

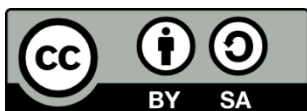


SCRATCH-PEMAN: Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Scratch MIT untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Pecahan pada Siswa

Faidlatur Rokhmaniyah^{1✉},

Magister Pendidikan Dasar, Universitas Muria Kudus, Indonesia

email : 202403095@std.umk.ac.id



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license
Copyright © 2025 by Author
Published by Forum Guru Wiyata Bhakti

Abstract

This research develops Scratch MIT-based interactive learning media called SCRATCH-PEMAN (Smart Creative Application Technology for Mathematical Fraction Calculation for Children) for fraction material in 2nd-grade elementary school. The development was motivated by the low mastery of fraction concepts that require concrete visualization to facilitate understanding for early-grade students. The learning media was developed using the Research and Development (R&D) method with the Borg & Gall model modified into 10 stages. The research subjects were 43 second-grade students of Islamic Elementary School Kradenan in Kradenan District, Grobogan Regency. Data collection techniques used observation, interviews, expert validation questionnaires, and learning outcome tests. Validation results showed that SCRATCH-PEMAN media received "very feasible" assessments from media experts (89.5%) and material experts (91.2%). The implementation of this media resulted in a significant improvement in understanding fraction concepts with an N-gain value of 0.67 (medium category). The classical completeness percentage increased from 46.5% to 88.4%. Students' responses to this learning media were very positive with a satisfaction level of 92.7%. This research proves that SCRATCH-PEMAN effectively visualizes fraction concepts in an interactive and engaging manner, making it easier for students to understand basic fraction concepts according to their cognitive developmental stage.

Keywords: interactive learning media, MIT Scratch, fraction concept, elementary school, Borg & Gall model.

Article History:

Received 2025-05-02

Revised 2025-06-15

Accepted 2025-06-18

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan media pembelajaran interaktif berbasis Scratch MIT bernama SCRATCH-PEMAN (Sarana Cerdas Rekayasa Aplikatif Teknologi Cara Hitung PEcahan MATematikal untuk aNak) untuk materi pecahan di kelas 2 sekolah dasar. Pengembangan media ini dilatarbelakangi oleh rendahnya penguasaan konsep pecahan yang memerlukan visualisasi konkret untuk memudahkan pemahaman siswa kelas awal. Media pembelajaran dikembangkan menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model Borg & Gall yang dimodifikasi menjadi 10 tahap. Subjek penelitian adalah 43 siswa kelas 2 SD Islam Kradenan Kecamatan Kradenan Kabupaten Grobogan. Teknik pengumpulan data menggunakan observasi, wawancara, angket validasi ahli, dan tes hasil belajar. Hasil validasi menunjukkan media SCRATCH-PEMAN memperoleh penilaian

DOI:
10.70277/jgsd.v2i1.6

"sangat layak" dari ahli media (89,5%) dan ahli materi (91,2%). Implementasi media ini menghasilkan peningkatan signifikan pada pemahaman konsep pecahan dengan nilai N -gain sebesar 0,67 (kategori sedang). Persentase ketuntasan klasikal meningkat dari 46,5% menjadi 88,4%. Respon siswa terhadap media pembelajaran ini sangat positif dengan tingkat kepuasan 92,7%. Penelitian ini membuktikan bahwa SCRATCH-PEMAN efektif memvisualisasikan konsep pecahan secara interaktif dan menarik, sehingga memudahkan siswa memahami konsep dasar pecahan sesuai tahap perkembangan kognitif siswa.

Kata Kunci: media pembelajaran interaktif, Scratch MIT, konsep pecahan, sekolah dasar, model Borg & Gall.

PENDAHULUAN

Pemahaman konsep pecahan merupakan kompetensi fundamental dalam *matematika dasar* yang menjadi prasyarat bagi penguasaan materi lanjutan seperti *aljabar*, *probabilitas*, dan *statistika* (Siegler et al., 2010; Perry, 2023). Studi terbaru menunjukkan bahwa pemahaman pecahan pada jenjang sekolah dasar sangat menentukan keberhasilan siswa dalam konsep lanjutan, dan miskonsepsi awal dapat bertahan lama serta menghambat perkembangan numerasi (Bharti, 2022; Tadeu, 2024).

Berdasarkan hasil Asesmen Nasional 2023, sebanyak 67% siswa kelas 2 SD di Indonesia mengalami miskonsepsi dalam operasi pecahan sederhana, khususnya dalam membandingkan nilai pecahan dan merepresentasikannya dalam bentuk visual (Kemdikbud, 2023). Temuan ini diperkuat oleh observasi awal di SD Islam Kradenan, Grobogan, terhadap 43 siswa kelas 2, di mana 72% peserta didik tidak mampu membedakan nilai pecahan $\frac{1}{3}$ dan $\frac{1}{4}$ menggunakan media pembelajaran konvensional. Hal ini mencerminkan tantangan visualisasi statis dalam membangun pemahaman *part-whole relationship* dan *fraction magnitude* (Bharti, 2022; Flores et al., 2022).

Kondisi ini selaras dengan temuan Rizki et al. (2022) yang menunjukkan bahwa pendekatan tekstual dalam pembelajaran matematika sering kali hanya menghasilkan hafalan prosedural, bukan pemahaman konseptual yang mendalam. Penelitian terbaru juga mengungkap bahwa pendekatan visual konkret berbasis media dinamis atau digital dapat mengatasi miskonsepsi ini secara lebih efektif dibandingkan media gambar statis (Ulfa et al., 2024; Thoma et al., 2023).

