

***Project-Based Learning* dalam Pembelajaran Proyek IoT untuk Meningkatkan *Computational Thinking* dan Kolaborasi Siswa: Tinjauan Literatur Sistematis**

Elisa Rosa¹, Muhammad Nursalman², Rasim³

Departemen Magister Pendidikan Ilmu Komputer, Universitas Pendidikan Indonesia
elisarosa@upi.edu

Abstrak: Perkembangan pesat teknologi digital dan tuntutan global terhadap pendidikan menuntut penguatan keterampilan abad ke-21, terutama *computational thinking* (CT) dan kolaborasi. Penelitian ini merupakan tinjauan literatur sistematis yang bertujuan untuk mengkaji bagaimana pendekatan *Project-Based Learning* (PjBL) diterapkan dalam pembelajaran proyek Internet of Things (IoT) serta dampaknya terhadap pengembangan keterampilan *computational thinking* (CT) dan kolaborasi siswa. Meskipun belum banyak penelitian yang secara eksplisit menghubungkan ketiga elemen tersebut secara bersamaan, sejumlah studi menunjukkan bahwa proyek berbasis Arduino, Scratch, dan prinsip rekayasa dalam konteks PjBL mampu mendukung penguatan CT dan kolaborasi, khususnya dalam pendekatan interdisipliner berbasis STEM. Hasil kajian menunjukkan bahwa pembelajaran proyek IoT berbasis PjBL memiliki potensi besar dalam membangun keterampilan abad ke-21, namun masih terdapat kesenjangan dalam pengembangan sistem pembelajaran yang secara terpadu menggabungkan aspek PjBL, IoT, CT, dan kolaborasi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut secara empirik untuk merancang model pembelajaran inovatif yang efektif dalam konteks pembelajaran Informatika di era digital.

Kata Kunci: *Project-Based Learning*, Internet of Things, *Computational Thinking*, Kolaborasi, Sistem Pembelajaran

Abstract: The rapid advancement of digital technology and global demands on education require the strengthening of 21st-century skills, particularly *computational thinking* (CT) and collaboration. This study is a systematic literature review aimed at examining how the *Project-Based Learning* (PjBL) approach is applied in Internet of Things (IoT) project-based learning and its impact on the development of students' *computational thinking* (CT) and collaboration skills. Although few studies explicitly connect these three elements simultaneously, several studies indicate that Arduino-based projects, Scratch, and engineering principles within the PjBL context can support the enhancement of CT and collaboration, especially through interdisciplinary STEM-based approaches. The review findings suggest that IoT project-based learning with a PjBL framework holds strong potential to foster 21st-century skills. However, there remains a gap in developing integrated learning systems that combine PjBL, IoT, CT, and collaboration in a cohesive manner. Therefore, further empirical research is needed to design innovative learning models that are effective within the context of Informatics education in the digital era.

Keywords: *Project-Based Learning*, Internet of Things, *Computational Thinking*, Collaboration, Learning System

1. Pendahuluan

Pendidikan di abad ke-21 menuntut siswa untuk tidak hanya menguasai pengetahuan akademis, tetapi juga mengembangkan keterampilan yang relevan dengan tantangan masa depan, seperti *computational thinking* (CT) dan kolaborasi (P21, 2019). *Computational thinking* merujuk pada kemampuan untuk memecahkan masalah kompleks dengan cara yang sistematis, melibatkan dekomposisi masalah, pengenalan pola, abstraksi, dan pengembangan algoritma (Selby et al., 2015). Sementara itu, kolaborasi menjadi keterampilan penting dalam dunia kerja modern, di mana siswa perlu bekerja sama dalam tim untuk mencapai tujuan bersama (Baker, 2015).

Salah satu pendekatan pembelajaran yang efektif untuk mengembangkan kedua keterampilan ini adalah *Project-Based Learning* (PJBL). PJBL adalah metode pembelajaran yang melibatkan siswa dalam proyek nyata yang menuntut pemecahan masalah, kreativitas, dan kerja tim (Thomas et al., 2000). *Project-Based Learning* (PjBL) telah diidentifikasi sebagai salah satu pendekatan yang efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir komputasional dan kolaborasi (Shin et al., 2021). PjBL mendorong siswa untuk memecahkan masalah nyata melalui proyek yang menuntut integrasi antara teori dan praktik. Model ini memberikan pengalaman belajar yang lebih mendalam dibandingkan dengan metode pembelajaran tradisional karena siswa secara aktif membangun pengetahuan mereka sendiri melalui eksplorasi, analisis, dan refleksi (Bell, 2010). Selain itu, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa PjBL dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan kreativitas dalam pembelajaran berbasis teknologi (Kokotsaki et al., 2016a).

Dalam konteks pembelajaran teknologi, *Internet of Things* (IoT) telah menjadi bidang yang semakin relevan karena kemampuannya untuk menghubungkan perangkat fisik dan digital, menciptakan peluang untuk proyek-proyek inovatif seperti *IoT Smart Trash* (Atzori et al., 2010). Proyek IoT tidak hanya mengajarkan siswa tentang teknologi, tetapi juga melatih mereka dalam berpikir komputasional dan bekerja sama dalam tim (Hsu et al., 2018). IoT menawarkan peluang untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan berbasis data, terutama dalam bidang sains, teknologi, teknik, dan matematika (STEM) (Lin et al., 2024). Namun, tantangan dalam pengajaran proyek IoT terletak pada kompleksitas konsep serta keterampilan teknis yang diperlukan untuk memahami dan mengimplementasikannya dalam proyek nyata.

Di Indonesia, *computational thinking* merupakan salah satu elemen penting dalam capaian pembelajaran Informatika pada Fase F sesuai dengan Kurikulum Merdeka. Namun, dalam praktiknya, implementasi pembelajaran yang mendukung pengembangan kemampuan ini masih menghadapi berbagai tantangan. Banyak guru masih menggunakan pendekatan konvensional, seperti ceramah dan demonstrasi, yang cenderung menempatkan siswa sebagai penerima pasif. Dalam elemen algoritma dan pemrograman, siswa hanya menyalin kode tanpa memahami logika di baliknya, sehingga kurang mampu memodifikasi atau mengembangkan program secara mandiri (Wahdini et al., 2024).

