

MODEL PROBLEM BASED LEARNING UNTUK MENUMBUHKAN KETERAMPILAN 4C DALAM PEMBELAJARAN FISIKA DI INDONESIA: STUDI SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Nurhayati¹, Wahyudi^{2*}, Dwi Fajar Saputri³

^{1,2,3} Prodi Pendidikan Fisika, Fakultas MIPA dan Teknologi, Universitas PGRI Pontianak, Pontianak

*Corresponding Author: wahyudi.kakap@gmail.com

Abstract: In the 21st century, students need various skills, including the 4C skills (Critical Thinking, Communication, Creative Thinking, and Collaboration). Several research results show that the Problem Based Learning (PBL) model is an effective learning model in developing 4C skills. The aim of this research is to find out how the PBL model has been used in Indonesia in physics learning to facilitate 4C skills over the last 6 years (2018-2023). The data in this research was obtained using the Scopus database and focused on the problem-based learning model and 4C skills (Critical Thinking, Communication, Creative Thinking, and Collaboration) in physics education in Indonesia. This research is a special literature study and the literature filtering method uses the 4-step prism method. A total of 20 relevant articles were analyzed quantitatively descriptively using an Excel spreadsheet. Descriptive analysis focuses on subject research, physics material, types of skills, types of research, and research locations. The synthesis results show that research on PBL and 4C skills more frequently involves senior high school students compared to other education levels, with quantitative approaches being the most dominant research design. Regarding the skills fostered, critical thinking skill dominates the studies (65%), followed by creative thinking (15%), communication (10%), and collaboration (5%), indicating a gap in attention to communication and collaboration skills. The most frequently studied physics topics are motion, followed by work and energy, momentum and impulse, and optics. The distribution of research locations remains concentrated in Sumatra and Java, indicating that research in other regions of Indonesia is still limited. These findings provide a map of existing research as well as recommendations for future PBL research directions, particularly to strengthen the development of communication and collaboration skills and to broaden the geographical and topical scope of physics education research.

Keywords: Problem based learning model, physics, 21st century skills, synthesis

1. Pendahuluan

Keterampilan 4C, yaitu critical thinking, creativity, collaboration, dan communication, telah diidentifikasi sebagai kompetensi esensial yang penting bagi individu agar dapat berhasil dalam masyarakat berbasis pengetahuan pada abad 21 (Laili et al., 2025; Usman et al., 2024). Transformasi global yang ditandai dengan perkembangan teknologi dan kompleksitas permasalahan menuntut individu memiliki kemampuan berpikir tingkat tinggi serta keterampilan sosial yang adaptif (Partnership for 21st Century Skills, 2009). Oleh sebab itu, mempersiapkan siswa dengan keterampilan 4C adalah tujuan penting dalam pendidikan, karena keterampilan 4C tidak hanya diperlukan dalam dunia akademis tetapi juga dalam kehidupan sehari-hari dan karier di masa depan. Keterampilan 4C bukan merupakan bawaan lahir, tetapi dapat diperoleh melalui

pengalaman hidup, baik dalam pendidikan formal maupun lingkungan kerja (Dilekçi & Karatay, 2023; Radifan & Dewanti, 2020).

Dalam konteks pendidikan sains, khususnya fisika, pengembangan keterampilan 4C memiliki relevansi yang sangat kuat (Novitra et al., 2021; Viyanti et al., 2021). Pembelajaran fisika tidak hanya menekankan penguasaan konsep, tetapi juga melibatkan proses berpikir ilmiah seperti menganalisis fenomena, merumuskan hipotesis, serta mengevaluasi solusi berbasis bukti (Nicholus et al., 2024). Studi dalam pendidikan fisika menunjukkan bahwa aktivitas pembelajaran berbasis investigasi dan eksperimen mampu mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif siswa secara signifikan (Kontra et al., 2015). Selain itu, integrasi pembelajaran kontekstual dan proyek ilmiah dalam fisika terbukti meningkatkan keterampilan berpikir kritis dalam menyelesaikan masalah nyata (Ahzari et al., 2024).

