

IMPLEMENTASI PEMBELAJARAN IPA BERBASIS STEM-BUDIKDAMBER UNTUK MENGEMBANGKAN COMPUTATIONAL THINKING SISWA

Supriati Supriati^{1*}, Neneng Windayani², Tri Cahyanto³

^{1,2,3}Program Studi Tadris IPA, Pascasarjana, UIN Sunan Gunung Djati, Bandung, Indonesia

*Corresponding author: 2259450013@student.uinsgd.ac.id¹, nenengwinda.ftk@uinsgd.ac.id², tri_cahyanto@uinsgd.ac.id³

Abstract. *Learning that connects ecological concepts with real-world problems is essential for developing students' computational thinking. This study aimed to analyze the implementation of STEM-based Budikdamber science learning and the development of four dimensions of students' computational thinking. The study employed a mixed-methods approach with an embedded implementation design and a one-group pretest–posttest component. The participants were 32 seventh-grade students who took part in a five-week Budikdamber project, a simple fish-farming system using buckets. Data were collected through tests, implementation observations, response questionnaires, students' work, and interviews. Quantitative and qualitative data were analyzed separately and integrated through a joint display. The results showed that learning implementation reached 93.75%, categorized as very good. The mean computational thinking score increased from 56.25 to 77.17, indicating a moderate gain and a large effect size. The greatest improvements occurred in abstraction and algorithmic thinking. Student responses reached 90.47%, categorized as highly positive. Qualitative findings showed that students were able to decompose systems, recognize changes, select relevant information, and formulate problem-solving procedures. STEM-Budikdamber has the potential to provide an authentic unplugged learning context for developing computational thinking and sustainability awareness. Further research should involve comparison groups, larger samples, and longer implementation periods.*

Keywords: Budikdamber, computational thinking, science learning, STEM, sustainability

Abstrak. *Pembelajaran yang menghubungkan konsep ekologi dengan permasalahan nyata diperlukan untuk mengembangkan computational thinking siswa. Penelitian ini bertujuan menganalisis implementasi pembelajaran IPA berbasis STEM-Budikdamber dan perkembangan empat dimensi computational thinking siswa. Penelitian menggunakan metode campuran dengan desain implementasi tertanam dan komponen satu kelompok pretest–posttest. Subjek penelitian terdiri atas 32 siswa kelas VII yang mengikuti proyek Budikdamber yaitu proyek budidaya ikan dalam ember. Proyek ini berlangsung selama lima minggu. Data diperoleh melalui tes, observasi keterlaksanaan, angket respons, hasil kerja siswa, dan wawancara, kemudian dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif serta diintegrasikan melalui joint display. Hasil menunjukkan keterlaksanaan pembelajaran sebesar 93,75% dengan kategori sangat baik. Rata-rata skor computational thinking meningkat dari 56,25 menjadi 77,17, dengan peningkatan sedang dan ukuran efek besar. Peningkatan paling menonjol terjadi pada dimensi abstraction dan algorithmic thinking. Respons siswa mencapai 90,47% dengan kategori sangat positif. Temuan kualitatif memperlihatkan bahwa siswa mampu menguraikan sistem, mengenali perubahan, memilih informasi relevan, dan menyusun langkah pemecahan masalah. STEM-Budikdamber berpotensi menjadi pembelajaran unplugged yang autentik untuk mengembangkan computational thinking dan kesadaran keberlanjutan. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan kelompok pembandingan, sampel lebih luas, dan durasi lebih panjang.*

Kata Kunci: Budikdamber, computational thinking, pembelajaran IPA, STEM, keberlanjutan

PENDAHULUAN

Computational Thinking (CT) menjadi salah satu kompetensi penting dalam pendidikan sains karena membantu siswa memahami fenomena kompleks, mengorganisasi informasi, menganalisis hubungan antarkomponen, serta menyusun solusi secara sistematis. Wing (2006) mendefinisikan CT sebagai cara berpikir untuk merumuskan masalah dan menghasilkan solusi yang dapat dilaksanakan melalui tahapan logis. Konsep tersebut tidak hanya berkaitan dengan kemampuan menggunakan komputer atau menulis kode program, tetapi juga mencakup *decomposition*, *pattern recognition*, *abstraction*, dan *algorithmic thinking* (Grover & Pea, 2013). Dalam pembelajaran sains, keempat dimensi tersebut diperlukan ketika siswa menguraikan suatu sistem, mengidentifikasi pola dalam data, memilih informasi yang relevan, serta menyusun prosedur penyelidikan atau pemecahan masalah. Weintrop et al. (2016) memperluas pemaknaan CT dalam pendidikan matematika dan sains melalui praktik pengolahan data, pemodelan, simulasi, pemecahan masalah komputasional, dan berpikir sistem. Meskipun demikian, penerapan CT dalam pembelajaran sains masih menghadapi tantangan, terutama dalam menerjemahkan konsep yang abstrak tersebut menjadi aktivitas pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik materi, kondisi sekolah, dan pengalaman nyata siswa. Ogegbo & Ramnarain (2022) menunjukkan bahwa strategi pembelajaran dan asesmen CT di kelas sains masih sangat beragam, sedangkan Liu et al. (2024) menegaskan bahwa guru sering mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan CT dengan konten sains secara autentik.

Kebutuhan untuk menghadirkan pembelajaran sains yang autentik juga semakin penting ketika masyarakat menghadapi tekanan pada sistem pangan. Kenaikan dan ketidakstabilan harga pangan dapat menurunkan daya beli serta membatasi akses rumah tangga terhadap makanan yang sehat dan bergizi. Laporan *The State of Food Security and Nutrition in the World 2025* menunjukkan bahwa inflasi harga pangan yang persisten telah mengurangi daya beli masyarakat, terutama kelompok berpendapatan rendah, dan memperlambat kemajuan dalam mengatasi kerawanan pangan serta malnutrisi (FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO, 2025). Pada tahun 2024, sekitar 2,6 miliar penduduk dunia belum mampu membeli pola makan sehat, sedangkan biaya rata-rata pola makan sehat mencapai sekitar USD 4,46 per orang per hari berdasarkan paritas daya beli (World Bank, 2025). Kondisi tersebut menegaskan bahwa pendidikan tidak cukup hanya membekali siswa dengan pengetahuan mengenai ekosistem, tetapi juga perlu membangun kesadaran, keterampilan, dan kapasitas untuk memahami serta berpartisipasi dalam sistem produksi pangan yang lebih lokal, efisien, dan berkelanjutan.

Dalam penelitian ini, bioedukasi untuk kedaulatan pangan dimaknai sebagai proses pendidikan berbasis biologi yang membekali siswa dengan pengetahuan tentang makhluk hidup, ekosistem, sumber daya alam, produksi pangan, dan pengelolaan lingkungan, sekaligus memberikan pengalaman untuk menghasilkan dan mengelola sumber pangan secara bertanggung jawab. Kedaulatan pangan tidak hanya berkaitan dengan tersedianya pangan, tetapi juga dengan kapasitas individu dan masyarakat untuk berpartisipasi dalam menentukan cara pangan diproduksi, dikelola, dan dimanfaatkan sesuai dengan kondisi lokal. Kajian di Indonesia menunjukkan bahwa pemanfaatan ruang produksi pangan skala rumah tangga memiliki hubungan dengan keamanan pangan, keberlanjutan sistem pangan, pengeluaran pangan, dan tingkat ketergantungan keluarga terhadap pasar (Abdoellah et al., 2020). Pada tingkat pendidikan, kegiatan budidaya pangan di sekolah dapat membantu siswa mengenali asal pangan, menggunakan sumber daya secara bertanggung jawab, mengembangkan kebiasaan konsumsi berkelanjutan, dan membangun resiliensi menghadapi kekurangan pangan maupun krisis iklim (Aragón & Manzano, 2025). Dengan demikian, bioedukasi untuk kedaulatan pangan tidak dimaksudkan untuk menyatakan bahwa satu proyek sekolah dapat mewujudkan kedaulatan pangan secara langsung, tetapi untuk membangun literasi, keterampilan produksi, kesadaran ekologis, dan agensi siswa sebagai fondasi bagi masa depan yang berkelanjutan.

Integrasi CT dalam pendidikan STEM selama ini lebih banyak dilakukan melalui coding, robotik, simulasi, permainan digital, dan pemodelan berbasis komputer. Pendekatan tersebut efektif

untuk memperlihatkan proses algoritmik dan representasi komputasional, tetapi dapat membentuk pemahaman bahwa CT selalu bergantung pada perangkat digital. Wang et al. (2022) menemukan bahwa penggunaan teknologi digital dan pemrograman masih mendominasi implementasi CT dalam pendidikan STEM. Padahal, CT juga dapat dikembangkan melalui kegiatan *unplugged* yang menempatkan siswa pada proses mengamati sistem fisik, mengumpulkan data autentik, mengidentifikasi pola, merancang prosedur, dan memperbaiki solusi berdasarkan hasil pengujian. Li dan Oon (2024) menegaskan bahwa integrasi CT dan STEM akan lebih bermakna ketika kompetensi tersebut diterapkan dalam konteks yang memungkinkan terjadinya transfer pengetahuan dan keterampilan ke dalam persoalan kehidupan nyata. Dalam konteks tersebut, pembelajaran berbasis proyek menyediakan ruang bagi siswa untuk menghubungkan pengetahuan konseptual dengan praktik perancangan, pengujian, analisis, dan evaluasi. Bukti meta-analitis menunjukkan bahwa *project-based learning* dapat memperkuat CT melalui aktivitas pemecahan masalah, penyusunan algoritma, kolaborasi, kreativitas, dan evaluasi solusi (Shin et al., 2021; Zhang et al., 2024). Dengan demikian, proyek STEM berbasis sistem fisik berpotensi menjadi alternatif untuk mengembangkan CT tanpa membatasi pengalaman siswa pada aktivitas pemrograman.

