

Efektivitas *Inquiry Based Learning* dengan Bantuan Infografis Interaktif terhadap Keyakinan Epistemik

Habibi Salam^{1,*}, Aristiawan¹, Yusuf Salam²

¹Universitas Islam Negeri Kiai Ageng Muhammad Besari Ponorogo

²Universitas Negeri Yogyakarta

*Corresponding Author: habibisalam84@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas model *Inquiry-Based Learning* (IBL) berbantuan infografis interaktif dalam meningkatkan keyakinan epistemik siswa kelas VII SMPN 2 Ponorogo. Rendahnya keyakinan epistemik siswa ditandai dengan perilaku belajar pasif, enggan bertanya, dan kecenderungan memandang pengetahuan ilmiah sebagai sesuatu yang bersifat tetap dan mutlak. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain kuasi eksperimen *pretest-posttest control group*. Sampel terdiri dari kelas eksperimen (VII D) yang mendapat pembelajaran IBL berbantuan infografis interaktif dan kelas kontrol (VII E) yang menggunakan pembelajaran konvensional. Keyakinan epistemik diukur melalui empat indikator: kepastian pengetahuan, pengembangan pengetahuan, sumber pengetahuan, dan justifikasi pengetahuan. Analisis data menggunakan uji t independen dan uji *Cohen's d effect size*. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata posttest kelas eksperimen (70,05) lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol (67,34). Meskipun uji t tidak menunjukkan perbedaan signifikan ($\text{sig. } 0,205 > 0,05$), nilai *effect size* sebesar 0,78 menunjukkan pengaruh praktis yang cukup kuat. Keterlaksanaan pembelajaran mencapai 88,5% dan aktivitas siswa sebesar 86%, keduanya berkategori sangat baik. Disimpulkan bahwa pendekatan IBL berbantuan infografis interaktif efektif dalam meningkatkan keyakinan epistemik siswa serta mendorong pembelajaran IPA yang lebih aktif, reflektif, dan berbasis bukti.

Kata Kunci: Keyakinan Epistemik; *Inquiry-Based Learning*; Infografis Interaktif; Keterlibatan Siswa

This is an open access article under the CC - BY license.



PENDAHULUAN

Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) memainkan peran sentral dalam menyiapkan generasi muda menghadapi tantangan abad ke-21. Paradigma kontemporer menekankan bahwa pengajaran IPA tidak semata-mata berfokus pada transfer konsep dan teori, melainkan juga pada cara peserta didik memandang pengetahuan sebagai sesuatu yang dinamis, dapat diuji, serta terbuka terhadap revisi. Orientasi ini selaras dengan tuntutan keterampilan abad ke-21 berpikir kritis, menyusun argumen logis, dan memecahkan masalah yang diperlukan agar siswa mampu mengaitkan sains dengan kehidupan nyata dan berpartisipasi dalam diskusi ilmiah yang lebih luas (Ramdani et al., 2020).

Namun, di banyak sekolah menengah pertama, termasuk SMPN 2 Ponorogo, tercatat bahwa siswa kerap gagal mencapai tingkat pemahaman mendalam. Hasil observasi menunjukkan karakteristik belajar yang pasif: mereka lebih suka menunggu instruksi guru, jarang bertanya, enggan berdiskusi, dan kurang menghubungkan materi dengan konteks sehari-hari. Rendahnya partisipasi ini ditengarai berkorelasi kuat dengan rendahnya keyakinan epistemik (Rista et al., 2025). Keyakinan epistemik sendiri merupakan keyakinan individu mengenai hakikat pengetahuan dan proses memperoleh pengetahuan. Dalam penelitian ini keyakinan epistemik diukur melalui empat indikator, yaitu: kepastian pengetahuan, yaitu pandangan bahwa pengetahuan bersifat tetap atau dapat berubah; pengembangan pengetahuan, yaitu pemahaman bahwa pengetahuan berkembang melalui proses ilmiah; sumber pengetahuan, yaitu keyakinan mengenai asal-usul pengetahuan, baik dari otoritas maupun hasil konstruksi individu; dan justifikasi pengetahuan, yaitu penggunaan bukti dan penalaran dalam menerima suatu informasi. Keyakinan epistemik penting bagi siswa SMP karena membentuk cara mereka memahami dan menilai pengetahuan. Siswa yang memiliki keyakinan epistemik yang baik akan mampu berpikir kritis, tidak mudah menerima informasi secara mentah, mampu mengevaluasi sumber dan bukti, serta memahami bahwa

pengetahuan bersifat dinamis dan berkembang melalui proses ilmiah. Siswa yang memandang pengetahuan sebagai fakta final tidak terdorong untuk menguji, mempertanyakan, atau merevisi pemahaman mereka; konsekuensinya, keterampilan berpikir kritis pun terhambat (Magdalena et al., 2021).