PBL telah diakui sebagai pendekatan yang efektif dalam meningkatkan keterampilan 4C. Hasil penelitian (Nicholus et al., 2024), menunjukkan bahwa PBL secara konsisten meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah dalam pembelajaran fisika. Selain itu, analisis bibliometrik berbasis Scopus menunjukkan adanya peningkatan signifikan publikasi terkait PBL dalam pendidikan fisika dalam satu dekade terakhir, yang menandakan tingginya perhatian akademik terhadap efektivitas model ini (Nurhayati et al., 2024; Nurjanah et al., 2024). PBL merupakan pendekatan pembelajaran berbasis konstruktivisme yang menggunakan masalah autentik sebagai pemicu utama aktivitas belajar, sehingga mendorong keterlibatan aktif siswa dalam proses penyelidikan dan pemecahan masalah (Hmelo-Silver, 2004; Solano et al., 2023; Tefera et al., 2024). Melalui PBL, siswa diajak untuk memecahkan masalah nyata, berkolaborasi dengan teman sekelas, berpikir kritis tentang solusi, dan mengembangkan kreativitas mereka. Oleh karena itu, penggunaan PBL dalam pembelajaran fisika di Indonesia memiliki potensi dalam pengembangan keterampilan 4C siswa.

Beberapa penelitian telah dilakukan di berbagai negara untuk mengevaluasi efektivitas PBL dalam meningkatkan keterampilan 4C dalam pembelajaran fisika. pada berbagai materi, di antaranya pada materi suhu dan kalor (Farisi et al., 2017), tata surya (Fauzan et al., 2017), momentum dan impuls (Simanjuntak et al., 2021), dan hukum Newton (Serungke et al., 2020). Kajian mengenai perkembangan kompetensi 4C melalui PBL berbantuan pembelajaran elektronik juga mulai banyak dilakukan (Nurhayati et al., 2024). Selain itu, studi eksperimental menunjukkan bahwa penerapan PBL secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreatif, komunikasi, dan kolaborasi siswa dibandingkan pembelajaran konvensional (Esteban et al., 2023; Hariyadi et al., 2023).

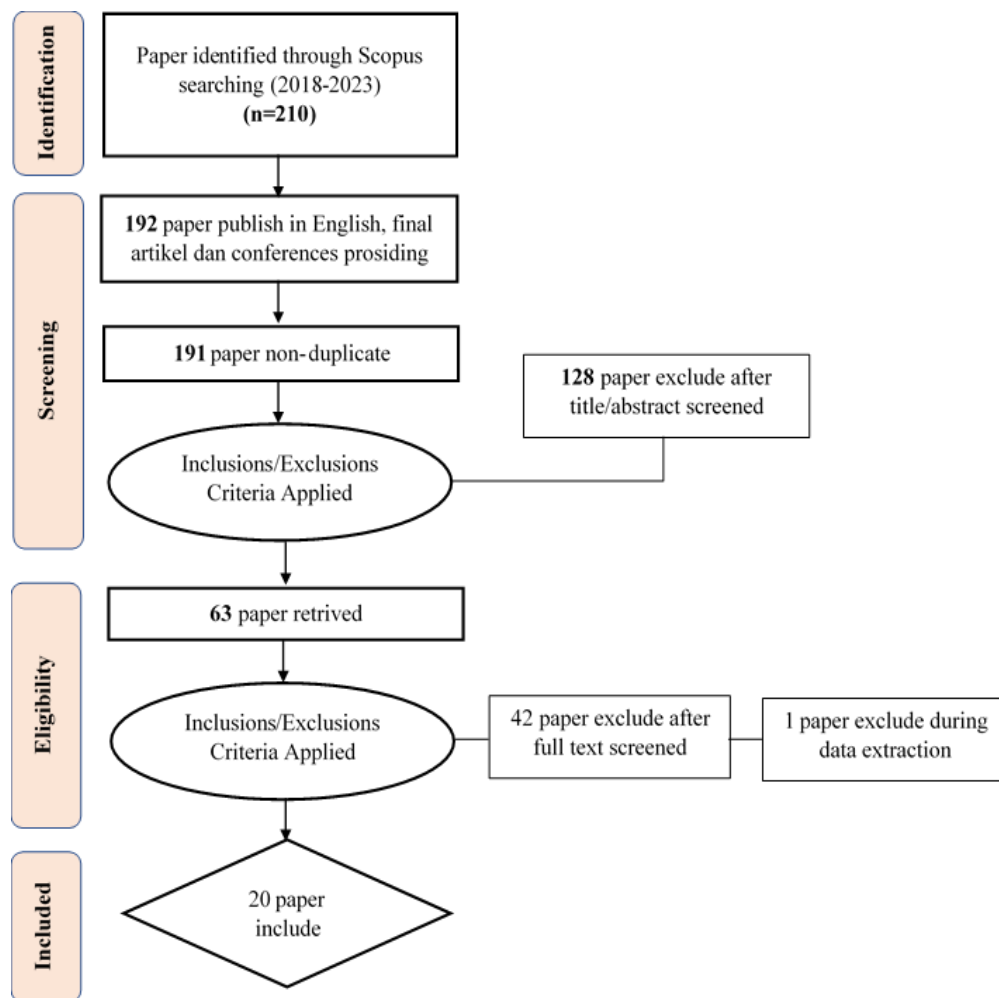
Namun, penelitian-penelitian tersebut masih tersebar dan dilakukan dalam berbagai konteks yang berbeda, sehingga belum memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas PBL dalam mengembangkan keterampilan 4C secara terintegrasi dalam pembelajaran fisika. Selain itu, belum ada sintesis penelitian yang khusus mengkaji konteks Indonesia dan menggabungkan temuan-temuan tersebut untuk memberikan panduan yang lebih spesifik bagi pendidikan fisika di negara ini. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian sintesis yang mampu mengintegrasikan temuan-temuan penelitian dari jurnal terindeks Scopus untuk memperoleh pemahaman yang lebih sistematis dan mendalam mengenai kontribusi PBL terhadap pengembangan keterampilan 4C.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan utama penelitian ini adalah untuk melakukan telaah literatur sistematis terhadap penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal terindeks Scopus mengenai penggunaan model *Problem Based Learning* dalam mengembangkan keterampilan 4C dalam pendidikan fisika. Adapun pertanyaan penelitian ini adalah: (1) Bagaimana tren dan karakteristik penelitian terkait penerapan model *Problem Based Learning* (PBL) dalam pembelajaran fisika di Indonesia selama periode 2018–2023? (mencakup subjek, materi fisika, lokasi, dan jenis penelitian); (2) Bagaimana distribusi pengembangan keterampilan 4C (*critical thinking*, *creative thinking*, *communication*, dan *collaboration*) dalam penelitian pembelajaran fisika berbasis PBL di Indonesia?; dan (3) Bagaimana kecenderungan fokus penelitian dalam implementasi PBL terhadap pengembangan keterampilan 4C dalam pembelajaran fisika di Indonesia?. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam memahami bagaimana PBL dapat digunakan dengan efektif dalam pembelajaran fisika di Indonesia untuk menumbuhkan keterampilan 4C yang diperlukan oleh siswa di era modern.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* dengan mengacu pada protokol PRISMA untuk menjamin transparansi dan ketelusuran dalam proses seleksi artikel (Anggraeni et al., 2023). Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan sintesis komprehensif terhadap temuan penelitian yang beragam serta mengidentifikasi pola dan kesenjangan penelitian (Razak et al., 2022). Desain penelitian bersifat deskriptif-analitis, yang tidak hanya memetakan tren penelitian tetapi juga menginterpretasikan kecenderungan implementasi model PBL dalam mengembangkan keterampilan 4C pada pembelajaran fisika di Indonesia. Data penelitian diperoleh dari database Scopus dengan menggunakan kata kunci: “Problem-Based Learning”, “4C skills”, “Critical Thinking”, “Creative Thinking”, “Communication”, “Collaboration”, dan “Physics Education”. Penelusuran awal menghasilkan 210 artikel.

