

---

**IMPLEMENTASI MODEL PROBLEM BASED LEARNING DALAM  
MENINGKATKAN KEMAMPUAN BERFIKIR KRITIS SISWA KELAS VI SDN  
KEBAKALAN PORONG**

Yayuk Puji Rahayu<sup>1</sup>, Lusiana Safitri<sup>2</sup>, Nihayatuz Zainiya<sup>3</sup>, Ashfihani Rumaidi<sup>4</sup>, Aula Fadhil  
Olivia<sup>5</sup>, Arie Widya Murni<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo

Email: [yayukprhy@gmail.com](mailto:yayukprhy@gmail.com)<sup>1</sup>, [lusianasft@gmail.com](mailto:lusianasft@gmail.com)<sup>2</sup>, [nihadainiyah@gmail.com](mailto:nihadainiyah@gmail.com)<sup>3</sup>,  
[ashfihanisyifa@gmail.com](mailto:ashfihanisyifa@gmail.com)<sup>4</sup>, [aualafadhilolivia02@gmail.com](mailto:aualafadhilolivia02@gmail.com)<sup>5</sup>, [ariewidya.pgisd@unusida.ac.id](mailto:ariewidya.pgisd@unusida.ac.id)<sup>6</sup>

**Abstrak:** Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji dampak penerapan model PBL terhadap kemampuan berpikir kritis siswa kelas enam di SD Kebakalan Porong. Salah satu keterampilan penting yang harus diajarkan sejak tingkat sekolah dasar adalah berpikir kritis. Namun, pembelajaran yang berpusat pada guru menyebabkan siswa kurang terampil dalam analisis masalah, artikulasi pendapat, dan pengambilan keputusan rasional. Partisipan penelitian dalam studi kualitatif deskriptif ini adalah siswa kelas enam dan para pengajar. Metode pengumpulan data meliputi kuesioner respons siswa, wawancara, dan observasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan model PBL meningkatkan partisipasi aktif siswa dalam proses pembelajaran, termasuk mengajukan pertanyaan, berdebat, dan membahas isu-isu kontekstual. Siswa menunjukkan peningkatan kemampuan berpikir kritis, yang dibuktikan dengan peningkatan kapasitas mereka dalam analisis masalah, justifikasi jawaban, dan pembuatan peta pikiran yang terorganisir. Oleh karena itu, model Pembelajaran Berbasis Masalah layak digunakan sebagai pendekatan pembelajaran alternatif di sekolah dasar karena memiliki efek yang bermanfaat pada pertumbuhan kemampuan berpikir kritis siswa kelas enam.

**Kata Kunci:** Problem Based Learning, Berpikir Kritis, Pembelajaran IPA, Sekolah Dasar.

**Abstract:** The goal of this study is to examine the impact of the implementation of the PBL model on the critical thinking abilities of sixth-grade pupils in Kebakalan Porong Elementary School. One of the essential skills that has to be taught starting at the elementary school level is critical thinking. But, teacher-centered learning leads to students being less skilled in problem analysis, opinion articulation, and rational decision-making. The research participants in this descriptive qualitative study were sixth-grade students and instructors. The methods of data collection were student response questionnaires, interviews, and observation. The findings revealed that using the PBL model increased students' active participation in the learning process, including asking questions, debating, and addressing contextual issues. Students showed improved critical thinking abilities, as evidenced by their greater capacity for problem analysis, response justification, and organized mind mapping. Therefore, the Problem Based Learning model is worthwhile to use as an alternative learning approach in elementary

*schools since it has a beneficial effect on the growth of critical thinking abilities in sixth-grade students.*

**Keywords:** *Problem Based Learning, Critical Thinking, Science Learning, Elementary School.*

## PENDAHULUAN

Pendidikan dasar berfungsi sebagai landasan penting untuk meningkatkan keterampilan kognitif siswa. Pada tahap ini, pengalaman pendidikan bertujuan tidak hanya untuk memperoleh pengetahuan dasar tetapi juga untuk memupuk kemampuan berpikir tingkat lanjut, khususnya berpikir kritis. Menguasai berpikir kritis sangat penting bagi siswa untuk memahami masalah, menilai informasi secara logis, dan membuat pilihan yang tepat berdasarkan penalaran yang sehat. Sesuai dengan tuntutan pendidikan modern di abad ke-21, menumbuhkan kemampuan berpikir kritis merupakan keterampilan penting yang harus dimulai sejak usia dini (Etistika dkk., 2016).

