

# Implementasi Pembelajaran Berbasis Proyek dalam Materi Ekologi untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Sekar Arum<sup>1\*</sup>, Ayu Prameswari<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universitas Islam Madura, Indonesia

Alamat: JL. Pondok Peantren Miftahul Ulum Bettet, Pamekasan Madura, Gladak, Bettet, Kec. Pamekasan, Kabupaten Pamekasan, Jawa Timur 69317

**Abstract:** *This study aims to examine the effect of project-based learning on students' critical thinking skills in studying ecology. The background of this study is the need for innovative learning methods that can improve students' analytical skills in understanding ecological concepts. The method used is experimental research with a pretest-posttest design. Data were collected through observation and critical thinking skills tests before and after learning. The results showed a significant increase in students' critical thinking skills after the implementation of project-based learning. These findings indicate that project-based learning can be an effective strategy in improving students' critical thinking skills in biology education.*

**Keywords:** *Ecology, learning innovation, project-based learning, biology education, critical thinking.*

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh pembelajaran berbasis proyek terhadap keterampilan berpikir kritis siswa dalam mempelajari ekologi. Latar belakang penelitian ini berangkat dari kebutuhan akan metode pembelajaran inovatif yang mampu meningkatkan kemampuan analitis siswa dalam memahami konsep ekologi. Metode yang digunakan adalah penelitian eksperimen dengan desain pretest-posttest. Data dikumpulkan melalui observasi dan tes keterampilan berpikir kritis sebelum dan setelah pembelajaran. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan dalam kemampuan berpikir kritis siswa setelah diterapkannya pembelajaran berbasis proyek. Temuan ini mengindikasikan bahwa pembelajaran berbasis proyek dapat menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dalam pendidikan biologi.

**Kata kunci:** Ekologi, inovasi pembelajaran, pembelajaran berbasis proyek, pendidikan biologi, berpikir kritis.

## 1. PENDAHULUAN

Pembelajaran biologi menuntut pemahaman mendalam terhadap konsep-konsep ilmiah serta penguasaan keterampilan berpikir kritis dalam menganalisis permasalahan yang kompleks. Salah satu cabang biologi yang memiliki karakteristik ini adalah ekologi, yang mempelajari hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya (Odum, 2005). Pemahaman ekologi tidak hanya memerlukan hafalan terhadap konsep-konsep dasar, tetapi juga keterampilan analitis dan sintesis dalam menghubungkan berbagai aspek ekosistem. Namun, dalam praktiknya, pembelajaran ekologi di kelas masih sering bersifat konvensional dan kurang mendorong siswa untuk berpikir kritis (Arends, 2012). Oleh karena itu, dibutuhkan strategi pembelajaran yang dapat meningkatkan keterlibatan aktif siswa dalam memahami konsep-konsep ekologi secara lebih mendalam.

Pembelajaran berbasis proyek (Project-Based Learning/PjBL) telah banyak dikaji sebagai pendekatan yang efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa (Bell, 2010). Pendekatan ini menempatkan siswa sebagai pusat pembelajaran dengan memberikan pengalaman langsung melalui penyelesaian proyek yang relevan dengan

materi yang dipelajari. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan PjBL dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah, kreativitas, dan kolaborasi siswa (Krajcik & Blumenfeld, 2006). Dalam konteks pembelajaran ekologi, metode ini memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi permasalahan lingkungan nyata dan mengembangkan solusi berbasis penelitian yang lebih aplikatif.