Guru di SMPN 2 Ponorogo telah berupaya menghadirkan soal diskusi bernalar tinggi, tetapi respons siswa tetap minim. Wawancara dengan guru IPA mengindikasikan bahwa implementasi strategi pembelajaran investigatif belum optimal, sedangkan materi yang diberikan dirasakan kurang relevan dengan realitas siswa. Akibatnya, siswa sulit melihat bagaimana sains berkembang dan diaplikasikan, sehingga motivasi belajar menurun (Rahman, 2024).

Keadaan ini memunculkan kebutuhan akan model pembelajaran yang tidak hanya menuntut partisipasi aktif, tetapi juga secara eksplisit menumbuhkan keyakinan epistemik bahwa pengetahuan bersifat tentatif dan berbasis bukti. *Inquiry-Based Learning* (IBL) menawarkan kerangka yang tepat (Tabuenca et al., 2021). Model ini menempatkan siswa sebagai inquirers mereka merumuskan pertanyaan, menyusun hipotesis, mengumpulkan serta menganalisis data, lalu menarik kesimpulan berdasarkan bukti (Wang et al., 2022). Melalui enam sintaksinya orientasi, merumuskan masalah, merumuskan hipotesis, mengumpulkan data, menguji hipotesis, dan merumuskan kesimpulan IBL secara natural melibatkan proses evaluasi dan revisi konsep, persis seperti praktik sains autentik (Seneviratne et al., 2019).

Agar IBL lebih efektif, diperlukan media pengayaan yang mampu memvisualisasikan konsep abstrak dan menyajikannya secara kontekstual. Infografis interaktif memenuhi kriteria ini. Berbeda dari infografis statis, versi interaktif memungkinkan siswa mengeksplorasi elemen visual, menjalankan simulasi, ataupun menjawab kuis pada satu layar terpadu. Visualisasi dinamis semacam ini tidak hanya memudahkan pemrosesan informasi kompleks, tetapi juga menumbuhkan rasa ingin tahu dan engagement. Dalam konteks IPA misalnya klasifikasi makhluk hidup atau mekanisme pencernaan infografis interaktif dapat menampilkan alur proses, keterkaitan data, dan pola sebab-akibat secara konkret sehingga abstraksi ilmiah terasa dekat dengan keseharian siswa (Y. Wen et al., 2023).

Integrasi IBL dengan infografis interaktif diyakini menghasilkan sinergi pedagogis, diantaranya Terdapat kesenjangan antara tuntutan pembelajaran IPA abad ke-21 yang mengharapkan siswa aktif, kritis, dan memiliki keyakinan epistemik yang baik dengan kondisi di SMPN 2 Ponorogo, di mana siswa masih cenderung pasif, kurang berpartisipasi dalam diskusi, dan memandang pengetahuan sebagai sesuatu yang bersifat tetap (Gunawan et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan inovasi pembelajaran yang mampu mengembangkan keyakinan epistemik siswa melalui penerapan *Inquiry-Based Learning* berbantuan infografis interaktif. Pertama, desain inkuiri mendorong siswa memunculkan pertanyaan dan hipotesis; infografis menyediakan representasi data yang mempermudah pengamatan dan memungkinkan pengujian hipotesis berbasis bukti. Kedua, proses refleksi dalam IBL menguji kembali temuan terhadap teori membantu siswa menyadari bahwa pengetahuan bersifat tentatif, sehingga memperkuat dimensi *kepastian pengetahuan* dan *justifikasi pengetahuan* dalam keyakinan epistemik. Ketiga, pengalaman belajar yang bersifat *hands-on* dan *minds-on* memperbaiki motivasi intrinsik, yang sebelumnya menjadi kendala utama di SMPN 2 Ponorogo. Dengan demikian, pendekatan ini diharapkan tidak hanya meningkatkan hasil kognitif, tetapi juga menumbuhkan disposisi ilmiah yang positif: terbuka terhadap revisi, prosedural, dan berbasis bukti (Suyatmo et al., 2023).