Materi Interaksi Makhluk Hidup dengan Lingkungan menyediakan konteks yang relevan untuk mengembangkan CT sekaligus bioedukasi untuk kedaulatan pangan karena ekosistem tersusun atas berbagai komponen yang saling berhubungan dan mengalami perubahan secara dinamis. Siswa tidak hanya perlu memahami komponen biotik dan abiotik, tetapi juga perlu menganalisis bagaimana perubahan pada satu komponen dapat memengaruhi keseimbangan sistem secara keseluruhan dan keberhasilan produksi pangan. Salah satu sistem fisik yang dapat digunakan untuk menghadirkan hubungan tersebut adalah Budikdamber atau budidaya ikan dalam ember. Budikdamber merupakan bentuk sederhana dari sistem *aquaponics* yang mengintegrasikan ikan, air, tanaman, nutrisi, cahaya, wadah, dan aktivitas pemeliharaan dalam satu sistem. Sistem ini dapat digunakan sebagai miniatur ekosistem sekaligus sebagai *engineering system* yang perlu dirancang, dipantau, diuji, dan diperbaiki. Dalam kerangka STEM, aspek *science* muncul melalui pengamatan hubungan organisme dengan faktor lingkungannya; aspek *technology* melalui penggunaan alat bantu pengukuran dan pencatatan; aspek *engineering* melalui perancangan serta perbaikan instalasi; dan aspek *mathematics* melalui pengukuran, pengolahan, serta interpretasi data (Kelley & Knowles, 2016). *Aquaponics* telah digunakan sebagai konteks pembelajaran autentik karena memungkinkan siswa mempelajari konsep ekologi, teknologi budidaya, desain sistem, dan analisis data secara terintegrasi (Genello et al., 2015; Junge et al., 2019). Pembelajaran *aquaponics* dilaporkan dapat meningkatkan capaian akademik siswa, mendukung pemahaman konsep ekosistem, serta memberikan kesempatan kepada siswa untuk mempraktikkan keterampilan proses sains, pemecahan masalah, dan proses desain dalam konteks STEM (Baykır et al., 2022). Dari perspektif keberlanjutan, *aquaponics* memungkinkan produksi ikan dan tanaman melalui pemanfaatan kembali air serta nutrisi dalam suatu sistem terpadu sehingga berpotensi mendukung produksi pangan lokal, efisiensi sumber daya, dan kedaulatan pangan (Ibrahim et al., 2023). Karakteristik Budikdamber yang sederhana, berbiaya relatif rendah, hemat ruang, dan dekat dengan persoalan pangan serta lingkungan menjadikan Budikdamber relevan untuk diterapkan dalam pembelajaran IPA pada jenjang SMP/MTs, terutama sebagai pengalaman awal untuk mengenalkan produksi pangan berkelanjutan pada kondisi keterbatasan lahan dan tekanan harga pangan.

Melalui Budikdamber, siswa tidak hanya mempelajari bagaimana ikan, tanaman, air, cahaya, nutrisi, dan mikroorganisme saling berinteraksi, tetapi juga memperoleh pengalaman untuk merencanakan, memproduksi, memantau, dan mengevaluasi sumber pangan. Pengalaman tersebut memperluas fungsi proyek dari sekadar media demonstrasi ekosistem menjadi bentuk bioedukasi yang menghubungkan literasi sains dengan tanggung jawab ekologis dan kemandirian pangan. Ketika siswa memahami kebutuhan organisme, kualitas air, efisiensi penggunaan sumber daya, pertumbuhan tanaman, kesehatan ikan, serta risiko kegagalan sistem, mereka belajar bahwa produksi pangan

merupakan proses biologis dan sosial-ekologis yang memerlukan pengetahuan, pemantauan, pengambilan keputusan, dan tindakan berkelanjutan. Kemampuan tersebut relevan untuk mempersiapkan generasi yang lebih adaptif dalam menghadapi perubahan iklim, gangguan rantai pasok, keterbatasan lahan, dan kenaikan biaya pangan.

Meskipun *aquaponics* dan pembelajaran berbasis STEM telah digunakan dalam berbagai konteks pendidikan, kajian sebelumnya lebih banyak mengevaluasi keterlibatan siswa, hasil belajar STEM, keterampilan proses sains, kemampuan pemecahan masalah, kesadaran keberlanjutan, dan keterampilan desain. Bukti mengenai bagaimana siswa menampilkan dimensi CT ketika berinteraksi dengan sistem *aquaponics* fisik belum dijelaskan secara memadai. Secara lebih spesifik, studi yang telah ada jarang mendokumentasikan bagaimana siswa melakukan *decomposition*, *pattern recognition*, *abstraction*, dan *algorithmic thinking* ketika merancang, memantau, dan mengatasi permasalahan dalam sistem *aquaponics* berbiaya rendah. Selain itu, kontribusi proyek *aquaponics* sekolah sebagai bioedukasi untuk membangun literasi dan agensi awal menuju kedaulatan pangan belum banyak dihubungkan secara eksplisit dengan praktik CT dalam pembelajaran ekologi.

Keempat dimensi CT berpotensi muncul secara alami selama proyek Budikdamber. *Decomposition* dapat diamati ketika siswa menguraikan sistem menjadi komponen ikan, tanaman, air, wadah, nutrisi, cahaya, media tanam, dan perangkat pemantauan. *Pattern recognition* muncul ketika siswa membandingkan perubahan kondisi air, pertumbuhan tanaman, perilaku ikan, atau hasil pengamatan dari waktu ke waktu. *Abstraction* terjadi ketika siswa memilih data yang relevan untuk menjelaskan kondisi sistem dan mengabaikan informasi yang tidak berkaitan langsung dengan masalah. Sementara itu, *algorithmic thinking* dapat ditunjukkan melalui penyusunan langkah konstruksi, jadwal pemberian pakan, prosedur pengukuran, pemeliharaan sistem, dan urutan tindakan perbaikan. Praktik tersebut tidak hanya mendukung pemecahan masalah komputasional, tetapi juga membantu siswa memahami bahwa keberhasilan produksi pangan berkelanjutan bergantung pada kemampuan membaca sistem, menggunakan bukti, dan mengambil keputusan secara bertanggung jawab. Oleh karena itu, evaluasi proyek Budikdamber perlu melampaui pengukuran hasil belajar umum dan menelaah bukti CT yang muncul dalam aktivitas, data, keputusan, serta produk yang dihasilkan siswa.

Penelitian ini berkontribusi dengan menempatkan Budikdamber sebagai sistem *aquaponics* sederhana, berbiaya rendah, dan kaya data yang dapat menjadi konteks *unplugged* untuk praktik *computational thinking* sekaligus wahana bioedukasi bagi pengenalan kedaulatan pangan. Budikdamber tidak hanya berfungsi sebagai media atau produk proyek, tetapi sebagai sistem belajar yang memungkinkan siswa merancang, mengamati, mengukur, menganalisis, menghasilkan pangan, dan melakukan *troubleshooting* berdasarkan kondisi nyata. Penelitian ini bertujuan menganalisis implementasi pembelajaran IPA berbasis STEM-Budikdamber dalam mengembangkan *computational thinking* siswa serta mendeskripsikan potensinya sebagai bioedukasi untuk kedaulatan pangan dan keberlanjutan, melalui kajian keterlaksanaan pembelajaran, perubahan skor CT, manifestasi *decomposition*, *pattern recognition*, *abstraction*, dan *algorithmic thinking*, serta persepsi siswa terhadap pengalaman belajar, produksi pangan berkelanjutan, dan pemanfaatan Budikdamber sebagai alternatif budidaya pangan skala kecil.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan *embedded mixed-methods implementation design* dengan komponen kuantitatif berupa *one-group* pretest-posttest. Dalam desain tersebut, data kuantitatif digunakan untuk menganalisis perubahan skor *computational thinking* siswa, keterlaksanaan intervensi, dan respons siswa terhadap pembelajaran. Sementara itu, data kualitatif ditempatkan sebagai bukti tertanam atau *embedded evidence* untuk menjelaskan bagaimana praktik CT muncul selama pelaksanaan proyek. Penggunaan data kuantitatif dan kualitatif secara terintegrasi memungkinkan penelitian tidak hanya

mengidentifikasi perubahan hasil, tetapi juga menjelaskan proses dan konteks yang melatarbelakangi perubahan tersebut (Creswell & Plano Clark, 2018; Fetters et al., 2013). Komponen kuantitatif menggunakan desain *one-group* pretest-posttest sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain *one-group* pretest-posttest

Tahap	Simbol	Kegiatan
Pengukuran awal	O ₁	Pretest computational thinking
Intervensi	X	Pembelajaran IPA berbasis STEM-Budikdamber
Pengukuran akhir	O ₂	Posttest computational thinking

Keterangan:

O₁ = pengukuran sebelum intervensi; X = intervensi pembelajaran; O₂ = pengukuran setelah intervensi.

Sumber: diadaptasi dari Campbell & Stanley (1963) serta Creswell & Plano Clark (2018)

Penelitian tidak menggunakan kelompok kontrol karena dirancang sebagai studi implementasi awal dalam satu kelas. Oleh karena itu, penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menghasilkan kesimpulan kausal yang luas. Hasil penelitian digunakan untuk memberikan bukti awal mengenai perubahan skor siswa sekaligus mendokumentasikan keterlaksanaan dan proses munculnya CT dalam konteks pembelajaran yang nyata.

Konteks dan Subjek Penelitian

Penelitian dilaksanakan di sebuah Madrasah Tsanawiyah Negeri di Kabupaten Cirebon, Jawa Barat. Sekolah ini berlokasi di wilayah semiurban, menerapkan Kurikulum Merdeka, dan memiliki akses terhadap fasilitas pendidikan dan infrastruktur yang relatif memadai, namun masih mempertahankan karakteristik sosial dan lingkungan pedesaan.

Subjek penelitian terdiri atas 32 siswa kelas VII yang sedang mempelajari materi Interaksi Makhluk Hidup dengan Lingkungan. Siswa berada pada rentang usia 12-14 tahun. Komposisi subjek penelitian terdiri dari 14 orang siswa laki-laki dan 18 orang siswa perempuan.

Kelas dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* dengan mempertimbangkan kesesuaian materi pembelajaran, jadwal pelaksanaan, kesiapan mengikuti proyek, serta izin sekolah dan guru mata pelajaran. Sebelum penelitian, siswa belum memiliki pengalaman mengikuti pembelajaran STEM, belum pernah membuat Budikdamber atau *aquaponics* sederhana, dan belum pernah mempelajari *computational thinking*.

Intervensi dilaksanakan oleh guru IPA yang memiliki pengalaman mengajar selama 20 tahun. Guru pelaksana terlebih dahulu mempelajari skenario pembelajaran, integrasi STEM, tahapan proyek, indikator CT, instrumen pengumpulan data, dan prosedur keselamatan.