Kriteria inklusi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: (1) artikel merupakan hasil penelitian empiris maupun studi literatur yang membahas penerapan model PBL pada pembelajaran fisika; (2) penelitian dilakukan di Indonesia; (3) artikel membahas minimal satu aspek keterampilan 4C (berpikir kritis, berpikir kreatif, komunikasi, atau kolaborasi); dan (4) artikel diterbitkan dalam jurnal ilmiah nasional maupun internasional yang dapat diakses secara penuh. Adapun kriteria eksklusi meliputi artikel berupa prosiding tanpa data empiris yang jelas, artikel yang tidak menyajikan metodologi penelitian secara eksplisit, serta artikel yang tidak dapat diakses secara penuh (*full text*). Berdasarkan kriteria tersebut, sebanyak 190 artikel dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria inklusi, sehingga diperoleh 20 artikel yang selanjutnya disertakan dalam analisis pada penelitian ini. Alur seleksi artikel secara ringkas disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Menggunakan Metode PRISMA

Analisis data dilakukan menggunakan analisis tematik dan kuantifikasi deskriptif (Nurhayati et al., 2024). Setiap artikel dikodekan berdasarkan kategori subjek penelitian, materi fisika, jenis keterampilan 4C, jenis penelitian, dan lokasi penelitian. Selanjutnya dilakukan analisis distribusi, identifikasi pola, serta analisis kesenjangan.

