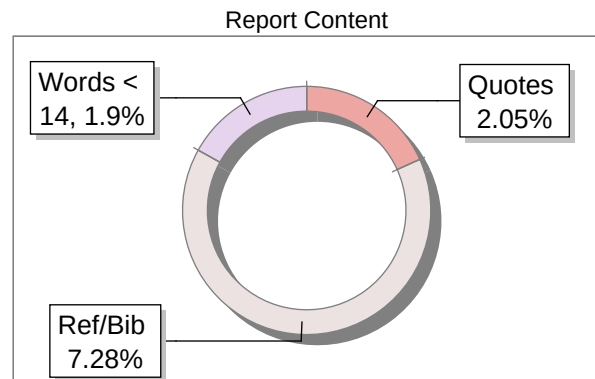
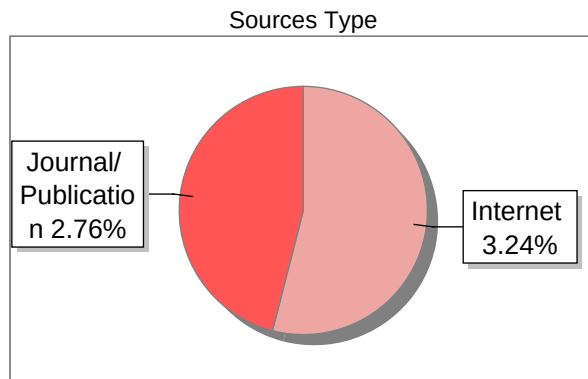




Author Name	By Drillbit
Title	Dinamika Kolaborasi Digital: Eksplorasi Efektivitas Pembelajaran Berbasis Micro:bit dalam Mengonstruksi Computational Thinking Siswa Menengah pertama di Charoensuksa School
Paper/Submission ID	4872034
Submitted by	Author
Submission Date	2025-12-10 18:09:17
Total Pages, Total Words	12, 6528
Document type	Assignment

Response	Percentage
Used	10%
Not used	90%



Quotes	Not Excluded
References/Bibliography	Not Excluded
Source: Excluded < 14 Words	Not Excluded
Excluded Source	0 %
Excluded Phrases	Not Excluded

Language	English
Student Papers	Yes
Journals & publishers	Yes
Internet or Web	Yes
Institution Repository	Yes

A Unique QR Code use to View/Download/Share Pdf File



DrillBit Similarity Report

6

SIMILARITY %

22

MATCHED SOURCES

A

GRADE

A-Satisfactory (0-10%)

B-Upgrade (11-40%)

C-Poor (41-60%)

D-Unacceptable (61-100%)

LOCATION	MATCHED DOMAIN	%	SOURCE TYPE
1	scindeks.ceon.rs	1	Internet Data
2	repository.pedagogica.edu.co	1	Internet Data
3	jurnal.umsu.ac.id	1	Publication
4	frontiersin.org	<1	Internet Data
5	dagstuhl.de	<1	Internet Data
6	media.neliti.com	<1	Publication
7	repository.uinjkt.ac.id	<1	Publication
8	1library.co	<1	Internet Data
9	jerkin.org	<1	Publication
10	jurnal.ahmar.id	<1	Publication
11	www.conscientiabeam.com	<1	Internet Data
12	adoc.pub	<1	Internet Data
13	ejournal.iai-tabah.ac.id	<1	Publication
14	ejournal.upnvj.ac.id	<1	Internet Data

15	eprints.iain-surakarta.ac.id	<1	Publication
16	files.eric.ed.gov	<1	Publication
17	journal.asdkvi.or.id	<1	Publication
18	journal.laaroiba.ac.id	<1	Publication
19	jurnal.feb-umi.id	<1	Publication
20	jurnalp4i.com	<1	Publication
21	repository.uinjkt.ac.id	<1	Publication
22	repository.uinjkt.ac.id	<1	Publication

Dinamika Kolaborasi Digital: Eksplorasi Efektivitas Pembelajaran Berbasis *Micro:bit* dalam Mengonstruksi *Computational Thinking* Siswa Menengah pertama di *Charoensuksa School*

Rahmad Kurnia Nasution

Department of Information Technology, University of Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

ABSTRAK

Riset ini dirancang dengan tujuan menyelami pola interaksi kolaboratif dalam ruang digital serta mengukur dampak pembelajaran dengan basis *Micro:bit* terhadap pengembangan kemampuan *Computational Thinking* (CT) pada siswa, khususnya di era transformasi kurikulum berbasis digital. Dengan menerapkan metodologi penelitian kualitatif melalui desain studi kasus yang dilaksanakan di *Charoensuksa School* di Thailand, partisipan penelitian terdiri dari siswa tingkat menengah pertama, pengajar mata pelajaran informatika, serta pimpinan institusi. Pengumpulan data dilakukan dengan menggabungkan beberapa pendekatan, yaitu percakapan mendalam, pengamatan langsung dalam setting kelas, dan pengolahan respon naratif dari para informan. Melalui penguraian tematis, diungkapkan bahwa karakteristik *Micro:bit* yang menggabungkan dimensi fisik dan digital menghasilkan respons visual yang cepat, yang terbukti sangat efektif dalam meningkatkan partisipasi emosional dan dorongan intrinsik siswa. Hasil analisis utama menunjukkan bahwa kolaborasi berperan sebagai dukungan berlapis dalam dimensi sosial dan kognitif, dengan menunjukkan bahwa proses tawar-menawar gagasan dan ketegangan intelektual saat mengatasi kesalahan program sebenarnya memperkuat pemahaman terhadap prinsip algoritma serta strategi pemecahan masalah. Studi ini menyimpulkan bahwa penerapan teknologi fisik terbukti efektif dalam memahami pemahaman konkret menuju gagasan abstrak, asalkan didampingi dengan kerangka kerja kolaborasi yang terumuskan dengan baik. Rekomendasi praktis tekanan kebutuhan akan panduan sistematis dalam menangani dan memperbaiki kesalahan program guna meningkatkan pengembangan CT sekaligus mengurangi rasa frustrasi yang timbul dari hambatan teknis.

Keyword : Berpikir Komputasi , *Micro:bit* , Pembelajaran Kolaboratif, Studi Kasus, Pendidikan Informatika.

Corresponding Author:

Rahmad Kurnia Nasution,
Department of Information Technology
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Kapten Mukhtar Basri No 3 Medan, 20238, Indonesia.
Email : jcositte@umsu.ac.id

Article history:

ABSTRACT

This research was designed to explore collaborative interaction mechanisms in a digital context and assess the impact of *Micro:bit* based learning on the development of *Computational Thinking* (CT) skills during the technology based implementation phase. Using a qualitative case study methodology conducted at *Charoensuksa School*, Thailand, this research involved seventh grade students, information technology instructors, and institutional leaders as the main data sources. Information was obtained through a combination of data collection strategies, including researched conversations, active observation of the learning process, and open ended responses from respondents. Thematic coding and categorization revealed that the concrete and digital nature of *Micro:bit* produced immediate visual responses, which were effective in encouraging affective engagement and intrinsic motivation among students. The central finding proves that collaboration functions as a layered maintenance of social and cognitive dimensions, showing that the process of dialogue about ideas and conceptual tensions during program improvement actually deepens understanding of algorithm structures and problem solving strategy analysis. The conclusion is that the productive integration of physical based devices bridges the gap between concrete and abstract mastery, provided it is accompanied by a well defined collaborative architecture. The operational impact of this finding is the development of systematic guidelines for error handling in the computer science learning process to advance CT while reducing technical dissatisfaction.

Keyword : *Computational Thinking*, *Micro:bit*, Collaborative Learning, Case Studies, Informatics Pedagogy.