Ennis mengkarakterisasi berpikir kritis sebagai proses metodis dan kontemplatif yang bertujuan untuk memutuskan apa yang harus diterima sebagai benar atau tindakan apa yang harus diambil (Ennis, 2011). Facione, di sisi lain, menggambarkan sebagai mencakup keterampilan yang berkaitan dengan interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan artikulasi, semuanya didasarkan pada bukti dan penalaran yang kuat (Facione, 2011). Perspektif ini menyiratkan bahwa berpikir kritis bukanlah sesuatu yang dimiliki secara alami, tetapi keterampilan yang harus dikembangkan melalui pengalaman pendidikan yang mendorong siswa untuk terlibat dalam pemikiran aktif, bertanya, dan mengatasi masalah.

Meskipun demikian, lingkungan belajar yang sebenarnya di sekolah dasar menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan berpikir kritis belum sepenuhnya terwujud. Metode pengajaran yang digunakan sebagian besar masih tradisional dan berpusat pada guru, seperti ceramah dan tugas tertulis, yang menyebabkan lingkungan belajar pasif bagi siswa. Kurangnya partisipasi aktif dalam pembelajaran menghambat siswa untuk terbiasa menyuarakan pemikiran mereka, menganalisis masalah, dan menghubungkan apa yang mereka pelajari dengan situasi kehidupan praktis. Akibatnya, kemampuan berpikir kritis siswa belum mencapai potensi penuhnya.

Mengingat keadaan ini, jelas bahwa tantangan kurangnya keterampilan berpikir kritis di kalangan siswa bukan hanya masalah atribut individu siswa tetapi terkait erat dengan strategi

pengajaran yang diterapkan di kelas. Pendekatan pendidikan yang tidak memberikan kesempatan yang cukup bagi partisipasi siswa dalam berpikir dan memecahkan masalah memerlukan perhatian yang signifikan. Dengan demikian, model pengajaran yang mendorong konteks pembelajaran yang menarik dan relevan yang bertujuan untuk memajukan kemampuan berpikir kritis sangat penting. Kerangka pendidikan yang memperlakukan siswa sebagai peserta proaktif dalam menemukan dan memahami pengetahuan dianggap tepat untuk mengatasi tantangan ini.

Situasi ini juga telah diamati di kalangan siswa kelas enam di Sekolah Dasar Kebakalan Porong. Pengamatan awal menunjukkan bahwa siswa kesulitan memahami masalah yang diajukan, memberikan justifikasi rasional untuk jawaban mereka, dan merumuskan kesimpulan logis. Mayoritas siswa masih bergantung pada penjelasan guru dan kurang aktif berpartisipasi dalam diskusi kelas. Hal ini menunjukkan kebutuhan mendesak akan model pendidikan yang memotivasi partisipasi aktif siswa dan menumbuhkan keterampilan berpikir kritis kontekstual.

Sejalan dengan kebutuhan ini, metode pengajaran yang menekankan masalah dunia nyata diakui sebagai metode yang memberikan pengalaman belajar yang lebih kaya dan lebih bermakna bagi siswa. Ketika siswa menghadapi masalah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari mereka, mereka terinspirasi untuk berpikir kritis, mengajukan pertanyaan, dan berkolaborasi dalam menemukan solusi melalui diskusi. Proses ini tidak hanya membantu siswa memahami materi pelajaran tetapi juga membekali mereka untuk mengembangkan keterampilan berpikir yang terorganisir dan reflektif.

Salah satu pendekatan pendidikan yang dianggap dapat diterapkan untuk mengatasi tantangan ini adalah PBL. Menurut Barrows, Pembelajaran Berbasis Masalah adalah model pengajaran yang menggunakan dilema dunia nyata untuk memberikan kerangka kerja bagi siswa untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan mengasah kemampuan pemecahan masalah mereka. Metode ini menempatkan siswa dalam peran sebagai pembelajar aktif, sementara pendidik berperan sebagai pembimbing untuk mengarahkan pengalaman pendidikan. Dengan memanfaatkan PBL, diharapkan siswa akan memiliki kemampuan untuk membangun pengetahuan sendiri dengan mengeksplorasi isu-isu nyata.