Selain itu, pembelajaran kolaboratif dan eksploratif belum sepenuhnya diterapkan, sehingga keterlibatan siswa dan kemampuan mereka untuk bekerja dalam tim masih rendah. Guru juga menghadapi keterbatasan bahan ajar yang kontekstual dan media pembelajaran yang interaktif. Penggunaan teknologi nyata seperti perangkat IoT atau mikrokontroler (misalnya Arduino) masih sangat terbatas, sehingga pembelajaran sering

kali berbasis simulasi tanpa pengalaman langsung dalam melihat bagaimana proses input, pemrosesan, dan output terjadi dalam sistem fisik. Kondisi ini menunjukkan perlunya model pembelajaran yang tidak hanya menekankan aspek teknis pemrograman, tetapi juga mendorong keterlibatan aktif siswa dalam menyelesaikan masalah nyata secara kolaboratif dan kontekstual.

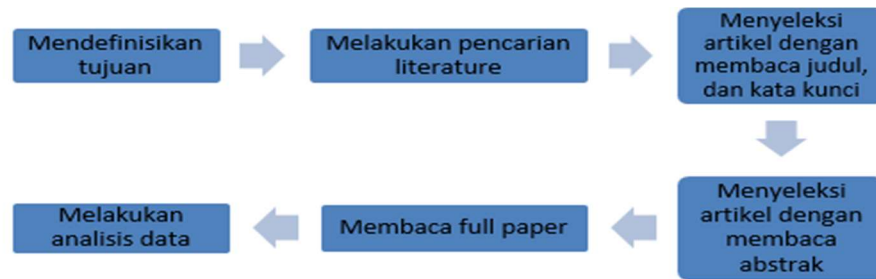
Meskipun berbagai penelitian telah menyoroti efektivitas pendekatan Project-Based Learning (PjBL) dalam meningkatkan kemampuan *computational thinking* (Grover & Pea, 2013) dan kolaborasi (Johnson & Johnson, 2009), kajian yang secara eksplisit mengintegrasikan ketiganya—yakni PjBL, proyek *Internet of Things* (IoT), dan pengembangan CT serta kolaborasi secara simultan—masih sangat terbatas. Sebagian besar studi fokus pada aspek teknis pengembangan perangkat IoT tanpa mempertimbangkan pendekatan pedagogis yang digunakan, sementara yang lain membahas PjBL secara umum tanpa mengaitkannya dengan pembelajaran teknologi autentik seperti IoT maupun capaian keterampilan abad ke-21 secara spesifik. Beberapa penelitian juga mengkaji hubungan antara PjBL dengan CT atau kolaborasi secara terpisah, namun belum menggabungkan keduanya dalam satu kerangka kajian yang utuh.

Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) yang secara sistematis memetakan keterkaitan antara penerapan PjBL dalam proyek IoT dan pengembangan *computational thinking* serta kolaborasi siswa. Kebaruan (*novelty*) dari studi ini terletak pada integrasi dimensi pedagogis (PjBL), teknologis (IoT), dan kompetensi abad ke-21 (CT dan kolaborasi) dalam satu kerangka analisis yang komprehensif, yang selama ini jarang dijadikan fokus dalam literatur sebelumnya. Kajian ini juga mengevaluasi pola, tren, metodologi, serta arah pengembangan riset di bidang ini, sehingga dapat menjadi landasan konseptual untuk pengembangan model pembelajaran berbasis proyek teknologi yang lebih kontekstual dan aplikatif di era digital.

Lebih jauh, kontribusi praktis dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi berbasis bukti untuk pengembangan sistem pembelajaran Informatika yang tidak hanya berfokus pada aspek teknis seperti pemrograman dan perangkat keras, tetapi juga menekankan pentingnya pemahaman konseptual, kerja kolaboratif, serta kemampuan memecahkan masalah nyata. Dengan demikian, hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi referensi strategis dalam merancang inovasi pembelajaran Informatika yang transformatif dan relevan dengan kebutuhan pendidikan abad ke-21 (OECD, 2019).

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metode tinjauan literatur sistematis di gabung studi *bibliometric* digunakan. Tinjauan literatur ini melibatkan analisis mendalam terhadap berbagai sumber tertulis, seperti jurnal ilmiah, buku, artikel, dan dokumen relevan lainnya yang terkait dengan penerapan *Project-Based Learning* (PjBL) dalam pembelajaran proyek *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan *computational thinking* dan kolaborasi siswa. Metode ini bertujuan untuk memahami dan mengevaluasi bagaimana PjBL berperan dalam meningkatkan kemampuan *computational thinking* dan kolaborasi siswa melalui proyek IoT. Dengan mengkaji berbagai perspektif dan temuan dari penelitian sebelumnya, studi ini berupaya memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas PBL dalam konteks pembelajaran IoT serta implikasinya terhadap pengembangan keterampilan siswa di era digital.



Gambar.1 Alur Penelitian

Pencarian literatur dilakukan menggunakan database akademis seperti Scopus, IEEE Xplore, SpringerLink, dan Google Scholar melalui perangkat lunak *Publish Of Perish* . Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi: ("*Project-Based Learning*" OR "*PjBL*") AND ("*Internet of Things*" OR "*IoT*") AND ("*Computational Thinking*" OR "*CT*") AND ("*Collaboration*" OR "*Kolaborasi*") . Pencarian dibatasi pada artikel yang diterbitkan 10 tahun terakhir yaitu antara tahun 2015-2024 untuk memastikan relevansi temuan dengan perkembangan terkini..

3. Hasil dan Pembahasan

A. Matriks Hasil Pencarian

Dalam penelitian ini, ditemukan 500 artikel yang relevan dengan kata kunci dengan jumlah sitasi sebesar 10.273. Rata-rata jumlah sitasi per tahun mencapai 1027,30, sementara rata-rata sitasi per artikel adalah 20,55. Selain itu, setiap artikel ditulis oleh rata-rata 2,85 penulis.s

Analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian terkait memiliki h-index sebesar 43 dan g-index sebesar 96, yang mencerminkan tingkat dampak dan penyebaran hasil penelitian dalam bidang ini. Temuan ini mendukung relevansi kajian sistematis mengenai Penerapan *Project-Based Learning* dalam Pembelajaran Proyek IoT untuk Meningkatkan *Computational Thinking* dan Kolaborasi Siswa, serta memberikan wawasan mengenai perkembangan riset dalam konteks ini.

