kekurangan tersebut.

Dalam konteks sekolah berbasis asrama, fitur *Quick Delete*, *Reset*, dan *Instant Feedback* membantu mengurangi beban kognitif ekstraneus karena siswa dapat mencoba dan memperbaiki susunan dengan cepat. Hal ini memungkinkan kapasitas memori kerja dialokasikan untuk memahami hubungan antarrepresentasi (Sweller et al., 2019). Elemen permainan berupa level, skor, dan *reward* turut menjaga keterlibatan siswa di tengah jadwal yang padat. Meta-analisis menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis permainan digital berpengaruh positif terhadap hasil belajar matematika (Byun & Joung, 2018), tetapi besarnya pengaruh sangat bervariasi (Tokac et al., 2019). Variasi ini

memperkuat argumen bahwa efektivitas permainan bergantung pada integrasi pedagogis yang dirancang guru, yang menjadi fokus utama pengabdian ini.

Secara teoretis, hasil pengabdian ini memperluas kajian TPACK dengan menunjukkan bahwa keterampilan *scaffolding* dapat menjadi titik temu antara pengetahuan pedagogis dan teknologis dalam praktik mengajar. Secara praktis, program ini melengkapi pelatihan TPACK yang berorientasi pada penyusunan perangkat dan media (Ahmad et al., 2022; Nuraini et al., 2023; Surahman et al., 2020; Zanthy et al., 2022) dengan model pendampingan yang menyentuh interaksi guru dan siswa secara langsung. Model ini dapat diadaptasi oleh sekolah lain yang memiliki keterbatasan waktu belajar dan akses perangkat. Adapun keterbatasan kegiatan ini adalah pendampingan dan observasi di kelas hanya dilakukan bersama satu guru (G1) dalam dua pertemuan sehingga temuan tentang praktik *scaffolding* tidak dapat digeneralisasi kepada guru lain, serta belum adanya kelompok pembanding.

4. SIMPULAN

Pengabdian kepada masyarakat melalui pelatihan dan pendampingan scaffolding berbasis TPACK dengan media Quadrazzle telah dilaksanakan di SMP Quranic Science Boarding School melalui lima tahap, yaitu sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan dan evaluasi, serta keberlanjutan. Program ini meningkatkan kompetensi TPACK guru, dengan rata-rata N-gain sebesar 0,93 (93,33%) yang termasuk kategori tinggi. Setelah pendampingan di kelas, guru G1 mulai memberikan bantuan secara bertahap sesuai kesulitan siswa. Siswa pun lebih sering menganalisis suku dan tanda, menyampaikan argumen logis, dan mengoreksi susunan secara mandiri pada tugas pemfaktoran. Keberlanjutan program didukung oleh terbentuknya komunitas belajar guru, instalasi permanen media di laboratorium sekolah, dan tersusunnya modul panduan scaffolding.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Siliwangi yang telah mendanai kegiatan ini melalui skema PPIBM tahun. Terima kasih juga disampaikan kepada kepala sekolah dan guru matematika SMP Quranic Science Boarding School atas partisipasi dan dukungan selama kegiatan berlangsung.

6. REKOMENDASI

Kegiatan selanjutnya disarankan untuk memperluas penerapan model *scaffolding* digital pada topik lain yang berkaitan dengan persamaan kuadrat, seperti perkalian suku dua dan melengkapkan kuadrat sempurna, serta menjangkau guru matematika pada tingkat MGMP kabupaten. Kajian lanjutan dengan desain yang lebih terkontrol juga diperlukan untuk mengukur dampak jangka panjang terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. Hambatan yang perlu diantisipasi adalah terbatasnya akses penggunaan komputer, karena laboratorium komputer digunakan bersama dengan mata pelajaran lain sehingga jadwal pemakaiannya harus dikoordinasikan sejak awal.