Penggunaan metode Pembelajaran Berbasis Masalah sangat sesuai dengan teori konstruktivisme, yang menyatakan bahwa siswa membangun pengetahuan melalui

pengalaman belajar mereka. Dalam pendekatan ini, siswa dimotivasi untuk berbicara, bekerja sama, dan menghasilkan ide serta solusi untuk tantangan yang mereka hadapi (Savary, 2006). Metode ini memberi siswa kesempatan untuk mempraktikkan keterampilan berpikir kritis mereka secara praktis. Dari apa yang telah diamati di kelas enam SD Kebakalan Porong, tampaknya tingkat partisipasi siswa dalam tugas pembelajaran masih belum konsisten. Beberapa siswa seringkali pendiam, ragu untuk berbagi pemikiran mereka, dan terus bergantung pada penjelasan guru. Aktivitas seperti bertanya, berdiskusi, dan berbagi hasil pemikiran belum sepenuhnya dilakukan oleh semua siswa. Situasi ini menunjukkan bahwa lingkungan belajar belum cukup memungkinkan siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis mereka melalui partisipasi aktif dalam pengalaman belajar.

Hasil ini didukung oleh wawancara yang dilakukan dengan guru kelas enam, yang menyebutkan bahwa siswa terus menghadapi tantangan ketika berurusan dengan masalah yang membutuhkan penalaran dan keterampilan pemecahan masalah. Guru tersebut menunjukkan bahwa siswa umumnya menunggu bimbingan eksplisit dan belum terbiasa memecahkan masalah sendiri. Selain itu, siswa terus menghadapi tantangan dalam mendukung jawaban mereka dan membuat kesimpulan logis berdasarkan masalah yang dianalisis. Hal ini menunjukkan bahwa model pembelajaran yang ada belum secara efektif mendorong pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa.

Selain itu, umpan balik siswa tentang pendidikan mereka menunjukkan perlunya pendekatan pembelajaran yang lebih merangsang dan menantang. Menurut tanggapan dari kuesioner siswa, mayoritas siswa menunjukkan bahwa mereka lebih mudah memahami materi dan lebih terlibat ketika pembelajaran mereka mencakup kegiatan yang berfokus pada pemecahan masalah, diskusi, dan kerja kolaboratif. Informasi ini menunjukkan bahwa siswa dapat terlibat aktif dalam pendidikan mereka; namun, mereka membutuhkan metode yang tepat untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis mereka secara efektif. Oleh karena itu, penelitian ini sangat penting untuk melakukan investigasi menyeluruh tentang bagaimana penerapan model Pembelajaran Berbasis Masalah meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa kelas enam di SD Kebakalan Porong dengan menggunakan metode kualitatif deskriptif.

## METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kualitatif dan deskriptif. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan secara komprehensif proses implementasi

model PBL dan untuk memahami perkembangan dan munculnya kemampuan berpikir kritis siswa sepanjang proses pembelajaran, sehingga metode ini dipilih. Peneliti dapat menggunakan penelitian kualitatif deskriptif untuk mengidentifikasi fenomena pembelajaran yang secara alami berdasarkan keadaan aktual dan tidak memerlukan perlakuan khusus terhadap partisipan.

Partisipan penelitian, seorang guru kelas enam dan siswa kelas enam, berasal dari SDN Kebakalan Porong. Mengingat bahwa mata pelajaran tersebut telah menggunakan paradigma pembelajaran berbasis masalah dalam pengajaran sains, pemilihan subjek dilakukan dengan sengaja. Dalam penelitian ini, peneliti berperan sebagai instrumen utama, secara aktif berpartisipasi dalam proses pengumpulan data melalui observasi, wawancara, dan dokumentasi.

Informasi dikumpulkan melalui wawancara, observasi, dan kuesioner dari siswa. Observasi dilakukan untuk mendapatkan gambaran tentang apa yang dilakukan siswa saat belajar melalui pendekatan berbasis masalah. Lembar observasi aktivitas siswa, yang membahas berbagai topik seperti membaca atau mencari informasi, mengartikulasikan sudut pandang, mengajukan pertanyaan, memperdebatkan isu, melakukan eksperimen, menyelesaikan LKPD, dan melaporkan hasil percakapan, adalah instrumen observasi yang digunakan. Dengan interval lima menit, peneliti dapat secara langsung memantau tingkat partisipasi dan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran selama dua periode pelajaran (70 menit).

Untuk mempelajari lebih lanjut tentang penggunaan pembelajaran berbasis masalah, wawancara mendalam dilakukan dengan guru kelas enam, yang berperan sebagai informan kunci. Wawancara tersebut berfokus pada pendapat guru tentang implementasi pendekatan pembelajaran berbasis masalah, kesederhanaan penyampaian informasi, dampak model pembelajaran terhadap kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah siswa, serta keuntungan dan kerugian yang dialami selama proses pembelajaran. Instrumen wawancara yang digunakan adalah panduan wawancara terstruktur, yang menjamin bahwa informasi yang dikumpulkan tetap sesuai topik dan sejalan dengan tujuan penelitian.