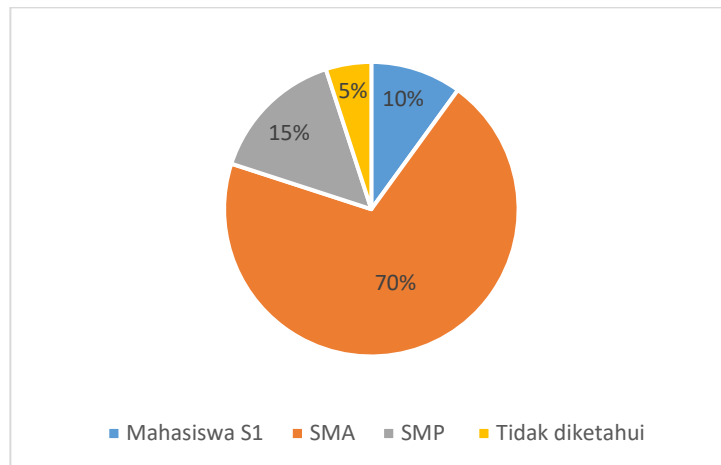
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan proses seleksi menggunakan protokol PRISMA sebagaimana diuraikan pada bagian metode, diperoleh 20 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan selanjutnya dianalisis secara mendalam. Artikel-artikel tersebut mencakup berbagai jenjang pendidikan, jenis penelitian, materi fisika, sebaran wilayah, dan aspek keterampilan 4C yang menjadi fokus kajian. Hasil sintesis terhadap kelima aspek tersebut diuraikan pada bagian berikut.

a. Karakteristik Subjek Penelitian

Hasil analisis terhadap 20 artikel menunjukkan bahwa sebanyak 19 artikel secara eksplisit menyebutkan subjek penelitian yang digunakan. Pada Gambar 2 terlihat bahwa sebagian besar penelitian mengenai penerapan PBL untuk menumbuhkan keterampilan 4C dalam pembelajaran fisika

melibatkan peserta didik pada jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA), dengan proporsi lebih dari separuh jumlah artikel yang dianalisis. Selanjutnya, penelitian juga dilakukan pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) dan mahasiswa di pendidikan tinggi. Sementara itu, penelitian yang melibatkan guru sebagai subjek masih tergolong sangat terbatas.



Gambar 2. Diagram persentase distribusi berdasarkan subjek penelitian

Dominannya jenjang SMA sebagai subjek penelitian dapat dipahami karena materi fisika pada jenjang tersebut memiliki kompleksitas konsep yang lebih tinggi serta menuntut kemampuan analisis matematis yang lebih mendalam dibandingkan jenjang SMP, sehingga lebih relevan untuk dikaitkan dengan pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi, seperti berpikir kritis dan kreatif (Asniar et al., 2022). Selain itu, kurikulum fisika SMA di Indonesia memuat lebih banyak materi yang bersifat problematis dan aplikatif dibandingkan jenjang pendidikan dasar, sehingga lebih sering dijadikan konteks penerapan model PBL. Namun demikian, keterbatasan penelitian pada jenjang SMP dan pendidikan dasar menunjukkan adanya peluang penelitian pada jenjang tersebut, mengingat pengembangan keterampilan abad ke-21 (4C) idealnya dilakukan secara berkesinambungan sejak pendidikan dasar.

b. Jenis dan Desain Penelitian

Ditinjau dari jenis penelitian yang digunakan, hasil sintesis terhadap 20 artikel menunjukkan bahwa penelitian dengan pendekatan kuantitatif merupakan jenis penelitian yang paling banyak digunakan, yaitu sebanyak 13 artikel, diikuti oleh penelitian kualitatif sebanyak 4 artikel, penelitian dan pengembangan (*research and development*) sebanyak 2 artikel, dan meta analisis sebanyak 1 artikel. Data selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

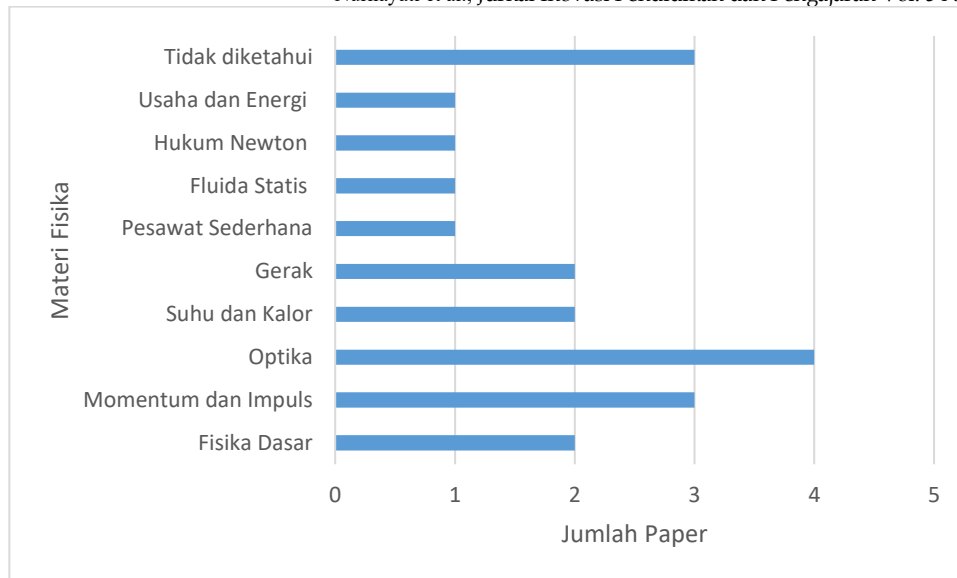
Tabel 1. Distribusi Jenis Penelitian pada Artikel yang Dianalisis