Corresponding Author:

Rahmad Kurnia Nasution,
Department of Information Technology
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Kapten Mukhtar Basri No 3 Medan, 20238, Indonesia.
Email : jcositte@umsu.ac.id

Article history:

1. INTRODUCTION

Pada masa 4.0 saat ini, Pemikiran Komputasional (CT) telah mengalami perubahan signifikan dari sekadar kemampuan teknis semata menjadi pengetahuan dasar yang sangat penting bagi generasi pelajar abad dua puluh satu. Transformasi filosofi pembelajaran ini mengharuskan lembaga pendidikan tidak sekadar menghasilkan pengguna teknologi, tetapi lebih dari itu, menciptakan strategi digital yang mampu menguraikan persoalan persoalan rumit dengan memanfaatkan kriteria komponen, kesamaan identifikasi, penyederhanaan konsep, dan penyusunan langkah langkah logistik. Dalam skala internasional, penggunaan perangkat keras dan digital konkret seperti BBC *micro:bit* sudah terbukti secara luas memiliki potensi menghubungkan jarak antara teori abstrak tentang pemrograman dengan pengalaman nyata yang dapat dipahami oleh pelajar. Meskipun demikian, permasalahan utama yang terus dihadapi oleh banyak pembelajaran adalah strategi pengembangan pembelajaran yang sesuai agar alat mutakhir tersebut mengubah fungsi pusat dari hanya menjadi gadget hiburan menjadi sarana pembelajaran yang mengembangkan kemampuan berpikir secara optimal. (Shahin et al., 2021).

Dalam konteks regional Asia Tenggara khususnya, pemerintah Thailand telah memberikan tanggapan terhadap perkembangan dunia ini melalui inisiatif bernama "Thailand 4.0" yang mengutamakan pengembangan kapabilitas pengguna digital dan kemampuan coding sejak tahap awal dalam standar pendidikan lokal. Akan tetapi, praktik pelaksanaan di sekolah sekolah mengalami hambatan terkait dengan norma norma masyarakat dan cara pembelajaran yang diterapkan. Di institusi pendidikan menengah seperti Sekolah Charoensuksa, yang memiliki latar belakang siswa dan lingkungan akademis yang khas, pembelajaran tentang topik topik berorientasi pada komputasi masih sering disampaikan menggunakan metode *direct instruction* (pengajaran langsung). Para pelajar dibimbing untuk melakukan duplikasi program (*copy paste*) tanpa mendalami mekanisme pemikiran yang mendasarinya, akibatnya nilai inti dari CT cenderung hilang dalam praktik pembelajaran yang berlangsung di ruang kelas (Brandhofer, 2021).

Kondisi aktual di lingkungan pendidikan bertambah rumit apabila dikaji melalui sudut pandang dinamika sosial antar peserta didik. Merujuk pada pengamatan pendahuluan serta pengamatan pustaka dalam situasi yang serupa, ditemukan adanya kecenderungan bahwa pelajar di tingkat menengah sering mengalami rasa tidak percaya diri atau kekhawatiran saat mengerjakan aktivitas pengkodean secara mandiri. Kekhawatiran terhadap ketidakberhasilan (takut gagal) ketika program yang dibuat tidak dapat dieksekusi mengakibatkan kemerosotan semangat belajar yang cukup drastis. Sementara itu, dalam kenyataannya, aktivitas menulis program dan membangun solusi *Internet of Things* (IoT) merupakan kegiatan yang sangat mengandalkan kerja sama tim. Ketidakselarasan antara pendekatan pembelajaran mandiri yang tidak fleksibel dengan kebutuhan untuk bekerja secara kolektif inilah yang menjadi persoalan utama dalam proses edukasi teknologi di institusi pendidikan masa kini.

Guna mengatasi berbagai rintangan tersebut, pendekatan belajar secara berkelompok (*collaborative learning*) dianggap sebagai metode pengajaran yang memiliki potensi besar. Konsep konstruktivisme sosial yang dikemukakan oleh Vygotsky menggarisbawahi bahwa proses memperoleh pengetahuan berlangsung paling optimal melalui interaksi antarindividu dalam wilayah *Zone of Proximal Development* (ZPD). Dalam situasi pemanfaatan *micro:bit*, kerja sama tim memungkinkan para pelajar untuk saling membantu melakukan *debugging* (identifikasi dan perbaikan kesalahan), membagi tanggung jawab operasional, serta mengembangkan pemahaman kolektif yang lebih mendalam. Meskipun demikian, keberhasilan dari kerja sama ini tidak muncul dengan sendirinya; Diperlukan perancangan pembelajaran yang mampu menciptakan ruang untuk diskusi yang substantif, bukan hanya pendistribusian tugas tugas teknis belaka (Kim & City, 2021).

Signifikansi pengkajian permasalahan ini di Sekolah Charoensuksa bukan semata mata berkaitan dengan dimensi teknis berupa peningkatan nilai CT, melainkan juga mencakup dimensi sosial dan kultural. Sebagai institusi pendidikan yang mengakomodasi komunitas dengan latar belakang heterogen, pemahaman mengenai cara peserta didik melakukan diskusi, menyampaikan argumen, dan mengintegrasikan gagasan dalam menyelesaikan permasalahan dengan memanfaatkan *micro:bit* memberikan perspektif khas tentang proses penerapan teknologi dalam lingkungan setempat. Riset riset pertukaran mengungkapkan bahwa aktivitas kerja sama menggunakan *micro:bit* mampu mentransformasi pandangan pelajar, khususnya pelajar berjenis kelamin perempuan, ke ranah STEM yang selama ini dipersepsikan sebagai domain maskulin dan penuh tantangan. Dengan demikian, investigasi terhadap proses pembelajaran ini menjadi krusial untuk menyusun pendekatan pengajaran yang bersifat inklusif serta mampu memberdayakan seluruh peserta didik (Tyrén et al., 2018).

Walaupun beragam penelitian mengenai efektivitas *micro:bit* telah banyak dijalankan, sebagian besar studi yang ada cenderung mengadopsi metode kuantitatif yang fokus pada kalkulasi perubahan nilai ujian (*pretest* dan *post test*). Hingga saat ini masih ditemukan minimnya sumber pustaka yang menganalisis secara intensif aspek aspek kualitatif: seperti apakah pola interaksi antar peserta dibesarkan ketika mereka memanipulasi piranti *micro:bit*? Dengan cara apa "momen kesadaran mendadak" tercipta melalui komunikasi dalam tim kerja? Dan juga, hambatan hambatan psikologis seperti apa yang berhasil di minimalkan melalui mekanisme belajar kelompok? Ruang kosong dalam penelitian inilah yang mendesak untuk dijawab demi menyajikan perspektif utuh mengenai keberhasilan suatu proses pembelajaran (Brandhofer, 2021).

Mengingat konteks latar belakang di atas, penelitian ini dirancang untuk menyelidiki secara mendalam pendekatan efisiensi belajar berkelompok menggunakan *micro:bit* dalam mengembangkan kapabilitas Pemikiran Komputasional para siswa di Sekolah Charoensuksa. Perhatian utama penelitian tidak sekadar mengingatkan pada hasil produk digital yang dihasilkan oleh pelajar, melainkan pada mekanisme pertukaran pemahaman dan pembentukan fondasi logika secara bersama sama sepanjang proses pembelajaran berlangsung. Dari sudut pandang teori, kajian ini diharapkan mampu memperluas dasar pengetahuan terkait metodologi pendidikan Ilmu Komputer yang berfokus pada kolaborasi di wilayah Asia Tenggara. Dari dimensi aplikatif, hasil hasil dari penelitian ini akan memberikan rekomendasi praktis bagi para pengajar dalam menyusun rencana pembelajaran tentang komputasi fisik yang lebih berorientasi pada kemanusiaan, responsif terhadap interaksi, serta memberikan hasil yang optimal.