7. REFERENSI

Ahmad, S., Zen, Z., Masniladevi, M., Kenedi, A. K., & Hendri, S. (2022). Pelatihan peningkatan kemampuan technological pedagogic content knowledge guru sekolah dasar pada pembelajaran matematika. *JPM (Jurnal Pemberdayaan Masyarakat)*, *7*(2), 950–956. https://doi.org/10.21067/jpm.v7i2.7015

Alimuddin, Sari, N. I., Nur, R. A., Sari, M., & Shalsyabila, Z. (2024). Analisis kualitas pembelajaran matematika pada materi persamaan kuadrat dengan implementasi GeoGebra. *PEDAMATH: Journal on Pedagogical Mathematics*, *7*(1), 17–27.

Ariyanti, I., & Husni, M. (2019). Pelatihan penggunaan alat peraga blok aljabar bagi guru matematika SMP se-Kabupaten Banjar. *JPMB: Jurnal Pemberdayaan Masyarakat Berkarakter*, *2*(2), 89–99.

Belland, B. R., Walker, A. E., Kim, N. J., & Lefler, M. (2017). Synthesizing results from empirical research on computer-based scaffolding in STEM education: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, *87*(2), 309–344. https://doi.org/10.3102/0034654316670999

Byun, J., & Joung, E. (2018). Digital game-based learning for K–12 mathematics education: A meta-analysis. *School Science and Mathematics*, *118*(3–4), 113–126. https://doi.org/10.1111/ssm.12271

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, *66*(1), 64–74. https://doi.org/10.1119/1.18809

Kirkpatrick, J. D., & Kirkpatrick, W. K. (2016). *Kirkpatrick's four levels of training evaluation*. ATD Press.

Koh, J. H. L., & Chai, C. S. (2016). Seven design frames that teachers use when considering technological pedagogical content knowledge (TPACK). *Computers & Education*, *102*, 244–257. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.003

Meutia, P. D., Kurniawan, E., Safura, S., Hidayah, L., & Rahmah, A. (2026). Pendampingan guru dalam pemanfaatan media aplikasi Wordwall untuk guru di TK Khairani. *Rengganis Jurnal Pengabdian Masyarakat*, *6*(1), 82–90.

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, *108*(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1177/016146810610800610

Muhtadi, D., Yulianto, E., Mansyur, M. Z., & Sukirwan. (2024). Technological, pedagogical, and content knowledge: Merancang pembelajaran matematika yang powerful. *Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, *9*(3), 659–674. https://doi.org/10.30653/jppm.v9i3.796

Nuraini, N. L. S., Cholifah, P. S., Rini, T. A., Aurelia, D., Sofirin, A., Huzaimah, C., & Nafisah, N. (2023). Pengembangan modul ajar Kurikulum Merdeka berbasis TPACK bagi guru Kota Malang. *Jurnal Basicedu*, *7*(6), 3466–3474. https://doi.org/10.31004/basicedu.v7i6.6306

Santos, J. M., & Castro, R. D. R. (2021). Technological pedagogical content knowledge (TPACK) in action: Application of learning in the classroom by pre-service teachers (PST). *Social Sciences & Humanities Open*, *3*(1), 100110. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2021.100110

Surahman, E., Sulthoni, S., Ulfa, S., Husna, A., Ramdiana, H., Thaariq, Z. Z. A., Setiawan, A. B., & Qolbi, M. S. (2020). Pelatihan micro learning object berbasis TPACK bagi guru-guru SMA di Garut. *Abdimas Pedagogi: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, *3*(1), 1–14. https://doi.org/10.17977/um050v3i1p1-14

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, *31*(2), 261–292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

Tokac, U., Novak, E., & Thompson, C. G. (2019). Effects of game-based learning on students' mathematics achievement: A meta-analysis. *Journal of Computer Assisted Learning*, *35*(3), 407–420. https://doi.org/10.1111/jcal.12347

Zanthy, L. S., Yuliani, A., & Minarti, E. D. (2022). Pelatihan penyusunan perangkat pembelajaran berbasis TPACK menggunakan kurikulum prototipe. *ABSYARA: Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, *3*(1), 17–25. https://doi.org/10.29408/ab.v3i1.5226