Tabel. 1 Research Matrix

Paper	500
Citations	10273
year_first	2015
year_last	2025
Cites/Year	1027,30
Cites/Paper	20,55
Authors/Paper	2,85
h-index	43
g-index	96

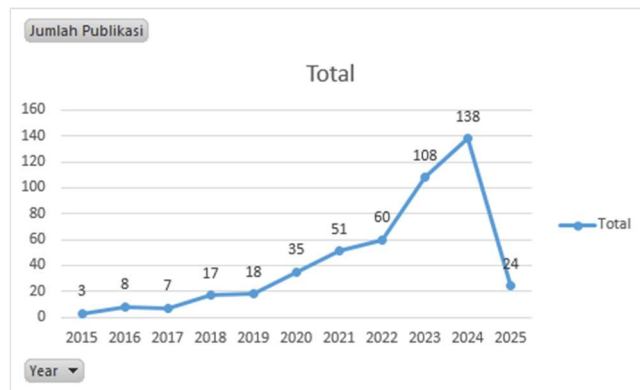
Dalam proses analisis literatur, tidak ditemukan artikel yang secara langsung dan menyeluruh membahas topik sesuai dengan judul penelitian ini. Namun demikian, terdapat sejumlah artikel yang memiliki keterkaitan tematik atau membahas sebagian aspek dari fokus penelitian yang diajukan.

Oleh karena itu, peneliti melakukan analisis terhadap sejumlah artikel yang memiliki keterkaitan dengan kata kunci penelitian, meskipun tidak sepenuhnya sesuai dengan judul penelitian. Artikel-artikel tersebut dipilih berdasarkan tingkat relevansi dengan fokus kajian.

B. Analisis Tren Publikasi

Selama periode 2015–2025, publikasi terkait penerapan *Project-Based Learning* (PjBL) dalam proyek IoT untuk pengembangan *Computational Thinking* dan kolaborasi siswa menunjukkan tren peningkatan yang konsisten. Dari 500 artikel yang ditemukan, 31 di antaranya tidak mencantumkan tahun terbit dan dikeluarkan dari analisis, sehingga total artikel yang dianalisis berjumlah 469.

Lonjakan publikasi mencerminkan meningkatnya kesadaran akan pentingnya integrasi PjBL dan teknologi dalam pendidikan. Sejak 2021, terlihat peningkatan signifikan, menandakan fokus kuat pada pengembangan keterampilan abad ke-21. Puncak publikasi terjadi pada 2024, sementara penurunan di 2025 diperkirakan akibat data yang belum mencakup tahun secara penuh. Tren publikasi tahunan selengkapnya ditampilkan pada grafik berikut.

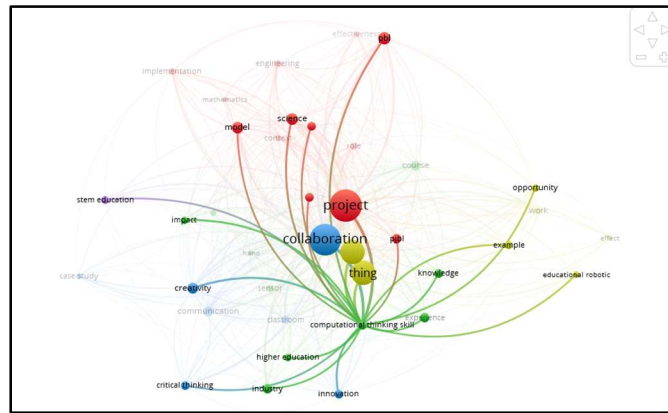


Gambar. 2 Tren Analisis Publikasi berdasarkan tahun

C. Analisis Tren Berdasarkan Kata Kunci

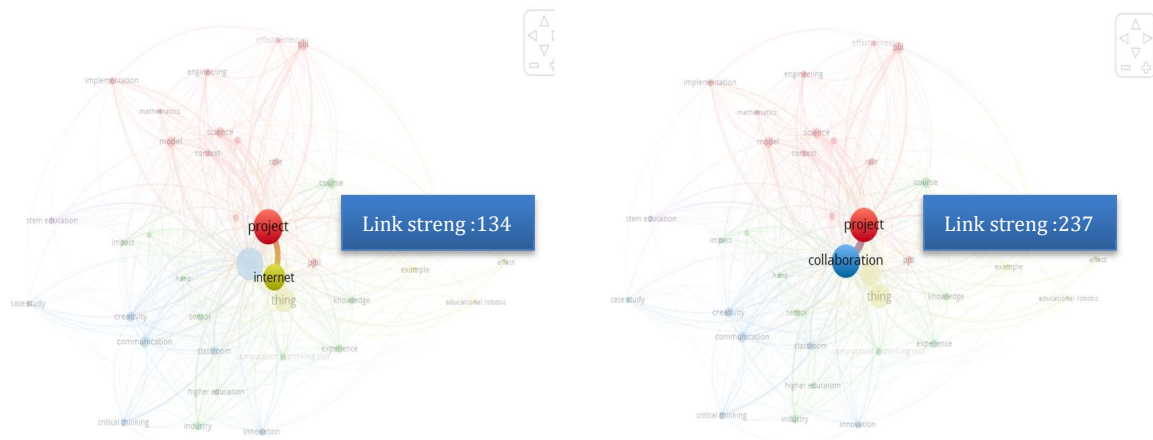
Analisis *co-word* merupakan metode yang efektif untuk mengevaluasi hubungan antar kata kunci yang sering muncul bersamaan dalam artikel penelitian. Teknik ini memberikan wawasan penting mengenai tren penelitian dan struktur konseptual dalam suatu bidang studi. Dalam konteks kajian ini, yaitu *Project-Based Learning* dalam pembelajaran proyek IoT untuk meningkatkan *Computational Thinking* dan kolaborasi siswa, langkah awal yang dilakukan adalah mengumpulkan data kata kunci dari artikel-artikel relevan yang diperoleh melalui basis data seperti Scopus, Web of Science, atau Google Scholar.