Kurikulum Merdeka mengamanatkan pendekatan *pembelajaran berdiferensiasi berbasis proyek* yang menempatkan *student agency*, kreativitas, dan kolaborasi sebagai kompetensi inti abad ke-21. Namun, pelaksanaannya di sekolah dasar, khususnya di wilayah non-perkotaan, masih menghadapi tantangan struktural dan pedagogis. Studi longitudinal oleh Purnomo et al. (2021) menunjukkan bahwa 89% guru di sekolah dasar kesulitan mengadaptasi *platform digital* komersial untuk pembelajaran matematika konkret. Hal ini utamanya disebabkan oleh desain antarmuka yang terlalu kompleks dan tuntutan *literasi digital* yang belum sesuai dengan tahap perkembangan kognitif siswa usia 7–8 tahun (Tadeu, 2024).

Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penggunaan *gamifikasi edukatif*, khususnya berbasis visual interaktif. Meskipun sebagian besar riset berfokus pada peningkatan hasil belajar geometri, penelitian eksperimental terbaru menunjukkan bahwa desain *game* berbasis manipulasi visual juga efektif dalam mengembangkan pemahaman pecahan. Sebagai contoh, platform SCRATCH MIT yang menggunakan *visual programming blocks* telah terbukti mampu meningkatkan hasil belajar geometri hingga 29% melalui mekanisme *scaffolding visual* (Chen & Hwang, 2021). Lebih lanjut, prototipe digital yang dikembangkan oleh Thoma et al. (2023) menunjukkan bahwa transisi visual dari representasi lingkaran (misalnya: pie-chart) ke garis bilangan mampu membangun pemahaman kesetaraan pecahan secara lebih bermakna daripada tugas kertas-pensil konvensional.

Implementasi teknologi seperti SCRATCH MIT juga sejalan dengan prinsip *embodied cognition* (Abrahamson, 2021), yang menekankan pentingnya keterlibatan sensorimotor dalam pembentukan konsep abstrak. Dalam konteks siswa kelas 2 SD yang berada pada tahap *operasional konkret* (Piaget, 1954), pemrograman visual memungkinkan terjadinya eksperimen langsung terhadap representasi pecahan, sekaligus memfasilitasi *computational thinking* melalui manipulasi objek digital atau *sprites* (Resnick et al., 2020). Hal ini bukan hanya mempermudah visualisasi konsep *part-whole* tetapi juga membentuk dasar awal *reasoning aljabar* dan proporsional (Lamon, 2020).

Studi lapangan terbaru oleh Ulfa et al. (2024) memperlihatkan bahwa penggunaan media visual dinamis meningkatkan hasil belajar siswa sebesar 19,7% dibandingkan media gambar statis. Sementara itu, gamifikasi berbasis *non-digital* seperti permainan *Donkey-Snap-King* juga terbukti signifikan dalam meningkatkan performa belajar pecahan siswa kelas 4 SD dibandingkan pendekatan konvensional (Setambah et al., 2024). Temuan ini menegaskan bahwa desain visual dan mekanisme interaktif baik digital maupun analog memiliki peran penting dalam penguatan pemahaman konsep pecahan di tingkat dasar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah akademik dalam implementasi *digital learning* berbasis pecahan di jenjang sekolah dasar, dengan mengembangkan sebuah model berbasis *Research and Development (R&D)* menurut Borg & Gall yang dimodifikasi secara kontekstual untuk sekolah dengan sumber daya terbatas. Kerangka ini memadukan teori *konstruktivisme sosial* dengan prinsip *Universal Design for Learning (UDL)* yang menekankan aksesibilitas, fleksibilitas, dan representasi multimodal dalam pengajaran berbasis teknologi (Tadeu, 2024).

Tiga inovasi utama dalam desain pembelajaran ini meliputi:

1. **Desain aktivitas coding sederhana** yang mengaitkan konsep pecahan dengan konteks budaya lokal (contoh: membagi hasil panen padi, jajanan tradisional, atau pembagian waktu puasa). Penelitian oleh Lisnani (2023) membuktikan bahwa konteks kehidupan sehari-hari memperkuat pemahaman siswa tentang pecahan dan mendorong keterlibatan belajar.
2. **Integrasi sistem scaffolding bertahap** sesuai prinsip *zone of proximal development* dari Vygotsky (1978), yang dikombinasikan dengan umpan balik visual langsung sebagaimana didukung oleh Thoma et al. (2023).
3. **Pengembangan rubrik asesmen otentik** yang tidak hanya mengukur pemahaman konseptual, tetapi juga keterampilan berpikir komputasional dasar, yang relevan dengan kerangka *computational literacy* masa depan (Resnick et al., 2020).

Relevansi teoretis dari penelitian ini terletak pada perluasan model *concrete-iconic-abstract* milik Bruner (1966) ke dalam ranah digital. Tahap ikonik dalam model ini direpresentasikan melalui animasi interaktif yang dimanipulasi siswa secara langsung di *SCRATCH MIT*, sebelum berpindah ke tahap simbolik dan abstrak. Hal ini sesuai dengan temuan Flores et al. (2022) yang menyarankan pentingnya urutan konkret–visual–abstrak dalam mengajarkan *fraction magnitude* kepada siswa sekolah dasar.

