

Peningkatan keterampilan berpikir sistem menggunakan model problem based learning berbantu augmented reality



Latifah Hasanah ^{a*}, Meti Maspupah ^a, Epa Paujiah ^a

^a Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung, Jl. Cimencrang, Kec. Gedebage, Kota Bandung, Jawa Barat

* latifahhasanah23@gmail.com

ABSTRAK

Pembelajaran abad ke-21 menuntut peserta didik menguasai kompetensi kompleks, termasuk berpikir sistem untuk memahami keterkaitan dalam sistem biologis seperti sistem pernapasan manusia. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas model problem based learning (PBL) berbantuan augmented reality (AR) dalam meningkatkan keterampilan berpikir sistem peserta didik pada materi biologi. Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 23 Bandung dengan desain nonequivalent control group yang melibatkan dua kelas, yaitu XI-5 sebagai kelas eksperimen dan XI-6 sebagai kelas kontrol. Kelas eksperimen memperoleh pembelajaran PBL berbantuan media AR, sedangkan kelas kontrol menggunakan model discovery learning. Data dikumpulkan melalui tes kemampuan berpikir sistem yang diberikan sebelum (pretest) dan sesudah (posttest) perlakuan. Peningkatan kemampuan dianalisis menggunakan normalized gain (N-Gain), sedangkan perbedaan N-Gain antar kelompok diuji dengan statistik nonparametrik. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua kelas mencapai kategori peningkatan tinggi, dengan rata-rata N-Gain kelas PBL+AR lebih tinggi secara signifikan dibandingkan kelas discovery serta disertai effect size sedang-besar. Temuan ini menunjukkan bahwa model PBL berbantuan AR efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir sistem peserta didik dan memberikan peningkatan yang lebih kuat dibandingkan discovery learning dalam pembelajaran biologi di SMA.

Kata kunci: keterampilan berpikir sistem, augmented reality, problem based learning, discovery learning

PENDAHULUAN

Abad 21 dikenal sebagai era industri (*industrial age*) sekaligus era pengetahuan (*knowledge age*), dimana perkembangan teknologi dan informasi mempengaruhi semua aspek kehidupan (Yolanda & Fathurahman, 2023). Di era ini, usaha pemenuhan kebutuhan hidup didasari pengetahuan (Mardiyah et al., 2021). Namun, bukan hanya pengetahuan yang menjadi faktor utamanya, keterampilan pun memiliki peran penting di masa ini.

Seminar Nasional Pendidikan Biologi X
Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang
Malang, 16 Desember 2025

Keterampilan-keterampilan yang harus dimiliki peserta didik pada pembelajaran abad 21 sering disebut sebagai kecakapan atau keterampilan 6C. Istilah 6C ini terdiri dari *Critical Thinking* (berpikir kritis), *Creativity* (kreatif), *Collaboration* (kolaborasi), *Character* (karakter), *Communication* (komunikasi), dan *Citizenship* (kewarganegaraan) (Astuti, 2024). Untuk menjadi fondasi kehidupan masa depan peserta didik kecakapan 6C ini harus diasah melalui proses pembelajaran (Rochmah, 2023). Dalam usaha mendukung peserta didik meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, logis, dan reflektif (*High Order Thinking Skills*) untuk mampu memahami situasi dunia nyata yang kompleks dan beragam diperlukan keterampilan lainnya, yaitu keterampilan berpikir sistem (York et al., 2019).

Berpikir sistem merupakan pendekatan holistik yang menekankan peserta didik untuk memiliki kemampuan menganalisis fenomena yang kompleks, memahami komponen-komponen yang saling berkaitan, serta struktur yang mempengaruhi hubungan antar komponen-komponen tersebut (Verhoeff et al., 2018). Proses dari berpikir sistem akan memunculkan sebuah hasil pikir yang akan berdampak pada tindakan atau perilaku seseorang (Rohmadi, 2018). Keterampilan berpikir sistem akan membantu peserta didik mengambil keputusan yang tepat dan komprehensif dengan mempertimbangkan dampaknya pada berbagai bidang.