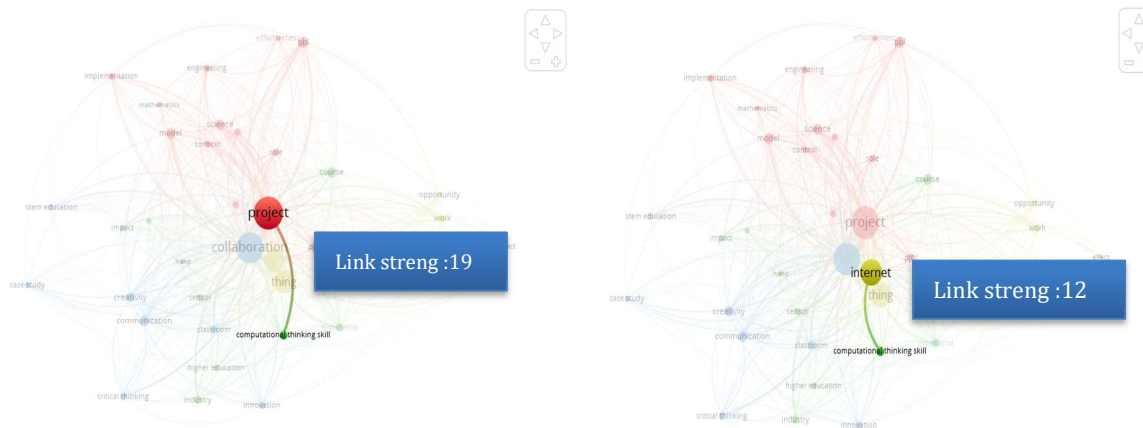
Selanjutnya, disusun *matriks co-word* yang menunjukkan frekuensi kemunculan kata kunci secara bersamaan dalam satu artikel. Misalnya, jika kata kunci “*Project-Based Learning*” sering muncul bersamaan dengan “*Computational Thinking*” atau “*Internet of Things*,” maka relasi tersebut akan tampak jelas dalam matriks. Berikut visualisasi keterkaitan berdasarkan VOSviewer.



Gambar 3. Analisis Tren Berdasarkan Kata Kunci

Berdasarkan hasil analisis *co-word* dari kata kunci yang telah dikumpulkan, dapat diidentifikasi adanya keterkaitan antar istilah yang sering muncul bersamaan dalam publikasi-publikasi terkait. Analisis ini mengungkapkan bahwa beberapa kata kunci membentuk hubungan yang kuat, mencerminkan fokus dan tren penelitian yang sedang berkembang. Misalnya, istilah seperti “*project-based learning* atau *project*,” “*computational thinking*,” dan “*Internet of Things (IoT)*,” sering ditemukan saling berkaitan, menunjukkan adanya perhatian yang semakin meningkat terhadap penerapan pendekatan berbasis proyek dalam konteks pendidikan. Berdasarkan kata kunci yang disebutkan beberapa kata lainnya juga muncul kata lainnya yang saling berkaitan stem education, innovation, educational robotic, higher education, industry dan beberapa kata yang berhubungan dengan ketrampilan abad 21 yaitu critical thinking dan reativity





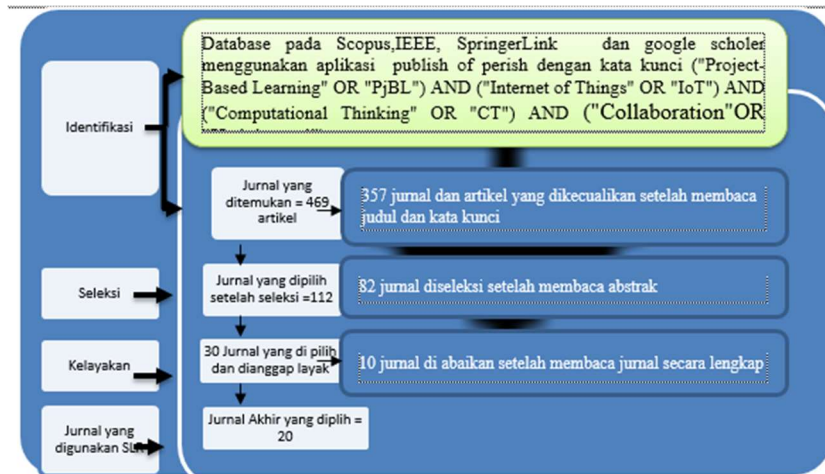
Gambar 4. Analisis Tren co-word dan kekuatan link streng

Hasil analisis *link strength* dari data *co-word* menunjukkan tingkat keterkaitan antar kata kunci yang mencerminkan intensitas hubungan tema penelitian. Misalnya, kata kunci “project” memiliki kekuatan tautan sebesar 134 dengan “internet”, yang mengindikasikan adanya perhatian yang cukup besar terhadap integrasi proyek dengan teknologi internet dalam konteks pembelajaran. Selain itu, keterkaitan antara “project” dan “collaboration” menunjukkan nilai yang paling tinggi, yakni 237, yang menegaskan pentingnya kolaborasi dalam pendekatan pembelajaran berbasis proyek. Sementara itu, hubungan antara “project” dengan “computational thinking” memiliki kekuatan tautan sebesar 12, dan “internet” dengan “computational thinking” sebesar 9, yang menunjukkan bahwa meskipun keterkaitannya lebih rendah dibandingkan istilah lain, tetap terdapat fokus penelitian terhadap pengembangan kemampuan berpikir komputasional melalui proyek yang melibatkan teknologi internet.