Penelitian ini memiliki kebaruan pada integrasi model *Inquiry-Based Learning* (IBL) dengan infografis interaktif untuk meningkatkan keyakinan epistemik siswa SMP. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada pengaruh IBL terhadap hasil belajar, keterampilan berpikir kritis, atau literasi sains, sedangkan penelitian yang mengkaji pengaruh IBL berbantuan infografis interaktif terhadap keyakinan epistemik siswa masih sangat terbatas. Selain itu, penelitian ini mengukur keyakinan epistemik melalui empat dimensi utama, yaitu kepastian pengetahuan, pengembangan pengetahuan, sumber pengetahuan, dan justifikasi pengetahuan sehingga memberikan kontribusi baru dalam pengembangan pembelajaran IPA yang berorientasi pada pembentukan cara pandang siswa terhadap hakikat pengetahuan ilmiah (Abdurroziq, 2025).

Bertolak dari latar tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh model *Inquiry-Based Learning* berbantuan infografis interaktif terhadap keyakinan epistemik siswa. Hasil penelitian diharapkan memberi kontribusi teoretis bagi pengembangan kerangka pembelajaran IPA berbasis bukti dan media digital interaktif, sekaligus menawarkan implikasi praktis bagi guru dan sekolah dalam meningkatkan kualitas pembelajaran sains (Adha, 2024).

Secara lebih luas, temuan ini diharapkan dapat mengurangi kesenjangan antara harapan kurikulum yang mengedepankan literasi sains abad ke-21 dan realitas pembelajaran di kelas. Penelitian ini sangat penting untuk meningkatkan keyakinan epistemik peserta didik dengan menekankan pentingnya relevansi materi dan pendekatan yang menarik untuk meningkatkan partisipasi aktif siswa, berpikir kritis, dan membangun keyakinan epistemik yang kuat. Oleh karena itu, peneliti memutuskan untuk mengambil judul penelitian "Efektivitas Inquiry-Based Learning dengan Bantuan Infografis Interaktif terhadap Keyakinan Epistemik (Lunn et al., 2021).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain kuasi eksperimen untuk menguji efektivitas model pembelajaran *Inquiry-Based Learning* (IBL) yang didukung infografis interaktif terhadap peningkatan keyakinan epistemik siswa kelas VII di SMPN 2 Ponorogo. Subjek penelitian terdiri dari dua kelas, yaitu kelas eksperimen (VII D) yang mendapatkan perlakuan berupa penerapan model IBL dengan infografis interaktif, dan kelas kontrol (VII E) yang menggunakan pembelajaran konvensional tanpa infografis. Sampel pada penelitian ini terdiri atas 60 siswa kelas VII SMPN 2 Ponorogo yang terbagi menjadi kelas eksperimen sebanyak 30 siswa dan kelas kontrol sebanyak 30 siswa.

Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *cluster sampling*, dengan desain *pretest-posttest control group design*. Instrumen pengumpulan data berupa tes dan lembar observasi yang telah divalidasi oleh ahli, serta diuji validitas dan reliabilitasnya melalui uji coba di kelas VII F. Instrumen utama penelitian berupa angket keyakinan epistemik sebanyak 16 butir pernyataan menggunakan skala Likert empat tingkat. Instrumen dikembangkan berdasarkan empat indikator yaitu kepastian pengetahuan, pengembangan pengetahuan, sumber pengetahuan, dan justifikasi pengetahuan (Safitri, E., & Fadly, 2024). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah model IBL dengan infografis interaktif, sedangkan variabel terikatnya adalah keyakinan epistemik siswa yang diukur berdasarkan empat indikator, yaitu kepastian pengetahuan, pengembangan pengetahuan, sumber pengetahuan, dan justifikasi pengetahuan. Teknik analisis data menggunakan uji prasyarat yaitu uji normalitas dan uji homogenitas, dan uji t yaitu uji t independen serta uji *cohen's d effect size*. Analisis efektivitas dilakukan menggunakan skor posttest dan didukung oleh analisis peningkatan skor pretest-posttest melalui paired sample t-test serta perhitungan *Cohen's d effect size*. (Prihastuty, 2023).