Dalam pembelajaran biologi keterampilan berpikir sistem memiliki peran penting karena dapat membantu peserta didik memahami hubungan yang kompleks antar komponen dalam sistem biologis. Yli-Panula et al. (2024) menyebutkan bahwa pendekatan ini menekankan peserta didik untuk melihat suatu sistem sebagai kesatuan yang utuh, bukan hanya menganalisis bagian-bagiannya secara terpisah. Menurutnya juga penerapan keterampilan berpikir sistem sangat relevan bagi peserta didik dalam mempelajari materi pembelajaran biologi. Misalnya, sistem tubuh manusia sebagai jaringan komponen yang saling berinteraksi (Tripto et al., 2016).

Salah satu materi pembelajaran biologi yang memuat tentang struktur, fungsi, dan berbagai proses atau mekanisme kerja komponen-komponen dalam satu sistem adalah materi sistem pernapasan. Karena berkaitan dengan konsep-konsep, proses-proses, gejala, dan peristiwa yang terjadi di dalam tubuh dan tidak dapat diamati secara langsung, materi sistem pernapasan seringkali dianggap abstrak dan sulit dimengerti oleh peserta didik (Waruwu et al., 2024). Maka dapat disimpulkan bahwa pembelajaran biologi materi sistem pernapasan membutuhkan keterampilan berpikir sistem agar peserta didik mampu memahami hubungan yang kompleks antara struktur, fungsi, dan proses dalam sistem ini secara menyeluruh.

Pemilihan model pembelajaran yang tepat dapat meningkatkan keterampilan berpikir sistem peserta didik, dimana pada akhirnya juga akan berdampak pada hasil belajarnya (Pimdee & Seechaliao, 2025). Guru diharapkan dapat menentukan model pembelajaran yang sesuai dengan tujuan pembelajaran, karakteristik serta lingkungan peserta didiknya (Sumardi, 2021). Model pembelajaran yang tepat dapat membantu guru menciptakan suasana belajar yang aktif, kreatif, efektif, dan menyenangkan.

Model *problem based learning* merupakan salah satu model pembelajaran yang dapat meningkatkan keterampilan berpikir sistem peserta didik (Nagarajan & Overton, 2019). Model ini termasuk inovasi model pembelajaran yang dapat menciptakan kondisi belajar aktif bagi

Seminar Nasional Pendidikan Biologi X
Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang
Malang, 16 Desember 2025

peserta didik (Kurniawan et al., 2023). Penerapan model *problem based learning* ini dalam proses pembelajaran akan mendorong peserta didik untuk terlibat aktif, baik secara fisik maupun mental, dalam diskusi kelompok untuk memecahkan masalah yang diberikan. Diskusi dan kolaborasi yang terjadi akan membantu memperkuat memori peserta didik melalui pertukaran informasi, perspektif, dan pemahaman sehingga peserta didik lebih mudah dalam mengingat dan memahami materi pelajaran secara mendalam (Nafizatunni'am et al., 2024).

Model pembelajaran yang dipilih dengan tepat akan lebih efektif jika didukung dengan media pembelajaran yang relevan dan menarik bagi peserta didik. Sejalan dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, media pembelajaran juga turut dikembangkan. Salah satu produk teknologi yang digunakan sebagai media pembelajaran adalah *augmented reality*. Menurut Alfitriani et al. (2021) *augmented reality* mampu membantu memvisualisasikan konsep yang abstrak sehingga dapat meningkatkan pemahaman terhadap struktur suatu objek. Dengan penggunaan *augmented reality* pembelajaran yang biasanya terbatas melalui buku cetak, yang menampilkan gambar dalam bentuk dua dimensi, akan lebih interaktif dan menarik karena peserta didik dapat melihat dan berinteraksi langsung dengan objek dalam bentuk tiga dimensi (Supriyanto et al., 2023).