2. RESEARCH METHOD/MATERIAL AND METHOD/LETERATURE REVIEW

Dari sudut pandang teoritis, pemikiran komputasi (CT) dimaknai sebagai kumpulan strategi penyelesaian masalah yang melibatkan identifikasi komponen, penggabungan kesamaan, penyederhanaan konsep, dan prosedur pembangunan logistik hal ini dapat diterapkan di berbagai bidang ilmu, tidak terbatas pada informatika saja. Pandangan tersebut konsisten dengan pemahaman bahwa CT adalah kapabilitas intelektual berlapis yang terintegrasi dengan keterampilan analisis kritis, inovasi berpikir, dan penanganan tantangan masalah yang rumit. Dalam kerangka pelaksanaan studi ini, kemampuan peserta CT dirancang ditentukan sebagai kapasitas untuk menelaah situasi permasalahan yang nyata serta membangun rencana penyelesaian yang terstruktur menggunakan alat representasi digital (*script*, modul blok, atau rangkaian perintah) yang dikembangkan melalui perangkat *micro:bit*. Kriteria pengukuran CT mencakup kecakapan menguraikan isu menjadi segmen segmen terkecil, merencanakan urutan tindakan yang logis dan teratur, melakukan validasi dan perbaikan terhadap hasil solusi, dan melakukan introspeksi atas mekanisme bersama yang berlangsung selama kegiatan pengkodean (Lai et al., 2023).

Pembelajaran kolaboratif (*collaborative learning*) memiliki akar yang kuat dalam pandangan konstruktivisme sosial, yang mengutamakan bahwa pemahaman terbangun karena adanya pertukaran sosial, perjuangan untuk menyamakan persepsi, dan komunikasi timbal balik di antara para pelajar. Dalam konteks pemahaman ini, kerja sama bukan sekedar dilihat sebagai pekerjaan bersama dalam satu kelompok, melainkan sebagai mekanisme saling mendukung dan saling berperan konstruktif, pembagian fungsi dan tanggung jawab, serta penciptaan pengetahuan secara bersama sama (*co construction of know LEDge*) pada saat pelajar menghadapi tantangan yang identik dan memakai perangkat yang selaras. Studi menyeluruh yang dilaksanakan oleh Lai beserta rekan rekannya mengungkapkan bahwa pencapaian dalam kolaborasi guna membangun CT sangat dipengaruhi oleh dimensi dimensi yang bersifat sosial kognitif, di antaranya penetapan fungsi yang transparan, tingkat kedalaman dan efektivitas pertukaran komunikasi, hubungan timbal balik kerja, sistem nilai dan tradisi pembelajaran di kelas, serta pengembangan struktur tugas dan dukungan pembelajaran yang dirancang pendidik. Studi itu stres bahwa kolaborasi yang menghasilkan output optimal membutuhkan konstruksi pembelajaran yang dirancang dengan matang untuk mendorong pertukaran pemikiran, musyawarah untuk menemukan kesepakatan, dan evaluasi diri terhadap pengalaman, bukan hanya memberikan tugas operasional kepada tiap tiap anggota tim (Lai et al., 2023).

Dalam kurun waktu beberapa tahun belakangan ini, perangkat BBC *micro:bit* telah berkembang menjadi salah satu instrumen komputasi fisik yang mendapat berbagai macam untuk memperkenalkan CT pada tingkat pendidikan dasar dan menengah. Kajian sistematis terkini membuktikan bahwa *micro:bit* mampu mendukung pertumbuhan CT, inovasi kreatif, kemampuan mengatasi permasalahan, dan kecakapan bekerja sama, khususnya manakala digabungkan dengan

metodologi STEAM, pembelajaran yang berpusat pada produk nyata, dan tugas tugas yang relevan dengan kehidupan. (Stanojević et al., 2021) penelitiannya memberitahukan bahwa penerapan *micro:bit* di lingkungan pembelajaran kelas memungkinkan para siswa untuk membangun tiruan mekanisme yang bersifat material, mengembangkan urutan perintah yang dapat beradaptasi terhadap berbagai keluaran data, dan menyebarkan beragam pendekatan kode program, yang dengan demikian memperdalam pengalaman timbal balik mendidik dan meningkatkan partisipasi aktif pelajar. Dalam dimensi operasional, penelitian ini menempatkan *micro:bit* sebagai perangkat hasil perpaduan digital dan material yang bertindak sebagai katalis komunikasi, diskusi bermakna, serta perencanaan bersama di kalangan anggota grup pada saat mereka membangun kemampuan CT secara kolektif (Papadaki, 2025).

Penelitian penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa perpaduan antara kolaborasi dan *micro:bit* menawarkan peluang yang cukup besar bagi pengembangan CT, akan tetapi sebagian besar karya ilmiah tersebut masih mengadopsi pendekatan yang bersifat numerik dan menitikberatkan pada pencapaian pembelajaran yang dapat diukur melalui instrumen tes tertulis. Penelitian yang diselenggarakan oleh Shahin bersama rekan rekannya menginvestigasi cara melihat siswa di jenjang pendidikan menengah atas terhadap kegiatan CT pada saat mereka terlibat dalam aktivitas pengkodean secara bersama sama menggunakan *micro:bit*, dan menghasilkan temuan bahwa kolaborasi kelompok juga membantu mereka melampaui halangan yang bersifat emosional dan intelektual dalam menguasai gagasan gagasan CT yang bersifat abstrak. Sebaliknya, analisis mendalam yang dilakukan oleh (Lai et al., 2023) membangun kerangka pedagogis untuk mendesain kegiatan kerja sama dalam ranah pengajaran CT, namun lebih mengutamakan penjelasan dimensi dimensi sosiokognitif dan kesulitan dalam penerapannya daripada melakukan pengkajian terperinci mengenai pola interaksi pada tingkat detail dalam situasi kelas yang konkret. Bersamaan dengan itu, pengamatan mencakup perihal mikro: bit tekanan manfaat signifikannya dalam memajukan berbagai kemampuan dalam perspektif abad dua puluh satu, akan tetapi masih terbatas dalam mengeksplorasi pandangan dan keterlibatan siswa secara pribadi dalam lingkungan budaya dan organisasi institusional yang unik dan khusus (Wu et al., 2024).

Dalam setting negara Thailand, temuan penelitian mutakhir yang dijalankan oleh Sukkamart dan Chachiyo menampilkan bahwa strategi pembelajaran berbasis masalah yang menggabungkan mode berani dan tatap muka terbukti berhasil dalam meningkatkan kapabilitas CT pada kalangan pelajar tingkat menengah, menekankan signifikansi perancangan tugas yang konkret dan relevan serta penyatuan alat teknologi dalam proses pendidikan. Namun, penelitian itu lebih mengutamakan pembuktian keefektifan model pembelajaran dari perspektif peningkatan nilai CT, dan masih kurang mengeksplorasi secara komprehensif bagaimana hubungan antarindividu, perundingan pemahaman, dan pola kerja sama yang terbangun dalam komunitas belajar. Sebaliknya, penyelidikan lain yang dilakukan di wilayah Asia membuktikan bahwa penyerapan CT pada struktur pendidikan mengalami hambatan berupa salah pemahaman di kalangan tenaga pengajar dan peserta didik mengenai hakikat CT, juga kesulitan dalam menyusun kegiatan kerja yang sama yang berdampak dan berdampak. Celah pengetahuan ini semakin penting untuk diperhatikan manakala menganalisis institusi pendidikan dengan profil seperti *Charoensuksa School*, yang memiliki ciri khas dimensi sosiokultural dan cara mengajar yang unik yang hingga saat ini belum banyak diteliti melalui pendekatan kualitatif mendalam (Sukkamart et al., 2024).

