KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume 7, Nomor 2, November 2026
Halaman: 198–205
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1627

Efektivitas Media Wokwi terhadap Keterampilan Berpikir Kritis pada Rangkaian Listrik Sederhana

Dinda Isnain[1]*, Irawati Hi Malan[1], dan Endang Fitria[1]

[1]Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Pendidikan, Institut Sains dan Kependidikan Kie Raha Maluku Utara

Email Corresponding Author: dindaisnain01@gmail.com

ABSTRAK

Keterampilan berpikir kritis diperlukan agar siswa mampu menafsirkan bukti, menguji hubungan antarkomponen, dan mengambil keputusan berbasis konsep pada pembelajaran fisika. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas media simulasi Wokwi dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi rangkaian listrik sederhana. Penelitian menggunakan eksperimen semu dengan desain pretest–posttest kelompok kontrol. Seluruh siswa kelas XI yang menjadi sasaran penelitian dilibatkan melalui sampling jenuh, terdiri atas 62 siswa yang dibagi ke dalam kelompok eksperimen dan kontrol, masing-masing 31 siswa. Kelompok eksperimen belajar melalui pemodelan dan pengujian rangkaian menggunakan Wokwi, sedangkan kelompok kontrol mengikuti pembelajaran diskusi dan tanya jawab. Data dikumpulkan menggunakan lima soal uraian berpikir tingkat tinggi dan dianalisis melalui statistik deskriptif, uji Shapiro–Wilk, uji Levene, independent-samples t-test, normalized gain, dan ukuran efek Cohen's d. Hasil menunjukkan kemampuan awal kedua kelompok setara ($t(60)=0{,}672$; $p=0{,}504$). Setelah pembelajaran, rerata kelompok Wokwi mencapai 85,32, lebih tinggi daripada kelompok kontrol sebesar 74,19, dengan selisih 11,13 poin ($t(60)=6{,}046$; $p<0{,}001$; 95% CI [7,45; 14,81]). Peningkatan ternormalisasi kelompok eksperimen sebesar 0,85 (tinggi), sedangkan kelompok kontrol sebesar 0,65 (sedang). Ukuran efek posttest sebesar $d=1{,}54$ menunjukkan perbedaan yang besar. Temuan mendukung penggunaan Wokwi sebagai media visual-interaktif untuk membantu siswa menguji dugaan dan menganalisis rangkaian, tetapi generalisasi tetap dibatasi oleh desain tanpa randomisasi individual dan pelaksanaan pada satu sekolah. Guru disarankan memadukan simulasi dengan pertanyaan penyelidikan terstruktur dan verifikasi menggunakan rangkaian nyata.

Kata-kata kunci: *Wokwi; berpikir kritis; simulasi virtual; rangkaian listrik; pembelajaran fisika*

PENDAHULUAN

Pembelajaran fisika tidak cukup berhenti pada kemampuan menggunakan rumus. Siswa perlu menilai informasi, menghubungkan bukti dengan prinsip ilmiah, menguji alternatif penjelasan, dan menyimpulkan secara beralasan. Tinjauan mutakhir menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis telah menjadi salah satu fokus dominan dalam riset pendidikan fisika Indonesia, sementara tes tertulis masih menjadi instrumen yang paling sering digunakan (Santriadi et al., 2024; Rosnawati et al., 2025). Dalam konteks kelistrikan, tuntutan tersebut tampak ketika siswa harus memprediksi perubahan arus atau tegangan, membandingkan rancangan rangkaian, dan menjelaskan ketidaksesuaian antara prediksi dan hasil pengamatan.

Praktikum dapat membuka ruang bagi penalaran berbasis bukti, tetapi keterbatasan alat, waktu, keselamatan, dan kesempatan mengulang percobaan sering mengurangi intensitas eksplorasi. Laboratorium virtual menawarkan lingkungan yang dapat diakses berulang, memungkinkan manipulasi variabel secara cepat, serta menyediakan umpan balik visual. Meta-analisis menunjukkan bahwa media laboratorium virtual berpotensi meningkatkan pemahaman

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume 7, Nomor 2, November 2026
Halaman: 198–205
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1627

konsep dan kemampuan berpikir tingkat tinggi (Fitriah & Zawanis, 2024). Studi lain juga melaporkan peningkatan berpikir kritis melalui laboratorium virtual pada fisika, kimia, dan pembelajaran berbantuan perangkat bergerak (Putri & Kurniawati, 2021; Wibowo et al., 2022; Kansil et al., 2024; Mardiana et al., 2025). Pengembangan e-book fisika berbantuan laboratorium virtual juga memperlihatkan potensi untuk melatih analisis dan evaluasi (Habibbulloh et al., 2024), sedangkan inkuiri terbimbing berbantuan PhET mendukung peningkatan berpikir kritis melalui aktivitas penyelidikan yang terstruktur (Susetyo & Ishafit, 2022). Meskipun demikian, efektivitasnya bergantung pada rancangan tugas dan bimbingan, bukan sekadar ketersediaan teknologi.