D. Analisis Data Artikel Berdasarkan Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Artikel yang ditemukan melalui pencarian awal diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi dimana artikel yang diambil adalah artikel membahas penerapan PjBL dalam konteks pembelajaran proyek IoT atau sejenisnya yang relevan, artikel menyertakan analisis dampak terhadap CT atau kolaborasi siswa, artikel diterbitkan dalam bahasa Inggris atau Indonesia, artikel berupa penelitian empiris, tinjauan literatur, atau studi kasus, serta artikel yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir. Sementara untuk artikel yang masuk kedalam ranah kriteria eksklusi adalah Artikel yang tidak relevan dengan topik penelitian, artikel yang hanya membahas PJBL atau IoT secara terpisah tanpa kaitan dengan CT atau kolaborasi serta artikel yang tidak tersedia dalam teks lengkap. Data kemudian diekstraksi dan dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola, tren, dan kesenjangan, dengan fokus pada strategi penerapan PJBL, dampak terhadap CT, dan dampak terhadap kolaborasi.

Dari total 500 artikel yang diidentifikasi melalui pencarian awal, 31 artikel disaring karena tidak terdapat tahun terbit sehingga total artikel yang dibahas dan dicek menjadi 469. Setelah membaca abstrak kriteria 27 artikel dipilih untuk analisis lengkap. Namun setelah analisis dan baca keseluruhan artikel maka terpilih 20 artikel memenuhi semua kriteria dan digunakan dalam tinjauan literatur ini.



Gambar 5. Kriteria Inklusi

Untuk memahami bagaimana Project-Based Learning (PjBL) diterapkan dalam pembelajaran proyek IoT serta dampaknya terhadap computational thinking (CT) dan kolaborasi siswa, dilakukan analisis terhadap artikel penelitian yang relevan yang telah diseleksi sebelumnya. Artikel-artikel ini dianalisis berdasarkan tahun publikasi, metode penelitian, konteks pembelajaran, serta temuan utama yang berkaitan dengan PjBL, CT, dan kolaborasi. Tabel berikut menyajikan ringkasan jurnal yang telah diseleksi berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan dalam Systematic Literature Review (SLR).

Tabel 2. Penelitian yang berkaitan dengan *Project Base Learning* pada Proyek IoT dalam meningkatkan CT dan Kolaborasi Siswa

No	Penulis & Tahun Terbit	Judul Tulisan	Metode	Hasil
1	Kübra KARAAHME TOĞLU, Özgen KORKMAZ*, 2019	The effect of project-based arduino educational robot applications on students' computational thinking skills and their perception of Basic Stem skill levels	Kuasi-eksperimen (pretest-posttest)	Tidak berdampak signifikan pada skor STEM, tapi memberi kontribusi besar terhadap peningkatan kemampuan CT melalui blok pemrograman.
2	Vassiliki Ntourou, Michail Kalogiannakis, Sarantos Psycharis, 2021	A Study of the Impact of Arduino and Visual Programming In Self-Efficacy, Motivation, Computational Thinking and 5th Grade Students' Perceptions on Electricity	Kuasi-eksperimen (pretest-posttest)	Pengolahan data gagal membuktikan pengaruh terhadap motivasi, sebagian terhadap efikasi diri, namun pengaruh jelas terlihat pada pemahaman konsep listrik dan Berpikir Komputasi (CT).
3	João Piedade, Nuno Dorotea,	On Teaching Programming Fundamentals and Computational	Studi Kasus Deskriptif-Eksploratif dengan 26	Robotika efektif untuk mengajarkan dasar pemrograman dan berpikir komputasional, mendukung integrasi konten STEAM, meningkatkan minat

	Ana Pedro, João Filipe Matos, 2020	Thinking with Educational Robotics: A Didactic Experience with Pre-Service Teachers	calon guru informatika	dan kepercayaan diri calon guru, serta memfasilitasi penerapan teori ke praktik pembelajaran nyata.
4	Ling-Ling Ung , Jane Labadin , Fitri Suraya Mohamad , 2022	Computational thinking for teachers: Development of a localised E-learning system	Survei dua tahap (369 guru), analisis PLS-SEM dan SPSS	Guru mengalami peningkatan signifikan dalam pemahaman dan kepercayaan diri mengajar CT. Sistem e-learning myCTGWBL terbukti efektif dan dapat dijadikan panduan pelatihan guru ke depan.
5	Bertacchini et al,2022	A Project Based Learning Approach for Improving Students' Computational Thinking Skills	PjBL dengan robot NAO dan Wolfram Language untuk pengembangan fitur otonom	Mahasiswa berhasil meningkatkan fungsi otonomi NAO dan menunjukkan peningkatan keterampilan problem solving dan pemrograman. Self-assessment menunjukkan pembelajaran relevan dengan tantangan dunia nyata.
6	Aamir Fidai*, Mary Margaret Capraro, Robert M. Capraro, 2020	“Scratch”-ing computational thinking with Arduino: A meta-analysis	Meta-analisis terhadap 11 studi kuantitatif di kelas K–12 dan perguruan tinggi.	Intervensi berbasis Arduino dan Scratch memberikan efek positif terhadap prestasi akademik dan persepsi siswa terhadap STEM. Kegiatan hands-on ini meningkatkan keterampilan pemecahan masalah, pemahaman komputasi, dan minat pada profesi rekayasa.
7	Tenzin Doleck, Paul Bazelaïs, David John Lemay, Anoop Saxena, Ram B. Basnet	Algorithmic thinking, cooperativity, creativity, critical thinking, and problem solving: exploring the relationship between computational thinking skills and academic performance	Model struktural dengan pendekatan PLS	Tidak ditemukan hubungan signifikan antara CT dan performa akademik, kecuali pada aspek kerjasama dan performa akademik. Hasil ini menunjukkan pentingnya keselarasan kurikulum antara tujuan pembelajaran dan pendekatan evaluasi.
8	Diana Pérez-Marín, Raquel Hijón-Neira, Adrián Baceo, Celeste Pizarro, 2018	Can computational thinking be improved by using a methodology based on metaphors and Scratch to teach computer programming to children	Eksperimen pada 132 siswa SD	Terdapat peningkatan signifikan pada hasil tes setelah pembelajaran. Pendekatan MECOPROG efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep pemrograman dan kemampuan berpikir komputasi siswa SD.
9	M Nurtanto, P Pardjono, SD Ramdani, 2020	The effect of STEM-EDP in professional learning on automotive engineering competence in	Pre-eksperimental 1 (pretest-posttest)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penilaian RPP dinyatakan lengkap, dan penilaian STEM-EDP mencakup tes formatif serta produk dari tujuh tahap EDP. Uji Wilcoxon