Penelitian tentang peningkatan keterampilan berpikir sistem telah dilakukan oleh Mar et al. (2023) dan Effendi et al. (2023). Dalam penelitian-penelitian tersebut, peneliti hanya menerapkan model pembelajaran sebagai variabel bebas penelitian. Maka dalam penelitian ini peneliti menjadikan penggunaan media *augmented reality* sebagai keterbaruan penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh model pembelajaran *problem based learning* berbantuan media *augmented reality* terhadap keterampilan berpikir sistem peserta didik pada materi sistem pernapasan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain quasi eksperimen tipe nonequivalent control group, di mana satu kelas dijadikan kelompok eksperimen dengan model Problem-Based Learning berbantuan media augmented reality dan satu kelas sebagai kelompok kontrol dengan model discovery learning, masing-masing diberi pretest dan posttest kemampuan berpikir sistem pada materi sistem pernapasan. Populasi penelitian adalah seluruh peserta didik kelas XI IPA SMA Negeri 23 Bandung tahun ajaran 2025/2026 sebanyak 194 peserta didik yang tersebar dalam lima kelas, sedangkan sampel ditentukan dengan teknik purposive sampling sehingga terpilih kelas XI-5 (39 peserta didik) sebagai kelas eksperimen dan XI-6 (35 peserta didik) sebagai kelas kontrol. Instrumen penelitian berupa tes kemampuan berpikir sistem yang terdiri atas 20 butir soal yang dikembangkan berdasarkan lima indikator utama berpikir sistem (Dynamic Thinking, System-as-Cause Thinking, Operational Thinking, Quantitative Thinking, dan Scientific Thinking), yang diberikan sebelum dan sesudah perlakuan untuk memperoleh data kuantitatif berupa skor pretest dan posttest. Data peningkatan kemampuan berpikir sistem dianalisis menggunakan skor N-gain, dilanjutkan dengan uji prasyarat (uji normalitas Shapiro-Wilk dan uji homogenitas varians), uji perbedaan N-gain antara kelompok eksperimen dan kontrol dengan uji Mann-Whitney U, serta perhitungan effect

size untuk mengetahui besarnya pengaruh model PBL berbantuan augmented reality dibandingkan discovery learning terhadap kemampuan berpikir sistem peserta didik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa baik kelas eksperimen yang belajar menggunakan model Problem-Based Learning (PBL) berbantuan augmented reality (AR) maupun kelas kontrol yang belajar dengan discovery learning mengalami peningkatan kemampuan berpikir sistem pada materi sistem pernapasan. Rata-rata skor pretest dan posttest memperlihatkan kenaikan pada kedua kelompok, dengan nilai rata-rata posttest kelas PBL+AR lebih tinggi dibandingkan kelas discovery, sehingga memberikan gambaran awal bahwa intervensi PBL berbantuan AR memberikan dampak yang lebih kuat terhadap pencapaian akhir peserta didik. Statistik deskriptif skor pretest dan posttest kemampuan berpikir sistem disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistik deskriptif skor pretest dan posttest kemampuan berpikir sistem peserta didik

Kelas	n	Mean pretest	Mean posttest
PBL berbantu AR	35	51,29	91,00
Discovery learning	35	54,14	85,00

Peningkatan kemampuan berpikir sistem dianalisis lebih lanjut menggunakan skor N-gain untuk setiap peserta didik. Kelas eksperimen memperoleh rata-rata N-gain sebesar 0,8531 dengan rentang 0,53–1,00 yang termasuk kategori tinggi, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata N-gain sebesar 0,7189 dengan rentang 0,50–1,00 yang berada pada kisaran sedang-tinggi. Mengacu pada kriteria N-gain yang umum digunakan bahwa nilai di atas 0,7 termasuk kategori tinggi, kedua model pembelajaran dapat dinyatakan efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir sistem, namun PBL berbantuan AR menghasilkan peningkatan yang lebih besar dibanding discovery learning. Temuan ini menjawab rumusan masalah mengenai efektivitas model pembelajaran dan menunjukkan bahwa penambahan media AR dalam PBL memperkuat proses pembelajaran. Hal ini sejalan dengan temuan pada pembelajaran sains bahwa problem-based learning berorientasi augmented reality dinilai layak dan efektif untuk meningkatkan hasil belajar karena AR membantu merekonstruksi objek-objek abstrak menjadi lebih mudah dipahami peserta didik (Wiraha & Sudarma, 2023). Ringkasan N-gain kemampuan berpikir sistem pada kedua kelas disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik N-Gain kemampuan berpikir sistem peserta didik

Kelas	n	Mean N-Gain	N-Gain minimum	N-Gain maksimum	Kategori N-Gain
PBL berbantu AR	35	0,8531	0,53	1,00	Tinggi
Discovery learning	35	0,7189	0,50	1,00	Sedang-tinggi