Meskipun banyak penelitian telah membahas manfaat PjBL dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis secara umum, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam penerapannya pada pembelajaran ekologi (Hmelo-Silver, 2004). Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada pengaruh PjBL dalam mata pelajaran sains secara luas tanpa meneliti secara spesifik bagaimana pendekatan ini dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep ekologi. Selain itu, belum banyak penelitian yang mengkaji efektivitas PjBL dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dalam konteks ekologi di tingkat pendidikan menengah. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui sejauh mana penerapan PjBL dapat berkontribusi dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa dalam mempelajari ekologi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh pembelajaran berbasis proyek terhadap keterampilan berpikir kritis siswa dalam memahami konsep ekologi. Penelitian ini berkontribusi dalam memberikan pemahaman empiris mengenai efektivitas PjBL dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis serta memberikan rekomendasi bagi pendidik dalam menerapkan strategi pembelajaran inovatif di kelas biologi. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan bagi pengembangan metode pembelajaran yang lebih interaktif, kontekstual, dan berbasis pengalaman dalam pembelajaran ekologi.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **Pembelajaran Berbasis Proyek (Project-Based Learning/PjBL)**

Pembelajaran berbasis proyek (PjBL) adalah metode pembelajaran yang berpusat pada siswa, di mana mereka terlibat dalam eksplorasi aktif, investigasi, dan penyelesaian masalah secara kolaboratif (Krajcik & Blumenfeld, 2006). Model ini memungkinkan siswa untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dengan menghubungkan teori dengan praktik serta menerapkan konsep yang dipelajari dalam konteks nyata (Bell, 2010). Selain itu, PjBL juga memberikan kesempatan bagi siswa untuk meningkatkan keterampilan

komunikasi, pemecahan masalah, dan kolaborasi, yang semuanya penting dalam pendidikan abad ke-21 (Hmelo-Silver, 2004).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penerapan PjBL dalam pembelajaran sains, termasuk biologi, dapat meningkatkan pemahaman konseptual siswa serta keterampilan berpikir tingkat tinggi (Arends, 2012). Menurut Thomas (2000), PjBL efektif dalam menciptakan lingkungan belajar yang lebih interaktif dan memungkinkan siswa mengonstruksi pengetahuannya sendiri. Lebih lanjut, penelitian oleh Capraro et al. (2013) menegaskan bahwa PjBL dapat meningkatkan motivasi siswa dalam belajar sains karena memberikan pengalaman yang lebih bermakna dibandingkan metode pembelajaran tradisional.

### **Ekologi dalam Kurikulum Biologi**

Ekologi merupakan cabang biologi yang mempelajari hubungan antara makhluk hidup dengan lingkungannya, termasuk interaksi antarorganisme serta dampak lingkungan terhadap kehidupan (Odum, 2005). Konsep ekologi mencakup berbagai aspek seperti ekosistem, aliran energi dalam rantai makanan, dinamika populasi, dan keberlanjutan lingkungan (Begon et al., 2006). Pemahaman terhadap konsep-konsep ini tidak hanya penting untuk keperluan akademik, tetapi juga untuk membangun kesadaran lingkungan yang lebih baik di kalangan siswa.

Dalam konteks pembelajaran, ekologi sering kali dianggap sebagai materi yang kompleks karena menuntut pemahaman sistemik dan keterampilan berpikir tingkat tinggi (Arends, 2012). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembelajaran yang lebih inovatif untuk membantu siswa memahami konsep ekologi secara lebih mendalam. Salah satu strategi yang dapat digunakan adalah pembelajaran berbasis proyek, yang memungkinkan siswa untuk secara langsung mengeksplorasi konsep-konsep ekologi dalam situasi nyata.

### **Efektivitas PjBL dalam Pembelajaran Ekologi**

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan PjBL dalam pembelajaran ekologi memiliki dampak positif terhadap pemahaman siswa (Hmelo-Silver, 2004). Melalui proyek yang berorientasi pada pemecahan masalah lingkungan, siswa dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan analitis (Krajcik & Blumenfeld, 2006). Studi oleh Holbrook & Rannikmae (2007) menunjukkan bahwa siswa yang belajar dengan metode PjBL cenderung memiliki pemahaman lebih mendalam terhadap konsep ekologi dibandingkan mereka yang belajar dengan metode konvensional.