		vocational high school		menunjukkan $Z = -4,86$ dengan $p = 0,00$, yang menandakan bahwa penerapan STEM-EDP lebih efektif dibandingkan pembelajaran sumatif dan dapat meningkatkan hasil belajar siswa.
10	Aslina Saada and Suhaila Zainudin, 2024	A review of teaching and learning approach in implementing Project-Based Learning (PBL) with Computational Thinking (CT)	Narrative Literature Review (NLR) menggunakan kerangka PRISMA.	Ditemukan strategi implementasi PBL-CT yang efektif, seperti: pedagogi kolaboratif, alat visualisasi, pendekatan inkuiri beragam, scaffolding, penggunaan materi lokal, dan integrasi elemen framework.
11	Ting-Chia Hsu, Shao-Chen Chang, Yu-Ting Hung, 2018	How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature	Meta-review terhadap studi yang dipublikasikan antara 2006–2017	CT semakin berkembang di pendidikan dengan beragam topik, alat, dan subjek. Umumnya diterapkan di desain program dan ilmu komputer dengan pendekatan seperti PjBL, PbBL, dan Cooperative Learning. Aktivitas seperti desain dan storytelling jarang digunakan. Fokus banyak pada keterampilan pemrograman dan matematika. Diperlukan diferensiasi strategi sesuai usia siswa.
12	Patricia Charlton and Katerina Avramides, 2016	Knowledge Construction in Computer Science and Engineering when Learning Through Makin	Pendekatan Design-Based Research untuk pembelajaran proyek STEM berbasis konstruksionisme.	Pembelajaran kolaboratif dan berbasis produksi mendukung konstruksi pengetahuan dalam proyek STEM. Menggunakan IoT dalam konteks kolaboratif meningkatkan pemahaman multidisipliner dan mendukung pembelajaran praktik.
13	X Weng, Z Cui, OL Ng, MSY Jong, TKF Chiu, 2022	Characterizing students' 4C skills development during problem-based digital making	Studi kasus dalam digital making camp melibatkan 54 siswa usia 10–14 tahun.	Digital making berbasis Scratch mendukung perkembangan keterampilan 4C (Critical Thinking, Creativity, Communication, Collaboration). Critical thinking muncul dalam bentuk modeling dan data handling, sementara creativity terlihat dalam eksplorasi dan solusi kreatif.
14	DTK Ng, M Lee, RJY Tan, X Hu, JS Downie, 2023	A Review of AI teaching and learning from 2000 to 2020	Sistematic literature review terhadap 49 publikasi (2000–2020).	Pengajaran AI lebih banyak fokus pada pendidikan tinggi, sedangkan penerapannya di K-12 masih terbatas. Pembelajaran berbasis proyek dan robotik digunakan, tetapi masih memerlukan keterampilan pemrograman.

15	G Cebrián, R Palau, J Mogas, 2020	The smart classroom as a means to the development of ESD methodologies	Kajian literatur sistematis terhadap 49 publikasi (2000–2020).	AI dalam pendidikan lebih berkembang di tingkat perguruan tinggi. Tantangan utama di K-12 adalah minimnya alat yang sesuai usia. Perkembangan alat dan pendekatan interdisipliner membuat literasi AI mulai masuk kurikulum global.
16	A Leavy, L Dick, M Meletiou-Mavrotheris et al, 2023	The prevalence and use of emerging technologies in STEAM education: A systematic review of the literature	Tinjauan sistematis terhadap 461 studi, menganalisis 43 studi secara mendalam.	Teknologi baru digunakan dalam pendidikan STEAM di semua jenjang. Fokus pada penguatan pengetahuan STEM dengan teknologi seperti AI, robotika, VR, dan IoT, namun aspek seni dalam STEAM masih kurang diperhatikan.
17	JA Kumar, 2021	Educational chatbots for project-based learning: investigating learning outcomes for a team-based design course	Kuasi-eksperimen dengan metode campuran	Penggunaan chatbot edukatif meningkatkan kinerja belajar dan kolaborasi dalam proyek berbasis tim. Namun, tidak ada pengaruh signifikan terhadap aspek motivasi atau efikasi diri kreatif.
18	D Kokotsaki, V Menzies, A Wiggins, 2016	Project-based learning: A review of the literature	Kajian literatur sistematis terhadap PBL di berbagai jenjang pendidikan.	Penerapan Project based Learning (PBL) menunjukkan potensi meningkatkan hasil belajar meski tidak ada hubungan kausal yang pasti. Keberhasilan didukung oleh penggunaan teknologi, kerja kelompok yang efektif, dan dukungan guru dalam bentuk scaffolding.
19	M Van Mechelen, RC Smith, MM Schaper, et al, 2023	Emerging technologies in K–12 education: A future HCI research agenda	Sistematic mapping review terhadap 107 publikasi (2010–2020)	Teknologi seperti AI, ML, IoT, AR, dan VR semakin digunakan di pendidikan K-12, tetapi pemahaman terhadapnya masih rendah. Dibutuhkan riset lintas disiplin global untuk membangun bidang kajian yang lebih terstruktur.
20	M Hernandez-de-Menendez, C Escobar Díaz, 2020	Technologies for the future of learning: state of the art	Tinjauan pustaka terhadap teknologi yang mengubah pendidikan teknik, seperti VR, 3D Printing, Drones, IoT, dan AI.	Teknologi ini menawarkan manfaat besar dalam pendidikan teknik, meningkatkan keterlibatan siswa dan keterampilan teknis. Namun, tantangan utama adalah biaya, infrastruktur, dan pelatihan pengajar.