Tabel 1. Tabel pretest-posttest control group design

Kelas	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O1	X	O2
Kontrol	O3		O4

Berdasarkan tabel 1 diatas, X pada kelas eksperimen adalah pembelajaran menggunakan model *Inquiry-Based Learning* berbantuan infografis interaktif, sedangkan tanpa X pada kelas kontrol adalah pembelajaran menggunakan model *Direct Instruction*. Kelas kontrol menggunakan model *Direct Instruction* tanpa bantuan infografis interaktif karena bertujuan merepresentasikan kondisi pembelajaran yang umum diterapkan di sekolah. Sementara itu, kelas eksperimen diberikan perlakuan berupa penerapan *Inquiry-Based Learning* berbantuan infografis interaktif sebagai paket pembelajaran yang dirancang untuk meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses penyelidikan ilmiah. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengujian efektivitas kombinasi model dan media pembelajaran dibandingkan dengan pembelajaran konvensional yang biasa digunakan guru (Pratama, 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh didapatkan bahwa pertama pada kegiatan awal dilakukan pencarian informasi diawali dengan kegiatan pengamatan secara langsung. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai rata-rata keterlaksanaan guru saat mengajar di kelas dengan menggunakan model pembelajaran *Inquiry Based Learning* dengan bantuan infografis interaktif sebesar 88,5% dan bisa dikategorikan sangat baik. Langkah-langkah model pembelajaran *Inquiry Based Learning* dengan bantuan infografis interaktif sudah dilakukan oleh guru secara keseluruhan. Pelaksanaan pembelajaran pada pertemuan pertama terjadi sedikit hambatan dalam menerapkan model pembelajaran *Inquiry Based Learning*. Hambatan tersebut terjadi karena beberapa siswa kurang berpartisipasi aktif dan kurangnya peserta didik dalam melakukan eksplorasi

mandiri. Saat pelaksanaan pembelajaran sebagian peserta didik juga masih malu-malu untuk mengungkapkan gagasannya (C.-T. Wen et al., 2020).

Dalam pertemuan kedua secara perlahan peserta didik sudah mulai aktif dan berani mengungkapkan gagasannya serta mulai memahami alur- alur model pembelajaran *Inquiry Based Learning*. Masing-masing kelompok sudah mampu untuk melakukan percobaan dengan baik serta meningkatnya kekompakan saat menyelesaikan masalah dengan teman- temannya. diketahui bahwa nilai rata-rata aktivitas peserta didik saat mengajar di kelas dengan menggunakan model pembelajaran *Inquiry Based Learning* dengan bantuan infografis interaktif sebesar 86% dan bisa dikategorikan sangat baik. Langkah-langkah model pembelajaran *Inquiry Based Learning* dengan bantuan infografis interaktif sudah dilaksanakan dengan baik oleh peserta didik secara keseluruhan. Pelaksanaan pembelajaran di pertemuan pertama pada penerapan infografis interaktif ini berjalan lancar dan tidak ada sedikit hambatan dikarenakan peserta didik fokus mendengarkan intruksi dari peneliti dan sudah terbiasa menggunakan pembelajaran digital melalui online dan lain sebagainya (Harahap, 2024).

Dalam pertemuan ke dua secara perlahan peserta didik sudah mulai lebih lancar lagi tanpa mengulangi instruksi cara penggunaan infografis dari peneliti, serta mulai memahami fitur dan penggunaan pada infografis interaktif ini. Di sisi lain masing-masing kelompok juga sudah mampu untuk memecahkan permasalahan dari soal pada infografis interaktif ini. Masing-masing kelompok sudah mampu melakukan percobaan dengan baik serta meningkatnya kekompakan saat menyelesaikan masalah dengan teman-temannya. Peneliti melanjutkan pengambilan data di dua kelas yaitu kelas VII D untuk kelas eksperimen dan VII E untuk kelas kontrol, dalam penelitian ini, sebelum peneliti melakukan proses belajar mengajar terlebih dahulu peneliti memberikan pre test untuk mengetahui kemampuan awal pemahaman konsep peserta didik. Jika kedua kelas telah diberi perlakuan sesuai dengan model pembelajaran yang telah ditentukan, maka selanjutnya peserta didik diberikan posttes. Soal untuk Pretes dan posttes yang diberikan ke peserta didik sejumlah 16 butir soal kuisioner. Instrumen keyakinan epistemik terdiri atas 16 butir pernyataan yang telah diuji validitas dan reliabilitasnya. Hasil uji validitas menunjukkan seluruh butir memiliki nilai r hitung lebih besar daripada r tabel (0,349), sehingga seluruh 16 butir dinyatakan valid dan digunakan dalam pengambilan data penelitian (Putri, 2024). Berikut hasil tabel statistik:

Tabel 2. Tabel Hasil Statistik Deskriptif Efektivitas Pembelajaran Pada Peserta Didik