Satu kelas digunakan karena penelitian ini merupakan studi implementasi awal yang berfokus pada keterlaksanaan pembelajaran STEM-Budikdamber dan perubahan CT siswa. Penggunaan satu kelas juga membantu menjaga konsistensi guru, jadwal, fasilitas, serta pelaksanaan proyek yang memerlukan alat, bahan, pemeliharaan organisme, dan pengamatan berkelanjutan. Oleh karena itu, hasil penelitian diposisikan sebagai bukti awal mengenai kelayakan dan potensi intervensi, bukan untuk menarik kesimpulan kausal atau generalisasi yang luas (Campbell & Stanley, 1963; Creswell & Plano Clark, 2018).

Intervensi Pembelajaran STEM-Budikdamber

Intervensi menggunakan proyek Budikdamber, yaitu pemeliharaan ikan dan tanaman dalam wadah ember yang dimanfaatkan sebagai miniatur ekosistem dan sistem rekayasa sederhana. Pembelajaran dirancang menggunakan pendekatan *Project Based Learning* yang menempatkan siswa pada kegiatan mengidentifikasi masalah, merancang produk, melaksanakan proyek, melakukan pengamatan, menganalisis hasil, memperbaiki desain, dan mempresentasikan produk. Pembelajaran berbasis proyek memberi kesempatan kepada siswa untuk mempelajari konsep melalui penyelidikan

dan pemecahan masalah autentik (Krajcik & Shin, 2014).

Integrasi STEM dilakukan dengan menghubungkan konsep ekologi sebagai aspek *science*, penggunaan alat dan teknik sederhana sebagai aspek *technology*, perancangan serta perbaikan sistem sebagai aspek *engineering*, dan pencatatan serta interpretasi data sebagai aspek *mathematics*. Integrasi tersebut menggunakan konteks autentik untuk menghubungkan dua atau lebih disiplin STEM dalam proses pemecahan masalah (Kelley & Knowles, 2016).

Intervensi dilaksanakan dalam lima pertemuan. Setiap pertemuan berlangsung selama 2 JP atau 2x40 menit, sedangkan sistem Budikdamber diamati selama lima minggu. Durasi tersebut dipilih untuk memberikan waktu yang memadai bagi siswa dalam mengamati adaptasi ikan, pertumbuhan tanaman, perubahan kondisi sistem, serta pola hubungan antarkomponen Budikdamber. Selama periode tersebut, siswa melakukan pencatatan secara berkala dan menggunakan hasil pengamatan sebagai dasar untuk mengevaluasi serta memperbaiki sistem. Rangkaian intervensi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rangkaian Pembelajaran STEM-Budikdamber

Pertemuan	Fokus Pembelajaran	Integrasi STEM	Praktik CT Utama	Produk Siswa
1	Identifikasi masalah ekologis dan analisis sistem	Science	Decomposition	Peta komponen dan hubungan sistem
2	Perancangan sistem Budikdamber	Engineering	Abstraction	Sketsa desain dan variabel penting
3	Pembuatan dan pengujian awal	Technology-Engineering	Algorithmic thinking	Prosedur pembuatan
4	Pengamatan ikan, tanaman, dan kondisi sistem	Science-Mathematics	Pattern recognition	Tabel, grafik, dan uraian pola
5	Troubleshooting, revisi, presentasi, dan refleksi	Integrated STEM	Seluruh dimensi CT	Desain revisi dan presentasi

Sumber: dikembangkan dengan mengadaptasi karakteristik Project Based Learning dari Krajcik & Shin (2014), kerangka integrated STEM dari Kelley & Knowles (2016)), serta praktik computational thinking dari Grover & Pea (2013) dan Weintrop et al. (2016).

Pada pertemuan pertama, siswa mengidentifikasi masalah ekologis dan pangan yang berkaitan dengan proyek Budikdamber. Siswa kemudian menguraikan sistem menjadi ikan, tanaman, air, cahaya, pakan, wadah, media tanam, dan kegiatan pemeliharaan. Aktivitas ini diarahkan untuk memunculkan *decomposition*.

Pada pertemuan kedua, siswa merancang Budikdamber berdasarkan kebutuhan ikan dan tanaman. Siswa memilih informasi yang relevan, menentukan komponen utama, dan menyederhanakan desain agar dapat digunakan dengan alat dan bahan yang tersedia. Tahap ini diarahkan untuk mengembangkan *abstraction*.

Pada pertemuan ketiga, siswa membuat Budikdamber sesuai desain kelompok. Mereka menyusun langkah kerja mulai dari menyiapkan alat dan bahan, menyiapkan ember, membuat wadah tanaman, mengisi air, hingga menempatkan ikan dan tanaman. Tahap ini diarahkan untuk mengembangkan *algorithmic thinking*.

Pada pertemuan keempat, siswa mengamati secara langsung kondisi ikan, tanaman, air, dan lingkungan sekitar. Data dicatat secara manual, dibandingkan antarwaktu, dan disajikan dalam bentuk tabel atau grafik. Tahap ini diarahkan untuk mengembangkan *pattern recognition*.

Pada pertemuan kelima, siswa mengidentifikasi masalah yang ditemukan, menentukan kemungkinan penyebab, memilih informasi penting, menyusun tindakan perbaikan, merevisi desain, dan mempresentasikan hasil proyek. Tahap ini mengintegrasikan seluruh dimensi CT.

Scaffolding Guru

Guru memberikan *scaffolding* melalui pertanyaan pemantik, contoh peta sistem, panduan penyusunan desain, format tabel pengamatan, demonstrasi pembuatan Budikdamber, petunjuk pemeliharaan, dan umpan balik terhadap hasil kerja kelompok. Dukungan diberikan secara lebih terstruktur pada awal pembelajaran dan dikurangi secara bertahap ketika siswa mulai mampu bekerja secara mandiri.

Pertanyaan pemantik yang digunakan antara lain: "Komponen apa saja yang terdapat dalam sistem Budikdamber?", "Bagaimana hubungan antara ikan, tanaman, air, cahaya, dan pakan?", "Perubahan apa yang terlihat selama pengamatan?", "Informasi apa yang paling relevan untuk menjelaskan perubahan tersebut?", dan "Langkah apa yang perlu dilakukan ketika ditemukan masalah?"

Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian dikumpulkan melalui tes *computational thinking*, lembar observasi keterlaksanaan, rubrik aktivitas dan artefak siswa, angket respons, wawancara semi-terstruktur, catatan lapangan, dan dokumentasi. Penggunaan beberapa sumber data dimaksudkan untuk memperoleh bukti mengenai hasil dan proses implementasi serta memungkinkan triangulasi temuan. Keterlaksanaan intervensi diamati berdasarkan kesesuaian pelaksanaan dengan rancangan, durasi, partisipasi peserta, kualitas pelaksanaan, dan respons siswa. Aspek tersebut sejalan dengan konsep *implementation fidelity*, yaitu tingkat kesesuaian pelaksanaan suatu intervensi dengan rancangan yang telah ditetapkan (Carroll et al., 2007). Sumber dan fungsi data penelitian tertera pada tabel 3.

Tabel 3. Sumber dan fungsi data penelitian

Sumber Data	Jenis Data	Fungsi
Pretest dan posttest	Kuantitatif	Mengukur perubahan skor CT
Observasi keterlaksanaan	Kuantitatif dan kualitatif	dan Menilai kesesuaian pelaksanaan intervensi
Aktivitas dan artefak siswa	Kualitatif dan rubrik	skor Mengidentifikasi manifestasi CT
Angket respons	Kuantitatif	Menggambarkan persepsi siswa
Wawancara	Kualitatif	Memperdalam pengalaman dan proses berpikir
Catatan lapangan dan dokumentasi	Kualitatif	Menguatkan konteks dan triangulasi

Sumber: dikembangkan berdasarkan *embedded mixed-methods design* dari Creswell & Plano Clark (2018), prinsip integrasi data dari Fetters et al. (2013), serta *implementation fidelity* dari Carroll et al. (2007).

Instrumen Computational Thinking

Tes *computational thinking* terdiri atas 12 butir soal bentuk uraian kontekstual. Instrumen diberikan sebelum dan sesudah intervensi. Skor minimum instrumen adalah 0, sedangkan skor maksimum adalah 36.

Instrumen dikembangkan berdasarkan *decomposition*, *pattern recognition*, *abstraction*, dan *algorithmic thinking*. *Computational thinking* tidak hanya berkaitan dengan pemrograman, tetapi mencakup proses menguraikan masalah, mengenali pola, menggunakan abstraksi, dan menyusun prosedur penyelesaian yang sistematis (Grover & Pea, 2013). Dalam pembelajaran sains, CT juga dapat muncul melalui praktik data, pemodelan, pemecahan masalah, dan berpikir sistem (Weintrop

et al., 2016). Blueprint instrumen disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Blueprint Instrumen Computational Thinking

Dimensi CT	Definisi Operasional dalam Budikdamber	Bukti yang diharapkan
Decomposition	Menguraikan Budikdamber menjadi komponen yang saling berinteraksi	Identifikasi ikan, tanaman, air, cahaya, pakan, wadah, media tanam, dan pemeliharaan
Pattern recognition	Mengidentifikasi pola, kecenderungan, atau hubungan berulang	Pola pertumbuhan tanaman, aktivitas ikan, kondisi air, atau perubahan lingkungan
Abstraction	Memilih informasi yang relevan untuk menjelaskan masalah	Pemilihan variabel utama dan pengabaian informasi tidak relevan
Algorithmic thinking	Menyusun langkah yang berurutan dan logis	Prosedur pembuatan, pengamatan, pemeliharaan, dan <i>troubleshooting</i>

Sumber: diadaptasi dari Grover & Pea (2013) serta Weintrop et al. (2016), kemudian dikontekstualisasikan pada proyek Budikdamber.

Berdasarkan definisi operasional tersebut, setiap butir tes disusun untuk menampilkan bukti proses CT siswa dalam proyek Budikdamber. Soal tidak hanya menilai penguasaan konsep interaksi makhluk hidup dengan lingkungan, tetapi juga mengarahkan siswa untuk menguraikan sistem dan masalah, mengenali pola dari hasil pengamatan, memilih informasi yang relevan, serta menyusun langkah penyelesaian secara logis. Oleh karena itu, stimulus soal menggunakan situasi yang berkaitan dengan perancangan, pembuatan, pemeliharaan, pengamatan, dan perbaikan sistem Budikdamber agar jawaban siswa dapat dianalisis sesuai dengan dimensi *decomposition*, *pattern recognition*, *abstraction*, dan *algorithmic thinking*. Distribusi butir instrumen dituliskan pada Tabel 5.