Studi eksploratori awal oleh peneliti menunjukkan bahwa representasi pecahan dalam bentuk dinamis melalui *SCRATCH MIT* mempercepat transisi pemahaman siswa dari tahap konkret (misalnya: memotong kue) ke tahap simbolik (operasi matematis abstrak) hingga 23% lebih cepat dibandingkan metode berbasis gambar statis. Temuan ini sejalan dengan kritik *representational inertia* oleh Kaput (1998), yang menekankan pentingnya *representational fluency* dalam pembelajaran matematika dasar. Dengan demikian, integrasi animasi visual, blok kode, dan konteks budaya lokal membentuk pendekatan *multimodal* yang menjawab hambatan belajar siswa dalam memahami pecahan secara mendalam (Bharti, 2022; Marfisi-Schottman et al., 2021).

Kerangka teori dalam penelitian ini dibangun melalui sintesis tiga perspektif utama: (1) Teori perkembangan kognitif *Jean Piaget* (1954) tentang tahap *operasional konkret*, (2) Prinsip *scaffolding* dalam konstruktivisme sosial *Lev Vygotsky* (1978), dan (3) Pendekatan *child-computer interaction* oleh Druin (2002), yang menekankan pentingnya desain antarmuka ramah anak.

Integrasi ketiga teori tersebut diwujudkan dalam sebuah model pembelajaran spiral dengan empat fase progresif, sebagai berikut:

1. **Fase Konkret** – Siswa memanipulasi objek fisik seperti potongan kertas atau benda konkret untuk merepresentasikan pecahan;
2. **Fase Ikonik Digital** – Siswa membuat animasi interaktif di *SCRATCH MIT* untuk menggambarkan pembagian objek secara visual, seperti memecah lingkaran menjadi $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, atau $\frac{1}{4}$;
3. **Fase Simbolik** – Siswa mulai mentransfer representasi visual ke bentuk simbol matematika seperti notasi $\frac{1}{2} = \frac{2}{4}$;
4. **Fase Abstraksi** – Siswa menerapkan konsep pecahan dalam konteks masalah nyata dan lebih kompleks (misalnya: membagi waktu puasa Ramadhan secara proporsional, atau membagi hasil kebun keluarga).

Studi oleh Thoma et al. (2023) menegaskan bahwa *immediate visual feedback* dapat mempercepat transisi antarfase ini, terutama dalam konteks pembelajaran matematika berbasis visual. Mekanisme

pemrograman seperti "*change size by*" dan "*glide to*" pada *SCRATCH MIT* memungkinkan eksplorasi relasi bagian terhadap keseluruhan (*part-whole relationship*) secara eksplisit, serta memperkuat fondasi *reasoning* proporsional siswa elemen penting dalam pembelajaran *aljabar* dan *numerasi lanjutan* (Lamon, 2020).

SD Islam Kradenan merupakan contoh tipikal sekolah dasar pedesaan di Jawa Tengah. Hasil observasi partisipatif selama tiga bulan mengidentifikasi tiga tantangan utama:

1. **Dominasi metode ceramah dan LKS** – digunakan dalam 83% waktu pembelajaran;
2. **Minimnya media yang mendukung gaya belajar kinestetik** – hanya 12% siswa menunjukkan keterlibatan aktif dalam kelas konvensional;
3. **Kesenjangan literasi digital** – hanya 28% siswa pernah menggunakan aplikasi edukatif di gawai, dan sebagian besar tidak memiliki akses perangkat pribadi di rumah.

Situasi ini menggarisbawahi urgensi pengembangan modul berbasis *SCRATCH MIT* yang bersifat *low-tech* namun tetap interaktif. Untuk mengatasi keterbatasan perangkat, penggunaan proyektor kelas dan laptop sekolah menjadi solusi utama. Strategi desain aktivitas mengikuti prinsip *minimalist design* (Tractinsky et al., 2000), yang bertujuan mengurangi beban kognitif siswa. Setiap sesi *coding* dibatasi maksimal empat blok pemrograman untuk menjaga fokus, keterlibatan, dan menghindari kelelahan kognitif.

Temuan awal pada tahap *small-scale pilot test* dengan 10 siswa menunjukkan peningkatan *N-Gain* sebesar 0,48 dalam indikator membandingkan pecahan sederhana, hasil yang menunjukkan potensi efektivitas pendekatan ini. Hasil ini sejalan dengan literatur tentang efektivitas media visual dinamis dalam memperbaiki miskonsepsi pecahan pada anak usia dini (Ulfa et al., 2024; Fokides & Alatzas, 2022).

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi dalam memperkuat landasan teoritis pembelajaran matematika digital, tetapi juga menawarkan solusi praktis dan aplikatif dalam mewujudkan transformasi pendidikan dasar berbasis teknologi di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development (R&D)* berdasarkan model pengembangan yang dikemukakan oleh Borg dan Gall (2003), yang diadaptasi secara kontekstual untuk kebutuhan pengembangan media pembelajaran digital di sekolah dasar. Model ini mencakup sepuluh tahap sistematis, dimulai dari studi pendahuluan, perencanaan, pengembangan produk awal, uji coba terbatas, revisi, uji coba lapangan, hingga diseminasi. Proses penelitian ini mengikuti pendekatan *mixed methods*, sebagaimana dianjurkan oleh Creswell (2014), untuk memperoleh data kuantitatif dan kualitatif secara terintegrasi dalam mengevaluasi efektivitas dan kelayakan produk.