Sebelum dilakukan pengujian hipotesis utama, uji prasyarat statistik dilaksanakan untuk memastikan kelayakan analisis lebih lanjut. Uji normalitas Shapiro–Wilk menunjukkan bahwa sebagian data (misalnya skor posttest dan N-gain) tidak berdistribusi normal, sementara uji homogenitas varians N-gain dengan Levene menunjukkan varians kedua kelompok homogen. Karena asumsi normalitas tidak terpenuhi, perbedaan N-gain antara kelas

Seminar Nasional Pendidikan Biologi X
Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang
 Malang, 16 Desember 2025

eksperimen dan kontrol dianalisis menggunakan uji nonparametrik Mann-Whitney U. Langkah analisis ini menunjukkan cara temuan diperoleh secara sistematis dari pengolahan data awal hingga pengujian hipotesis. Hasil uji normalitas dan homogenitas N-gain ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji asumsi N-Gain (normalitas dan homogenitas)

Kelas	Uji normalitas Shapiro-Wilk (p)	Keterangan normalitas	Uji homogenitas Levene (p)	Keterangan homogenitas
PBL berbantu AR	$\approx 0,0052$	Tidak normal	$\approx 0,933$	Homogen
Discovery learning	$\approx 0,0007$	Tidak normal		

Hasil uji Mann-Whitney U menunjukkan nilai signifikansi sekitar 0,000084 ($p < 0,05$), yang mengindikasikan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik antara N-gain kemampuan berpikir sistem peserta didik pada kelas PBL berbantuan AR dan kelas discovery learning. Nilai U yang dihasilkan memperkuat bukti bahwa peningkatan yang dicapai peserta didik di kelas eksperimen secara nyata lebih tinggi dibanding kelas kontrol. Dengan demikian, hipotesis bahwa model PBL berbantuan AR lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir sistem dibanding discovery learning diterima, dan temuan ini menegaskan bahwa integrasi teknologi AR dalam kerangka pembelajaran berbasis masalah memiliki kontribusi pedagogis yang penting.

Untuk menilai besarnya pengaruh secara praktis, dihitung effect size berdasarkan nilai Z dari uji Mann-Whitney. Nilai Z sekitar 3,91 dengan jumlah sampel 70 peserta didik menghasilkan effect size $r \approx 0,47$ yang termasuk kategori sedang-besar. Dalam konteks penelitian pendidikan, effect size pada kisaran ini menunjukkan bahwa intervensi tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga cukup kuat secara praktis dalam mengubah kemampuan berpikir sistem peserta didik. Hal ini sejalan dengan berbagai kajian terdahulu yang melaporkan bahwa model pembelajaran berorientasi masalah dan berbantuan teknologi mampu meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi, sehingga hasil penelitian ini dapat dipandang sebagai penguatan sekaligus perluasan temuan sebelumnya, khususnya pada konteks sistem pernapasan dan penggunaan AR sebagai media visualisasi. Ringkasan hasil uji Mann-Whitney U dan nilai effect size disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji Mann-Whitney U dan effect size pada N-Gain

Statistik	Nilai
Mann-Whitney U	945,0
Asymp. Sig. (2-tailed)	$\approx 0,000084$
Z	$\approx 3,91$
N total	70
Effect size r	$\approx 0,47$
Interpretasi effect size	Sedang-besar

Secara konseptual, temuan ini dapat ditafsirkan melalui karakteristik PBL yang menuntut peserta didik untuk mengidentifikasi masalah, menganalisis hubungan sebab-akibat,

dan menyusun penjelasan ilmiah, yang selaras dengan indikator berpikir sistem seperti dynamic thinking, system-as-cause thinking, dan operational thinking. Ketika proses tersebut didukung oleh AR, struktur dan proses abstrak dalam sistem pernapasan divisualisasikan dalam bentuk objek tiga dimensi yang interaktif, sehingga memudahkan peserta didik melihat keterkaitan antarkomponen dan memahami mekanisme kerja sistem secara menyeluruh. Kombinasi PBL dan AR ini membantu mengurangi hambatan kognitif akibat sifat materi yang abstrak dan mendorong terbentuknya model mental yang lebih terpadu, dibandingkan pembelajaran discovery tanpa dukungan visualisasi digital yang setara.