Wokwi merupakan simulator berbasis web yang memungkinkan pengguna menyusun komponen elektronik, menulis atau menjalankan program, dan mengamati respons rangkaian tanpa terlebih dahulu menyediakan perangkat fisik. Penggunaannya pada pembelajaran mikrokontroler dilaporkan valid, praktis, dan mendukung hasil belajar (Wahyudi & Sabara, 2022), sedangkan bahan ajar berbasis Wokwi berpotensi memperkuat pemahaman dan keterampilan proses sains (Darmaji et al., 2024). Kajian sistematis mengenai Arduino pada pendidikan menengah menunjukkan bahwa aktivitas berbasis papan mikrokontroler banyak diterapkan pada fisika dan teknologi serta dapat menunjang pemecahan masalah, motivasi, dan proyek STEAM (Marín-Marín et al., 2024). Studi literasi pemrograman juga memperlihatkan bahwa simulator Wokwi membantu latihan proyek Internet of Things tanpa ketergantungan penuh pada perangkat keras (Tulodo et al., 2025).

Konteks lokal menguatkan relevansi media tersebut. Hukum dan Fitria (2025) melaporkan peningkatan minat belajar melalui pembelajaran fisika berbasis Arduino Uno. Pada jurnal yang sama, Fitria dan Muhtar (2026) menemukan bahwa Discovery Learning meningkatkan kemampuan berpikir kritis pada materi listrik statis dan dinamis. Kedua temuan memberi dasar bahwa pembelajaran kelistrikan yang menggabungkan eksplorasi teknologi dan aktivitas menemukan dapat mendukung keterlibatan serta penalaran. Namun, bukti khusus tentang Wokwi untuk keterampilan berpikir kritis pada rangkaian listrik sederhana di tingkat SMA, terutama dengan kelompok pembanding dan pelaporan ukuran efek, masih terbatas.

Hasil observasi awal di SMA Negeri 3 Kota Ternate menunjukkan bahwa pembelajaran masih bertumpu pada buku dan presentasi, sedangkan kesempatan siswa untuk membangun, menguji, dan memperbaiki rangkaian relatif terbatas. Kondisi ini dapat membuat konsep kelistrikan dipahami secara prosedural. Penelitian laboratorium berbasis keterampilan menegaskan bahwa pengalaman mengolah data dan mengambil keputusan eksperimental dapat memperbaiki keterampilan berpikir kritis (Walsh et al., 2022). Pengembangan instrumen berpikir kritis dalam fisika juga menuntut butir yang mengukur interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, dan penjelasan secara eksplisit (Saputri et al., 2023).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini membandingkan keterampilan berpikir kritis siswa yang belajar menggunakan Wokwi dengan siswa yang mengikuti pembelajaran diskusi dan tanya jawab. Pertanyaan penelitian adalah apakah terdapat perbedaan keterampilan berpikir kritis setelah pembelajaran serta seberapa besar peningkatan dan ukuran efeknya.

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume 7, Nomor 2, November 2026
Halaman: 198–205
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1627

Hipotesis penelitian menyatakan bahwa rerata posttest kelompok Wokwi lebih tinggi daripada kelompok kontrol setelah kesetaraan kemampuan awal diperiksa.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian dan Desain

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan eksperimen semu tipe pretest–posttest control group. Desain ini dipilih karena kelas telah terbentuk sebelum penelitian sehingga randomisasi individual tidak dilakukan. Kelompok eksperimen menerima pembelajaran menggunakan Wokwi, sedangkan kelompok kontrol menerima pembelajaran melalui diskusi dan tanya jawab dengan materi serta alokasi waktu yang sebanding.