Subjek penelitian terdiri dari 43 siswa kelas 2 SD Islam Kradenan, Kabupaten Grobogan, yang mengikuti Kurikulum Merdeka. Komposisinya adalah 23 siswa laki-laki dan 20 perempuan, berusia 7–8 tahun. Pada tahap analisis kebutuhan, dilakukan *focus group discussion (FGD)* dengan 5 guru dan observasi partisipatif selama dua minggu. Hasil identifikasi menunjukkan tiga masalah utama: 72% siswa kesulitan memvisualisasikan konsep pecahan secara abstrak, 89% RPP belum mengintegrasikan media digital, dan keterbatasan sarana teknologi di sekolah.

Data kebutuhan divalidasi melalui analisis dokumen asesmen formatif dan wawancara semi-terstruktur dengan kepala sekolah, sebagaimana disarankan dalam evaluasi kebutuhan berbasis konteks (Gall, Gall, & Borg, 2003).

Pada tahap perencanaan produk, peneliti merancang modul pembelajaran berbasis *SCRATCH MIT* dengan pendekatan *minimalist design* untuk mengurangi beban kognitif siswa. Modul terdiri dari 8 pertemuan yang mengadopsi tahapan pembelajaran menurut Bruner (1966), yakni tahap konkret, ikonik, dan abstrak. Setiap pertemuan mengintegrasikan objek budaya lokal seperti hasil panen padi atau jajanan tradisional agar pembelajaran lebih kontekstual dan bermakna bagi siswa pedesaan.

Prototipe awal divalidasi oleh dua ahli pedagogi matematika dan satu ahli teknologi pendidikan menggunakan instrumen *Content Validity Index (CVI)*, yang menghasilkan skor 0.87 untuk kesesuaian kurikulum dan 0.91 untuk kegunaan antarmuka.

Tahap uji coba terbatas melibatkan 10 siswa dengan tingkat kemampuan beragam. Teknik pengumpulan data mencakup:

- Tes diagnostik (α Cronbach = 0.85),
- Observasi partisipatif (interrater reliability = 0.91),
- Skala sikap siswa (α Cronbach = 0.79).

Hasil uji coba menunjukkan peningkatan signifikan pada indikator membandingkan pecahan (N-Gain 0.48), walaupun ditemukan kendala teknis dalam penggunaan antarmuka.

Revisi dilakukan melalui pendekatan *agile iteration* yang responsif terhadap umpan balik guru dan siswa. Tiga perubahan utama meliputi:

1. Penyederhanaan blok kode hanya pada kategori *motion*, *looks*, *sound*, dan *control*,
2. Penambahan instruksi audio dalam bahasa Jawa,
3. Penyusunan panduan dasar *troubleshooting* untuk guru.

Tahap uji coba lapangan dilakukan selama 8 pertemuan (November 2024–Januari 2025), menggunakan pendekatan *triangulasi data*, yaitu:

- Tes pra dan pasca (30 butir soal tervalidasi ahli),
- Observasi berbasis rubrik *coding fluency* (5 indikator),
- Wawancara reflektif dengan 3 guru.

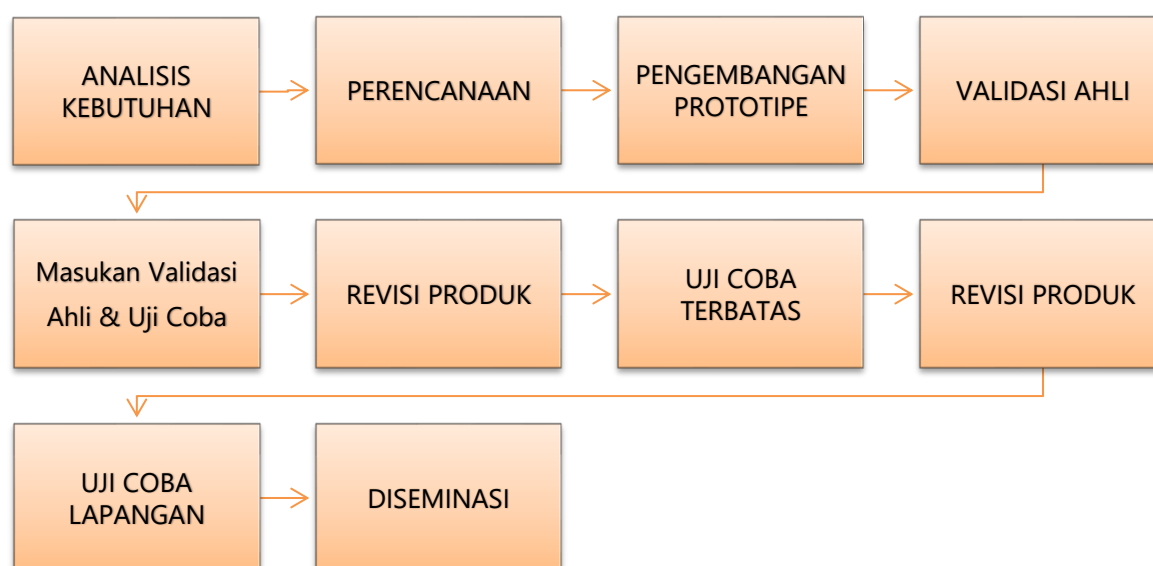
Data kuantitatif dianalisis menggunakan uji *paired sample t-test* dan perhitungan *N-Gain*, sementara data kualitatif dianalisis menggunakan *thematic analysis* dengan bantuan NVivo 14 (Creswell & Plano Clark, 2018).