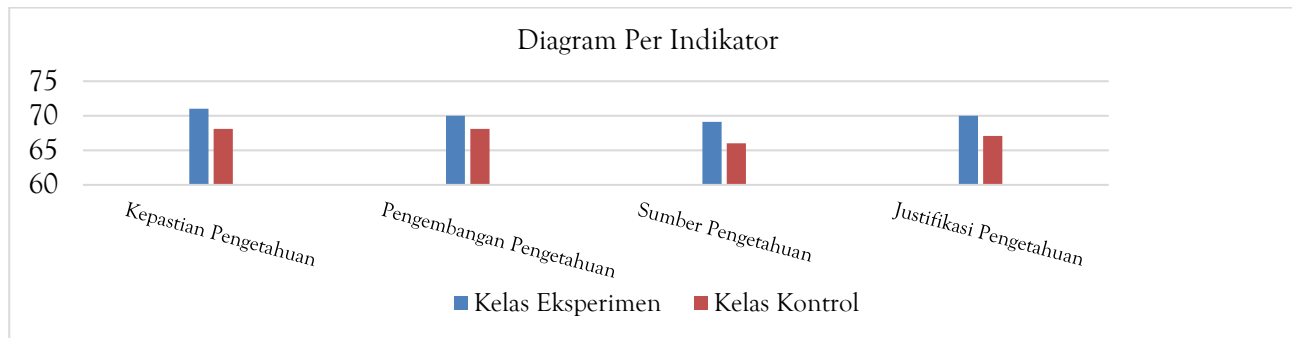
Hasil Tes	N	Skor Minimum	Skor Maximum	Mean	Varians	Standart Deviasi
Pre-Test Eksperimen	30	46,38	76,56	63,54	67,23	8,19
Post-Test Eksperimen	30	48,44	81,25	70,05	71,23	8,44
Pre-Test Kontrol	30	46,88	76,56	63,64	67,33	8,20
Post-Test Kontrol	30	46,88	81,25	67,34	62,69	7,91

Berdasarkan tabel 2 Data hasil penelitian diketahui bahwa nilai rata-rata keyakinan epistemik kelas eksperimen yang menggunakan model pembelajaran *Inquiry Based Learning* dengan bantuan Infografis interaktif pada pre-test memperoleh skor terendah 46,38 sedangkan skor tertinggi 76,56 dengan skor rata-rata 63,54, variansi 67,23 dan standart deviasi 8,19. Hasil post-test yang diperoleh kelas eksperimen yang menggunakan model pembelajaran *Inquiry Based Learning* dengan bantuan infografis interaktif diperoleh skor terendah yaitu 48,44, skor tertinggi 81,25, rata-rata 70,05, variansi 71,23 dan standart deviasi 8,44.

Hasil pada kelas kontrol yang menggunakan model pembelajaran *direct Instruction* nilai pre test diperoleh skor terendah 46,88, skor tertinggi 76,56, rata-rata 63,64, variansi 67,33, dan standar deviasi 8,20. Untuk nilai post test pada kelas kontrol diperoleh skor terendah 46,88, skor tertinggi 81,25, rata rata 67,34, variansi 62,69 dan standart deviasi 7,91.

Keyakinan epistemik ini di bangun serta dinilai berdasarkan empat indikator, yaitu kepastian pengetahuan, pengembangan pengetahuan, sumber pengetahuan, justifikasi pengetahuan. Berdasarkan hasil penelitian, menunjukkan kecenderungan peningkatan positif terhadap seluruh indikator keyakinan epistemik siswa. Melalui proses inkuiri, siswa mulai memahami bahwa pengetahuan ilmiah dapat berkembang dan berubah berdasarkan bukti, diperoleh dari berbagai sumber yang dapat dipercaya, serta perlu didukung oleh alasan dan data yang logis. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri yang didukung infografis interaktif mampu membantu siswa membangun pemahaman yang lebih baik mengenai hakikat pengetahuan

ilmiah (Sidik & Wulan, 2025). Perolehan skor masing-masing indikator kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan dalam diagram berikut.



Gambar 1. Hasil Diagram Nilai Dari Per Indikator

Berdasarkan gambar 1 dapat dilihat bahwa skor rata-rata per indikator keyakinan epistemik peserta didik kelas eksperimen lebih tinggi daripada kelas kontrol pada setiap indikatornya. Pada indikator pertama yaitu kepastian pengetahuan skor rata-rata kelas kontrol yaitu 68,12 sedangkan kelas eksperimen 71,04. Pada indikator ke dua yaitu Pengembangan pengetahuan skor rata-rata kelas kontrol adalah 68,12 sedangkan kelas eksperimen 70. Pada indikator ke tiga, yaitu Sumber pengetahuan skor rata-rata kelas kontrol adalah 66,04 sedangkan kelas eksperimen 69,10. Pada indikator terakhir yaitu Justifikasi pengetahuan rata-rata pada kelas kontrol adalah 67,08 sedangkan pada kelas eksperimen adalah 70,00. Secara keseluruhan rata-rata masing-masing indikator keyakinan epistemik kelas eksperimen yang menggunakan model pembelajaran inquiry based learning dengan bantuan infografis interaktif lebih tinggi dari pada kelas kontrol yang menggunakan model pembelajaran *direct instruction* (JOKO, 2025).