Dari penjelasan di atas, dapat diketahui adanya celah dalam hal teori dan bukti empiris yang berusaha dijemput melalui penelitian ini. Dari perspektif konsep dan teori, masih sedikit kajian ilmiah yang secara langsung menyatukan prinsip konstruktivisme sosial, kerangka kerja CT, dan perencanaan pembelajaran yang menggunakan *micro:bit* dalam satu model pemikiran yang mengkonsentrasikan diri pada pola kolaborasi yang terjadi di ruang pembelajaran. Dari sisi data dan fakta lapangan, belum banyak penelitian yang memberikan gambaran rinci mengenai proses siswa dalam membangun CT melalui percakapan, ekspresi tubuh, dan penggunaan perangkat yang menggabungkan dimensi digital dan fisik dalam situasi sekolah menengah di negara Thailand. Riset ini memposisikan diri sebagai upaya untuk menyelidiki pola kerja sama yang berbasis digital di institusi Sekolah Charoensuksa, dengan menonjolkan mekanisme pembentukan CT sebagai peristiwa yang bersifat sosial dan dibantu oleh kehadiran *micro:bit* serta metode pembelajaran yang diterapkan oleh pendidik. Model pemikiran yang diterapkan meliputi pemahaman tentang CT sebagai rangkaian kegiatan penyelesaian tantangan, kolaborasi pelajar dalam sudut pandang sosial intelektual, dan *micro:bit* sebagai alat perantara dalam pertukaran di lingkungan kelas. Kerangka ini menjadi acuan analitik untuk menguraikan bagaimana, dalam konteks nyata pembelajaran di kelas, kapabilitas

peserta CT didik didik, didiskusikan, dan dikaji ulang melalui proses kolaborasi digital yang berlangsung (Papadaki, 2025).

3. RESULTS

Penelitian ini berfokus pada penggalian secara mendalam bagaimana kolaborasi digital terbentuk dan berlangsung dalam kegiatan belajar dengan media *micro:bit*, yang diarahkan untuk membangun pemikiran komputasi (CT) pada siswa kelas 7 di *Charoensuksa School*, Thailand. Informasi penelitian diperoleh dari pengisian kuesioner oleh 17 siswa, wawancara dengan guru mata pelajaran komputer, Ibu Nurul Atikaf dan direktur sekolah, Bapak Arnoon Panjamateekul.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Kuesioner

No	Indikator/Pernyataan Kuesioner	Mean	Standar Deviation	Kategori
1	Minat Berkelanjutan – Q10	4.53	0.80	Sangat Tinggi
2	Pemahaman melalui Objek Fisik – Q7	4.47	0.80	Sangat Tinggi
3	Pemahaman Konsep CT – Q3	4.29	1.16	Sangat Tinggi
4	Berpikir Logis & Terstruktur – Q9	4.29	0.99	Sangat Tinggi
5	Kenikmatan Belajar – Q1	4.24	1.15	Sangat Tinggi
6	Daya Tarik Pembelajaran – Q2	4.24	1.15	Sangat Tinggi
7	Motivasi & Keaktifan – Q5	4.18	1.13	Tinggi
8	Kolaborasi dengan Teman – Q4	4.18	1.13	Tinggi
9	Kepercayaan Diri Presentasi – Q8	4.12	0.99	Tinggi
10	Tingkat Kemudahan – Q6	3.65	1.17	Sedang/Tinggi

Temuan utama:

1. Skor tertinggi terdapat pada minat berkelanjutan (Q10, M=4.53).
2. Indikator yang paling rendah adalah persepsi kemudahan (Q6, M=3.65) menandakan *Micro:bit* masih menimbulkan tantangan teknis dan kognitif tertentu bagi siswa.

Tabel 2. Integrasi Temuan Kuantitatif & Kualitatif

Tema Utama	Indikator (rata rata)	Bukti Kualitatif
1. Keterlibatan Emosional & Motivasi	Q1 (4.24), Q2 (4.24), Q5 (4.18)	" <i>Micro:bit</i> itu keren saat LED nya menyala." / "Metode ini membuat siswa senang belajar pemrograman."
2. Konstruksi Pemikiran Komputasi	Q3 (4.29), Q9 (4.29)	" <i>Micro:bit</i> membantu berpikir lebih logis memahami sebab akibat."
3. Dinamika Kolaborasi	Q4 (4.18)	"Kami bisa bertukar ide dan memecahkan masalah bersama."
4. Tantangan & Hambatan	Q6 (3.65)	"Kesulitan saat <i>debugging</i> memakan waktu." / "Koneksi kurang stabil."
5. Peran Mediasi Fisik Digital	Q7 (4.47)	"Bisa langsung lihat hasil seperti lampu menyala atau gambar muncul."
6. Minat Berkelanjutan	Q10 (4.53)	"Ingin semakin banyak tahu tentang cara kerja teknologi." / Direktur: "Program ini bisa berkembang sesuai kurikulum teknologi."

Tabel 3. Reduksi Data Wawancara Guru & Kepala Sekolah

Kutipan Verbatim	Coding	Sub Tema	Tema Utama
"Metode ini membuat siswa senang belajar pemrograman."	antusiasme, motivasi, <i>enjoyment</i>	keterlibatan emosional	Keterlibatan Emosional & Motivasi
" <i>Micro:bit</i> itu keren saat LED nya menyala mengikuti perintah."	pengalaman sensorik, <i>curiosity</i> , eksplorasi	pengalaman langsung	Pengalaman Nyata (<i>Tangible Learning</i>)
" <i>Micro:bit</i> membantu berpikir lebih logis menyusun langkah langkah."	<i>logical sequencing</i> , CT <i>development</i>	konstruksi logika	Konstruksi Pemikiran Komputasi

Kutipan Verbatim	Coding	Sub Tema	Tema Utama
"Kami bisa bertukar ide dan memecahkan masalah bersama."	kolaborasi, diskusi, kerja tim	dinamika kelompok	Kolaborasi
"Ada beberapa kesulitan saat <i>debugging</i> memakan waktu."	hambatan teknis, <i>debugging</i>	tantangan teknis	Tantangan Pembelajaran
"Koneksi kadang tidak stabil."	masalah fasilitas, infrastruktur	kendala operasional	Tantangan Pembelajaran
"Program ini bisa berkembang sesuai kurikulum teknologi."	sustainability, dukungan institusi	visi jangka panjang	Minat & Dukungan Berkelanjutan
"Siswa belajar <i>Micro:bit</i> membuat mereka lebih bertanggung jawab dalam kelompok."	responsibility, role sharing	perilaku positif	Kolaborasi
"Tidak ada tantangan dari sekolah fasilitas lab mendukung."	dukungan sekolah, fasilitas	dukungan organisasi	Dukungan Institusional
"Siswa ingin lebih tahu tentang teknologi."	minat masa depan, curiosity	motivasi jangka panjang	Minat Berkelanjutan

A. Keterlibatan Emosional dan Motivasi Belajar Melalui Tangibel Teknologi

Temuan pertama menunjukkan bahwa penggunaan *micro:bit* dalam pembelajaran berkontribusi besar terhadap peningkatan keterlibatan emosional siswa, yang tampak dari tingginya skor rata rata rasa senang ($M=4.24/5$), ketertarikan terhadap pembelajaran ($M=4.24/5$), serta motivasi untuk aktif terlibat ($M=4.18/5$). Para siswa menyatakan ketertarikan yang kuat pada aspek konkret dan dapat disentuh dari perangkat tersebut, sebagaimana tergambar dalam komentar seorang siswa yang menggambarkan *micro:bit* sebagai sesuatu yang "keren" ketika lampu LED menyala dan merespons perintah yang mereka susun. Ungkapan ini mencerminkan adanya fenomena feedback loop langsung, yaitu kemampuan siswa untuk segera mengamati keluaran dari kode yang mereka buat dalam bentuk tampilan visual fisik (LED menyala, animasi bergerak), yang pada akhirnya menimbulkan rasa puas seketika serta memperkuat motivasi intrinsik mereka dalam belajar (Funk et al., 2021).