Peningkatan yang terjadi di kelas kontrol menunjukkan bahwa discovery learning tetap berkontribusi terhadap pengembangan berpikir sistem, terutama ketika peserta didik diberi kesempatan mengeksplorasi fenomena dan menarik kesimpulan dari kegiatan yang dipandu. Namun, rata-rata N-gain yang lebih rendah dan effect size yang menunjukkan keunggulan PBL berbantuan AR mengindikasikan bahwa discovery learning cenderung menyediakan dukungan yang lebih terbatas dalam membantu peserta didik memvisualisasikan dan mengorganisasi hubungan sistemik secara mendalam. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya menegaskan efektivitas PBL berbantuan AR dibanding discovery learning, tetapi juga memberi dasar untuk memodifikasi praktik pembelajaran biologi menuju integrasi model pembelajaran berbasis masalah dengan media digital interaktif untuk menumbuhkan kemampuan berpikir sistem secara lebih optimal.

KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa model Problem-Based Learning berbantuan augmented reality efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir sistem peserta didik SMA pada topik sistem pernapasan. Baik kelas eksperimen maupun kelas kontrol menunjukkan peningkatan yang tinggi berdasarkan skor N-gain, namun kelas eksperimen mencapai gain yang secara signifikan lebih besar dengan effect size kategori sedang-besar, yang menunjukkan bahwa integrasi AR dalam PBL memberikan dampak yang lebih kuat terhadap kemampuan berpikir sistem dibandingkan discovery learning saja. Temuan ini menegaskan bahwa penggabungan pedagogi berorientasi inkuiri dengan media digital interaktif mendukung peserta didik dalam membangun pemahaman yang lebih koheren dan terintegrasi tentang sistem biologi yang kompleks, serta menawarkan arah yang menjanjikan bagi inovasi pembelajaran biologi di masa depan.

REFERENSI

- Alfitriani, N., Maula, W. A., & Hadiapurwa, A. (2021). Penggunaan Media Augmented Reality dalam Pembelajaran Mengenal Bentuk Rupa Bumi. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 38(1), 30–38. <https://doi.org/10.15294/JPP.V38I1.30698>
- Astuti, M. L. (2024). Peran Kecakapan 6C dalam Pembelajaran Abad ke-21 untuk Siswa Sekolah Dasar. *DIDAKTIKA: Jurnal Pendidikan Sekolah Dasar*, 7(2), 154–161. <https://doi.org/10.21831/DIDAKTIKA.V7I2.80220>
- Effendi, Q. N. A., Listiawati, M., & Yusup, I. R. (2023). KETERAMPILAN BERPIKIR SISTEM MENGGUNAKAN MODEL DISCOVERY LEARNING PADA MATERI SISTEM GERAK

Seminar Nasional Pendidikan Biologi X
Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang
Malang, 16 Desember 2025