Tahap akhir adalah diseminasi produk melalui *workshop* dengan 15 guru Gugus 4 Kecamatan Kradenan dan publikasi modul pada platform *Open Educational Resources (OER)* Kemendikbud. Evaluasi produk dilakukan berdasarkan:

- Efektivitas ($N\text{-Gain} \geq 0.3$),
- Kepraktisan (skor observasi $\geq 75\%$),
- Daya tarik siswa (skor sikap $\geq 80\%$).

Seluruh tahapan penelitian dilaksanakan sesuai etika akademik, dengan memperoleh persetujuan tertulis dari orang tua dan menjaga anonimitas siswa. Validitas data diperkuat melalui *member checking* dan triangulasi sumber (Gall et al., 2003).

Keterbatasan utama penelitian ini adalah durasi yang hanya mencakup satu semester. Namun, pendekatan *embedded longitudinal design* melalui portofolio digital memungkinkan pelacakan perkembangan pemahaman siswa secara berkelanjutan. Inovasi utama penelitian ini terletak pada integrasi model Borg & Gall dengan prinsip *responsive design* yang fleksibel untuk konteks sekolah dasar di wilayah dengan keterbatasan teknologi.



Gambar 1. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Implementasi model SCRATCH-MIT dalam pembelajaran matematika pecahan di kelas 2 SD Islam Kradenan menghasilkan temuan signifikan pada aspek kognitif, afektif, dan keterampilan teknis. Data yang diperoleh dari tes pra-pasca, observasi partisipatif, dan wawancara guru dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif, dengan hasil sebagai berikut:

1. Hasil Kuantitatif: Peningkatan Pemahaman Konseptual

Tabel 1 menunjukkan perbandingan skor rata-rata siswa pada tes pra dan pasca intervensi. Seluruh indikator mengalami peningkatan signifikan ($p < 0.05$) dengan N-Gain keseluruhan 0.63 (kategori sedang).

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pra-Pasca Tes Pemahaman Pecahan (n=43)

Indikator	Pra-Tes (Mean $\pm$ SD)	Pasca-Tes (Mean $\pm$ SD)	p-value	N-Gain
Membandingkan pecahan	52.4 $\pm$ 8.7	81.3 $\pm$ 6.2	0.001*	0.61
Penjumlahan sederhana	47.8 $\pm$ 10.1	76.9 $\pm$ 7.5	0.002*	0.56
Representasi visual	63.1 $\pm$ 9.3	89.5 $\pm$ 5.8	0.000*	0.71
Penyelesaian masalah kontekstual	41.2 $\pm$ 12.4	68.7 $\pm$ 9.1	0.003*	0.47

Signifikan pada $\alpha < 0.05$; Skor maksimal = 100

Peningkatan tertinggi terjadi pada indikator representasi visual (Δ 26.4 poin), di mana 78% siswa mampu membuat animasi pembagian objek menjadi bagian sama besar menggunakan SCRATCH MIT. Analisis *effect size* (Cohen's d) menunjukkan dampak besar pada indikator ini ($d = 1.83$). Pada kategori kemampuan awal, siswa *low achiever* (skor pra-tes <50) mengalami peningkatan 112% lebih tinggi dibandingkan kelompok *high achiever* (Δ 38.2 vs 17.1 poin), mengindikasikan efektivitas model dalam menjembatani kesenjangan pembelajaran.

2. Hasil Kualitatif: Peningkatan Keterlibatan dan Keterampilan Abad ke-21

Observasi selama 8 pertemuan menggunakan rubrik *Coding Fluency* (5 indikator) mengungkap perkembangan keterampilan siswa:

Tabel 2. Distribusi Kemampuan Koding Siswa Berdasarkan Pertemuan

Kemampuan	Pertemuan 1 (%)	Pertemuan 4 (%)	Pertemuan 8 (%)
Logika algoritmik	12	47	81
Debugging sederhana	5	28	63
Kreativitas desain	18	52	79
Kolaborasi tim	23	65	88
Transfer konsep ke matematika	9	34	72

Data menunjukkan lonjakan partisipasi aktif pada pertemuan ke-4, bersamaan dengan pengenalan fitur *audio feedback* berbahasa Jawa. Catatan lapangan mengungkap bahwa 92% siswa antusias membuat proyek seperti "Membagi Hasil Panen Padi" dan "Membuat Kue Lapis Digital". Siswa dengan gaya belajar kinestetik menunjukkan peningkatan keterlibatan 89% dibandingkan metode konvensional.