Jenis Penelitian	Jumlah Artikel	Persentase
Kuantitatif	13	65%
Kualitatif	4	20%
Penelitian dan Pengembangan (R&D)	2	10%
Meta Analisis	1	5%

Dominannya pendekatan kuantitatif, khususnya desain eksperimen dan kuasi-eksperimen, mengindikasikan bahwa penelitian PBL pada pembelajaran fisika di Indonesia masih berorientasi pada pengujian efektivitas model terhadap peningkatan keterampilan tertentu melalui perbandingan kelas eksperimen dan kelas kontrol (Alandia et al., 2019; Simajuntak et al., 2020; Simanjuntak et al., 2021). Pendekatan ini memang relevan untuk mengukur besarnya pengaruh (*effect size*) penerapan PBL secara terukur, namun cenderung kurang mampu menggali secara mendalam proses berpikir dan interaksi sosial peserta didik selama pembelajaran berlangsung, yang sesungguhnya menjadi inti dari penumbuhan keterampilan komunikasi dan kolaborasi. Oleh karena itu, penguatan penelitian dengan pendekatan kualitatif maupun metode campuran menjadi penting untuk melengkapi gambaran kuantitatif yang telah banyak tersedia, khususnya dalam mengungkap proses interaksi peserta didik saat berkolaborasi memecahkan masalah fisika.

c. Materi Fisika yang Dikaji

Analisis terhadap materi fisika yang menjadi konteks penerapan PBL menunjukkan bahwa materi gerak (kinematika dan dinamika) merupakan materi yang paling banyak dikaji, diikuti oleh materi usaha dan energi, momentum dan impuls, optika, listrik dan magnet, gelombang dan bunyi, fluida, serta suhu dan kalor. Distribusi lengkap disajikan pada Gambar 3. Kecenderungan ini sejalan dengan sifat materi-materi tersebut yang erat kaitannya dengan fenomena kehidupan sehari-hari, sehingga relatif mudah dikonstruksi menjadi permasalahan kontekstual yang menjadi ciri khas sintaks PBL (Farisi et al., 2017; Fauzan et al., 2017). Sebaliknya, materi fisika modern serta materi yang bersifat abstrak dan memerlukan visualisasi matematis lebih kompleks, seperti materi mengenai gejala kuantum, relatif jarang dijadikan konteks penerapan PBL, kemungkinan karena keterbatasan dalam merumuskan permasalahan autentik yang mudah dipahami peserta didik pada jenjang sekolah menengah. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian (Nurhayati et al., 2023) yang menunjukkan bahwa guru dan calon guru masih mengalami kesulitan dalam mendesain pembelajaran berbasis PBL, khususnya dalam merancang permasalahan autentik sebagai fokus utama pembelajaran.



Gambar 3. Distribusi Materi Fisika yang Dikaji

d. Sebaran Lokasi Penelitian

Sebaran lokasi penelitian menunjukkan bahwa penelitian mengenai PBL dan keterampilan 4C pada pembelajaran fisika di Indonesia masih terpusat di wilayah Pulau Jawa dan Sumatra. Pada wilayah Jawa, penelitian banyak dilakukan di kota-kota seperti Surabaya, Sleman, Bondowoso, Bandung, Banten, Galur, dan Jakarta, sedangkan di wilayah Sumatra tersebar di Padang, Medan, Lampung, dan Aceh. Selain itu, terdapat pula penelitian yang dilakukan di Pontianak, Kalimantan Barat. Sebaran ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai topik ini belum banyak menjangkau wilayah Indonesia bagian timur, seperti Sulawesi, Kalimantan, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua, sehingga representasi kondisi pembelajaran fisika secara nasional belum sepenuhnya tergambarkan. Kesenjangan sebaran wilayah ini sejalan dengan pola umum publikasi penelitian pendidikan di Indonesia yang cenderung terpusat di institusi-institusi pendidikan besar di Jawa dan Sumatra, sehingga perlu upaya untuk mendorong penelitian serupa di wilayah lain guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai penerapan PBL dalam menumbuhkan keterampilan 4C di seluruh Indonesia.