- MANUSIA. *Bioedutech: Jurnal Biologi, Pendidikan Biologi, Dan Teknologi Kesehatan*, 2(2), 11–20. <https://doi.org/10.572349/BIEDUTECH.V2I2.1363>
- Kurniawan, B., Dwikoranto, D., & Marsini, M. (2023). Implementasi problem based learning untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa: Studi pustaka. *Practice of The Science of Teaching Journal: Jurnal Praktisi Pendidikan*, 2(1), 27–36. <https://doi.org/10.58362/HAFECSPPOST.V2I1.28>
- Mar, N. A., Agustina, T. W., & Yuliawati, A. (2023). KETERAMPILAN BERPIKIR SISTEM SISWA DALAM PEMBELAJARAN BERBASIS PROYEK. *Gunung Djati Conference Series*, 30, 96–102. <https://conferences.uinsgd.ac.id/index.php/gdcs/article/view/1842>
- Mardhiyah, R. H., Aldriani, S. N. F., Chitta, F., & Zulfikar, M. R. (2021). Pentingnya Keterampilan Belajar di Abad 21 sebagai Tuntutan dalam Pengembangan Sumber Daya Manusia. *Lectura : Jurnal Pendidikan*, 12(1), 29–40. <https://doi.org/10.31849/LECTURA.V12I1.5813>
- Nafizatunni'am, N., Sukarso, A., Lestari, T. A., & Jamaluddin. (2024). Pengaruh Model Problem Based Learning Terhadap Keterampilan Berpikir Kreatif Dan Hasil Belajar Biologi Siswa. *Journal of Classroom Action Research*, 6(3), 494–503. <https://doi.org/10.29303/JCAR.V6I3.8477>
- Nagarajan, S., & Overton, T. (2019). Promoting Systems Thinking Using Project- and Problem-Based Learning. *Journal of Chemical Education*, 2901–2909. <https://doi.org/10.1021/ACS.JCHEMED.9B00358>
- Pimdee, S., & Seechaliao, T. (2025). The Development of a Blended Instructional Model Using Problem-Based Learning with Graphic Organizers to Enhance Systems Thinking Skills in Computational Science for Students in Lower Secondary School. *Journal of Education and Learning*, 14(2), 209–219. <https://doi.org/10.5539/jel.v14n2p209>
- Rochmah, E. N. (2023). Learning Environments Sebagai Pendukung STEAM Guna Mengasah Kecakapan Abad 21 Siswa Sekolah Dasar. *DIDAKTIKA: Jurnal Pendidikan Sekolah Dasar*, 6(1), 61–70. <https://doi.org/10.21831/DIDAKTIKA.V6I1.61373>
- Rohmadi, S. H. (2018). Pengembangan berpikir kritis (crititcal thinking) dalam Alquran. *Jurnal Psikologi Islam*, 5(1), 27—36-27—36. <https://jpi.api-himpsi.org/index.php/jpi/article/view/56>
- Sumardi, S. (2021). Penggunaan Model Pembelajaran Kooperatif Sebagai Strategi Pembelajaran Pada Mata Pelajaran Bahasa Inggris Tingkat SMA. *Jurnal Pendidikan*, 30(1), 81–94. <https://doi.org/10.32585/JP.V30I1.1202>
- Supriyanto, S., Joshua, Q., Abdullah, A. G., Tettehfiio, E. O., & Ramdani, S. D. (2023). Application of Augmented Reality (AR) in vocational education: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 13(2), 205–213. <https://doi.org/10.21831/JPV.V13I2.54280>

Seminar Nasional Pendidikan Biologi X
Pendidikan Biologi FKIP Universitas Muhammadiyah Malang
Malang, 16 Desember 2025

- Tripto, J., Assaraf, O. B. Z., Snapir, Z., & Amit, M. (2016). How is the body's systemic nature manifested amongst high school biology students? *Instructional Science*, 45(Februari 2017), 73–98. <https://doi.org/10.1007/s11251-016-9390-0>
- Verhoeff, R. P., Knippels, M. C. P. J., Gilissen, M. G. R., & Boersma, K. T. (2018). The Theoretical Nature of Systems Thinking. Perspectives on Systems Thinking in Biology Education. *Frontiers in Education*, 3, 376941. <https://doi.org/10.3389/FEDUC.2018.00040/BIBTEX>
- Waruwu, S. M., Zega, L. A., & Lase, N. K. (2024). PENGGUNAAN MEDIA PEMBELAJARAN TERHADAP MATERI SISTEM PERNAFASAN MANUSIA KELAS XI SMA. *Primary Education Journals (Jurnal Ke-SD-An)*, 4(2), 188–194. <https://doi.org/10.36636/PRIMED.V4I2.4469>
- Wiraha, M. A., & Sudarma, I. K. (2023). Augmented Reality-Oriented Problem-Based Learning in Natural Science Materials. *International Journal of Elementary Education*, 7(3), 458–466. <https://doi.org/10.23887/IJEE.V7I3.60618>
- Yli-Panula, E., Södervik, I., Jeronen, E., & Rantala, H. (2024). Finnish primary school student teachers' systems thinking regarding sustainability in connection with reproduction, biodiversity and sustainable development. *Nordic Studies in Science Education*, 20(2), 191–205. <https://doi.org/10.5617/NORDINA.10385>
- Yolanda, Y., & Fathurahman, A. (2023). PENGEMBANGAN BUKU REFERENSI RANGKAIAN RLC UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN KOLABORASI MAHASISWA SEBAGAI UNSUR KETERAMPILAN ABAD 21. *Jurnal Luminous: Riset Ilmiah Pendidikan Fisika*, 4(1), 47–61. <https://doi.org/10.31851/LUMINOUS.V4I1.9760>
- York, S., Lavi, R., Dori, Y. J., & Orgill, M. K. (2019). Applications of Systems Thinking in STEM Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2742–2751. https://doi.org/10.1021/ACS.JCHEMED.9B00261/ASSET/IMAGES/MEDIUM/ED-2019-00261F_0001.GIF