Peneliti melanjutkan pencarian hasil yang mendalam dengan melakukan uji asumsi yaitu uji normalitas dan uji homogenitas dengan memakai SPSS 25. Untuk uji normalitas diketahui peneliti menggunakan Kolmogorov Smirnov bahwa nilai signifikansi keyakinan epistemik pada *pretest* kelas eksperimen sebesar 0,200 dan *posttest* kelas eksperimen sebesar 0,180 sedangkan *pretest* kelas kontrol sebesar 0,200 dan *posttest* kelas kontrol sebesar 0,200. Jika nilai signifikansi lebih dari 0,05 maka data tersebut dikatakan normal. Hal ini menunjukkan bahwa data pada kelas eksperimen dan kelas kontrol terdistribusi normal. Sedangkan untuk uji homogenitas diketahui bahwa nilai signifikansi kelas eksperimen dan kelas kontrol sebesar 0,744. Nilai signifikansi kelas eksperimen dan kelas kontrol lebih besar dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa data pada kelas eksperimen dan kelas kontrol homogen (Nasution, 2023).

Berikutnya peneliti melakukan uji hipotesis dengan uji T Independent. setelah mendapatkan data reliabel dan valid maka dilakukan dengan uji t. Uji t pada penelitian ini dengan menggunakan bantuan SPSS 25. Berikut ini hasil dari uji T Independent:

Tabel 3. Tabel Hasil uji Hipotesis menggunakan Independent samples Test

Group Statistics						
	Kelas	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	
Epistemik	Post_Eksperimen	30	70.05	8.440	1.541	
	Post_Kontrol	30	67.34	7.918	1.446	
Independent Samples Test						
Kelompok	N	Mean	SD	t	df	Sig. (2-tailed)
Eksperimen (Post)	30	70,05	8,44	1,282	58	0,205
Kontrol (Post)	30	67,34	7,92			

Berdasarkan tabel 3 diatas diperoleh nilai sig. (2 tailed) sebesar $0,205 > 0,05$, maka dapat disimpulkan Hasil uji independent sample t-test menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol dalam peningkatan keyakinan epistemik siswa ($p = 0,205 > 0,05$). Dengan demikian, secara statistik model Inquiry-Based Learning berbantuan infografis interaktif belum dapat dinyatakan lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional. Sedangkan untuk mengukur efektivitas peneliti menggunakan uji Cohen d'size, Berikut hasilnya:

The screenshot shows a web-based statistical calculator. It has two columns for 'Group 1' and 'Group 2'. Each column has input fields for 'Mean (M)', 'Standard deviation (s)', and 'Sample size (n)'. Below the inputs are 'Calculate' and 'Reset' buttons. A 'Success!' message is displayed, followed by the calculated Cohen's d value: $Cohen's\ d = (70.05 - 63.54) / 8.320865 = 0.782371$.

Group	Mean (M)	Standard deviation (s)	Sample size (n)
Group 1	63.54	8.200	30
Group 2	70.05	8.440	30

Success!
Cohen's $d = (70.05 - 63.54) / 8.320865 = 0.782371$.

Gambar 2. Hasil Diagram Nilai Dari Per Indikator

Penghitungan uji cohen d'size kelas eksperimen diperoleh sebesar 0,78 yang masuk kriteria mendekati besar yaitu lebih besar dari > 0,20.

The screenshot shows a web-based statistical calculator. It has two columns for 'Group 1' and 'Group 2'. Each column has input fields for 'Mean (M)', 'Standard deviation (s)', and 'Sample size (n)'. Below the inputs are 'Calculate' and 'Reset' buttons. A 'Success!' message is displayed, followed by the calculated Cohen's d value: $Cohen's\ d = (67.34 - 63.65) / 8.063286 = 0.45763$.

Group	Mean (M)	Standard deviation (s)	Sample size (n)
Group 1	63.65	8.206	30
Group 2	67.34	7.918	30

Success!
Cohen's $d = (67.34 - 63.65) / 8.063286 = 0.45763$.