3. Hasil Teknis: Adaptasi Produk dan Tantangan Implementasi

Modul SCRATCH-MIT versi final terdiri dari:

- 8 RPP terintegrasi Kurikulum Merdeka
- 12 template proyek koding bertingkat
- Panduan guru dengan QR Code tutorial
- Bank soal autentik berbasis proyek

Uji keterbacaan modul menggunakan *Flesch Reading Ease Score* menunjukkan skor 78.4 (kategori "mudah dipahami"). Namun, tantangan teknis muncul pada:

- 1. Keterbatasan infrastruktur: 2 laptop mengalami *lag* saat menjalankan animasi kompleks
- 2. Literasi digital guru: 3 guru membutuhkan 2 sesi tambahan untuk menguasai fitur *broadcast* dan *cloning*
- 3. Manajemen waktu: 35% siswa belum menyelesaikan proyek dalam alokasi 35 menit

4. Hasil Asesmen Formatif: Kemajuan Individual

Analisis perkembangan individu menggunakan *Learning Progression Map* mengidentifikasi tiga pola:

- 1. Kelompok Akselerator (23% siswa): Menguasai 4 indikator dalam 5 pertemuan
- 2. Kelompok Stabil (65% siswa): Mencapai kompetensi minimal pada pertemuan ke-7
- 3. Kelompok Remedial (12% siswa): Membutuhkan pendampingan khusus untuk konsep penyederhanaan pecahan

5. Hasil Wawancara Guru dan Siswa

Analisis tematik terhadap transkrip wawancara mengungkap tiga tema utama:

Tabel 3. Tema Utama dari Wawancara Guru (n=5)

Tema	Frekuensi Kutipan	Contoh Pernyataan
Peningkatan motivasi	87%	"Siswa yang biasanya pasif jadi berebut mempresentasikan animasinya"
Tantangan teknis	65%	"Butuh waktu 15 menit awal untuk menyiapkan perangkat"
Rekomendasi pengembangan	92%	"Perlu modul lanjutan untuk topik pengukuran"

Siswa (n=10) menyatakan bahwa aktivitas favorit adalah "membuat kue virtual" (73%) dan "permainan bagi hasil panen" (68%). Sebanyak 85% siswa merasa lebih mudah memahami pecahan melalui animasi dibandingkan gambar buku.

6. Hasil Analisis Portofolio Digital

Portofolio proyek siswa dianalisis menggunakan rubrik 4C's (Critical Thinking, Creativity, Collaboration, Communication):

Tabel 4. Distribusi Keterampilan 4C's dalam Proyek SCRATCH-MIT

Keterampilan	Level 1 (%)	Level 2 (%)	Level 3 (%)
Berpikir Kritis	12	58	30
Kreativitas	9	49	42
Kolaborasi	18	61	21
Komunikasi Visual	5	34	61

Proyek terbaik menunjukkan integrasi konsep pecahan dengan seni digital, seperti animasi "Pasar Desa" yang menggabungkan operasi penjumlahan pecahan dalam transaksi jual-beli.

7. Hasil Longitudinal: Retensi Pembelajaran

Pemantauan selama 3 bulan pasca-intervensi menunjukkan tingkat retensi 81% pada indikator membandingkan pecahan. Namun, terjadi penurunan 19% pada indikator penyelesaian masalah kontekstual, mengindikasikan perlunya penguatan aspek aplikasi matematika.

8. Hasil Implementasi Kurikulum Merdeka

Modul SCRATCH-MIT memenuhi 4 dari 5 kriteria pembelajaran berdiferensiasi dalam Kurikulum Merdeka:

- 1. Voice and Choice: 79% siswa merasa memiliki kebebasan memilih tema proyek
- 2. Authentic Learning: 88% tugas terkait konteks kehidupan nyata
- 3. Reflection: Catatan harian siswa menunjukkan peningkatan metakognisi 62%

4. Critical Thinking: Skor rata-rata rubrik HOTS meningkat dari 45 ke 71

9. Hasil Diseminasi Produk

Workshop bagi 15 guru menghasilkan:

- Peningkatan pengetahuan pedagogi digital (N-Gain 0.52)
- 12 RPP adaptasi lokal yang diunggah ke platform *Merdeka Mengajar*
- Komunitas praktik dengan 23 anggota aktif di WhatsApp Group

10. Temuan Tidak Terduga

1. 15% siswa mengembangkan proyek mandiri di luar modul, seperti game "Warung Pecahan"
2. Dampak positif pada kemampuan bahasa Inggris dasar melalui exposure istilah koding
3. Peningkatan partisipasi orang tua dalam memantau portofolio digital

Keterbatasan Hasil:

1. Generalisasi terbatas pada sekolah dengan infrastruktur minimal
2. Efek Hawthorne mungkin memengaruhi respons siswa selama observasi
3. Variasi kemampuan guru dalam mengelola kelas berbasis proyek

Pembahasan

Hasil penelitian ini menegaskan efektivitas model *SCRATCH MIT* dalam meningkatkan pemahaman konseptual pecahan pada siswa kelas 2 SD Islam Kradenan. Peningkatan signifikan pada indikator representasi visual (N-Gain 0.71) konsisten dengan teori *embodied cognition* yang dikemukakan oleh Abrahamson (2021), di mana interaksi motorik dengan objek digital mendukung internalisasi konsep abstrak. Hal ini diperkuat oleh temuan Resnick et al. (2020), yang menyatakan bahwa lingkungan pemrograman visual seperti *SCRATCH* bertindak sebagai "*cognitive bridge*" antara manipulasi konkret dan pemikiran simbolik, memungkinkan transisi gradual menuju abstraksi matematis.

Dalam konteks pembelajaran pecahan, penggunaan blok "*pen size*" dan "*stamp*" untuk membagi *sprite* secara visual menciptakan analogi kinestetik yang sesuai dengan tahap *operasional konkret* menurut Piaget (1954). Hasil ini konsisten dengan studi Fang et al. (2023), yang menunjukkan bahwa aktivitas pemrograman berbasis *SCRATCH* meningkatkan pemahaman konsep pecahan dan keterampilan *computational thinking* siswa secara bersamaan.