Selain menggunakan observasi dan wawancara, penelitian ini juga menyertakan survei umpan balik siswa untuk menilai bagaimana siswa bereaksi terhadap pengajaran sains melalui pendekatan Pembelajaran Berbasis Masalah. Survei tersebut mencakup pertanyaan tentang

seberapa mudah mereka memahami konten, pengalaman mereka dengan aktivitas pemecahan masalah, pemahaman mereka tentang langkah-langkah dalam pemecahan masalah, dan kemampuan mereka untuk menanggapi pertanyaan setelah pelajaran. Tanggapan yang dikumpulkan dari survei ini berfungsi sebagai bukti tambahan untuk memperkuat hasil dari observasi dan wawancara.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan teknik kualitatif deskriptif, yang melibatkan beberapa fase: reduksi data, presentasi, dan penarikan kesimpulan. Pertama, data yang dikumpulkan dari observasi, wawancara, dan survei diorganisasikan berdasarkan fokus spesifik penelitian. Selanjutnya, informasi tersebut disusun dalam format naratif untuk menunjukkan bagaimana Pembelajaran Berbasis Masalah diimplementasikan dan hubungannya dengan kemampuan berpikir kritis siswa. Kesimpulan dibuat secara bertahap, dengan mempertimbangkan hubungan antar data yang dikumpulkan.

Untuk memvalidasi data, penelitian ini menggunakan metode triangulasi, khususnya triangulasi teknis dan triangulasi sumber. Triangulasi teknis melibatkan pencocokan silang data yang dikumpulkan dari observasi, wawancara, dan survei umpan balik siswa, sementara triangulasi sumber membandingkan wawasan yang diperoleh dari guru dan siswa. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa temuan tersebut menyajikan deskripsi yang tidak memihak tentang lingkungan pembelajaran, dengan dasar kredibilitas ilmiah.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil observasi selama proses pembelajaran menunjukkan adanya perubahan pola belajar peserta didik. Peserta didik tampak lebih aktif dalam mengajukan pertanyaan, mengemukakan pendapat, serta berdiskusi dengan teman satu kelompok. Mereka tidak hanya menunggu penjelasan guru, tetapi mulai berusaha mencari informasi dan memahami permasalahan yang diberikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa PBL mampu menciptakan suasana belajar yang partisipatif dan mendorong keterlibatan intelektual peserta didik (Savery, 2006).

Pengajaran sains melalui model PBL tentang Tata Surya untuk siswa kelas enam di SD Kebakalan Porong bertujuan untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih berharga bagi siswa. Alih-alih menjadikan guru sebagai satu-satunya sumber pengetahuan, metode ini memungkinkan siswa untuk terlibat aktif dan membangun pemahaman mereka dengan mengatasi masalah kehidupan nyata. Pendekatan ini memenuhi kebutuhan pendidikan sains,

yang menekankan tidak hanya mempelajari fakta tetapi juga meningkatkan kemampuan berpikir.

Tata Surya dipilih karena mencakup ide-ide abstrak yang berkaitan dengan kehidupan nyata. Topik seperti bagaimana planet bergerak, di mana Matahari berada, dan mengapa kita memiliki siang dan malam dapat sulit dipahami siswa jika hanya diajarkan melalui ceramah. Dengan menggunakan PBL, ide-ide ini dihubungkan dengan peristiwa nyata yang sering dilihat siswa, membantu mereka membentuk pemahaman yang lebih jelas dan logis.

Selama sesi pembelajaran, pengamatan menunjukkan pergeseran dalam cara siswa belajar. Mereka tampak lebih aktif mengajukan pertanyaan, berbagi pemikiran, dan berbicara dengan teman sekelas. Alih-alih hanya menunggu guru menjelaskan, mereka mulai mencari informasi dan menyelesaikan masalah sendiri. Situasi ini menunjukkan bahwa PBL dapat menumbuhkan lingkungan belajar interaktif dan meningkatkan keterlibatan mental siswa.