Guru komputer menguatkan temuan tersebut dengan menegaskan bahwa pendekatan ini membuat siswa merasa senang dan lebih tertarik ketika belajar pemrograman. Pernyataan siswa lain juga menonjolkan sisi pengalaman langsung, dengan mengungkapkan bahwa belajar menggunakan *micro:bit* memberikan kesempatan merasakan praktik nyata, bukan sekadar mempelajari teori. Hasil ini selaras dengan gagasan dalam teori pemrograman nyata yang menekankan bahwa interaksi langsung dengan objek fisik dapat meningkatkan partisipasi aktif dan membantu menjembatani konsep konsep abstrak menjadi lebih konkret, terutama bagi peserta didik pada jenjang sekolah menengah pertama (Yu et al., 2025).

Aspek lain yang menonjol adalah cara siswa melihat kegiatan belajar sebagai wadah untuk menyalurkan ide dan ekspresi kreatif. Seorang siswa menggambarkan bahwa kegiatan dengan *micro:bit* mendorong lahirnya berbagai inovasi baru saat belajar dan berupaya memahaminya, yang menunjukkan bahwa perangkat ini tidak hanya berfungsi sebagai sarana pembelajaran, tetapi juga sebagai media untuk menjalankan *creative agency*. Hal ini krusial karena temuan temuan sebelumnya menunjukkan bahwa model pembelajaran berbasis proyek yang memanfaatkan perangkat fisik dapat menguatkan kreativitas siswa melalui proses eksplorasi, percobaan berulang, dan refleksi yang terus menerus (Kastner hauler et al., 2022).

B. Konstruksi Computational Thinking melalui Pengalaman Pemrograman yang Terstruktur

Siswa memperlihatkan pemahaman yang kuat mengenai peran *micro:bit* dalam membantu pengembangan CT, tercermin dari tingginya skor rata rata terkait penguasaan konsep CT ($M=4.29/5$) dan kemampuan berpikir logis secara terstruktur ($M=4.29/5$). Menariknya, penuturan siswa juga menunjukkan adanya kesadaran metakognitif terhadap cara mereka menjalankan proses berpikir komputasional. Seorang siswa menggambarkan bahwa penggunaan *micro:bit* mendukung mereka untuk berpikir lebih logis karena saat menulis program, mereka belajar menyusun langkah langkah secara berurutan, memahami hubungan sebab akibat, serta menyelesaikan persoalan melalui analisis yang tertata.

Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa siswa memahami elemen elemen kunci CT, yaitu dekomposisi (memecah persoalan menjadi bagian bagian kecil), abstraksi (mencari dan mengenali pola), serta algoritma (menyusun urutan langkah yang logis). Temuan ini sejalan dengan hasil

penelitian (Kastner hauler et al., 2022). yang menyimpulkan bahwa kegiatan belajar dengan pemrograman berbasis *micro:bit* dan blok mampu mendukung pemahaman konsep CT secara efektif melalui pengalaman belajar yang konkret, berulang, dan bertahap. Seorang siswa lain menegaskan cara kerja proses ini dengan menyatakan bahwa penggunaan *micro:bit* membuat mereka lebih mudah memahami program melalui kerangka input proses output, yang mengindikasikan bahwa bentuk pemrograman visual membantu mereka membayangkan dan menata alur logika komputasional secara lebih jelas.

Aspek krusial yang perlu digarisbawahi adalah bahwa pemahaman CT tidak muncul begitu saja, melainkan terbentuk melalui proses *debugging* dan bertahap dalam pemrograman. Hal ini tercermin dari pernyataan seorang siswa yang mengungkapkan bahwa penggunaan *micro:bit* membuatnya harus menyusun kode yang sempit untuk menyelesaikan masalah nyata, sehingga logikanya benar benar terpacu untuk bekerja secara runtut. Pilihan kata “harus” dalam kutipan tersebut penting, karena menunjukkan bahwa struktur pemrograman pada *micro:bit* menghadirkan batasan kognitif yang bersifat produktif siswa dituntut untuk berpikir sistematis agar program dapat berjalan dengan benar, sehingga kedisiplinan dalam berpikir komputasional yang terstruktur dapat berkembang melalui praktik yang berulang (Esperanza, 2025).

C. Dinamika Kolaborasi sebagai *Scaffolding* Sosial Kognitif

Pembelajaran yang bersifat kolaboratif dengan memanfaatkan *micro:bit* menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi ($M=4.18/5$), meskipun demikian, kajian kualitatif mengungkap dinamika yang jauh lebih rumit daripada sekadar “aktivitas bekerja bersama dalam kelompok.” Guru memberikan pengamatan bahwa siswa menampilkan kemampuan menyuarakan gagasan mereka dan bersama sama mengatasi hambatan dengan cara yang penuh inovasi. Pengamatan ini mengisyaratkan bahwa kerja sama dalam konteks ini bukan hanya memfasilitasi pertukaran dan pembentukan pengetahuan bersama melalui berbagai perspektif, melainkan jauh melampaui sekedar distribusi pekerjaan yang bersifat operasional atau teknis semata.

Penuturan siswa menyingkap pemahaman lebih mendalam mengenai cara kolaborasi berperan sebagai alat bantu untuk memperkuat kapasitas berpikir. Seorang siswa menggambarkan bahwa melalui kerja sama mereka dapat saling menukar pandangan, menghadapi tantangan bersama, dan memberikan dukungan ketika program mengalami gangguan atau kesalahan, sehingga proyek dapat diselesaikan dalam waktu yang lebih singkat dan menghasilkan karya yang lebih inovatif. Pernyataan ini mengungkap tiga peran sentral kolaborasi: pertama, adanya ragam sudut pandang yang dapat dipertukarkan (bertukar ide), kedua, ketersediaan bantuan dalam mengatasi kesalahan pemrograman (saling membantu saat program tidak berjalan), dan ketiga, peningkatan kecepatan dalam penyelesaian tugas (lebih cepat selesai). Temuan ini konsisten dengan kerangka pembelajaran sosial kognitif yang menggarisbawahi bahwa kolaborasi akan berhasil manakala melibatkan saling ketergantungan yang positif dan tanggung jawab bersama di antara anggota kelompok (Esperanza, 2025) & (Lai et al., 2023).

Aspek yang menonjol di sini adalah kesadaran siswa terhadap kesulitan yang muncul saat bekerja dalam kelompok. Seorang siswa menggambarkan bahwa ketika bekerja sama, setiap anggota memiliki gagasan berbeda terkadang terjadi perdebatan kecil, misalnya ia ingin memakai blok loop sementara temannya memilih blok if else, namun pada akhirnya mereka berupaya menemukan solusi kompromi yang dirasa paling efektif. Kisah tersebut memperlihatkan bahwa konflik kognitif dalam proses diskusi pemrograman justru berfungsi sebagai titik penting dalam pembelajaran, karena melalui situasi itu siswa berlatih bernegosiasi, menghasilkan berbagai alternatif solusi, dan mengambil keputusan berdasarkan penalaran logis, yang merupakan bagian dari keterampilan CT pada tingkat yang lebih tinggi (Tan et al., 2024).

Guru juga memvalidasi adanya perubahan dalam perilaku sosial siswa, mencatat bahwa mereka menunjukkan peningkatan dalam hal tanggung jawab dan pemahaman mengenai cara membagi beban kerja di antara anggota kelompok. Observasi ini mengindikasikan bahwa pembelajaran kolaboratif tidak sekadar mengembangkan kapabilitas CT, melainkan juga memperkaya kompetensi interpersonal seperti penetapan peran yang jelas, pertanggungjawaban, serta kecakapan dalam berkomunikasi, yang merupakan keterampilan penting dalam konteks abad ke 21 (Funk et al., 2021).