Selain itu, penelitian oleh Harlen (2010) menegaskan bahwa PjBL membantu siswa mengembangkan pemahaman holistik tentang ekologi dengan mengaitkan teori dengan

kondisi lingkungan yang mereka amati secara langsung. PjBL juga memungkinkan siswa untuk mengembangkan solusi berbasis penelitian terhadap permasalahan ekologi yang ada, seperti pencemaran lingkungan atau perubahan iklim (Capraro et al., 2013). Oleh karena itu, pendekatan ini dapat menjadi alternatif yang efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis serta kesadaran lingkungan siswa.

### **Landasan Teori dan Implikasi Penelitian**

Berdasarkan kajian literatur, PjBL berakar pada teori konstruktivisme, yang menekankan bahwa siswa membangun pemahaman mereka sendiri melalui pengalaman belajar aktif (Piaget, 1950). Menurut Vygotsky (1978), interaksi sosial dalam proses belajar juga berperan penting dalam membentuk pemahaman konseptual siswa. Dalam konteks pembelajaran ekologi, PjBL memberikan peluang bagi siswa untuk berkolaborasi, bertukar ide, dan mengembangkan solusi terhadap masalah lingkungan yang kompleks.

Penelitian ini berangkat dari temuan sebelumnya yang menunjukkan efektivitas PjBL dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan pemahaman konseptual siswa (Bell, 2010; Krajcik & Blumenfeld, 2006). Dengan demikian, penelitian ini akan mengkaji secara lebih spesifik pengaruh PjBL terhadap keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran ekologi, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode pembelajaran biologi yang lebih inovatif.

## **3. METODOLOGI PENELITIAN**

### **Rancangan Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan desain pretest-posttest control group untuk menguji efektivitas pembelajaran berbasis proyek (PjBL) terhadap keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran ekologi. Desain ini dipilih karena memungkinkan perbandingan antara kelompok eksperimen yang diberi perlakuan dengan PjBL dan kelompok kontrol yang menggunakan metode konvensional (Fraenkel et al., 2012).

Dalam desain ini, kedua kelompok diberikan pretest sebelum perlakuan untuk mengukur keterampilan berpikir kritis awal siswa, kemudian kelompok eksperimen menerima pembelajaran berbasis proyek, sementara kelompok kontrol mendapatkan pembelajaran konvensional. Setelah intervensi, kedua kelompok diberikan **posttest** untuk mengukur perubahan dalam keterampilan berpikir kritis mereka.

## **Populasi dan Sampel**

Populasi dalam penelitian ini adalah siswa sekolah menengah atas (SMA) yang sedang mempelajari ekologi dalam kurikulum biologi. Sampel dipilih dengan metode purposive sampling, yang mempertimbangkan kesamaan latar belakang akademik dan kemampuan awal siswa untuk memastikan homogenitas antar kelompok (Creswell, 2014). Sampel terdiri dari dua kelas dengan jumlah siswa yang setara:

- a. Kelompok eksperimen, yang menerima pembelajaran berbasis proyek (PjBL).
- b. Kelompok kontrol, yang menerima pembelajaran konvensional.

Pemilihan sampel dilakukan berdasarkan rekomendasi guru mata pelajaran biologi, dengan kriteria bahwa siswa memiliki tingkat pemahaman yang relatif setara berdasarkan nilai akademik sebelumnya.

## **Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data**

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui beberapa teknik, yaitu:

- a. Observasi – dilakukan selama proses pembelajaran untuk menilai keterlibatan siswa dalam diskusi dan pemecahan masalah berbasis proyek (Bell, 2010).
- b. Wawancara – dilakukan kepada siswa dan guru untuk memahami pengalaman mereka dalam menerapkan pembelajaran berbasis proyek serta kendala yang dihadapi (Holbrook & Rannikmae, 2007).
- c. Tes keterampilan berpikir kritis – diberikan dalam bentuk pretest dan posttest menggunakan instrumen yang telah divalidasi berdasarkan model keterampilan berpikir kritis (Ennis, 2011).