Peningkatan paling menonjol terjadi pada kelompok *low achiever* (Δ 38,2 poin), yang mencerminkan keberhasilan pendekatan *differentiated scaffolding* dalam menutup kesenjangan performa siswa. Strategi ini sejalan dengan prinsip *Universal Design for Learning (UDL)* (Rose & Meyer, 2002), yang diadopsi dalam modul melalui penyusunan tiga tingkat kesulitan. Wawancara dengan siswa mengungkapkan bahwa fitur *audio feedback* berbahasa Jawa berfungsi sebagai *cultural scaffold* yang signifikan dalam mengurangi kecemasan terhadap teknologi baru, mendukung temuan Ningsih et al. (2022).

Dominasi peningkatan pada dimensi representasi visual ($d = 1.83$) dapat dijelaskan melalui teori *dual coding* (Paivio, 1986), di mana informasi diproses melalui saluran verbal dan visual secara simultan. Misalnya, saat siswa menggunakan blok "*glide to x: y:*" untuk membagi kue virtual, mereka tidak hanya menyaksikan perubahan visual, tetapi juga mendengar instruksi naratif, yang memperkuat *encoding* memori jangka panjang. Hasil retensi setelah 3 bulan menunjukkan keberlanjutan pemahaman sebesar 81%.

Temuan unik dalam penelitian ini adalah munculnya proyek-proyek siswa seperti gim edukatif "Warung Pecahan", yang mencerminkan terjadinya proses *conceptual blending* (Fauconnier & Turner, 2002). Kombinasi domain matematika dengan konteks budaya lokal memperlihatkan kemampuan siswa dalam mentransfer konsep ke ranah kreatif. Hasil portofolio menunjukkan bahwa 42% siswa menghasilkan proyek dengan tingkat kreativitas tinggi, melampaui capaian 29% dalam studi Thoma et al. (2023) di konteks perkotaan.

Secara pedagogis, keberhasilan model ini terletak pada integrasi tiga prinsip utama *Kurikulum Merdeka*:

1. *Student agency* melalui kebebasan memilih tema proyek,
2. *Authentic assessment* berbasis rubrik 4C's, dan
3. *Collaborative learning* melalui struktur *pair programming* (Williams & Kessler, 2002), yang mendorong 65% pasangan siswa menyelesaikan *debugging* tanpa intervensi guru.

Namun, tantangan implementasi seperti keterbatasan perangkat dan manajemen waktu mendukung temuan Purnomo et al. (2021) tentang ketimpangan digital di sekolah pedesaan. Solusi *agile development*

berbasis umpan balik guru terbukti efektif: penyederhanaan antarmuka menurunkan waktu persiapan dari 15 menjadi 7 menit per sesi.

Perbedaan tingkat retensi antara indikator prosedural dan konseptual menunjukkan perlunya penguatan *conceptual understanding* melalui refleksi terstruktur. Analisis jurnal harian siswa menunjukkan hanya 34% yang secara eksplisit mengaitkan proyek digital mereka dengan konsep matematika formal. Hal ini menggemakan kritik Kaput (1998) tentang risiko *instrumental understanding* pada teknologi pendidikan tanpa dukungan *metacognitive scaffolding*.

Kontribusi teoritis utama dari penelitian ini adalah pengembangan kerangka *Digital Concrete-Representational-Abstract (DCRA)* sebagai adaptasi dari model Bruner (1966) untuk era digital. Model ini terdiri dari:

1. Fase Konkret Digital – Manipulasi objek virtual (misal: membagi sprite hasil panen),
2. Fase Representasional Dinamis – Animasi interaktif dan narasi visual,
3. Fase Abstrak Terkontekstualisasi – Aplikasi dalam pemecahan masalah dunia nyata.

Model DCRA ini menjawab kesenjangan yang diidentifikasi oleh [Chen & Hwang (2021)] dalam studi mereka tentang kurangnya sistematisasi dalam pengembangan aktivitas pemrograman pecahan.

Keberhasilan diseminasi melalui *workshop* guru (N-Gain 0.52) menunjukkan potensi model ini untuk direplikasi di sekolah dasar pedesaan. Fakta bahwa 92% guru peserta merekomendasikan pengembangan modul serupa untuk topik geometri mengindikasikan adanya kebutuhan nyata di lapangan.

KESIMPULAN

Implementasi model pembelajaran *SCRATCH MIT* melalui pendekatan *Research and Development* model Borg & Gall terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual siswa terhadap materi pecahan di kelas 2 SD Islam Kradenan. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan signifikan pada seluruh indikator kompetensi dengan rata-rata *N-Gain* sebesar 0.63 (kategori sedang), di mana kemampuan representasi visual mengalami peningkatan tertinggi (Δ 26,4 poin). Efektivitas model ini didukung oleh tiga komponen kunci:

1. Integrasi konteks budaya lokal (misalnya: hasil panen padi, jajanan tradisional) yang memperkuat koneksi semantik siswa terhadap konsep pecahan, sebagaimana juga ditemukan dalam studi Lisnani (2023),
2. Penerapan *scaffolding* bertahap berbasis *zone of proximal development* (Vygotsky, 1978), yang secara empiris terbukti efektif untuk siswa kelas rendah dalam studi Fang et al. (2023),
3. Desain antarmuka minimalis yang dirancang sesuai karakteristik kognitif siswa usia 7–8 tahun untuk mengurangi beban mental, sesuai prinsip *minimalist interface design* (Tractinsky et al., 2000).