e. Distribusi dan Fokus Keterampilan 4C yang Dikembangkan

Aspek yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini adalah profil keterampilan 4C yang ditumbuhkan melalui penerapan model PBL pada pembelajaran fisika. Hasil analisis terhadap 20 artikel menunjukkan distribusi yang tidak merata di antara keempat aspek keterampilan tersebut, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Jenis Penelitian pada Artikel yang Dianalisis

Aspek Keterampilan 4C	Jumlah Artikel	Persentase
Berpikir Kritis (Critical Thinking)	13	65%
Berpikir Kreatif (Creative Thinking)	3	15%
Kolaborasi (Collaboration)	1	5%
Komunikasi (Communication)	2	10%
4C	1	5%

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis menjadi aspek yang paling dominan dikaji, yaitu mencapai 65% dari keseluruhan artikel, diikuti oleh keterampilan berpikir kreatif sebesar 15%, keterampilan komunikasi sebesar 10%, dan keterampilan kolaborasi sebesar 5%. Dominasi keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif dapat dijelaskan karena kedua keterampilan tersebut berkaitan langsung dengan penguasaan materi fisika, sebab pemecahan masalah fisika secara inheren menuntut kemampuan bernalar secara kritis dan logis, sekaligus kemampuan berpikir kreatif untuk menemukan berbagai alternatif strategi penyelesaian masalah yang tetap sesuai dengan prosedur ilmiah yang benar. Berpikir kritis diperlukan peserta didik untuk menganalisis informasi, mengidentifikasi variabel yang relevan, dan mengevaluasi kebenaran suatu solusi, sementara berpikir kreatif berperan penting dalam menghasilkan gagasan dan strategi penyelesaian masalah yang bervariasi (Asniar et al., 2022; Thornhill-Miller et al., 2023).

Sebaliknya, keterampilan komunikasi dan kolaborasi masih kurang mendapat perhatian dalam penelitian-penelitian yang dikaji. Padahal, kemampuan komunikasi dan berkolaborasi diakui sebagai keterampilan penting yang harus dimiliki oleh siswa di abad ke-21 dan menjadi indikator keterampilan abad ke-21 (Cherbonnier et al., 2025; Valtonen et al., 2020). Komunikasi dan kolaborasi yang baik antar peserta didik dalam pembelajaran fisika berpotensi memunculkan pertukaran gagasan dan konstruksi pengetahuan baru yang memperkaya proses belajar. Interaksi kolaboratif dalam pembelajaran memungkinkan siswa berbagi informasi, mengembangkan ide, serta membangun pemahaman bersama, terutama dalam penyelesaian masalah kontekstual (Herayanti et al., 2020; Saldo & Walag, 2020). Fenomena ini menunjukkan adanya kesenjangan antara implementasi teoretis model PBL dan praktik penelitian yang dilakukan. Secara konseptual, sintaks PBL melibatkan tahapan kerja kelompok yang menuntut keterampilan komunikasi dan kolaborasi (Hmelo-Silver, 2004). Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengukuran aspek kognitif individual, seperti keterampilan berpikir kritis dan kreatif, melalui instrumen tes. Sementara itu, pengukuran terhadap proses interaksi sosial dan hasil kolaborasi peserta didik belum banyak dikembangkan secara sistematis, sehingga belum mampu merepresentasikan keterampilan 4C secara utuh.

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa model Problem Based Learning (PBL) secara konsisten terbukti mampu memfasilitasi peserta didik dalam mengembangkan keterampilan 4C pada pembelajaran fisika, khususnya keterampilan berpikir kritis dan berpikir kreatif. Penelitian mengenai penerapan PBL dan keterampilan 4C dalam pembelajaran fisika di Indonesia didominasi pada jenjang pendidikan menengah (SMA dan SMP), dengan pendekatan kuantitatif sebagai desain penelitian yang paling banyak digunakan. Selain itu, penelitian-penelitian tersebut umumnya dilakukan di beberapa wilayah di Indonesia, terutama di Pulau Jawa dan Sumatra. Dari segi konten, penerapan PBL lebih banyak dikaji pada materi fisika dasar, seperti gerak, optika, usaha dan energi, serta momentum dan impuls.