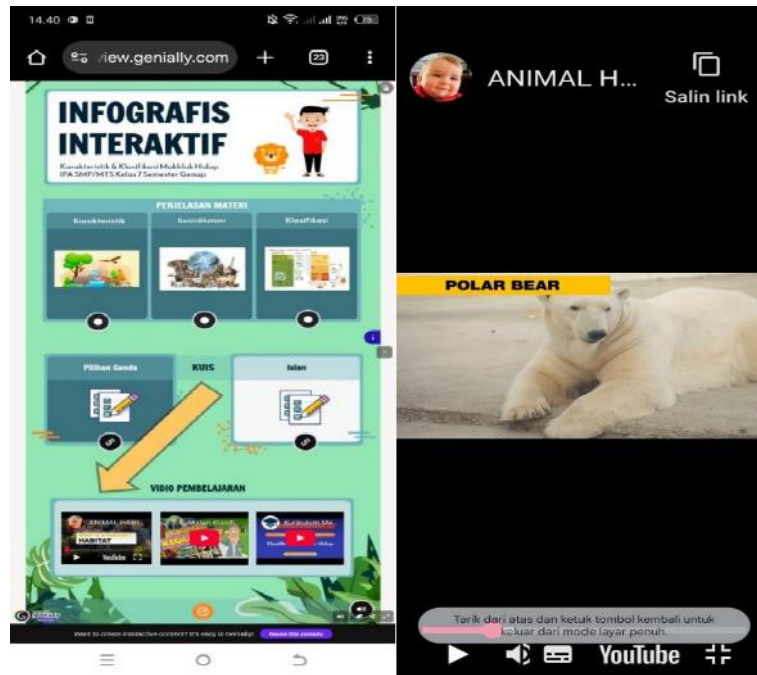
Gambar 3. Hasil Diagram Nilai Dari Per Indikator

Penghitungan uji cohen d'size kelas kontrol diperoleh sebesar 0,45 yang masuk kriteria sedang yaitu lebih besar dari > 0,20, Pembelajaran dengan model *Inquiry Based Learning* (IBL) yang dibantu infografis interaktif dilaksanakan di kelas VII D SMPN 2 Ponorogo selama dua pertemuan pada materi karakteristik dan klasifikasi makhluk hidup. Kegiatan pembelajaran diawali dengan tahap persiapan oleh guru seperti menyusun modul ajar, LKPD, media, serta soal pre dan post test. Proses pembelajaran mengacu pada enam sintaks IBL yaitu orientasi, merumuskan masalah, merumuskan hipotesis, mengumpulkan data, menguji hipotesis, dan merumuskan kesimpulan. Dalam pelaksanaannya, guru berperan sebagai fasilitator yang membantu peserta didik membangun pemahaman melalui pengamatan dan analisis kritis (Depin et al., 2024).

Pada pertemuan pertama, pembelajaran berfokus pada ciri-ciri makhluk hidup. Guru memulai dengan apersepsi dan motivasi, kemudian memberikan pretest dan melanjutkan ke tahap inti pembelajaran. Peserta didik diajak menonton video interaktif, mengamati makhluk hidup di sekitar sekolah, dan mencatat hasil pengamatan dalam kelompok. Meski berjalan sangat baik dengan keterlaksanaan mencapai 84%, masih terdapat kendala seperti siswa yang malu mengungkapkan pendapat dan kurangnya kekompakan kelompok. Hal ini berpotensi menghambat diskusi dan pemecahan masalah, meskipun keseluruhan sintaks IBL telah diimplementasikan dengan baik (Soekarman, 2021).

Pada pertemuan kedua, fokus pembelajaran adalah sistem klasifikasi makhluk hidup. Aktivitas peserta didik semakin meningkat; mereka mulai aktif bertanya, berdiskusi, dan menunjukkan pemahaman terhadap alur pembelajaran IBL. Guru menampilkan video interaktif, memberikan sampel klasifikasi, serta membimbing proses analisis dan penyimpulan. Evaluasi menunjukkan keterlaksanaan pembelajaran mencapai 93%, yang menunjukkan peningkatan signifikan dari pertemuan sebelumnya. Rata-rata keterlaksanaan dari dua pertemuan adalah 88,5% (kategori sangat baik), membuktikan bahwa model IBL dengan infografis interaktif efektif dalam mendorong partisipasi aktif dan pengembangan kemampuan berpikir kritis siswa, sebagaimana didukung oleh hasil penelitian sebelumnya (Mellita & Rosita, 2019).