Berdasarkan hasil telaah sistematis terhadap artikel-artikel yang relevan dengan judul yang di bahas, dapat disimpulkan bahwa belum ditemukan artikel yang secara eksplisit dan menyeluruh membahas integrasi *Project-Based Learning* (PjBL) dalam proyek IoT yang secara langsung ditujukan untuk meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* (CT) dan kolaborasi siswa secara bersamaan. Hal ini terlihat dari artikel-artikel yang ditemukan, di mana sebagian artikel berfokus pada penggunaan PjBL dalam pengembangan keterampilan CT (Hsu et al., 2018); (Saad & Zainudin, 2024), sebagian lainnya mengkaji pemanfaatan IoT sebagai media atau konteks proyek (Mechelen et al., 2023), dan ada pula yang menyoroti pengaruh PjBL terhadap kemampuan kolaborasi atau soft skill siswa (Charlton & Avramides, 2016). Namun, belum ditemukan penelitian yang menyatukan ketiganya dalam satu model pembelajaran utuh.

Pembelajaran berbasis proyek (*Project-Based Learning*/PjBL) terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* (CT) dan kolaborasi siswa, terutama dalam konteks pembelajaran berbasis teknologi seperti *Internet of Things* (IoT). Studi oleh (Hsu et al., 2018) menekankan bahwa pendekatan PjBL banyak digunakan dalam pengajaran CT karena mampu mengembangkan keterampilan pemrograman, pemecahan masalah, dan berpikir logis. Dukungan pembelajaran berbasis pembuatan (*learning by making*) dalam proyek STEM, seperti yang ditunjukkan oleh (Leavy et al., 2023), menunjukkan bahwa kerja tim dan eksplorasi aktif dapat memfasilitasi konstruksi pengetahuan secara kolaboratif dalam lingkungan multidisipliner yang didukung teknologi seperti IoT. Lebih lanjut, (Weng et al., 2022) menemukan bahwa kegiatan digital making berbasis *problem-based learning* dengan Scratch mampu mengembangkan keterampilan 4C (*Critical thinking, Creativity, Communication, dan Collaboration*), yang sejalan dengan tujuan penguatan kolaborasi dan CT dalam proyek IoT.

Penerapan PjBL juga mendapat dukungan dari tinjauan literatur oleh (Kokotsaki et al., 2016b), yang menekankan bahwa keberhasilan PjBL dipengaruhi oleh penggunaan teknologi, efektivitas kerja kelompok, dan dukungan guru. Dalam konteks teknologi masa kini, studi (Kumar, 2021) menunjukkan bahwa penggunaan chatbot edukatif dalam PjBL mampu meningkatkan hasil belajar dan kerja tim siswa, meskipun aspek afektif belum banyak terpengaruh.

Beberapa penelitian juga mengkaji pemanfaatan teknologi terkini seperti *Internet of Things* (IoT) sebagai media atau konteks proyek dalam implementasi *Project-Based Learning*. Studi (Mechelen et al., 2023) dan (Ng et al., 2023) menunjukkan bahwa IoT, sebagai bagian dari *emerging technologies*, memberikan peluang bagi siswa untuk belajar secara autentik dan kontekstual, sekaligus membangun keterampilan berpikir komputasional melalui eksperimen langsung. (Fidai et al., 2020) menekankan bahwa penerapan proyek digital dalam konteks pembelajaran STEM sangat mendukung integrasi teknologi seperti IoT dalam pembelajaran berbasis proyek, terutama dalam pengembangan kompetensi guru dan siswa di kawasan berkembang. Hal ini menunjukkan bahwa IoT tidak hanya sebagai objek pembelajaran, tetapi juga sebagai *environment* atau *media kontekstual* yang memperkuat aspek kolaborasi dan pemecahan masalah dalam pembelajaran berbasis proyek.

Menariknya, dalam proses penelusuran menggunakan kata kunci *Project-Based Learning, IoT, dan kolaboratif*, ditemukan bahwa sejumlah artikel justru menonjolkan istilah *STEM* dalam pembahasannya (Charlton & Avramides, 2016), (Fidai et al., 2020), (Karaahmetoğlu & Korkmaz, 2019), (Nurtanto et al., 2020). Hal ini kemungkinan

besar disebabkan oleh kedekatan konsep antara PjBL dan pendekatan STEM, di mana keduanya menekankan pembelajaran kontekstual berbasis proyek nyata serta pengembangan keterampilan abad ke-21, termasuk kolaborasi. Dalam banyak studi, proyek IoT sering dikembangkan dalam kerangka STEM karena proyek semacam ini secara alami melibatkan aspek sains, teknologi, teknik, dan matematika secara integratif. Oleh karena itu, walaupun kata “kolaboratif” atau “PjBL” tidak selalu muncul sebagai fokus utama, keberadaan istilah STEM dalam artikel-artikel tersebut tetap relevan, karena mencerminkan pendekatan yang serupa dalam tujuan dan praktik, khususnya dalam pengembangan proyek IoT yang bersifat kolaboratif dan berbasis pemecahan masalah.

4. Kesimpulan dan Saran

Tinjauan literatur sistematis ini menunjukkan bahwa meskipun belum banyak artikel yang secara eksplisit membahas keterkaitan langsung antara pembelajaran proyek IoT dengan peningkatan kemampuan *computational thinking* (CT) dan kolaborasi siswa, terdapat banyak studi yang menyoroti potensi proyek berbasis Arduino dan Scratch dalam mengembangkan aspek CT. Mengingat proyek IoT umumnya melibatkan penggunaan Arduino dan prinsip dasar rekayasa, maka dapat disimpulkan bahwa pembelajaran berbasis proyek IoT memiliki karakteristik yang mendukung penguatan CT. Selain itu, istilah *STEM* secara konsisten muncul dalam artikel yang mengintegrasikan PjBL dan proyek IoT, menunjukkan bahwa implementasi pembelajaran proyek IoT sering dikaitkan dengan pendekatan interdisipliner yang menekankan kolaborasi, pemecahan masalah, dan integrasi teknologi.

Dengan demikian, pengembangan model pembelajaran berbasis proyek *Internet of Things* (IoT) melalui pendekatan *Project-Based Learning* (PjBL) memiliki potensi besar untuk diadopsi sebagai strategi inovatif dalam meningkatkan keterampilan berpikir komputasional (*Computational Thinking/CT*) dan kolaborasi siswa. Hasil dari tinjauan literatur sistematis ini menunjukkan bahwa hingga saat ini belum terdapat kajian yang secara khusus merancang model pembelajaran yang mengintegrasikan ketiga komponen utama tersebut—yaitu pendekatan PjBL, penerapan proyek IoT, dan capaian keterampilan CT serta kolaboratif—dalam satu kerangka pembelajaran yang utuh.