D. Hambatan Teknis dan Heterogenitas Kemampuan sebagai Tantangan Pedagogis

Kendati respons dari siswa pada umumnya bersifat positif, data yang terkumpul juga mengekspos tantangan substansial dalam pelaksanaan pembelajaran ini. Skor yang menggambarkan tingkat kesulitan ($M=3.65/5$, dengan item yang dibalik) mengisyaratkan bahwa sejumlah siswa menghadapi hambatan yang cukup berat dalam pembelajaran. Guru mengidentifikasi tantangan pokok yang muncul, yakni keharusan memperhatikan perbedaan latar belakang pengetahuan dan tingkat kemampuan teknis yang dimiliki setiap siswa. Identifikasi ini menekankan isu penting tentang pembelajaran yang disesuaikan dengan kebutuhan individu bagaimana menciptakan desain pembelajaran yang mampu mengakomodasi dan mengatasi keragaman tingkat kemampuan yang ada dalam satu ruang kelas (Kastner hauler et al., 2022).

Siswa mengungkapkan frustrasi ketika menghadapi proses pencarian dan perbaikan kesalahan dalam program (*debugging*). Seorang siswa menjelaskan bahwa kesulitan utama yang dialaminya adalah ketika program tidak menghasilkan output sesuai ekspektasi, karena terkadang terdapat kesalahan halus pada bagian kode atau kesalahan pada hubungan antar komponen fisik, yang memerlukan waktu cukup lama untuk melacak sumber masalah dan melakukan koreksi. Penuturan ini mengungkap dua kategori kesalahan yang dialami: pertama, kesalahan dalam logika pemrograman, dan kedua, kesalahan teknis pada koneksi perangkat keras (*hardware*). Siswa lain juga mengungkapkan pengalaman serupa terkait tantangan dalam membuat program yang berfungsi dengan optimal.

Temuan ini signifikan karena mengungkap kontradiksi dalam pendekatan pedagogis: proses *debugging* merupakan komponen kritis dalam pembelajaran CT (karena memungkinkan siswa melatih pemikiran sistematis, melakukan uji coba terhadap solusi, dan mengekstrak pembelajaran dari kegagalan), akan tetapi sekaligus menjadi penyebab ketidakpuasan yang berpotensi melemahkan semangat belajar. Penelitian yang dilakukan oleh DeLiema dan koleganya menunjukkan bahwa *debugging* yang dilakukan secara kolaboratif dapat menjadi lingkungan pembelajaran yang sangat kaya untuk refleksi konseptual, asalkan disertai dengan dukungan metodis dari guru yang sesuai. Dalam situasi spesifik di *Charoensuksa School*, hasil penelitian ini mengindikasikan kebutuhan akan mekanisme dukungan yang lebih terstruktur dan jelas, seperti panduan sistematis dalam *debugging* atau daftar periksa masalah umum yang dapat memandu siswa dalam mengidentifikasi dan mengatasi kesalahan secara terencana dan logis (DeLiema et al., 2020).

Hambatan teknis lainnya yang dihadapi adalah persoalan stabilitas jaringan dan konektivitas: beberapa siswa melaporkan bahwa koneksi tidak selalu konsisten, dan ada pengalaman di mana jaringan terputus secara mendadak saat mereka sedang mengerjakan tugas menggunakan *micro:bit*. Situasi ini mengungkapkan bahwa infrastruktur teknologi—mencakup aspek seperti koneksi kabel USB, keandalan platform coding daring, dan stabilitas jaringan internet—memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kelancaran dan kontinuitas proses pembelajaran, sehingga aspek ini memerlukan perhatian khusus dalam upaya pengembangan dan penyempurnaan implementasi pembelajaran jangka panjang.

E. Peran Mediasi Artefak Fisik Digital dalam Konstruksi Makna

Salah satu penemuan yang paling berbobot adalah cara *micro:bit* sebagai perangkat yang menggabungkan elemen fisik dan digital berfungsi untuk memfasilitasi pembentukan pemahaman. Skor yang mencerminkan tingkat keberhasilan pembelajaran ($M=4.47/5$ —nilai tertinggi di antara seluruh parameter yang diukur) mengisyaratkan bahwa sifat konkret dan nyata dari *micro:bit* terbukti sangat ampuh dalam mendukung proses belajar. Siswa mendeskripsikan pengalamannya dengan mengatakan bahwa mereka dapat langsung mengamati keluaran dari program yang telah mereka susun, dalam bentuk visual seperti lampu yang menyala atau tampilan yang muncul pada layar perangkat.

Ungkapan tersebut mengekspos mekanisme pembelajaran yang fundamental: kognisi yang terinternalisasi melalui pengalaman fisik—pemahaman yang terbentuk ketika individu berinteraksi langsung dengan benda-benda nyata dan konkret. Ketika siswa menekan tombol pada perangkat dan menyaksikan LED yang berpendar, proses pembelajaran mereka melampaui sekadar penguasaan aturan dan tata bahasa pemrograman; mereka secara langsung mengalami dan merasakan hubungan akibat musabab melalui sensor mereka. Pola pembelajaran ini konsisten dengan perspektif konstruktivisme yang dikemukakan oleh Piaget, yang menekankan peranan penting pengalaman sensorik dan konkret dalam pembentukan konsep-konsep abstrak, khususnya bagi kelompok usia remaja muda yang masih berada di fase peralihan antara pola berpikir operasional konkret dan operasional formal (Yu et al., 2025).

Seorang siswa lain mengungkapkan bahwa penggunaan *micro:bit* membuat pelaksanaan tugas menjadi lebih mudah dan tidak berbelit belit, yang mengisyaratkan bahwa cara visual untuk menyusun kode berbasis blok (MakeCode) berhasil mengurangi beban kognitif dibandingkan apabila harus menggunakan bahasa pemrograman dengan sintaksis tekstual yang kompleks. Penelitian yang dilakukan oleh (Kastner hauler et al., 2022) memvalidasi bahwa perpaduan antara pemrograman yang berbasis blok dengan komputasi yang bersifat fisik menciptakan suatu pintu masuk yang tidak terlalu menantang, yang memungkinkan siswa untuk berkonsentrasi pada aspek logika komputasional tanpa perlu khawatir menghadapi kerumitan yang melekat pada aturan sintaksis.

F. Minat Berkelanjutan dan Visi Institusional

Temuan yang paling menggembirakan adalah keterusan minat siswa terhadap *micro:bit* ($M=4.53/5$ skor paling tinggi di seluruh pengukuran). Seorang siswa mengekspresikan bahwa dengan *micro:bit* mereka dapat belajar sambil menjalankan eksperimen secara langsung, dan hal ini membangkitkan rasa ingin tahu yang semakin mendalam mengenai mekanisme pemrograman serta perkembangan teknologi kontemporer. Narasi ini mengindikasikan bahwa pengalaman yang memuaskan dengan *micro:bit* memicu pertumbuhan minat suatu pergeseran dari minat yang hanya dipicu oleh situasi sesaat menuju minat yang lebih persisten dan tahan lama dalam jangka waktu yang lebih panjang (Jeong, 2025).

Arnoon Panjamateekul selaku Kepala sekolah mengartikulasikan aspirasi lembaga dengan menyatakan bahwa program ini dapat terus maju sejalan dengan kerangka kurikulum berbasis teknologi, dan membantu institusi pendidikan mencapai kemajuan melalui integrasi teknologi. Pernyataan tersebut mencerminkan pandangan bahwa inisiatif *micro:bit* tidak sekadar merupakan kegiatan coba coba dengan jangka waktu terbatas, melainkan bagian integral dari proses perubahan cara mengajar yang berkelanjutan, yang selaras dengan visi pembangunan Thailand 4.0. Meskipun demikian, kepala sekolah juga mengidentifikasi tantangan yang signifikan: meskipun secara teknis tidak ada hambatan serius, terdapat kesenjangan dalam komunikasi dengan keluarga siswa banyak orang tua yang belum memahami apa yang dipelajari anak anak mereka mengenai *micro:bit*, dan situasi ini berpotensi mengganggu keberlanjutan program dalam jangka panjang.