Pada tahap penyelidikan, peserta didik dilibatkan dalam kegiatan membaca sumber belajar, mengamati gambar tata surya, serta mendiskusikan permasalahan yang terdapat dalam LKPD. Kegiatan ini menuntut peserta didik untuk menganalisis informasi dan mengaitkannya dengan permasalahan yang sedang dibahas. Proses tersebut melatih peserta didik untuk tidak sekadar menerima informasi, tetapi juga mempertimbangkan alasan dan bukti sebelum menyampaikan jawaban. Hubungan antara penerapan PBL dan kemampuan berpikir kritis peserta didik terlihat dari cara mereka menyampaikan pendapat. Peserta didik mulai terbiasa memberikan alasan sederhana terhadap jawaban yang disampaikan, misalnya ketika menjelaskan mengapa Matahari menjadi pusat tata surya atau bagaimana gerak planet dapat memengaruhi kehidupan di Bumi. Kemampuan ini merupakan bagian dari berpikir kritis yang menekankan pada analisis dan penalaran logis (Facione, 2015).

Penemuan penting dalam penelitian ini adalah bahwa siswa dapat membuat peta pikiran setelah eksperimen dan penilaian pembelajaran berbasis proyek. Peta pikiran yang dihasilkan menunjukkan bahwa siswa dapat menyusun ide-ide tentang Tata Surya dengan jelas, mulai dari Matahari dan planet-planet hingga peristiwa alam terkait. Produk ini menunjukkan bagaimana siswa berpikir, melampaui sekadar menghafal untuk memahami hubungan antar ide yang berbeda.

Menggunakan peta pikiran sebagai cara untuk menunjukkan hasil pembelajaran menawarkan pemahaman yang lebih jelas tentang kemampuan berpikir kritis siswa. Dengan



menggunakan peta pikiran, siswa dapat memvisualisasikan bagaimana mereka secara sistematis menghubungkan ide-ide utama dengan konsep-konsep terkait. Hal ini konsisten dengan pandangan Buzan (2018), yang menyatakan bahwa peta pikiran berguna untuk membantu siswa dalam memvisualisasikan dan menghubungkan informasi secara efektif.

Mengenai kesenjangan penelitian, banyak studi sebelumnya telah berfokus pada dampak PBL dalam meningkatkan nilai ujian atau hasil pembelajaran kognitif. Penelitian ini meningkatkan pemahaman dengan menekankan jenis hasil pembelajaran alternatif: pembuatan peta pikiran sebagai produk dari proses kognitif. Akibatnya, studi ini memperluas pandangan tentang evaluasi kemampuan berpikir kritis, terutama dalam pendidikan dasar dan mata pelajaran sains konseptual. Diskusi dengan para pendidik menunjukkan bahwa penggunaan PBL menawarkan pengalaman pendidikan yang berbeda dibandingkan dengan pendekatan pengajaran tradisional. Para pendidik mengamati bahwa siswa lebih efektif memahami konsep ketika studi mereka terhubung dengan masalah praktis di dunia nyata. Meskipun beberapa siswa terus menunjukkan sikap pasif, dengan dukungan berkelanjutan, mereka perlahan mulai menunjukkan partisipasi aktif. Hal ini menyoroti pentingnya posisi guru sebagai pembimbing dalam pembelajaran berbasis masalah (Brookfield dan Preskill, 2005).

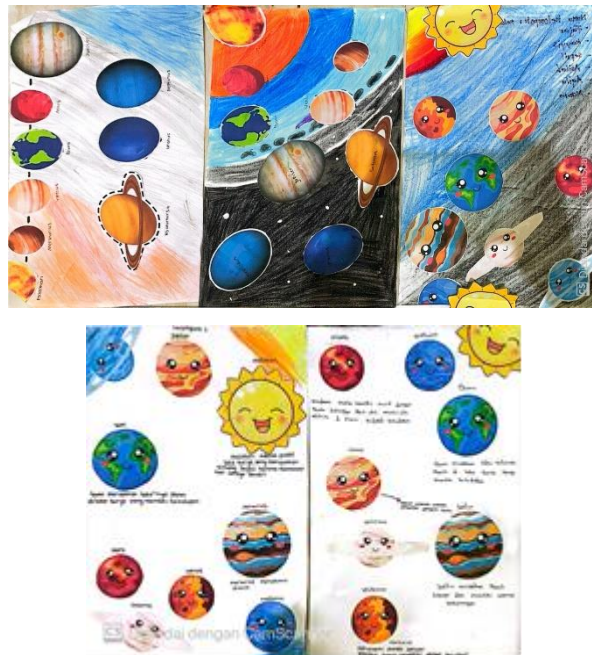
Reaksi siswa terhadap pembelajaran PBL juga menunjukkan hasil yang menguntungkan. Siswa menganggap pengalaman belajar lebih menarik dan tidak monoton karena partisipasi aktif mereka dalam diskusi dan kegiatan pemecahan masalah. Keterlibatan ini memungkinkan siswa untuk memahami konten Tata Surya secara lebih menyeluruh dan signifikan, karena mereka memperoleh pengetahuan melalui pengalaman langsung dan interaksi satu sama lain.