Kondisi ini mengindikasikan adanya ruang yang cukup luas untuk eksplorasi ilmiah lebih lanjut. Terbukanya peluang ini dapat dimanfaatkan oleh para peneliti untuk mengembangkan kerangka konseptual maupun implementatif yang menggabungkan elemen pedagogis, teknologis, dan kompetensi abad ke-21 ke dalam satu kesatuan pembelajaran yang relevan dengan kebutuhan pendidikan masa kini. Pendekatan semacam ini tidak hanya memperkuat landasan teoretis mengenai keterkaitan antara PjBL, CT, dan kolaborasi, tetapi juga mendorong terciptanya pembelajaran yang lebih bermakna dan kontekstual.

Di sisi lain, bagi praktisi pendidikan dan pengembang kurikulum, hasil kajian ini dapat memberikan arah baru dalam merancang strategi pembelajaran Informatika yang tidak hanya berfokus pada aspek teknis pemrograman atau perangkat keras semata, tetapi juga membangun keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui proyek nyata yang melibatkan kerja tim dan pemecahan masalah. Penggunaan proyek berbasis IoT sebagai media pembelajaran memungkinkan siswa untuk terlibat dalam kegiatan yang lebih aplikatif dan menantang, sekaligus memperkuat relevansi antara materi pelajaran dengan dunia nyata yang berbasis teknologi digital.

Oleh karena itu, kajian ini berkontribusi dalam memperluas wawasan terkait integrasi pendekatan pembelajaran berbasis proyek dengan teknologi modern, serta menggarisbawahi pentingnya mendesain model pembelajaran yang mendorong kolaborasi dan berpikir komputasional secara bersamaan. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi pijakan awal bagi inisiatif pengembangan model pembelajaran yang lebih adaptif terhadap tantangan abad ke-21 dan mendukung transformasi pembelajaran Informatika di era digital.

Daftar Pustaka

- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Baker, M. J. (2015). *Collaboration in collaborative learning*. 3.
- Bell, S. (2010). Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83(2), 39–43. <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>
- Charlton, P., & Avramides, K. (2016). Knowledge construction in computer science and engineering when learning through making. *IEEE Transactions on Learning* <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7740937/>
- Fidai, A., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2020). “Scratch”-ing computational thinking with Arduino: A meta-analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 38(July), 100726. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100726>
- 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>
- Hsu, T. C., Chang, S. C., & Hung, Y. T. (2018). How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature. *Computers and Education*, 126(June), 296–310. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.004>
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365–379. <https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Karaahmetoğlu, K., & Korkmaz, Ö. (2019). The effect of project-based arduino educational robot applications on students’ computational thinking skills and their perception of basic stem skill levels. *Participatory Educational Research*, 6(2), 1–14. <https://doi.org/10.17275/per.19.8.6.2>
- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016a). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267–277. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016b). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*. <https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Kumar, J. A. (2021). Educational chatbots for project-based learning: investigating learning outcomes for a team-based design course. In *International journal of educational technology in* Springer. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00302-w>
- Leavy, A., Dick, L., Meletiou-Mavrotheris, M., & ... (2023). The prevalence and use of emerging technologies in STEAM education: A systematic review of the literature. *Journal of Computer* <https://doi.org/10.1111/jcal.12806>
- Lin, C. J., Lee, H. Y., Wang, W. S., Huang, Y. M., & ... (2024). Enhancing STEM collaboration through reflective strategies in the 6E learning model: insights from voice

- recognition analysis. *Education and Information ...* <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12957-9>
- Mechelen, M. Van, Smith, R. C., Schaper, M. M., & ... (2023). Emerging technologies in K–12 education: A future HCI research agenda. *ACM Transactions on ...* <https://doi.org/10.1145/3569897>
- Ng, D. T. K., Lee, M., Tan, R. J. Y., Hu, X., Downie, J. S., & ... (2023). A review of AI teaching and learning from 2000 to 2020. *Education and ...* <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11491-w>
- Nurtanto, M., Pardjono, P., & Ramdani, S. D. (2020). The effect of STEM-EDP in professional learning on automotive engineering competence in vocational high school. *Journal for the Education of ...* <https://dergipark.org.tr/en/pub/jegys/issue/53184/645047>
- OECD. (2019). PISA 2018 Assessment and Analytical Framework. In *OECD Publishing*.
- P21. (2019). Partnership for 21st Century Learning A Network of Battelle For Kids Frameworks for 21st Century Learning Definitions. *Framework For21" Century Learning*, 1–9. https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21_Framework_DefinitionsBFBK.pdf
- Saad, A., & Zainudin, S. (2024). A review of teaching and learning approach in implementing Project-Based Learning (PBL) with Computational Thinking (CT). *Interactive Learning Environments*. <https://doi.org/10.1080/10494820.2024.2328280>
- Selby, C., Dorling, M., & Woollard, J. (2015). Evidence of assessing computational thinking. *IFIP TC3 Working Conference: A New Culture of Learning: Computing and Next Generations*, 232–242. http://www.ifip2015.mii.vu.lt/file/repository/IFIP_Proceedings.pdf
- Shin, N., Bowers, J., Krajcik, J., & Damelin, D. (2021). Promoting computational thinking through project-based learning. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00033-y>
- Thomas, J., Condcliffe, B., & Quint, J. (2000). Whatever Form a Project Takes , It Must Meet These Criteria To Be Gold Standard Pbl . *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 22(1), 1–18.
- Wahdini, F., Mansur, H., & Qomario, Q. (2024). Evaluasi Kinerja Guru Informatika dalam Pelaksanaan Kurikulum Merdeka untuk Meningkatkan Mutu Pendidikan. *JiIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(6), 5779–5788. <https://doi.org/10.54371/jiip.v7i6.4545>
- Weng, X., Cui, Z., Ng, O. L., Jong, M. S. Y., & Chiu, T. K. F. (2022). Characterizing students' 4C skills development during problem-based digital making. *Journal of Science ...* <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09961-4>