Tabel 5. Distribusi Butir Tes Computational Thinking

Dimensi CT	Nomor Butir	Jumlah Butir	Skor Maksimum
Decomposition	1, 2, 3	3	9
Pattern recognition	4, 5, 6	3	9
Abstraction	7, 8, 9	3	9
Algorithmic thinking	10, 11, 12	3	9
Total		12	36

Sumber: kisi-kisi instrumen penelitian yang dikembangkan berdasarkan Grover & Pea (2013) serta Weintrop et al. (2016).

Instrumen harus benar-benar mengukur proses CT. Apabila butir hanya mengukur definisi ekosistem, komponen biotik-abiotik, atau penguasaan materi tanpa meminta siswa melakukan *decomposition*, *pattern recognition*, *abstraction*, dan *algorithmic thinking*, variabel yang diukur lebih tepat disebut hasil belajar IPA.

Rubrik Aktivitas dan Artefak Siswa

Artefak yang dianalisis meliputi peta sistem, sketsa desain, prosedur pembuatan, tabel pengamatan, grafik, catatan masalah, solusi, desain revisi, dan bahan presentasi. Rubrik bukti CT pada artefak disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rubrik bukti computational thinking pada artefak

Dimensi CT	Bukti pada Aktivitas
atau Artefak Decomposition	Sistem diuraikan menjadi

komponen dan submasalah

Pattern recognition Ditemukan perubahan, kecenderungan, atau hubungan antarhasil pengamatan

Abstraction Informasi penting dipilih dan masalah disederhanakan

Algorithmic thinking Langkah pembuatan, pemeliharaan, pengamatan, atau perbaikan disusun secara sistematis

Sumber: dikembangkan berdasarkan Grover & Pea (2013) serta Weintrop et al. (2016).

Setiap dimensi dinilai menggunakan skala 0-4. Skor tertinggi diberikan apabila bukti yang ditampilkan lengkap, logis, relevan, dan konsisten dengan kondisi proyek. Skor maksimum keseluruhan adalah 16, sedangkan skor minimum adalah 0. Skor akhir dapat dikonversi ke skala 0–100.

Lembar Observasi Keterlaksanaan

Lembar observasi mencakup kesesuaian tahapan pembelajaran, integrasi STEM, alokasi waktu, keterlibatan siswa, pelaksanaan proyek, *scaffolding* guru, aktivitas computational thinking, pengamatan, presentasi, dan refleksi. Pengembangan lembar observasi merujuk pada prinsip *fidelity of implementation*, khususnya kepatuhan terhadap rancangan, paparan atau durasi, kualitas pelaksanaan, dan respons peserta (Carroll et al., 2007).

Setiap indikator dinilai menggunakan skala 1-4 berdasarkan kegiatan yang diamati. Bukti atau kejadian penting selama pembelajaran dituliskan pada kolom catatan observer. Kriteria penskoran pada lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran STEM-Budikdamber disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kriteria Penskoran

Skor	Kategori	Deskripsi
4	Terlaksana sepenuhnya	Kegiatan dilaksanakan secara lengkap, sesuai rancangan, dan melibatkan sebagian besar siswa
3	Sebagian besar terlaksana	Kegiatan dilaksanakan sesuai rancangan, tetapi terdapat kekurangan kecil
2	Sebagian kecil terlaksana	Kegiatan hanya dilaksanakan sebagian dan belum mencapai tujuan secara Optimal
1	Tidak terlaksana	Kegiatan tidak dilaksanakan atau tidak sesuai dengan rancangan

Angket Respons Siswa

Angket respons terdiri atas 20 pernyataan menggunakan skala Likert empat tingkat: sangat tidak setuju, tidak setuju, setuju, dan sangat setuju. Pernyataan mencakup ketertarikan terhadap pembelajaran, pemahaman materi, manfaat proyek, kerja kelompok, kegiatan pengamatan, proses pemecahan masalah, dan pengalaman computational thinking. Kisi-kisi angket yang akan diisi oleh siswa disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kisi-Kisi Angket Respons Siswa

No.	Aspek	Indikator	Nomor Pernyataan	Jumlah
1.	Ketertarikan dan pemahaman pembelajaran	Ketertarikan belajar, keaktifan, pemahaman komponen ekosistem, dan hubungan antarkomponen	1-4	4
2.	Manfaat proyek dan keberlanjutan	Penerapan IPA, produksi pangan, kepedulian lingkungan, dan pemanfaatan sumber daya	5-8	4
3.	Kerja kelompok dan pelaksanaan proyek	Pembagian tugas, komunikasi, tanggung jawab, dan kolaborasi	9-12	4
4.	Pengamatan, analisis data, dan pemecahan masalah	Pengamatan berkala, perbandingan data, identifikasi masalah, dan evaluasi solusi	13-16	4
5.	Pengalaman CT	<i>Decomposition, pattern</i>	17-20	4

*recognition, abstraction, dan
algorithmic thinking*

Total

20

Sumber: dikembangkan berdasarkan Krajcik & Shin (2014), Kelley & Knowles (2016), Grover & Pea (2013), Weintrop et al. (2016), serta Baykır et al. (2022), kemudian disesuaikan dengan konteks pembelajaran STEM-Budikdamber

Wawancara Semi-terstruktur

Wawancara semi-terstruktur dilakukan kepada sembilan siswa yang dipilih secara *purposive*, terdiri atas tiga siswa dengan skor CT tinggi, tiga siswa sedang, dan tiga siswa rendah. Pertanyaan wawancara dikembangkan berdasarkan dimensi *decomposition*, *pattern recognition*, *abstraction*, dan *algorithmic thinking* serta disesuaikan dengan aktivitas proyek STEM-Budikdamber (Grover & Pea, 2013; Weintrop et al., 2016).

Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui empat tahap. Tahap pertama adalah persiapan yang meliputi penyusunan perangkat pembelajaran, pengembangan dan validasi instrumen, uji keterbacaan, persiapan alat dan bahan, pelatihan observer, serta pengurusan izin.

Tahap kedua adalah pengukuran awal melalui pretest dan pengumpulan informasi mengenai pengalaman awal siswa terhadap STEM, Budikdamber, dan computational thinking. Tahap ketiga adalah pelaksanaan intervensi selama lima pertemuan dan pengamatan Budikdamber. Observasi, catatan lapangan, dokumentasi, dan pengumpulan artefak dilakukan pada tahap ini. Tahap keempat adalah pengukuran akhir melalui posttest, angket respons, wawancara, dan pengumpulan produk akhir.

Analisis Data Kuantitatif

Data kuantitatif dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa rata-rata, median, standar deviasi, nilai minimum, dan nilai maksimum. Normalitas distribusi skor selisih antara pretest dan posttest diuji menggunakan Shapiro-Wilk. Uji tersebut dikembangkan untuk menguji kesesuaian distribusi sampel dengan distribusi normal (Shapiro & Wilk, 1965). Pemeriksaan normalitas sebaiknya juga dilengkapi dengan histogram atau Q-Q plot dan tidak hanya didasarkan pada nilai signifikansi.

Jika skor selisih berdistribusi normal, perubahan dianalisis menggunakan paired-samples t-test. Jika asumsi normalitas tidak terpenuhi, digunakan Wilcoxon signed-rank test (Wilcoxon, 1945). Tingkat signifikansi ditetapkan pada $\alpha = 0,05$.

Ukuran efek juga dilaporkan agar interpretasi tidak hanya bergantung pada nilai signifikansi. Pada paired-samples t-test, ukuran efek dapat dihitung menggunakan Cohen's (d_z), sedangkan pada Wilcoxon dapat digunakan nilai (r). Pelaporan ukuran efek memberikan informasi mengenai besarnya perubahan yang terjadi (Lakens, 2013). Data keterlaksanaan dan angket respons dianalisis menggunakan rata-rata, persentase, dan kategori interpretasi.

Analisis Data Kualitatif

Data kualitatif dianalisis melalui kondensasi data, penyajian data, dan penarikan serta verifikasi kesimpulan (Miles et al., 2014). Analisis menggunakan kerangka deduktif berdasarkan *decomposition*, *pattern recognition*, *abstraction*, dan *algorithmic thinking*. Kode induktif dapat ditambahkan apabila ditemukan bentuk aktivitas yang tidak tercakup dalam kategori awal.

Unit analisis mencakup ucapan siswa, tindakan selama proyek, keputusan kelompok, jawaban LKPD, peta sistem, desain, prosedur kerja, tabel pengamatan, grafik, catatan masalah, tindakan perbaikan, dan presentasi.

Integrasi Data

Data kuantitatif dan kualitatif diintegrasikan pada tahap interpretasi melalui proses *merging*. Data kuantitatif berupa skor pretest-posttest CT, keterlaksanaan pembelajaran, skor rubrik artefak, dan

respons siswa dibandingkan dengan data kualitatif yang berasal dari observasi, catatan lapangan, wawancara, serta dokumentasi aktivitas dan produk siswa. Integrasi dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan antartemuan dalam bentuk kesesuaian (*convergence*), perluasan penjelasan (*expansion*), saling melengkapi (*complementarity*), atau perbedaan (*divergence*). Hasil integrasi disajikan dalam bentuk *joint display* agar perubahan skor dapat ditafsirkan bersama bukti proses computational thinking yang muncul selama proyek STEM-Budikdamber (Fetters et al., 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Keterlaksanaan pembelajaran STEM-Budikdamber

Keterlaksanaan pembelajaran STEM-Budikdamber dianalisis untuk mengetahui sejauh mana intervensi dilaksanakan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Penilaian mencakup aspek pendahuluan, orientasi masalah, perencanaan proyek, integrasi *science*, *technology*, *engineering*, dan *mathematics*, analisis data, pemecahan masalah, serta refleksi. Data diperoleh melalui lembar observasi pada setiap tahapan pembelajaran dan dianalisis menggunakan persentase keterlaksanaan serta kategori yang telah ditetapkan. Hasil analisis ini memberikan gambaran mengenai konsistensi pelaksanaan pembelajaran, kualitas keterlibatan siswa, serta bagian-bagian intervensi yang telah terlaksana dengan baik maupun yang masih memerlukan perbaikan. Hasil observasi yang dilakukan oleh dua orang guru IPA pada saat kegiatan pembelajaran proyek Budikdamber akan disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Observasi Keterlaksanaan Pembelajaran Proyek Budikdamber Terintegrasi STEM