G. Diskusi

Temuan penelitian ini memberikan sumbangan yang bermakna baik dari segi teori maupun bukti empiris dalam mengungkap mekanisme pembelajaran kolaboratif yang memanfaatkan *micro:bit* di konteks sekolah menengah di kawasan Asia Tenggara. Dari perspektif teoritis, riset ini memperdalam wawasan mengenai cara pemrograman pada perangkat fisik berfungsi sebagai perantara dalam proses pembentukan CT melalui tiga jalur utama: pertama, kehadiran umpan balik visual yang segera tersedia yang memperkuat pemahaman hubungan akibat penyebab, kedua, pengalaman belajar yang dimediasi oleh interaksi fisik yang mengubah gagasan abstrak menjadi sesuatu yang nyata dan dapat diamati, dan ketiga, proses pencarian dan perbaikan kesalahan yang dilakukan secara bersama yang membuka peluang bagi negosiasi dan penyeragaman makna di antara peserta didik. (Esperanza, 2025).

Hasil temuan mengenai keberhasilan kolaborasi selaras dengan hasil tinjauan sistematis oleh (Lai et al., 2023) yang menekankan bahwa kolaborasi akan berhasil manakala mencakup pertukaran antarrekan yang teratur dan terencana, pembagian fungsi yang transparan, serta kesamaan tujuan yang hendak dicapai. Namun demikian, penelitian ini menyertakan dimensi penting yang sebelumnya kurang disorot: kolaborasi dalam konteks pemrograman dengan *micro:bit* tidak selamanya berjalan lancar tanpa gesekan, justru ketegangan intelektual (seperti ketidaksepakatan tentang penggunaan blok loop dibandingkan blok if else) merupakan juncto pembelajaran yang krusial dan bermakna. Temuan ini sejalan dengan kerangka pemikiran Vygotsky, yang menggarisbawahi bahwa munculnya ketidakselarasan dalam cara berpikir di dalam zona pengembangan proksimal mendorong terjadinya penataan ulang struktur kognitif pada diri pelajar.

Temuan mengenai hambatan dalam proses *debugging* mengekspos dilema yang memerlukan penanganan strategis dari segi metodologi pengajaran. Di satu sisi, *debugging* merupakan kegiatan inti dalam pembelajaran CT yang berperan melatih cara berpikir sistematis dan menumbuhkan daya tahan menghadapi masalah; di sisi lain, frustrasi yang terlalu besar akibat kesulitan dalam *debugging* dapat melemahkan kepercayaan diri dan persepsi kemampuan siswa. Hasil kajian yang dilakukan oleh

(DeLiema et al., 2020) membuktikan bahwa *debugging* yang dilakukan secara bersama sama akan berfungsi optimal apabila disertai dukungan metodis yang tegas dan jelas seperti penerapan teknik mengungkapkan pikiran secara lantang atau pemberian petunjuk refleksi yang tersusun rapi. Dalam situasi Sekolah Charoensuksa khususnya, temuan ini mengindikasikan kebutuhan akan perencanaan pembelajaran yang cakap mengkalibrasi antara pemberian tantangan intelektual yang sesuai dengan tingkat keterampilan yang dimiliki oleh siswa.

Perbandingan dengan penelitian penelitian sebelumnya mengungkapkan adanya keselarasan dan perbedaan dalam temuan. (Shahin et al., 2021) mengungkap bahwa siswa di tingkat menengah mengalami peningkatan dalam cara mereka memahami CT sebagai hasil dari kerja sama menggunakan *micro:bit*, suatu kesimpulan yang sejajar dengan apa yang ditemukan dalam penelitian ini. Akan tetapi, penelitian (Shahin et al., 2021) menitikberatkan perhatiannya pada perbedaan persepsi berdasarkan identitas gender, sedangkan investigasi saat ini memusatkan diri pada pola kolaborasi dalam spektrum yang lebih luas. Di lain pihak, (Kastner hauler et al., 2022) penelitiannya mendokumentasikan bahwa *micro:bit* terbukti berhasil untuk siswa pada tahap pendidikan dasar (siswa kelas 3 dan 4), sementara penelitian ini memberikan konfirmasi bahwa perangkat ini juga bermanfaat bagi siswa di jenjang sekolah menengah pertama tingkat pertama, asalkan dirancang dengan pendekatan pembelajaran yang tepat sasaran.

Konteks sosial dan budaya Thailand menghadirkan perspektif yang berharga dan unik. Tradisi budaya yang menekankan saling bantu dan tanggung jawab kolektif (yang tercermin dalam konsep seperti "*kreng jai*" dan "*bunkhun*") di lingkungan masyarakat Thailand nampaknya turut mendukung terwujudnya pembelajaran kolaboratif yang produktif dan bermakna. Para siswa menunjukkan kecenderungan yang alami untuk saling memberikan bantuan dan memikul tanggung jawab bersama, suatu sikap yang harmonis dengan prinsip nilai sosial yang tertanam dalam budaya setempat. Penemuan ini menggarisbawahi signifikansi pendekatan pembelajaran yang peka dan responsif terhadap keunikan budaya lokal dengan kata lain, upaya untuk memahami dan mengintegrasikan dimensi sosial dan budaya spesifik suatu komunitas dalam proses merancang kegiatan pembelajaran.

Dari perspektif aplikasi praktis, temuan temuan ini memiliki implikasi signifikan dalam merancang pembelajaran CT untuk jenjang sekolah menengah. Pertama, penyertaan *micro:bit* dalam kegiatan pembelajaran harus diikuti dengan pembangunan struktur kolaborasi yang transparan dan terperinci sekadar mengelompokkan siswa tidak cukup memadai; diperlukan penetapan fungsi spesifik bagi setiap anggota (seperti model *driver navigator* dalam pemrograman berpasangan) dan rangkaian aturan interaksi yang terencana dengan baik. Kedua, pendidik membutuhkan persiapan yang memadai untuk mengarahkan proses *debugging* kolaboratif sebagai peluang belajar yang bermakna, bukan hanya sekadar upaya untuk mengoreksi kekeliruan. Ketiga, fondasi teknis sekolah meliputi kestabilan koneksi jaringan dan ketersediaan perangkat yang memiliki performa yang baik perlu terjaga dengan baik guna menjamin bahwa siswa dapat menjalankan kegiatan pembelajaran tanpa gangguan dan hambatan teknis yang mengganggu.

Penelitian ini memiliki sejumlah batasan yang perlu diakui. Jumlah partisipan yang terlibat relatif terbatas ($n=17$) dan pengamatan terfokus pada satu institusi spesifik, faktor faktor ini membatasi tingkat sejauh mana temuan dapat diterapkan ke populasi dan konteks yang lebih luas. Untuk memperkuat keabsahan temuan dalam cakupan yang lebih besar, diperlukan penelitian lanjutan dengan melibatkan berbagai sekolah di Thailand dan negara negara ASEAN lainnya melalui desain penelitian dengan multiple case study. Lebih jauh, karakter penelitian ini lebih bersifat eksplorasi yang deskriptif secara mendalam; untuk memperoleh pemahaman mengenai bagaimana CT yang terbangun melalui pembelajaran dengan *micro:bit* dapat bertahan dalam waktu lama dan dapat ditransfer ke situasi pembelajaran yang berbeda, diperlukan penyelidikan yang bersifat longitudinal dengan *follow up* jangka panjang.