Temuan ini juga mengungkap adanya kesenjangan penelitian yang perlu mendapat perhatian lebih lanjut. Kesenjangan tersebut meliputi masih terbatasnya kajian yang secara spesifik mengkaji keterampilan komunikasi dan kolaborasi dibandingkan dengan keterampilan berpikir kritis dan kreatif, minimnya penelitian pada jenjang pendidikan dasar, serta belum meratanya sebaran wilayah penelitian di seluruh Indonesia. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk lebih menekankan pada pengembangan dan pengukuran keterampilan komunikasi dan kolaborasi secara eksplisit, memperluas cakupan jenjang pendidikan dan wilayah penelitian, serta mempertimbangkan penggunaan pendekatan kualitatif maupun metode campuran (*mixed methods*) guna mengungkap proses pengembangan keterampilan 4C secara lebih mendalam dan komprehensif dalam konteks pembelajaran fisika di Indonesia.

5. Daftar Pustaka

- Ahzari, S., Asrizal, & Usmeldi. (2024). Effects of Physics Teaching Materials on Student ' Critical Thinking and Creative Thinking Skills : A Meta-Analysis. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika (JPPF)*, 10(2), 150–160.
- Alandia, R. G., Jumadi, Wilujeng, I., & Kuswanto, H. (2019). The Effects of Web-Assisted Problem Based Learning Model of Physics Learning on High School Students' Critical Thinking Skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1233(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1233/1/012048>
- Anggraeni, D. M., Prahani, B. K., Suprpto, N., Shofiyah, N., & Jatmiko, B. (2023). Systematic review of problem based learning research in fostering critical thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 49(May), 101334. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101334>
- Asniar, A., Nurhayati, N., & Khaeruddin, K. (2022). Analisis keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran fisika peserta didik di SMAN 11 Makassar. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika (JSPF)*, 18(2), 140–151.
- Cherbonnier, A., Hémon, B., Michinov, N., Jamet, E., Cherbonnier, A., Michinov, N., Jamet, E., & Michinov, E. (2025). Collaborative Skills Training Using Digital Tools : A Systematic Literature Review Collaborative Skills Training Using Digital Tools : A Systematic Literature Review. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 41(7), 4155–4173. <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2348227>

- Dilekçi, A., & Karatay, H. (2023). The effects of the 21st century skills curriculum on the development of students' creative thinking skills. *Thinking Skills and Creativity*, 47(1), 1–11.
- Esteban, J. R. A. M., Darmuki, A., & Esteban, A. (2023). The Effect of Collaboration Inquiry Problem Based Learning Model on 4C Skills. *KREDO: Jurnal Ilmiah Bahasa Dan Sastra*, 7(1), 14–32.
- Farisi, A., Hamid, A., & Melvina. (2017). Pengaruh model pembelajaran problem based learning terhadap kemampuan berpikir kritis dalam meningkatkan hasil belajar siswa pada konsep suhu dan kalor. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa (JIM) Pendidikan Fisika*, 2(3), 283–287.
- Fauzan, M., Gani, A., & Syukri, M. (2017). Penerapan model problem based learning pada pembelajaran materi sistem tata surya untuk meningkatkan hasil belajar siswa. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia (Indonesian Journal of Science Education)*, 5(1), 27–35.
- Hariyadi, A., Dumiyati, Tukiyo, & Darmuki, A. (2023). The Effectiveness of PBL Collaborated with PjBL on Students ' 4C in the Course of Basic Education. *International Journal of Instruction*, 16(3), 897–914.
- Herayanti, L., Widodo, W., Susantini, E., & Gunawan, G. (2020). The effectiveness of blended learning model based on inquiry collaborative tutorial toward students ' problem -solving skills in physics. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 8(3), 959–972.
- Hmelo-Silver, C. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(1), 235–266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/B>
- Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., & Beilock, S. L. (2015). Physical Experience Enhances Science Learning. *Psychological Science*, 26(6), 737–749. <https://doi.org/10.1177/0956797615569355>
- Laili, U. F., Yusal, Y., Nazy, S., & Daud, D. H. (2025). Jurnal Pendidikan Fisika The Impact of Laboratory Management Module on Students ' 4C Competencies in Physics Education. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 13(3), 444–460. <https://doi.org/10.26618/p7www568>
- Nicholus, G., Nzabahimana, J., & Muwonge, C. M. (2024). Evaluating video-based PBL approach on performance and critical thinking ability among Ugandan form-2 secondary school students. *Cogent Education*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/2331186x.2024.2346040>
- Novitra, F., Festiyed, Yohandri, & Asrizal. (2021). Development of Online-based Inquiry Learning Model to Improve 21st-Century Skills of Physics Students in Senior High School. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(9), 1–20.
- Nurhayati, N., Suhandi, A., Muslim, M., & Kaniawati, I. (2023). Analysis of teachers and prospective physics teachers' difficulties in implementing problem-based learning model to improve students' 4c skills. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2596(1), 012058.
- Nurhayati, Suhandi, A., Muslim, Kaniawati, I., & Wahyudi. (2024). A Bibliometric Analysis : Research Trend of Technology-Assisted Problem-Based Learning. *International Conference on Advances in Education and Information Technology*, 88, 173–182. <https://doi.org/10.1007/978-981-97-3883-0>
- Nurjanah, S., Sultan, J., Aisyah, S., Puspita, D., & Ulyasari, N. (2024). Bibliometric Analysis of Problem Based Learning in Physics Education : A Scopus Based Study (1996-2023). *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 12(2), 310–326. <https://doi.org/10.20527/bipf.v12i2.18583>
- Partnership for 21st Century Skills. (2009). *P21 framework definitions*. ERIC Clearinghouse.
- Radifan, M. F., & Dewanti, R. (2020). The incorporation of 4c skills in senior high school english teachers' lesson plans. *STAIRS English Language Education Journal*, 1(1), 42–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.21009/stairs.1.2.4>
- Razak, A. A., Ramdan, M. R., Mahjom, N., Zabit, M. N. M., Fidlizan Muhammad, Hussin, M. Y. M., & Abdullah, N. L. (2022). *Improving Critical Thinking Skills in Teaching through Problem-Based Learning for Students: A Scoping Review*. 21(2), 342–362.
- Saldo, I. J. P., & Walag, A. M. P. (2020). Utilizing Problem-Based and Project-Based Learning in