No.	Aspek yang diamati	Skor Observer 1	Skor Observer 2	Rata-rata
1.	Pendahuluan	4	4	4,0
2.	Orientasi Masalah	4	4	4,0
3.	Perencanaan Proyek	4	3	3,5
4.	Integrasi Science	4	4	4,0
5.	Integrasi Technology	3	4	3,5
6.	Integrasi Engineering	4	3	3,5
7.	Integrasi Mathematics	3	4	3,5
8.	Analisis data	4	4	4,0
9.	Pemecahan masalah	4	3	3,5
10.	Refleksi	4	4	4,0
	Jumlah	38	37	37,5
	Persentase	95%	92,5%	93,75%
	Kategori	Sangat baik	Sangat baik	Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 9 keterlaksanaan pembelajaran IPA melalui proyek Budikdamber terintegrasi STEM berada pada kategori sangat baik, dengan rata-rata persentase keterlaksanaan sebesar 93,75%. Temuan ini menunjukkan bahwa intervensi dapat dilaksanakan secara konsisten dan sebagian besar tahapan pembelajaran berjalan sesuai dengan sintaks yang telah dirancang. Tingginya keterlaksanaan ini menunjukkan bahwa pembelajaran tidak hanya terlaksana secara administratif, tetapi juga berlangsung sebagai proses belajar yang terstruktur, kontekstual, dan melibatkan siswa secara aktif dalam kegiatan proyek.

Aspek-aspek yang memperoleh skor rata-rata 4,0 meliputi pendahuluan, orientasi masalah, integrasi *science*, analisis data, dan refleksi. Hasil ini menunjukkan bahwa fase awal dan fase penutup pembelajaran terlaksana sangat kuat, demikian pula fase-fase yang berkaitan dengan pemahaman konsep IPA dan pembacaan hasil pengamatan. Kondisi ini muncul karena guru memiliki alur

pembelajaran yang jelas, menggunakan masalah kontekstual yang dekat dengan kehidupan siswa, dan memfasilitasi kegiatan belajar melalui LKPD, pengarahan kelompok, serta pertanyaan pemantik yang membantu siswa memahami tujuan proyek sejak awal. Pada aspek *science*, keterlaksanaan yang tinggi menunjukkan bahwa siswa dapat mengaitkan Budikdamber dengan konsep interaksi makhluk hidup dan lingkungannya, seperti hubungan antara ikan, tanaman, air, cahaya, dan pakan. Pada aspek analisis data, skor penuh muncul karena kegiatan pengamatan dilakukan secara rutin dan siswa dibimbing untuk membaca perubahan kondisi sistem berdasarkan catatan hasil pengamatan. Sementara itu, skor tinggi pada refleksi menunjukkan bahwa siswa memperoleh ruang untuk meninjau kembali pengalaman belajarnya, menjelaskan hasil proyek, dan menilai keberhasilan maupun kendala yang dialami. Aspek-aspek perencanaan proyek, integrasi *technology*, integrasi *engineering*, integrasi *mathematics*, dan pemecahan masalah memperoleh skor rata-rata 3,5, yang tetap berada pada kategori sangat baik, tetapi menunjukkan adanya bagian-bagian yang belum optimal pada beberapa kelompok. Hasil ini dapat terjadi terutama pada kondisi ketika siswa masih berada pada tahap awal beradaptasi dengan pembelajaran berbasis proyek yang menuntut mereka untuk merancang sistem, membagi tugas, menggunakan alat dan bahan secara efektif, serta menerjemahkan hasil pengamatan ke dalam bentuk tabel, grafik, dan keputusan perbaikan. Dengan kata lain, proses pembelajaran telah terlaksana dengan baik, tetapi beberapa siswa masih memerlukan pendampingan tambahan dalam tahapan yang menuntut pemikiran desain, pengolahan data, dan pengambilan keputusan berbasis bukti.

Pada aspek perencanaan proyek, skor 3,5 menunjukkan bahwa sebagian besar kelompok telah mampu menyusun tujuan, alat dan bahan, pembagian tugas, serta urutan kegiatan, tetapi belum semua kelompok melakukannya dengan tingkat ketelitian yang sama. Hal ini dapat dipahami karena perencanaan proyek menuntut kemampuan awal untuk mengorganisasi tugas dan memperkirakan kebutuhan kegiatan, sedangkan siswa kelas VII umumnya masih memerlukan latihan untuk merencanakan proyek secara mandiri. Kondisi ini sejalan dengan karakteristik *project-based learning* yang menempatkan peserta didik sebagai perancang proses belajarnya sendiri, tetapi tetap memerlukan *scaffolding* agar proses perencanaan dapat berlangsung lebih sistematis (Bell, 2010; Thomas, 2000).

Pada aspek *technology*, skor 3,5 menunjukkan bahwa siswa telah memanfaatkan alat, bahan, tabel, dan dokumentasi sebagai bagian dari proyek, tetapi belum seluruh kelompok dapat menggunakan semuanya secara konsisten dan efisien. Hasil ini muncul karena dalam penelitian ini aspek teknologi tidak dimaknai sebagai penggunaan perangkat digital canggih, melainkan sebagai pemanfaatan sarana sederhana untuk mendukung pembuatan, pencatatan, dan pengamatan Budikdamber. Dalam kondisi pembelajaran di kelas, penggunaan teknologi sederhana seperti alat, bahan, tabel, dan dokumentasi tetap memerlukan pembiasaan agar siswa dapat menggunakannya secara efektif sebagai bagian dari proses belajar STEM.

Pada aspek *engineering*, skor 3,5 menunjukkan bahwa kegiatan merancang, membuat, menguji, dan memperbaiki sistem Budikdamber telah muncul, tetapi belum seluruh kelompok menunjukkan kualitas revisi dan argumentasi desain yang sama kuatnya. Hal ini terjadi karena *engineering design* menuntut siswa tidak hanya membuat produk, tetapi juga mengevaluasi dan memperbaikinya berdasarkan hasil pengamatan. Bagi siswa yang belum terbiasa dengan pendekatan rekayasa, tahap ini menjadi lebih menantang karena mereka harus berpikir tentang fungsi sistem, kendala yang muncul, dan perubahan yang perlu dilakukan. Temuan ini sejalan dengan pendapat (Kelley & Knowles, 2016) bahwa integrasi STEM yang efektif harus memberi ruang bagi siswa untuk mengalami proses desain dan optimasi, bukan sekadar membuat produk akhir.

Pada aspek *mathematics*, skor 3,5 menunjukkan bahwa siswa telah melakukan pencatatan dan perbandingan data, tetapi sebagian kelompok masih perlu bimbingan ketika menyajikan data ke dalam tabel atau grafik dan ketika menggunakan data tersebut sebagai dasar kesimpulan. Hasil ini muncul karena literasi data dalam pembelajaran berbasis proyek memerlukan keterampilan tambahan

yang tidak selalu otomatis dimiliki siswa, terutama pada tahap awal implementasi. Dalam kondisi ini, guru berperan penting dalam memberikan *scaffolding* berupa format pencatatan, contoh representasi data, dan pertanyaan yang menuntun siswa untuk membaca perubahan hasil pengamatan secara lebih sistematis.

Aspek pemecahan masalah juga memperoleh skor 3,5. Hasil ini menunjukkan bahwa siswa telah mampu mengidentifikasi masalah dan mencoba memilih solusi, tetapi pada beberapa kelompok proses menghubungkan masalah dengan data hasil pengamatan belum sepenuhnya mendalam. Kondisi ini muncul karena pemecahan masalah dalam proyek Budikdamber tidak hanya bergantung pada pengetahuan konsep, tetapi juga pada kemampuan siswa mengintegrasikan hasil pengamatan, diskusi kelompok, dan keputusan praktis di lapangan. Dengan demikian, skor 3,5 pada aspek ini justru menunjukkan bahwa pembelajaran telah berhasil memunculkan situasi *problem solving* yang autentik, meskipun kualitas penyelesaiannya masih bervariasi antarkelompok.

Secara keseluruhan, hasil keterlaksanaan ini menunjukkan bahwa proyek Budikdamber dapat diimplementasikan dengan sangat baik sebagai pembelajaran berbasis STEM. Tingginya skor pada sebagian besar aspek memperlihatkan bahwa struktur pembelajaran cukup jelas, masalah yang diangkat relevan, dan kegiatan proyek mampu memfasilitasi keterlibatan aktif siswa. Temuan ini sejalan dengan Fan dan Yu (2017), yang menunjukkan bahwa penerapan kurikulum STEM integratif melalui praktik desain rekayasa dapat mendukung penguasaan pengetahuan konseptual, keterampilan berpikir tingkat tinggi, dan kualitas aktivitas desain siswa, terutama dalam kemampuan memprediksi serta menganalisis masalah.

Dalam konteks penelitian ini, keterlaksanaan yang tinggi muncul karena pembelajaran berlangsung dalam kondisi yang mendukung, yaitu adanya rancangan pembelajaran yang jelas, penggunaan konteks Budikdamber yang dekat dengan kehidupan siswa, adanya pembagian kerja kelompok, serta pemberian *scaffolding* oleh guru selama proses berlangsung. Dengan demikian, hasil ini tidak hanya menunjukkan bahwa intervensi berhasil dilaksanakan, tetapi juga menjelaskan bahwa keberhasilan tersebut muncul ketika pembelajaran dirancang secara sistematis, menggunakan masalah autentik, dan memberi kesempatan kepada siswa untuk terlibat langsung dalam proses perencanaan, pengamatan, analisis, dan refleksi. Dalam konteks pembelajaran IPA, Budikdamber terbukti berfungsi sebagai media yang mampu menjembatani konsep ekologi dengan pengalaman nyata siswa. Temuan ini sejalan dengan Junge et al. (2019) dan Genello et al. (2015) yang menegaskan bahwa sistem aquaponics atau budidaya terintegrasi memiliki potensi kuat sebagai konteks pembelajaran STEM karena bersifat sistemik, kontekstual, dan berbasis pengalaman langsung.