Tabel 1. Desain Penelitian Pretest–Posttest Kelompok Kontrol

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O_1	X: pembelajaran menggunakan Wokwi	O_2
Kontrol	O_3	C: diskusi dan tanya jawab	O_4

Subjek Penelitian

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 3 Kota Ternate pada 6–31 April 2026. Populasi sasaran berjumlah 62 siswa kelas XI. Seluruh anggota populasi dilibatkan melalui sampling jenuh, kemudian mengikuti pembelajaran pada kelas yang telah terbentuk: 31 siswa pada kelompok eksperimen dan 31 siswa pada kelompok kontrol. Penggunaan kelas utuh dipertahankan untuk menjaga keberlangsungan jadwal pembelajaran sekolah.

Instrumen

Instrumen utama berupa tes uraian keterampilan berpikir kritis pada materi rangkaian listrik sederhana. Uji coba awal melibatkan 10 butir; berdasarkan validitas, daya pembeda, dan tingkat kesukaran, lima butir dipertahankan untuk pengukuran penelitian. Reliabilitas perangkat uji coba 10 butir menunjukkan Cronbach's alpha 0,939. Interpretasi hasil perlu memperhatikan bahwa koefisien tersebut berasal dari perangkat uji coba sebelum seleksi akhir. Kisi-kisi instrumen diringkas pada Tabel 2.

Tabel 2. Kisi-Kisi Instrumen Keterampilan Berpikir Kritis

s	Aktivitas yang Diukur	Bentuk	Jumlah
Interpretasi	Menafsirkan informasi dan kondisi rangkaian	Uraian HOTS	1
Analisis	Menguraikan hubungan komponen, arus, dan tegangan	Uraian HOTS	1
Evaluasi	Menilai ketepatan rancangan atau argumen	Uraian HOTS	1
Inferensi	Menarik kesimpulan dari data/pola rangkaian	Uraian HOTS	1
Eksplanasi	Memberi alasan ilmiah terhadap hasil pengamatan	Uraian HOTS	1

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume 7, Nomor 2, November 2026
Halaman: 198–205
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1627

Prosedur dan Analisis Data

Kedua kelompok mengikuti empat pertemuan: orientasi dan pengenalan materi, pretest, pembelajaran inti, dan posttest. Pada kelompok eksperimen, siswa menyusun rangkaian pada antarmuka Wokwi, memanipulasi komponen, menjalankan simulasi, mencatat respons rangkaian, dan mendiskusikan kesesuaian hasil dengan prediksi. Kelompok kontrol mempelajari konsep yang sama melalui penjelasan, diskusi, dan tanya jawab. Penskoran jawaban uraian menggunakan kriteria yang sama untuk kedua kelompok.

Analisis dilakukan pada taraf signifikansi 0,05. Distribusi skor diperiksa menggunakan Shapiro–Wilk dan homogenitas varians menggunakan Levene. Perbedaan rerata dianalisis melalui independent-samples t-test. Peningkatan dihitung dengan normalized gain, $g=(\text{posttest}-\text{pretest})/(\text{skor maksimum}-\text{pretest})$, dengan kategori rendah ($g<0{,}30$), sedang ($0{,}30\leq g<0{,}70$), dan tinggi ($g\geq 0{,}70$). Ukuran efek posttest dihitung menggunakan Cohen's d berdasarkan simpangan baku gabungan. Nilai p yang oleh perangkat lunak ditampilkan 0,000 dilaporkan sebagai $p<0{,}001$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Statistik deskriptif menunjukkan kemampuan awal yang relatif sebanding. Setelah perlakuan, kedua kelompok meningkat, tetapi kenaikan pada kelompok Wokwi lebih besar (Tabel 3).

Tabel 3. Statistik Deskriptif Skor Keterampilan Berpikir Kritis

Pengukuran	Kelompok	N	Rerata	SD	Minimum	Maksimum
Pretest	Wokwi	31	52,26	7,29	40	65
Pretest	Kontrol	31	51,13	5,88	40	65
Posttest	Wokwi	31	85,32	6,70	70	100
Posttest	Kontrol	31	74,19	7,76	60	90

Seluruh nilai Shapiro–Wilk berada di atas 0,05, sehingga tidak terdapat bukti yang cukup untuk menolak asumsi normalitas. Uji Levene juga menunjukkan varians antarkelompok homogen pada pretest dan posttest (Tabel 4).