- Developing Students ' Communication and Collaboration Skills in Physics. *American Journal of Educational Research*, 8(5), 232–237. <https://doi.org/10.12691/education-8-5-1>
- Serungke, M., Muhibbuddin, & Suhrawardi. (2020). Implementation of problem-based learning (PBL) with virtual laboratory to improve students' critical thinking and achievement. *Journal of Physics: Conference Series*, 1460(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1460/1/012134>
- Simajuntak, M. P., Marpaung, N., Barus, P., Lestari, R. I., Nova, B., & Ompusunggu, E. (2020). The effect of problem based learning supported by computer simulation student's creative thinking skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/3/032071>
- Simanjuntak, M. P., Hutahae, J., Marpaung, N., & Ramadhani, D. (2021). Effectiveness of Problem-Based Learning Combined with Computer Simulation on Students' Problem-Solving and Creative Thinking Skills. *International Journal of Instruction*, 14(3), 519–534. <https://doi.org/10.29333/iji.2021.14330a>
- Solano, J., Gutierrez, M. Z., Pinel-guzmán, E., & Henriquez, G. (2023). Barriers and Solutions to Successful Problem- Based Learning Delivery in Developing Countries-A Literature Review. *Cureus*, 15(8), 1–7. <https://doi.org/10.7759/cureus.43187>
- Tefera, A. S., Melaku, E. E., Urgie, B. M., Hassen, E. M., Tamene, T. D., & Gebeyaw, E. D. (2024). Barriers to implementing problem-based learning at the school of medicine of Debre Berhan University, Ethiopia. *BMC Medical Education*, 24(1), 1–7.
- Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J. M., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S., & Lubart, T. (2023). Creativity, critical thinking, communication, and collaboration: Assessment, certification, and promotion of 21st century skills for the future of work and education. *Journal of Intelligence*, 11(3), 1–32.
- Usman, F. O., Kess-momoh, A. J., Ibeh, C. V., Elumakin, A., Iloji, V. I., & Oyeyemi, O. P. (2024). Entrepreneurial innovations and trends : A global review : Examining emerging trends , challenges , and opportunities in the field of entrepreneurship , with a focus on how technology and globalization are shaping new business ventures. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 552–569. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.11.1.0079>
- Valtonen, T., Hoang, N., Sointu, E., Näykki, P., Virtanen, A., Pöysä-Tarhonen, J., & Kukkonen, J. (2020). How pre-service teachers perceive their 21st-century skills and dispositions: A longitudinal perspective. *Computers in Human Behavior*, 116.
- Viyanti, V., Suyatna, A., & Naj'iyah, A. L. (2021). Analisis Kebutuhan Pengembangan Strategi Pembelajaran Fisika Berbasis STEM di Era Digital Mengakomodasi Ragam Gaya Belajar dan Pengetahuan Awal. *Radiasi: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, 14(1), 1–10.