Instrumen tes yang digunakan disusun berdasarkan indikator keterampilan berpikir kritis seperti analisis, evaluasi, dan inferensi (Facione, 2011). Validitas instrumen diuji dengan analisis content validity oleh ahli pendidikan biologi, sedangkan reliabilitasnya diuji menggunakan koefisien Cronbach's Alpha, dengan nilai reliabilitas di atas 0.70 dianggap cukup tinggi (Fraenkel et al., 2012).

## **Alat Analisis Data**

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif:

- a. Analisis kuantitatif
  - o Data pretest dan posttest dianalisis menggunakan uji-t berpasangan (paired sample t-test) untuk mengukur perbedaan keterampilan berpikir kritis sebelum dan sesudah pembelajaran dalam masing-masing kelompok (Creswell, 2014).
  - o Perbedaan antara kelompok eksperimen dan kontrol diuji menggunakan uji-t independen (independent sample t-test) untuk menentukan apakah

pembelajaran berbasis proyek memberikan pengaruh yang signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis siswa (Fraenkel et al., 2012).

- Analisis N-Gain Score digunakan untuk melihat peningkatan keterampilan berpikir kritis dalam setiap kelompok dengan rumus:

$$N-Gain = \frac{\text{Posttest Score} - \text{Pretest Score}}{\text{Maximum Score} - \text{Pretest Score}}$$

Kriteria peningkatan dikategorikan sebagai tinggi ( $N-Gain \geq 0.7$ ), sedang ( $0.3 \leq N-Gain < 0.7$ ), dan rendah ( $N-Gain < 0.3$ ) (Hake, 1999).

b. Analisis kualitatif

- Data dari observasi dan wawancara dianalisis menggunakan metode analisis tematik untuk mengidentifikasi pola keterlibatan siswa dalam pembelajaran berbasis proyek serta faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas metode ini (Braun & Clarke, 2006).

**Model Penelitian**

Model penelitian dalam penelitian ini digambarkan sebagai berikut:

- a. Variabel bebas (X): Pembelajaran berbasis proyek (PjBL).
- b. Variabel terikat (Y): Keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran ekologi.
- c. Variabel kontrol: Kesetaraan tingkat akademik awal siswa, kurikulum yang digunakan, serta durasi waktu pembelajaran di kelas.

Model ini didasarkan pada teori konstruktivisme oleh Piaget (1950) dan Vygotsky (1978), yang menyatakan bahwa pembelajaran yang efektif terjadi ketika siswa terlibat secara aktif dalam eksplorasi dan pemecahan masalah dalam lingkungan yang mendukung interaksi sosial.

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

##### **Proses Pengumpulan Data dan Rentang Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di salah satu Sekolah Menengah Atas (SMA) di Indonesia selama satu semester (enam bulan). Data dikumpulkan melalui observasi kelas, wawancara, serta tes keterampilan berpikir kritis yang terdiri dari pretest dan posttest. Pretest dilakukan sebelum penerapan pembelajaran berbasis proyek (PjBL) untuk mengukur keterampilan berpikir kritis awal siswa, sedangkan posttest diberikan setelah intervensi selama 12 minggu. Observasi dilakukan secara berkala selama proses pembelajaran berlangsung

untuk melihat tingkat keterlibatan dan interaksi siswa dalam diskusi dan pemecahan masalah berbasis proyek.

### Hasil Analisis Data

Analisis data menunjukkan bahwa kelompok eksperimen yang mendapatkan pembelajaran berbasis proyek mengalami peningkatan yang signifikan dalam keterampilan berpikir kritis dibandingkan dengan kelompok kontrol yang menggunakan metode konvensional. Tabel 1 menyajikan hasil uji-t berpasangan pada kelompok eksperimen dan kontrol.