Tabel 4. Hasil Uji Normalitas dan Homogenitas

Data	Shapiro–Wilk W	p normalitas	Levene F	p homogenitas
Pretest Wokwi	0,938	0,072	2,339*	0,131*
Pretest kontrol	0,939	0,076	—	—
Posttest Wokwi	0,941	0,086	0,554*	0,460*
Posttest kontrol	0,944	0,105	—	—

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume 7, Nomor 2, November 2026
Halaman: 198–205
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1627

*Catatan. *Uji Levene membandingkan kelompok Wokwi dan kontrol pada waktu pengukuran yang sama.*

Uji t pretest tidak signifikan, t(60)=0,672; p=0,504, sehingga kemampuan awal kedua kelompok dapat dianggap sebanding. Pada posttest, selisih rerata sebesar 11,13 poin signifikan, t(60)=6,046; p<0,001, dengan interval kepercayaan 95% [7,45; 14,81]. Cohen's d sebesar 1,54 mengindikasikan perbedaan yang besar (Tabel 5).

Tabel 5. Perbandingan Rerata Antarkelompok

Pengukuran	Selisih rerata	t	df	p	95% CI	Cohen's d
Pretest	1,13	0,672	60	0,504	[-2,23; 4,49]	0,17
Posttest	11,13	6,046	60	<0,001	[7,45; 14,81]	1,54

Normalized gain kelompok Wokwi mencapai 0,85 (kategori tinggi), sedangkan kelompok kontrol sebesar 0,65 (kategori sedang). Dengan demikian, bukan hanya skor akhir yang lebih tinggi, tetapi proporsi peningkatan terhadap peluang peningkatan maksimum juga lebih besar pada kelompok Wokwi (Tabel 6).

Tabel 6. Peningkatan Ternormalisasi Keterampilan Berpikir Kritis

Kelompok	Rerata pretest	Rerata posttest	N-gain	Kategori
Wokwi	52,26	85,32	0,85	Tinggi
Kontrol	51,13	74,19	0,65	Sedang

Pembahasan

Hasil menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan Wokwi menghasilkan skor posttest yang lebih tinggi dan peningkatan yang lebih besar dibandingkan pembelajaran kontrol. Kesetaraan pretest mengurangi kemungkinan bahwa perbedaan posttest semata-mata berasal dari kemampuan awal. Ukuran efek yang besar memperlihatkan bahwa perbedaan tersebut juga bermakna secara praktis, bukan hanya signifikan secara statistik. Temuan ini sejalan dengan studi laboratorium virtual yang melaporkan manfaat terhadap berpikir kritis dan pemahaman konsep (Fitriah & Zawanis, 2024; Sabrina et al., 2026) serta dengan pemetaan bibliometrik yang menunjukkan pertumbuhan riset simulasi virtual untuk keterampilan berpikir kritis dalam fisika (Cahyani et al., 2026).

Secara pedagogis, Wokwi memberi kesempatan untuk mengubah susunan rangkaian, menjalankan simulasi, dan segera mengamati konsekuensi perubahan. Siklus prediksi–uji–observasi–revisi tersebut dapat mendorong siswa menguji asumsi dan menautkan representasi rangkaian dengan konsep. Pola ini konsisten dengan hasil pengembangan laboratorium optik virtual yang memperoleh peningkatan kategori sedang (Wibowo et al., 2022) serta bahan ajar virtual yang mendukung aspek interpretasi, analisis, inferensi, evaluasi, dan penjelasan (Herlina et al., 2025). Temuan Putri dan Kurniawati (2021) dan Kansil et al. (2024) juga memperlihatkan bahwa pengujian virtual yang terstruktur dapat mengungguli pembelajaran konvensional dalam keterampilan berpikir kritis.

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume 7, Nomor 2, November 2026
Halaman: 198–205
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1627

Keterkaitan dengan penelitian ini ada pada dua sisi. Pertama, pembelajaran berbasis Arduino dapat meningkatkan minat siswa terhadap fisika (Hukum & Fitria, 2025), yang penting karena keterlibatan memberi waktu kognitif lebih besar untuk menguji gagasan. Kedua, Discovery Learning pada listrik statis dan dinamis meningkatkan berpikir kritis ketika siswa diarahkan untuk menemukan hubungan konsep (Fitria & Muhtar, 2026). Wokwi menyediakan ruang teknis untuk aktivitas penemuan tersebut, tetapi media perlu disertai pertanyaan pemandu. Tanpa tuntutan menjelaskan alasan, membandingkan alternatif, dan mengevaluasi data, siswa dapat berhenti pada aktivitas mencoba-coba.