Secara teori, hasil penelitian ini mendukung gagasan bahwa PBL dapat meningkatkan kemampuan berpikir tingkat lanjut dengan menyajikan isu-isu yang sulit dan relevan (Hmelo-Silver, 2004). Pembelajaran berbasis masalah menawarkan kesempatan kepada siswa untuk secara bertahap meningkatkan kemampuan analitis, sintesis, dan kesimpulan mereka, sesuai dengan tingkat pertumbuhan kognitif mereka.

Singkatnya, diskusi ini menunjukkan bahwa penggunaan model Pembelajaran Berbasis Masalah untuk pengajaran konten Tata Surya secara positif memengaruhi peningkatan keterampilan berpikir kritis di kalangan siswa kelas enam. Kemampuan siswa untuk membuat peta pikiran menunjukkan bahwa pendidikan sains dapat distrukturkan tidak hanya untuk menumbuhkan pemahaman konseptual tetapi juga untuk menumbuhkan keterampilan berpikir



sistematis dan reflektif. Hasil ini mendukung gagasan bahwa PBL tepat untuk diterapkan dalam pendidikan sains sekolah dasar, khususnya untuk konten yang bersifat konseptual dan kontekstual.



## KESIMPULAN

Dalam hal Tata Surya, model PBL telah terbukti berhasil dalam menumbuhkan kemampuan berpikir kritis siswa kelas VI SDN Kebakalan Porong. Siswa memperoleh kepercayaan diri yang lebih besar dalam mengungkapkan pendapat, berpartisipasi dalam percakapan, dan mengevaluasi isu-isu dunia nyata melalui pembelajaran berbasis masalah. Kemampuan siswa untuk membuat peta pikiran menunjukkan bahwa mereka memiliki pemahaman logis tentang materi pelajaran dan bukan hanya menghafal ide. Umpan balik positif dari guru dan siswa mendukung gagasan bahwa PBL menumbuhkan lingkungan belajar yang lebih menarik dan menantang. Oleh karena itu, model PBL harus diimplementasikan di sekolah dasar sebagai pendekatan alternatif untuk pendidikan sains guna menumbuhkan kemampuan berpikir kritis

## DAFTAR PUSTAKA

- Aderhold J, Davydov V Yu, Fedler F, Klausning H, Mistele D, Rotter T, Semchinova O, Stemmer J and Graul J 2001 *J. Cryst. Growth* **222** 701
- Strite S and Morkoc H 1992 *J. Vac. Sci. Technol. B* **10** 1237

- Nakamura S, Senoh M, Nagahama S, Iwase N, Yamada T, Matsushita T, Kiyoku H and Sugimoto Y 1996 *Japan. J. Appl. Phys.* **35** L74
- Kunze K 2003 T-duality and Penrose limits of spatially homogeneous and inhomogeneous cosmologies *Phys. Rev. D* **68** 063517 (*Preprint gr-qc/0303038*)
- Milson R, Coley A, Pravda V and Pravdova A 2004 Alignment and algebraically special tensors *Preprint gr-qc/0401010*
- Horowitz G T and Maldacena J 2004 The black hole final state *J. High Energy Phys.* JHEP02(2004)008
- Sze S M 1969 *Physics of Semiconductor Devices* (New York: Wiley–Interscience)
- Dorman L I 1975 *Variations of Galactic Cosmic Rays* (Moscow: Moscow State University Press) p 103
- Caplar R and Kulisic P 1973 *Proc. Int. Conf. on Nuclear Physics (Munich)* vol 1 (Amsterdam: North-Holland/American Elsevier) p 517
- Kuhn T 1998 Density matrix theory of coherent ultrafast dynamics *Theory of Transport Properties of Semiconductor Nanostructures (Electronic Materials vol 4)* ed E Schöll (London: Chapman and Hall) chapter 6 pp 173–214
- Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20(6), 481–486.
- Facione, P. A. (2015). Critical thinking: What it is and why it counts. *Insight Assessment*.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.
- Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 9–20.
- Ennis, R. H. (2011). The nature of critical thinking: An outline of critical thinking dispositions and abilities. University of Illinois.