2. Implementasi unsur STEM

Implementasi STEM dalam proyek Budikdamber dianalisis berdasarkan kemunculan unsur *science*, *technology*, *engineering*, dan *mathematics* selama kegiatan perencanaan, pembuatan, pemeliharaan, pengamatan, analisis data, dan perbaikan sistem. Hasil observasi menunjukkan bahwa integrasi *science* memperoleh skor rata-rata 4,0, sedangkan integrasi *technology*, *engineering*, dan *mathematics* masing-masing memperoleh skor rata-rata 3,5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh unsur STEM telah muncul dalam pembelajaran, meskipun kekuatan implementasinya berbeda. Integrasi STEM dalam penelitian ini tidak ditentukan oleh penggunaan teknologi digital yang canggih, tetapi oleh keterhubungan dua atau lebih disiplin STEM dalam memahami dan menyelesaikan masalah autentik melalui proyek Budikdamber. Hal tersebut sesuai dengan kerangka *integrated STEM* yang menempatkan konten dan praktik beberapa disiplin STEM dalam satu konteks nyata untuk memperkuat proses belajar siswa (Kelley & Knowles, 2016). Implementasi unsur STEM dalam proyek Budikdamber disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Implementasi Unsur STEM dalam Proyek Budikdamber

Unsur	Aktivitas	Bukti atau Produk yang Diharapkan	Skor Rata-
-------	-----------	-----------------------------------	------------

STEM	Siswa	rata	
Science	Mengidentifikasi komponen biotik dan abiotik, kebutuhan ikan dan tanaman, serta hubungan antarkomponen	Peta sistem, jawaban LKPD, hasil pengamatan, dan penjelasan konsep ekosistem	4,0
Technology	Menggunakan alat dan bahan sederhana, teknik pembuatan, LKPD, tabel, gambar, dan dokumentasi	Produk Budikdamber, dokumentasi kegiatan, dan tabel pengamatan	3,5
Engineering	Membuat sketsa, memilih bahan, membangun, menguji, mengidentifikasi kelemahan, dan merevisi sistem	Sketsa awal, produk, catatan kendala, dan desain revisi	3,5
Mathematics	Mencatat, mengukur, membandingkan, mengorganisasikan dan menyajikan data pengamatan	Tabel perkembangan, perhitungan perubahan, dan grafik hasil pengamatan	3,5

Sumber: data hasil observasi penelitian yang dianalisis berdasarkan kerangka integrated STEM dari Kelley dan Knowles (2016).

Integrasi Science

Integrasi *science* memperoleh skor rata-rata 4,0 atau terlaksana sepenuhnya. Siswa mampu mengidentifikasi komponen biotik dan abiotik, menjelaskan kebutuhan ikan dan tanaman, serta menganalisis hubungan antarkomponen dalam Budikdamber. Keterkaitan langsung antara proyek dan materi Interaksi Makhluk Hidup dengan Lingkungan menjadikan konsep ekologi lebih konkret dan membantu siswa memahami Budikdamber sebagai miniatur ekosistem yang saling bergantung. Temuan ini menguatkan potensi aquaponics sebagai media pembelajaran sains yang mendukung pemahaman biologis, ekologis, dan sistemik melalui pengalaman langsung (Junge et al., 2019).

Integrasi Technology

Integrasi *technology* memperoleh skor rata-rata 3,5. Teknologi diwujudkan melalui penggunaan alat dan bahan sederhana, teknik pembuatan, LKPD, tabel pengamatan, gambar, dokumentasi, dan prosedur kerja, tanpa menggunakan sensor maupun Internet of Things. Meskipun penerapannya telah berjalan baik, beberapa kelompok masih memerlukan arahan dalam penggunaan alat, efisiensi bahan, dan konsistensi pencatatan. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi tidak ditentukan oleh kecanggihan perangkat, tetapi oleh pemanfaatan alat, teknik, dan informasi untuk menyelesaikan masalah autentik (Kelley & Knowles, 2016).

Integrasi Engineering

Integrasi *engineering* memperoleh skor rata-rata 3,5 dan tampak melalui penyusunan sketsa, pemilihan bahan, konstruksi, pengujian, identifikasi kelemahan, dan revisi desain. Siswa menggunakan rancangan sebagai panduan, kemudian mengevaluasi kestabilan dan fungsi sistem. Namun, kemampuan memberikan alasan teknis dan melakukan perbaikan secara mandiri masih bervariasi sehingga scaffolding guru tetap diperlukan. Temuan ini sejalan dengan Fan dan Yu (2017), yang menunjukkan bahwa praktik desain rekayasa dalam pembelajaran STEM dapat mendukung pengetahuan konseptual, keterampilan berpikir tingkat tinggi, serta kemampuan menganalisis masalah.

Integrasi Mathematics

Integrasi *mathematics* memperoleh skor rata-rata 3,5. Unsur ini muncul melalui pencatatan data selama lima minggu, pengukuran sederhana, perbandingan perubahan antarwaktu, serta penyajian hasil dalam tabel dan grafik. Data digunakan untuk mengenali perkembangan tanaman, perubahan perilaku ikan, dan kondisi sistem sebagai dasar penarikan kesimpulan dan tindakan perbaikan.

Beberapa kelompok masih memerlukan bantuan untuk menjaga konsistensi pencatatan dan menghubungkan grafik dengan kesimpulan. Aktivitas tersebut mendukung *pattern recognition* dan pengambilan keputusan berbasis data dalam pembelajaran STEM (Baykır et al., 2022).

Secara keseluruhan, Budikdamber menghadirkan pengalaman belajar lintas disiplin dalam konteks autentik. *Science* mendukung pemahaman ekologis, *technology* menyediakan alat dan prosedur, *engineering* memfasilitasi desain dan perbaikan, sedangkan *mathematics* membantu siswa mengorganisasi dan menafsirkan data. Keempat unsur tersebut saling terhubung dalam proses penyelesaian masalah selama proyek. Tahapan proyek STEM-Budikdamber disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Aktivitas Proyek STEM-Budikdamber
Sumber: Visualisasi berbantuan chatGPT

3. Manifestasi empat dimensi CT

Kegiatan pembelajaran diawali dengan pretest terhadap 32 siswa dan diakhiri dengan posttest setelah lima kali pertemuan. Sebaran data hasil pretest dan posttest disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Pretest dan Posttest Computational Thinking

Siswa	Skor Pretest	Skor Posttest	Siswa	Skor Pretest	Skor Posttest
S01	66.67	83.33	S17	66.67	94.44
S02	58.33	80.56	S18	58.33	75.00
S03	36.11	77.78	S19	63.89	69.44
S04	61.11	72.22	S20	41.67	83.33
S05	44.44	80.56	S21	72.22	69.44
S06	38.89	83.33	S22	69.44	69.44
S07	55.56	77.78	S23	61.11	86.11
S08	52.78	77.78	S24	66.67	75.00
S09	55.56	83.33	S25	63.89	77.78
S10	52.78	72.22	S26	58.33	75.00
S11	61.11	77.78	S27	41.67	75.00
S12	66.67	72.22	S28	61.11	72.22
S13	50.00	72.22	S29	41.67	77.78
S14	52.78	75.00	S30	69.44	69.44

S15	63.89	77.78	S31	38.89	75.00
S16	63.89	80.56	S32	44.44	80.56

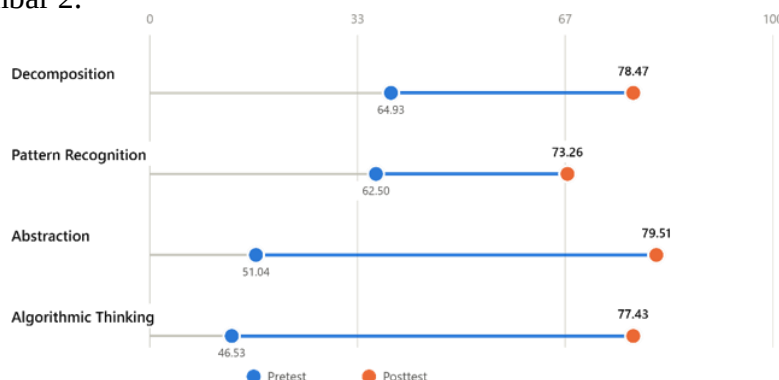
Hasil pengukuran terhadap 32 siswa menunjukkan bahwa rata-rata skor *computational thinking* meningkat dari $56,25 \pm 10,44$ pada pretest menjadi $77,17 \pm 5,59$ pada posttest, dengan selisih rata-rata sebesar 20,92 poin. Distribusi selisih skor memenuhi asumsi normalitas berdasarkan uji Shapiro-Wilk ($p = 0,483$), sehingga perubahan skor dianalisis menggunakan *paired-samples t-test*. Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara skor pretest dan posttest ($t(31)=9,25$, $p<0,001$), dengan ukuran efek Cohen's ($d_z=1,63$) yang termasuk kategori besar. Rata-rata *N-gain* sebesar 0,443 berada pada kategori sedang; sebanyak 29 siswa mengalami peningkatan skor, dua siswa memperoleh skor tetap, dan satu siswa mengalami penurunan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan terjadi pada sebagian besar siswa, meskipun tingkat perubahan masih bervariasi secara individual. Perubahan Skor CT Berdasarkan Dimensi disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perubahan Skor CT Berdasarkan Dimensi

Dimensi	Pretest, M $\pm$ SD	Pretest, M $\pm$ SD	Selisih	Nilai (p)	Ukuran Efek
Decomposition	$5,84 \pm 1,44$	$7,06 \pm 0,98$	1,22	<0,001	($r=0,59$)
Pattern recognition	$5,63 \pm 1,48$	$6,59 \pm 0,71$	0,97	0,005	($r=0,49$)
Abstraction	$4,59 \pm 1,48$	$7,16 \pm 0,88$	2,56	<0,001	($r=0,76$)
Algorithmic thinking	$4,19 \pm 1,77$	$6,97 \pm 0,90$	2,78	<0,001	($r=0,81$)

Catatan: skor maksimum setiap dimensi adalah 9. Perubahan setiap dimensi dianalisis menggunakan uji Wilcoxon karena distribusi skor selisih tidak seluruhnya memenuhi asumsi normalitas.