Temuan ini juga selaras dengan studi Wokwi di ranah elektronika dan pemrograman. Wahyudi dan Sabara (2022) menunjukkan kelayakan Wokwi pada pembelajaran hibrida, Darmaji et al. (2024) menekankan dukungannya terhadap keterampilan proses sains, dan Tulodo et al. (2025) melaporkan manfaatnya bagi literasi pemrograman mikrokontroler. Tinjauan Arduino pada pendidikan menengah menyimpulkan bahwa proyek dengan komponen dan simulasi elektronik berpeluang mengembangkan pemecahan masalah, walaupun tingkat kesulitan perlu disesuaikan (Marín-Marín et al., 2024). Dengan demikian, keunggulan Wokwi pada penelitian ini kemungkinan muncul dari gabungan visualisasi, kesempatan iterasi, dan aktivitas analitis yang mengiringinya.

Interpretasi hasil tetap memerlukan kehati-hatian. Penelitian menggunakan kelas yang telah terbentuk, bukan randomisasi individual; karena itu faktor kelas yang tidak terukur belum sepenuhnya dapat dikesampingkan. Penelitian juga dilaksanakan pada satu sekolah dalam waktu singkat dan reliabilitas 0,939 berasal dari perangkat uji coba 10 butir sebelum seleksi menjadi lima butir. Selain itu, skor tes tidak otomatis menunjukkan transfer ke perakitan rangkaian fisik. Studi lanjutan perlu menerapkan randomisasi pada tingkat kelas, melibatkan beberapa sekolah, melaporkan reliabilitas instrumen final, menggunakan penskoran antarpenilai, dan membandingkan simulasi murni dengan kombinasi Wokwi–praktikum nyata. Perbandingan laboratorium virtual dan nyata mutakhir menunjukkan bahwa keduanya dapat efektif ketika disertai lembar kerja inkuiri yang tepat (Sabrina et al., 2026).

KESIMPULAN

Pembelajaran menggunakan Wokwi efektif mendukung peningkatan keterampilan berpikir kritis siswa pada materi rangkaian listrik sederhana. Kelompok Wokwi mencapai rerata posttest 85,32 dibandingkan 74,19 pada kelompok kontrol; perbedaannya signifikan, $t(60)=6{,}046$; $p<0{,}001$, dengan ukuran efek besar ($d=1{,}54$). N-gain kelompok Wokwi berada pada kategori tinggi (0,85), sedangkan kelompok kontrol pada kategori sedang (0,65). Temuan ini mendukung penggunaan Wokwi sebagai media eksplorasi visual-interaktif, khususnya ketika aktivitas simulasi disertai prediksi, pengujian, analisis data, dan penjelasan ilmiah. Kesimpulan kausal perlu dibatasi karena penelitian memakai kelas utuh pada satu sekolah. Implementasi berikutnya disarankan memadukan Wokwi dengan rangkaian nyata serta menggunakan instrumen final yang reliabilitas dan konsistensi penskorannya dilaporkan secara khusus.

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume 7, Nomor 2, November 2026
Halaman: 198–205
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1627

REFERENSI

Cahyani, A., Da Lopez, M. A., Nikmatillah, Z., Gunawan, & Nisrina, N. (2026). Research trends in PhET virtual laboratories toward critical thinking skills in physics learning: A decade bibliometric analysis (2015–2025). Indonesian Journal of STEM Education, 8(1), 116–128. https://doi.org/10.67434/ijse.v8i1.2287

Darmaji, Jamlan, M., Nkweke, O. C., Boglou, A. K., & Baharin, Z. H. Z. (2024). Utilization of Wokwi technology as a modern electronics learning media. Journal of Educational Technology and Learning Creativity, 2(2). https://doi.org/10.37251/jetlc.v2i2.1392

Fitria, E., & Muhtar, E. (2026). Pengaruh model Discovery Learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa pada materi listrik statis dan dinamis. KUANTUM: Jurnal Pembelajaran dan Sains Fisika, 7(1), 115–125. https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i1.1413

Fitriah, I., & Zawanis, S. F. (2024). The effectiveness of virtual laboratory media in physics education: A meta-analysis on students' conceptual understanding and higher-order thinking skills. Indonesian Science Education Journal, 5(2), 65–74. https://doi.org/10.62159/isej.v5i2.1761

Habibbulloh, M., Satriawan, M., Zakaria, A., & Sya'roni, I. (2024). Designing e-book of basic physics fluid series with assistant of virtual laboratory to improve critical thinking skills. Physics Education Research Journal, 6(2). https://doi.org/10.21580/perj.2024.6.2.23410