**Tabel 1.** Hasil Uji-t Berpasangan pada Kelompok Eksperimen dan Kontrol

Kelompok	Pretest (M ± SD)	Posttest (M ± SD)	t-value	p-value
Eksperimen (PjBL)	56.32 ± 8.45	78.91 ± 7.62	9.21	<0.001
Kontrol (Konvensional)	55.87 ± 7.98	65.45 ± 6.75	4.58	<0.001

*Sumber: Hasil penelitian (2024)*

Dari tabel di atas, terlihat bahwa nilai posttest kelompok eksperimen lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok kontrol, yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa. Uji-t berpasangan menunjukkan perbedaan yang signifikan antara pretest dan posttest di kedua kelompok ( $p < 0.001$ ), tetapi peningkatan dalam kelompok eksperimen jauh lebih besar ( $t = 9.21$ ) dibandingkan kelompok kontrol ( $t = 4.58$ ).

Hasil analisis N-Gain Score lebih lanjut memperkuat temuan ini, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Analisis N-Gain Score

Kelompok	N-Gain Score	Kategori Peningkatan
Eksperimen (PjBL)	0.62	Sedang
Kontrol (Konvensional)	0.27	Rendah

*Sumber: Hasil penelitian (2024)*

Berdasarkan hasil analisis N-Gain Score, kelompok eksperimen mengalami peningkatan dalam kategori sedang (0.62), sementara kelompok kontrol hanya mengalami peningkatan dalam kategori rendah (0.27). Ini menunjukkan bahwa metode PjBL lebih efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dibandingkan metode pembelajaran konvensional.

## **5. DISKUSI**

### **Hubungan Hasil dengan Konsep Dasar**

Temuan ini mendukung teori konstruktivisme oleh Vygotsky (1978), yang menyatakan bahwa pembelajaran terjadi secara lebih efektif ketika siswa aktif membangun pemahamannya sendiri melalui interaksi sosial dan pengalaman langsung. Pembelajaran berbasis proyek memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi konsep ekologi secara lebih mendalam melalui proyek nyata, sehingga meningkatkan kemampuan mereka dalam menganalisis, mengevaluasi, dan menyelesaikan permasalahan lingkungan secara sistematis (Holbrook & Rannikmae, 2007).

### **Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya**

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Bell (2010), yang menemukan bahwa metode PjBL meningkatkan motivasi dan keterampilan berpikir kritis siswa secara lebih efektif dibandingkan metode konvensional. Selain itu, penelitian oleh Hake (1999) yang menggunakan konsep N-Gain Score juga menunjukkan bahwa metode pembelajaran berbasis proyek cenderung menghasilkan peningkatan yang lebih besar dalam pemahaman konseptual dibandingkan metode tradisional.

Namun, hasil ini sedikit berbeda dengan penelitian Facione (2011) yang menunjukkan bahwa efektivitas PjBL bergantung pada faktor tambahan seperti dukungan instruktur, keterlibatan siswa, dan akses terhadap sumber belajar yang memadai. Dalam konteks penelitian ini, tantangan utama yang ditemukan adalah perbedaan tingkat partisipasi antar siswa, di mana beberapa siswa mengalami kesulitan dalam beradaptasi dengan metode pembelajaran yang lebih mandiri.

### **Implikasi Hasil Penelitian**

Hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting:

- a. Implikasi Teoretis: Studi ini memperkuat teori konstruktivisme dalam pendidikan dengan menunjukkan bahwa keterlibatan aktif dalam pembelajaran berbasis proyek meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa (Vygotsky, 1978).
- b. Implikasi Praktis: Guru dapat menerapkan metode PjBL sebagai strategi pembelajaran utama dalam mata pelajaran biologi, khususnya dalam topik yang membutuhkan pemecahan masalah dan keterampilan analitis, seperti ekologi.
- c. Implikasi Kebijakan Pendidikan: Sekolah dan institusi pendidikan dapat mempertimbangkan untuk mengintegrasikan pendekatan PjBL ke dalam kurikulum nasional, khususnya dalam mata pelajaran yang berorientasi pada eksplorasi ilmiah dan pemecahan masalah.



## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran berbasis proyek (PjBL) lebih efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dibandingkan metode konvensional. Peningkatan ini dapat diukur dari hasil posttest yang lebih tinggi, nilai N-Gain Score dalam kategori sedang, serta keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran. Implikasi dari penelitian ini mendukung pengembangan kurikulum yang lebih berbasis proyek untuk meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir kritis siswa di tingkat sekolah menengah atas.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dalam materi ekologi. Pendekatan ini memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan mendalam, sehingga siswa lebih mampu memahami serta menerapkan konsep-konsep ekologi dalam kehidupan sehari-hari. Peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan dalam kelompok eksperimen menunjukkan bahwa metode ini lebih efektif dibandingkan metode konvensional (Dole et al., 2017).

Dari hasil penelitian ini, disarankan agar pembelajaran berbasis proyek lebih banyak diterapkan dalam pendidikan biologi, khususnya dalam topik-topik yang memerlukan pemahaman sistemik seperti ekologi. Guru diharapkan dapat merancang proyek yang relevan dengan kehidupan sehari-hari siswa untuk meningkatkan motivasi dan partisipasi aktif dalam pembelajaran (Krajcik & Blumenfeld, 2006). Selain itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguji efektivitas metode ini dalam jangka panjang dan dalam berbagai tingkat pendidikan yang berbeda.

Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal jumlah sampel yang relatif kecil dan keterbatasan waktu dalam implementasi proyek. Oleh karena itu, studi lanjutan dengan cakupan yang lebih luas dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang dampak pembelajaran berbasis proyek terhadap keterampilan berpikir kritis dan pemahaman ekologi secara lebih komprehensif.

## REFERENSI

- Arends, R. I. (2012). *Learning to teach*. McGraw-Hill.
- Barron, B., Schwartz, D. L., Vye, N. J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L., & Bransford, J. D. (1998). Doing with understanding: Lessons from research on project-based learning. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3-4), 271-311. [https://doi.org/10.1207/s15327809jls0703&4\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327809jls0703&4_2)

- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology: From individuals to ecosystems*. Wiley-Blackwell.
- 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>
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26(3-4), 369-398. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach*. Springer.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Dole, S., Bloom, L., & Kowalske, K. (2016). Transforming pedagogy: Changing perspectives from teacher-centered to learner-centered. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 10(1), 1-15. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1538>
- Ennis, R. H. (2011). The nature of critical thinking: An outline of critical thinking dispositions and abilities. *Inquiry: Critical Thinking Across the Disciplines*, 26(1), 4-18. <https://doi.org/10.5840/inquiryct20112613>
- Facione, P. A. (2011). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Insight Assessment.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Hake, R. R. (1999). Analyzing change/gain scores. *American Educational Research Association (AERA) Conference Paper*.
- Harlen, W. (2010). *Principles and big ideas of science education*. Association for Science Education.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2007). The nature of science education for enhancing scientific literacy. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1347-1362. <https://doi.org/10.1080/09500690601007549>
- Kolodner, J. L. (2006). Case-based reasoning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 225-242). Cambridge University Press.

- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 317-334). Cambridge University Press.
- Larmer, J., & Mergendoller, J. R. (2010). Seven essentials for project-based learning. *Educational Leadership*, 68(1), 34-37.
- Lou, Y., Abrami, P. C., & d'Apollonia, S. (2001). Effects of within-class grouping on student achievement: An exploratory model. *The Journal of Educational Research*, 94(2), 101-112. <https://doi.org/10.1080/00220670109599910>
- Odum, E. P. (2005). *Fundamentals of ecology* (5th ed.). Cengage Learning.
- Piaget, J. (1950). *The psychology of intelligence*. Routledge.
- Prince, M. J., & Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123-138. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>
- Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 9-20. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
- Strobel, J., & van Barneveld, A. (2009). When is PBL more effective? A meta-synthesis of meta-analyses comparing PBL to conventional classrooms. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1), 44-58. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1046>
- Thomas, J. W. (2000). *A review of research on project-based learning*. The Autodesk Foundation.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wurdinger, S. D., & Carlson, J. A. (2010). *Teaching for experiential learning: Five approaches that work*. Rowman & Littlefield Publishers.