Peningkatan skor dapat dikaitkan dengan karakteristik proyek STEM-Budikdamber yang memberikan kesempatan kepada siswa untuk berhadapan dengan sistem fisik dan persoalan autentik selama lima minggu. Siswa tidak hanya menerima penjelasan mengenai ekosistem, tetapi juga merancang sistem, mengamati perubahan, mencatat data, mengevaluasi masalah, dan menyusun tindakan perbaikan. Rangkaian kegiatan tersebut menyediakan latihan berulang untuk menguraikan masalah, membaca pola, menyaring informasi, dan menyusun prosedur. Temuan ini mendukung pandangan bahwa pembelajaran berbasis proyek dapat mengembangkan *computational thinking* melalui aktivitas pemodelan, desain solusi, pemecahan masalah, dan evaluasi proses (Shin et al., 2021; Zhang et al., 2024). Grafik perbandingan nilai pretest dan posttest pada empat dimensi CT disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai Pretest dan Posttest pada Empat Dimensi CT

Sumber : Visualisasi gambar berbantuan Claude AI

Peningkatan terbesar pada *abstraction* dan *algorithmic thinking* terjadi karena proyek Budikdamber secara langsung melatih siswa memilih informasi penting, menyederhanakan masalah, menyusun prosedur, dan melakukan *troubleshooting* secara bertahap. Aktivitas tersebut sesuai dengan karakteristik kedua dimensi CT dan diperkuat melalui pembelajaran berbasis proyek yang menuntut perancangan, pengujian, serta perbaikan solusi (Shute et al., 2017; Shin et al., 2021). Sebaliknya, *pattern recognition* menunjukkan peningkatan paling kecil karena skor awalnya sudah relatif lebih tinggi dan kemampuan ini sangat bergantung pada konsistensi pencatatan serta kualitas data pengamatan. Weintrop et al. (2016) menegaskan bahwa pengenalan pola berkaitan erat dengan proses pengumpulan, pengorganisasian, visualisasi, dan interpretasi data.

4. Respons siswa

Hasil angket menunjukkan bahwa respons siswa terhadap pembelajaran STEM-Budikdamber berada pada kategori sangat positif, dengan rata-rata skor 72,38 dari skor maksimum 80 atau sebesar 90,47%. Seluruh siswa (n = 32) termasuk dalam kategori sangat positif. Hasil berdasarkan setiap aspek disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Respons Siswa terhadap Pembelajaran STEM-Budikdamber

Aspek respons	Rata-rata skor	Persentase	Kategori
Ketertarikan dan pemahaman	14,34	89,65%	Sangat positif
Manfaat proyek dan keberlanjutan	15,34	95,90%	Sangat positif
Kerja kelompok dan pelaksanaan proyek	15,00	93,75%	Sangat positif
Pengamatan, analisis data, dan pemecahan masalah	15,00	93,75%	Sangat positif
Pengalaman <i>computational thinking</i>	12,69	79,30%	Positif
Keseluruhan	72,38	90,47%	Sangat positif

Respons yang sangat positif menunjukkan bahwa proyek Budikdamber diterima dengan baik karena memberikan kesempatan kepada siswa untuk belajar melalui kegiatan nyata, mulai dari merancang, membuat, memelihara, mengamati, hingga mengevaluasi sistem. Pembelajaran berbasis proyek memungkinkan siswa menerapkan konsep dan menyelesaikan masalah autentik melalui pengalaman langsung, sedangkan integrasi STEM menghubungkan beberapa disiplin dalam satu konteks yang bermakna (Krajcik & Shin, 2014; Kelley & Knowles, 2016).

Aspek manfaat proyek dan keberlanjutan memperoleh persentase tertinggi, yaitu 95,90%. Hasil ini menunjukkan bahwa siswa memandang Budikdamber sebagai bentuk penerapan IPA yang relevan dengan kehidupan, terutama untuk menghasilkan ikan dan tanaman pada lahan terbatas serta memanfaatkan air dan bahan secara bertanggung jawab. Sistem aquaponics juga dinilai menarik dan memotivasi siswa karena memungkinkan mereka mempelajari konsep ekosistem sekaligus mempraktikkan keterampilan proses sains, desain, dan pemecahan masalah (Baykır et al., 2022).

Respons terhadap kerja kelompok serta pengamatan, analisis data, dan pemecahan masalah masing-masing mencapai 93,75%. Tingginya respons tersebut berkaitan dengan pembagian tugas yang jelas, interaksi antaranggota kelompok, dan pengamatan Budikdamber selama lima minggu. Pencatatan berkala membantu siswa membandingkan perubahan kondisi ikan, tanaman, dan air serta menggunakan data tersebut untuk memperkirakan masalah dan mengevaluasi solusi. Aktivitas tersebut sesuai dengan praktik CT dalam pembelajaran sains yang mencakup pengumpulan dan analisis data, pemahaman sistem, serta penyelesaian masalah secara sistematis (Weintrop et al., 2016).

Aspek pengalaman *computational thinking* memperoleh persentase lebih rendah, yaitu 79,30%, meskipun masih berada pada kategori positif. Secara khusus, respons terhadap *pattern recognition* mencapai 100%, diikuti *decomposition* sebesar 83,59% dan *abstraction* sebesar 82,81%. Tingginya respons pada *pattern recognition* kemungkinan muncul karena siswa melakukan pengamatan berulang dan membandingkan data antarwaktu sehingga pola perubahan lebih mudah dikenali.

Sebaliknya, *algorithmic thinking* memperoleh persentase terendah, yaitu 50,78% atau kategori negatif. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian siswa masih mengalami kesulitan menyusun langkah pembuatan, pemeliharaan, pengamatan, dan perbaikan Budikdamber secara lengkap dan berurutan. Kemampuan algoritmik menuntut siswa tidak hanya mengingat kegiatan, tetapi juga menyusun prosedur yang logis, menentukan keputusan bersyarat, dan mengevaluasi kembali hasil tindakan. Oleh karena itu, pengembangannya memerlukan scaffolding yang lebih eksplisit, seperti contoh diagram alur, prosedur bertahap, latihan aturan “jika-maka”, dan kegiatan *troubleshooting*. CT dalam pembelajaran IPA perlu dikembangkan melalui aktivitas yang dirancang secara sengaja dan tidak dapat diasumsikan terbentuk hanya karena siswa mengikuti kegiatan proyek (Grover & Pea, 2013; Weintrop et al., 2016).

Secara keseluruhan, respons siswa menunjukkan bahwa STEM-Budikdamber mampu menciptakan pembelajaran yang menarik, kontekstual, kolaboratif, dan relevan dengan keberlanjutan. Namun, respons angket merepresentasikan persepsi siswa terhadap pengalaman pembelajaran, bukan pengukuran langsung kemampuan CT. Oleh karena itu, temuan ini perlu diintegrasikan dengan hasil tes, observasi, artefak proyek, dan wawancara untuk memperoleh interpretasi yang lebih komprehensif. Angket yang digunakan terdiri atas 20 pernyataan yang mencakup lima aspek respons dan empat pengalaman CT.

5. Bioedukasi, kedaulatan pangan, dan keberlanjutan

Proyek Budikdamber mengintegrasikan bioedukasi dengan isu pangan dan keberlanjutan melalui pengalaman langsung memelihara ikan, menanam tanaman, serta memahami hubungan organisme dan lingkungan. Kegiatan ini membantu siswa mengenali produksi pangan sederhana pada lahan terbatas sekaligus menumbuhkan kesadaran mengenai kemandirian pangan lokal, bukan secara langsung mewujudkan kedaulatan pangan. Sistem aquaponics berpotensi mendukung efisiensi air, pemanfaatan nutrisi, produksi pangan lokal, dan pendidikan keberlanjutan, meskipun penerapannya tetap memerlukan pengelolaan sumber daya yang tepat. Dengan demikian, Budikdamber menjadi konteks autentik untuk menghubungkan konsep biologi dengan tanggung jawab terhadap makhluk hidup, penggunaan sumber daya, serta tantangan akses terhadap pangan sehat yang masih menjadi perhatian global.

6. Integrasi data kuantitatif dan kualitatif

Integrasi temuan dilakukan melalui *joint display* dengan mempertemukan perubahan skor tes, bukti aktivitas, dan hasil wawancara. Penyajian ini digunakan untuk mengidentifikasi hubungan berupa *convergence*, *complementarity*, *expansion*, *divergence*, dan *silence*. *Joint display* membantu menghasilkan interpretasi terpadu, bukan sekadar menempatkan hasil kuantitatif dan kualitatif secara terpisah (Fetters et al., 2013). Integrasi data CT disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Joint Display Integrasi Data Computational Thinking

Dimensi CT	Temuan Kuantitatif	Bukti Aktifitas (Artefak)	Bukti Wawancara	Hubungan antar data	Interpretasi
Decomposition	Skor meningkat dari 5,84 menjadi 7,06 atau sebesar 1,22 poin	Siswa mengidentifikasi asi ikan, tanaman, air, cahaya, pakan, wadah, dan media tanam serta membagi proyek	Siswa menjelaskan Pembagian tugas, seperti pemberian pakan dan pencatatan, serta mengidentifikasi asi hubungan	<i>Complementarity</i>	Skor tes menunjukkan peningkatan, sedangkan aktivitas dan wawancara menjelaskan bahwa kemampuan tersebut muncul melalui penguraian

		menjadi tahap perencanaan, pembuatan, pemeliharaan, dan evaluasi	beberapa komponen sistem		sistem dan pembagian tugas, peningkatannya lebih terbatas karena kemampuan awal siswa sudah relatif baik
Pattern recognition	Skor meningkat dari 5,63 menjadi 6,59 atau sebesar 0,97 poin, paling rendah dibandingkan dimensi lain	Tabel dan grafik Pengamatan selama lima minggu menunjukkan upaya siswa membandingkan pertumbuhan tanaman, perilaku ikan, sisa pakan, dan kondisi air antarwaktu	Sebagian siswa mampu menghubungkan sisa pakan dengan air yang menjadi keruh, tetapi belum banyak menjelaskan pola berdasarkan data yang berulang	<i>Silence dan complementarity</i>	Artefak memperlihatkan praktik pengenalan pola, tetapi bukti wawancara belum mengungkap proses tersebut secara mendalam, peningkatan yang rendah menunjukkan perlunya pencatatan lebih konsisten dan pertanyaan wawancara yang lebih spesifik mengenai pola
Abstraction	Skor meningkat dari 4,59 menjadi 7,16 atau sebesar 2,56 poin.	Siswa memilih Informasi penting, mengabaikan informasi yang tidak relevan, membuat model hubungan antarkomponen, dan menyusun kesimpulan berdasarkan catatan pengamatan	Siswa dengan CT tinggi memilih pakan, kondisi air, dan perilaku ikan sebagai informasi utama serta menilai penyebab masalah sebelum menentukan tindakan	<i>Convergence dan expansion</i>	Ketiga sumber menunjukkan berkembangnya kemampuan menyaring informasi, sedangkan wawancara memperluas hasil tes dengan menunjukkan bahwa abstraksi digunakan untuk mempertimbangkan dampak tindakan terhadap keseluruhan sistem
Algorithmic Thinking	Skor meningkat dari 4,19 menjadi 6,97 atau sebesar 2,78 poin, paling tinggi di antara seluruh	Siswa menyusun urutan pembuatan, pemeliharaan, pengamatan, <i>troubleshooting</i> , pemeriksaan ulang, dan revisi sistem	Siswa menjelaskan bahwa penyebab masalah perlu diperiksa sebelum mengganti air dan tindakan	<i>Convergence dan expansion</i>	Ketiga sumber menunjukkan berkembangnya kemampuan menyaring informasi. Wawancara memperluas hasil tes dengan menunjukkan bahwa abstraksi digunakan untuk

dimensi.	Budikdamber	perbaikan harus diikuti dengan pengamatan ulang	mempertimbangkan dampak tindakan terhadap keseluruhan sistem.
----------	-------------	---	---