Penelitian di masa depan juga sebaiknya menggali dimensi dimensi yang belum terjamah dalam penelitian ini, antara lain : pertama, cara keragaman tingkat kemampuan di antara anggota kelompok turut membentuk pola kolaborasi, kedua, karakteristik pertukaran komunikasi baik verbal maupun melalui gerak tubuh saat kelompok melakukan proses *debugging* bersama, dan ketiga, kontribusi pendidik dalam mengelola ketegangan intelektual yang produktif dengan perselisihan yang tidak menghasilkan pembelajaran. Penggunaan metodologi analisis interaksi berbasis rekaman video akan memungkinkan peneliti untuk memahami mekanisme pembelajaran CT pada tingkat detail yang lebih halus, dengan mengungkap bagaimana pengetahuan dibangun secara bertahap dalam dinamika kolaborasi yang terjadi sehari hari di ruang kelas.

10 4. CONCLUSION

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan teknologi fisik 16 digital (teknologi nyata) melalui perangkat *micro:bit* dengan strategi pembelajaran kolaboratif berperan penting dalam membentuk kemampuan Computational Thinking (CT) siswa sekolah menengah di *Charoensuksa School*. Bukti empiris mengindikasikan bahwa *micro:bit* tidak hanya berfungsi sebagai perangkat teknis, tetapi juga sebagai artefak mediasi yang menghubungkan logika pemrograman yang abstrak dengan pengalaman belajar yang konkret dan dapat dirasakan langsung. Umpan balik visual yang muncul seketika (immediate feedback) terbukti menjadi elemen kunci yang menguatkan motivasi intrinsik dan keterlibatan emosional, sehingga menggeser pandangan siswa terhadap pemrograman dari sesuatu yang menakutkan menjadi wadah eksplorasi yang kreatif.

Dari sisi teoritis, penelitian ini memperkaya diskursus konstruktivisme sosial dengan menegaskan bahwa CT tidak berkembang dalam proses berpikir yang terisolasi, melainkan melalui proses tawar-menawar makna di dalam interaksi sosial. Pola kolaborasi yang muncul termasuk perbedaan pandangan dan ketegangan intelektual saat menyusun logika program berfungsi sebagai scaffolding alami yang membantu pendalaman pemahaman mengenai algoritma dan dekomposisi masalah. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa keberhasilan teknologi pendidikan sangat ditentukan oleh bagaimana pola interaksi sosial di sekelilingnya dirancang dan difasilitasi.

Secara praktis, temuan ini menegaskan perlunya perubahan pendekatan mengajar dari model instruksi langsung menuju peran guru sebagai fasilitator dengan struktur yang jelas. Guru perlu memaknai proses *debugging* sebagai momen belajar yang sangat penting, yang memerlukan dukungan emosional dan intelektual agar kekecewaan siswa tidak menghambat perkembangan CT mereka. Selain itu, hasil penelitian merekomendasikan agar kurikulum informatika di tingkat menengah tidak semata menekankan penguasaan sintaksis kode, tetapi juga memasukkan protokol kolaborasi yang terencana untuk memaksimalkan pertukaran dan aliran pengetahuan antar siswa.

Untuk agenda penelitian di masa mendatang, disarankan perluasan kajian melalui studi longitudinal guna menelaah sejauh mana keterampilan CT yang dibangun lewat pembelajaran berbasis *micro:bit* dapat bertahan dalam jangka panjang. Selain itu, penting untuk mengeksplorasi bagaimana model pembelajaran ini dapat dimodifikasi bagi sekolah dengan keterbatasan sarana teknologi, serta melakukan studi perbandingan lintas budaya di negara-negara ASEAN untuk memahami bagaimana nilai dan norma lokal memengaruhi dinamika kolaborasi digital di kalangan siswa.

REFERENCES

- Brandhofer, G. (2021). *THE MICRO : BIT AND COMPUTATIONAL THINKING . EVALUATION RESULTS OF A COMPUTATIONAL PROJECT*. 2021(ML), 57–64.
- DeLiema, D., Dahn, M., Flood, V. J., Abrahamson, D., Enyedy, N., & Steen, F. F. (2020). *Debugging as a context for collaborative reflection on problem solving processes*. In E. Manolo (Ed.), *Deeper Learning, Communicative Competence, and Critical Thinking: Innovative, Research Based Strategies for Development in 21st Century Classrooms*. Rout LEDge.
- Esperanza, R. (2025). *Improving Grade 7 Learners ' Problem Solving Skills Through Collaborative Coding in Scratch Programming with the Use of Chromebooks*. IX(2454), 7381–7401. <https://doi.org/10.47772/IJRISS>
- Funk, M. G., Cascalho, J. M., Santos, A. I., & Mendes, A. B. (2021). *Educational Robotics and Tangible Devices for Promoting Computational Thinking*. 8(November), 1–8. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.713416>
- Jeong, H. (2025). Supporting interest development in gifted software education through computational thinking and project based learning. *Computers and Education Open*, 9, 100282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100282>
- Kastner hauler, O., Tengler, K., Sabitzer, B., Lavicza, Z., & Kastner hauler, O. (2022). *Combined Effects of Block Based Programming and Physical Computing on Primary Students ' Computational Thinking Skills*. 13(June), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.875382>
- Kim, Y., & City, J. (2021). *The effects of algorithm based software education using micro : bit on elementary school students ' creativity*. 20(5), 5805–5813. <https://doi.org/10.17051/ilkonline.2021.05.654>
- Lai, X., Ye, J., & Wong, G. K. W. (2023). Effectiveness of collaboration in developing computational thinking skills: A systematic review of social cognitive factors. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(5), 1418–1435. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jcal.12845>
- Papadaki, E. (2025). *The BBC micro : bit in Primary Schools : A Systematic Review on Computational Thinking, Creativity , and Pedagogical Strategies Results*. 5(2), 1611–1620. <https://doi.org/10.25082/AMLER.2025.02.015>
- Shahin, M., Gonsalvez, C., Whittle, J., Chen, C., Li, L., & Xia, X. (2021). *How Secondary School Girls Perceive Computational Thinking Practices through Collaborative Programming with the Micro : bit*.

- Stanojević, D., Rosić, A., Randelović, B., & Stanković, Ž. (2021). Micro: Bit as a Tool for Improvement of Education. *International Journal of Management Science and Business Administration*, 7(2), 14–19. <https://doi.org/10.18775/ijmsba.1849.5664.5419.2014.72.1002>
- Sukkamart, A., Chachiyo, W., Chachiyo, M., Pimdee, P., Moto, S., & Tansiri, P. (2024). Enhancing computational thinking skills in Thai middle school students through problem based blended learning approaches. *Cogent Education*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:275153240>
- Tan, J., Wu, L., & Ma, S. (2024). Collaborative dialogue patterns of pair programming and their impact on programming self efficacy and coding performance. *British Journal of Educational Technology*, 55(3), 1060–1081. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/bjet.13412>
- Tyrén, M., Heath, C., & Eriksson, E. (2018). *Considerations and Technical Pitfalls for Teaching Computational Thinking with BBC micro : bit*. *Considerations and Technical Pitfalls for Teaching Computational Thinking with BBC micro : bit*. 81–86.
- Wu, Ting Ting, Asmara, Andik, Huang, Yueh Min, & Permata Hapsari, Intan. (2024). Identification of Problem Solving Techniques in Computational Thinking Studies: Systematic Literature Review. *Sage Open*, 14(2), 21582440241249896. <https://doi.org/10.1177/21582440241249897>
- Yu, J., Garg, P., Synn, D., & Oh, H. (2025). *Tangible MakeCode : Bridging Physical Coding Blocks with a Web Based Programming Interface for Collaborative and Extensible Learning*. <https://doi.org/10.1145/3706598.3713260>