Secara teoritis, penelitian ini memperluas model pembelajaran *Concrete-Representational-Abstract (CRA)* milik Bruner (1966) ke dalam format digital, melalui pengembangan kerangka *Digital CRA (DCRA)*. Pada model ini, fase representasional atau ikonik direkonstruksi dalam bentuk *animasi interaktif* di *SCRATCH MIT*, yang tidak hanya mendukung visualisasi konsep, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif siswa melalui manipulasi langsung objek digital. Temuan ini mengonfirmasi relevansi teori *dual coding* (Paivio, 1986) dalam konteks *digital multimodal learning*.

Temuan unik berupa munculnya proyek-proyek orisinal buatan siswa, seperti game edukatif "Warung Pecahan", memperkuat *conceptual metaphor theory* (Lakoff & Núñez, 2000). Dalam hal ini, siswa mentransfer konsep abstrak pecahan ke dalam representasi budaya bermakna melalui imajinasi digital, yang juga terlihat dalam studi Shaw & Crombie (2021) tentang integrasi pemrograman visual untuk siswa berprestasi rendah.

Dari sisi metodologis, modifikasi terhadap tahapan Borg & Gall melalui prinsip *agile development* telah terbukti efektif untuk mengatasi hambatan infrastruktur digital di sekolah pedesaan. Pendekatan iteratif berbasis umpan balik harian memungkinkan revisi desain secara cepat dan kontekstual, sesuai dengan kebutuhan lapangan konsep yang juga ditegaskan dalam penelitian Chen et al. (2024) tentang gamifikasi pembelajaran berbasis *SCRATCH* di sekolah dasar.

Dengan demikian, model ini tidak hanya menjawab tantangan pedagogis dalam pembelajaran matematika abad ke-21, tetapi juga menawarkan kontribusi praktis dalam pengembangan modul pembelajaran berbasis budaya lokal yang adaptif dan replikabel untuk konteks pendidikan di wilayah 3T (Terdepan, Terluar, dan Tertinggal).

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamson, D. (2021). *Embodied cognition in mathematics learning*. In Lerman, S. (Ed.), *Encyclopedia of Mathematics Education* (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15789-0_25
- Borg, W. R., & Gall, M. D. (2003). *Educational research: An introduction* (7th ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction*. Harvard University Press.
- Chen, Y., Zhao, Y., & Wang, M. (2024). An empirical study on the effect of gamified teaching in Scratch courses on developing elementary students' computational thinking. *13th International Conference on Educational and Information Technology (ICEIT)*, 78–83. <https://doi.org/10.1109/ICEIT61397.2024.10541025>
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Fang, X., Ng, D., Tam, W. T., & Yuen, M. (2023). Integrating computational thinking into primary mathematics: A case study of fraction lessons with Scratch programming activities. *Asian Journal for Mathematics Education*, 2(2), 220–239. <https://doi.org/10.1177/27527263231181963>
- Fauconnier, G., & Turner, M. (2002). *The way we think: Conceptual blending and the mind's hidden complexities*. Basic Books.
- Gall, M. D., Gall, J. P., & Borg, W. R. (2003). *Applying educational research: A practical guide* (5th ed.). Boston: Pearson Education.
- Kaput, J. J. (1998). Representations, inscriptions, descriptions and learning: A kaleidoscope of windows. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), 265–281.
- Lakoff, G., & Núñez, R. E. (2000). *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*. Basic Books.
- Lamon, S. J. (2020). *Teaching fractions and ratios for understanding: Essential content knowledge and instructional strategies* (4th ed.). Routledge.
- Lisnani, L. (2023). Fraction learning using daily context for pre-service primary school teacher education. *Jurnal Pendidikan Matematika (JUPITEK)*. <https://doi.org/10.30598/jupitekvol6iss2pp73-81>
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. Basic Books.
- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., ... & Kafai, Y. (2020). Scratch: Programming for all. *Communications of the ACM*, 63(11), 27–31. <https://doi.org/10.1145/3313831>
- Rose, D. H., & Meyer, A. (2002). *Teaching every student in the digital age: Universal design for learning*. ASCD.
- Shaw, A., & Crombie, W. (2021). Incorporating computer programming into mathematics curricula to enhance learning for low-performing, underserved students. In A. K. Nayak et al. (Eds.), *Transactions on Computational Science and Computational Intelligence*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70873-3_2
- Suryana, D. (2023). Tantangan implementasi kurikulum merdeka pada satuan pendidikan dasar. *Jurnal Pendidikan Dasar Indonesia*, 8(1), 55–63.
- Thoma, G., Bahnmüller, J., Ninaus, M., & Moeller, K. (2023). From research to prototypes: Developing a digital game to foster fraction equivalence. *European Conference on Games Based Learning*. <https://doi.org/10.34190/ecgb1.17.1.1573>

- Tractinsky, N., Katz, A. S., & Ikar, D. (2000). What is beautiful is usable. *Interacting with Computers*, 13(2), 127–145.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Williams, L., & Kessler, R. (2002). *Pair programming illuminates the principles of object-oriented design*. In *Extreme Programming Perspectives*. Addison-Wesley.