Catatan: convergence menunjukkan kesamaan arah temuan; complementarity menunjukkan data saling melengkapi; expansion menunjukkan data kualitatif memperluas penjelasan kuantitatif; divergence menunjukkan ketidaksesuaian antarsumber; dan silence menunjukkan temuan hanya muncul secara jelas pada sumber tertentu.

Secara keseluruhan, integrasi data menunjukkan bahwa peningkatan skor CT didukung oleh kemunculan praktik CT selama proyek. Peningkatan terbesar pada *abstraction* dan *algorithmic thinking* berkaitan dengan intensitas kegiatan memilih informasi, mencari penyebab masalah, menyusun prosedur, serta melakukan perbaikan sistem. Sebaliknya, peningkatan *pattern recognition* yang lebih rendah sejalan dengan bukti wawancara yang terbatas tentang penggunaan pola antarwaktu, meskipun praktik tersebut terlihat pada tabel dan grafik pengamatan.

Data kualitatif juga memperluas hasil kuantitatif dengan menunjukkan perbedaan kedalaman berpikir antarsiswa. Siswa dengan CT tinggi mampu menghubungkan penggunaan sumber daya, kondisi lingkungan, kesehatan organisme, dan keberlanjutan sistem. Siswa dengan CT sedang lebih banyak menjelaskan tindakan pemeliharaan dan pembagian tugas, sedangkan siswa dengan CT rendah cenderung berfokus pada pengalaman konkret seperti menjaga air dan merawat ikan. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan skor tidak selalu menghasilkan kedalaman penjelasan yang sama pada setiap siswa.

Sintesis utama penelitian ini menunjukkan bahwa pembelajaran STEM-Budikdamber berpotensi mengembangkan CT melalui pengalaman *unplugged* yang autentik. *Decomposition* berkembang ketika siswa menguraikan sistem dan tugas, *pattern recognition* muncul melalui perbandingan data, *abstraction* berkembang ketika siswa memilih informasi penting, sedangkan *algorithmic thinking* diperkuat melalui penyusunan prosedur dan *troubleshooting*. Definisi operasional tersebut selaras dengan indikator instrumen yang digunakan dalam penelitian. Tidak ditemukan *divergence* yang kuat antarsumber data, tetapi terdapat *silence* pada dimensi *pattern recognition*, sehingga kemampuan membaca pola perlu diperkuat melalui pencatatan yang lebih sistematis, visualisasi data, dan refleksi berbasis bukti.

7. Keterbatasan penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam menafsirkan hasil. Subjek penelitian hanya melibatkan 32 siswa dalam satu kelas dan tidak menggunakan kelompok kontrol, sehingga peningkatan skor *computational thinking* belum dapat sepenuhnya dikaitkan secara kausal dengan pembelajaran STEM-Budikdamber. Durasi pengamatan yang terbatas selama lima minggu juga membatasi kemampuan penelitian dalam melihat perkembangan CT dan keberlanjutan sikap siswa dalam jangka panjang. Selain itu, kondisi air diamati secara visual dan manual tanpa penggunaan sensor atau IoT, sehingga data lingkungan yang diperoleh belum mencakup pengukuran objektif seperti pH, suhu, oksigen terlarut, atau konduktivitas.

Sebagian hasil kerja siswa disusun secara berkelompok sehingga belum sepenuhnya mencerminkan kemampuan individual setiap siswa. Skor angket juga menggambarkan persepsi siswa terhadap pengalaman pembelajaran, bukan ukuran langsung kemampuan CT. Oleh karena itu, hasil angket perlu ditafsirkan bersama data tes, observasi, artefak, dan wawancara. Keterbatasan tersebut menyebabkan hasil penelitian lebih tepat diposisikan sebagai bukti awal mengenai kelayakan dan potensi pembelajaran STEM-Budikdamber dalam konteks kelas yang diteliti, bukan sebagai temuan yang dapat digeneralisasikan secara luas. Studi lanjutan perlu melibatkan sampel yang lebih besar,

kelompok pembedan, durasi pengamatan yang lebih panjang, pengukuran kualitas air yang lebih objektif, serta penilaian hasil kerja individual.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan menganalisis implementasi pembelajaran IPA berbasis STEM-Budikdamber serta perkembangannya terhadap *computational thinking* siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran terlaksana dengan sangat baik melalui keterpaduan unsur *science*, *technology*, *engineering*, dan *mathematics*, serta diikuti oleh peningkatan kemampuan *decomposition*, *pattern recognition*, *abstraction*, dan *algorithmic thinking*, dengan peningkatan paling menonjol pada *abstraction* dan *algorithmic thinking*. Temuan tersebut menunjukkan bahwa proyek Budikdamber berpotensi menjadi konteks pembelajaran *unplugged* yang autentik untuk mengembangkan *computational thinking* siswa, meskipun hasilnya masih terbatas pada 32 siswa dalam satu kelas, sehingga memerlukan pengujian lebih lanjut pada konteks dan sampel yang lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Neneng Windayani dan Tri Cahyanto atas bimbingan, arahan, masukan, serta dukungan selama proses penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian, pengumpulan data, dan penyelesaian artikel sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoellah, O. S., Schneider, M., Nugraha, L. M., Suparman, Y., Voletta, C. T., Withaningsih, S., Parikesit, Heptiyanggit, A., & Hakim, L. (2020). Homegarden commercialization: Extent, household characteristics, and effect on food security and food sovereignty in rural Indonesia. *Sustainability Science*, 15, 797-815. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00788-9>
- Aragón, L., & Manzano, B. E. (2025). Can school gardens contribute to resilient communities from a scientific and eco-social perspective in early childhood education? *Journal of Outdoor and Environmental Education*. <https://doi.org/10.1007/s42322-024-00185-1>
- Baykır, A., Mirici, S., & Sönmez, D. (2022). Aquaponics systems as an educational tool: effects on students' achievement and teachers' views conditions of the Creative Commons Attribution license (CC BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). In *International Journal of Curriculum and Instruction* (Vol. 15, Number 1). <https://orcid.org/0000-0003-4999-8628>
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House*, 83(2), 39-43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Houghton Mifflin.
- Carroll, C., Patterson, M., Wood, S., Booth, A., Rick, J., & Balain, S. (2007). A conceptual framework for implementation fidelity. *Implementation Science*, 2, 40. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-2-40>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research*

(3rd ed.). SAGE Publications.

- Fan, S. C., & Yu, K. C. (2017). How an integrative STEM curriculum can benefit students in engineering design practices. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(1), 107-129. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9328-x>
- Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs-Principles and practices. *Health Services Research*, 48(6), 2134–2156. <https://doi.org/10.1111/1475-6773.12117>
- Genello, L., Fry, J. P., Frederick, J. A., Li, X., & Love, D. C. (2015). Fish in the classroom: A survey of the use of aquaponics in education. *European Journal of Health and Biology Education*, 4(2), 9-20.
- Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational Researcher*, 42(1), 38-43. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463051>
- Ibrahim, L. A., Shaghaleh, H., El-Kassar, G. M., Abu-Hashim, M., Elsadek, E. A., & Alhaj Hamoud, Y. (2023). Aquaponics: A sustainable path to food sovereignty and enhanced water use efficiency. *Water*, 15(24), 4310. <https://doi.org/10.3390/w15244310>
- Junge, R., Yavuzcan Yildiz, H., & Milliken, S. (2019). Aquaponics as an educational tool for sustainable STEM learning. In *Aquaponics Food Production Systems* (pp. 561–595). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Krajcik, J. S., & Shin, N. (2014). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (2nd ed., pp. 275–297). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.018>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Li, Z., & Oon, P. T. (2024). The transfer effect of computational thinking in STEM education: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11, 44. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00498-z>
- Liu, Z., Gearty, Z., Richard, E., Orrill, C. H., Kayumova, S., & Balasubramanian, R. (2024). Bringing computational thinking into classrooms: a systematic review on supporting teachers in integrating computational thinking into K-12 classrooms. In *International Journal of STEM Education* (Vol. 11, Number 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s40594-024-00510-6>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.

-
- Ogegbo, A. A., & Ramnarain, U. (2022). A systematic review of computational thinking in science classrooms. *Studies in Science Education*, 58(2), 203–230.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1963580>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality: Complete samples. *Biometrika*, 52(3–4), 591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Shin, N., Bowers, J., Krajcik, J., & Damelin, D. (2021). Promoting computational thinking through project-based learning. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 3, 7.
<https://doi.org/10.1186/s43031-021-00033-y>
- Shute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying Computational Thinking. *Educational Research Review*, 22, 142–158. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003>
- Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. Autodesk Foundation.
- Wang, C., Shen, J., & Chao, J. (2022). Integrating computational thinking in STEM education: A literature review. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20, 1949–1972.
<https://doi.org/10.1007/s10763-021-10227-5>
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25, 127–147. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>
- Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80–83.
<https://doi.org/10.2307/3001968>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35.
<https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Zhang, W., Guan, Y., & Hu, Z. (2024). The efficacy of project-based learning in enhancing computational thinking: A meta-analysis. *Education and Information Technologies*, 29, 14513–14545. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12392-2>