Herlina, Arsyad, M., & Palloan, P. (2025). Development of integrated physics teaching materials virtual laboratory PhET simulation on student's critical thinking skills. Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika, 9(1). https://doi.org/10.20527/jipf.v9i1.14717

Hukum, A., & Fitria, E. (2025). Penerapan pembelajaran fisika berbasis Arduino Uno untuk meningkatkan minat belajar peserta didik kelas X SMA Negeri 4 Halmahera Utara. KUANTUM: Jurnal Pembelajaran dan Sains Fisika, 6(1), 98–109. https://doi.org/10.63976/kuantum.v6i1.880

Kansil, M. J., Warouw, Z. W. M., & Harahap, F. (2024). Pengaruh pembelajaran menggunakan virtual laboratory terhadap kemampuan berpikir kritis siswa pada materi gelombang. SOSCIED, 7(1). https://doi.org/10.32531/jsoscied.v7i1.774

Mardiana, N., Maulina, B., Mardiani, N., Sabar, S., & Collantes, L. M. (2025). Enhancing critical thinking skills through Android-assisted virtual physics learning: A focus on HOTS development. Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi, 9(2). https://doi.org/10.22437/jiituj.v9i2.34373

Marín-Marín, J.-A., García-Tudela, P. A., & Duo-Terrón, P. (2024). Computational thinking and programming with Arduino in education: A systematic review for secondary education. Heliyon, 10(8), e29177. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29177

Putri, Z. S., & Kurniawati, Y. (2021). The effectiveness of learning using virtual laboratory toward student critical thinking ability on acid-base titration lesson. Journal of the Indonesian Society of Integrated Chemistry, 13(1), 14–20. https://doi.org/10.22437/jisic.v13i1.12670

Rosnawati, R., Kartowagiran, B., Retnawati, H., & Apino, E. (2025). A systematic literature review on critical thinking skills in physics education. International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology, 13(5), 1268–1282. https://doi.org/10.46328/ijemst.5709

KUANTUM
Jurnal Pembelajaran & Sains Fisika
e-ISSN: 2774-1966
Volume 7, Nomor 2, November 2026
Halaman: 198–205
DOI: https://doi.org/10.63976/kuantum.v7i2.1627

Sabrina, N. M. N., Jatmiko, B., & Nisa', K. (2026). Virtual vs real lab: A comparative study on the effectiveness of laboratory-based physics learning on students' critical thinking skills. Jurnal Penelitian Pendidikan Sains, 15(1), 35–49. https://doi.org/10.26740/jpps.v15n1.p35-49

Santriadi, P. A., Nisa, K., & Kuswanto, H. (2024). Trends of physics critical thinking skill research in Indonesia: A systematic literature review. Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika, 10(1). https://doi.org/10.21009/1.10101

Saputri, A. C., Sajidan, Rinanto, Y., & Afandi. (2023). Development of an assessment instrument for critical thinking skills in physics: A systematic literature review. Journal of Physics: Conference Series, 2596(1), 012067. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012067

Susetyo, B., & Ishafit. (2022). The impact of guided inquiry learning model using virtual PhET experiment method on students' critical thinking skills. Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains, 9(2). https://doi.org/10.22202/jrfes.2022.v9i2.6332

Tulodo, B. A. R., Setyawan, F. B., & Hidayat, H. (2025). Penggunaan simulator Wokwi untuk meningkatkan literasi pemrograman mikrokontroler dalam proyek Internet of Things. EDUSAINTEK: Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi, 12(1). https://doi.org/10.47668/edusaintek.v12i1.1442

Wahyudi, W., & Sabara, E. (2022). Desain dan implementasi media pembelajaran mikrokontroler berbasis hybrid learning menggunakan Wokwi simulation. Jurnal Media Elektrik, 19(3), 186–193. https://doi.org/10.59562/metrik.v19i3.5473

Walsh, C., Lewandowski, H. J., & Holmes, N. G. (2022). Skills-focused lab instruction improves critical thinking skills and experimentation views for all students. Physical Review Physics Education Research, 18(1), 010128. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010128

Wibowo, F. C., Darman, D. R., Prahani, B. K., & Faizin, M. N. (2022). Optics virtual laboratory based on physics independent learning for improving critical thinking skill. Journal of Physics: Conference Series, 2377(1), 012077. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2377/1/012077