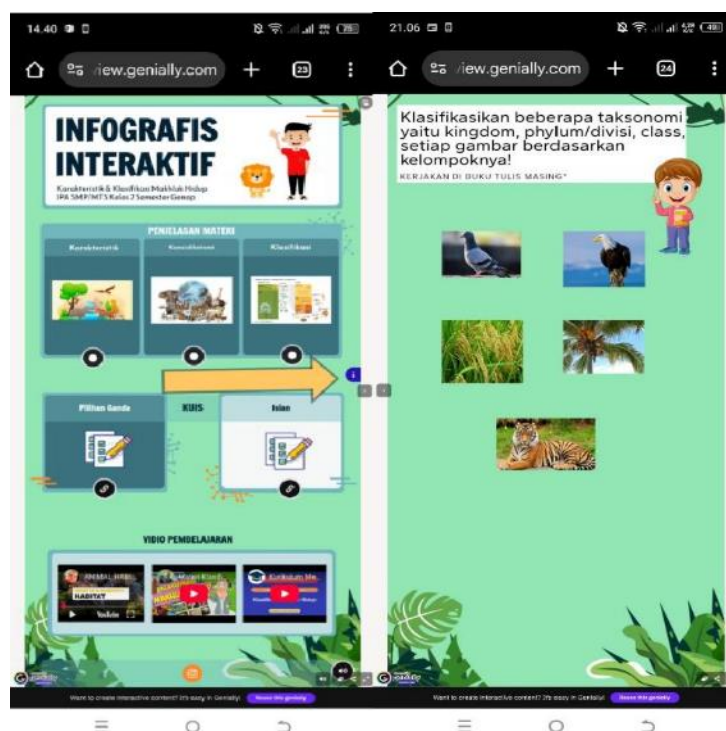
Aktivitas peserta didik dalam pembelajaran dengan model *Inquiry Based Learning* (IBL) yang dibantu infografis interaktif menunjukkan hasil yang sangat baik, dengan rata-rata persentase aktivitas mencapai 86%. Siswa tampak lebih aktif mengikuti proses pembelajaran karena kegiatan berpusat pada eksplorasi (Y. Wen et al., 2024), diskusi, dan pemecahan masalah berbasis media visual. Infografis interaktif digunakan untuk menyampaikan materi melalui video dan gambar, sehingga mempermudah pemahaman konsep ilmiah. Proses ini mendorong keterlibatan peserta didik dalam kegiatan seperti menjawab pertanyaan pemantik, mengerjakan pretest, menyusun hipotesis, serta melakukan pengamatan langsung atau melalui media visual. Pada pertemuan pertama, siswa diajak mengamati ciri-ciri makhluk hidup melalui video di infografis, Berikut ini tampilan Infografis Interaktif:



<https://view.genially.com/674274e51f46abff558a32d1/interactive-content-infografis-interaktif-ipa>

Gambar 4. Tahapan Membuka Video Pembelajaran

Berikutnya menyusun hipotesis dan mengumpulkan data dari lingkungan sekitar sekolah. Mereka bekerja dalam kelompok untuk mencatat hasil observasi, membandingkan data dengan hipotesis, dan menyimpulkan hasil diskusi. Hal serupa dilakukan pada pertemuan kedua, dengan fokus pada sistem klasifikasi makhluk hidup. Peserta didik mengamati gambar sampel dari infografis. Berikut ini tampilan Infografis Interaktif tersebut:



Gambar 5. Tahapan Membuka Tugas Pengamatan Klasifikasi

Berikutnya menyusun pertanyaan dan dugaan awal, lalu mencocokkannya dengan sistem klasifikasi yang dipelajari. Setiap tahap Inquiry dilaksanakan dengan panduan guru dan media infografis interaktif yang mendukung proses berpikir kritis dan kolaboratif (Nachtigall & Firstein, 2024).

Penggunaan IBL dengan bantuan infografis interaktif tidak hanya meningkatkan keaktifan siswa, tetapi juga membangun keterampilan berpikir kritis, kemampuan observasi, dan pemahaman konseptual yang lebih

mendalam. Media ini membantu siswa belajar secara mandiri dan memahami informasi dengan cara yang lebih menyenangkan dan visual. Kegiatan seperti diskusi, kerja kelompok, dan presentasi hasil pengamatan tidak hanya membuat siswa lebih tertarik, tetapi juga mendukung peningkatan keyakinan epistemik mereka terhadap pengetahuan ilmiah. Dengan demikian, pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas pembelajaran IPA di kelas (Kumalasari et al., 2023).

Penelitian menunjukkan bahwa secara statistik tidak terdapat perbedaan signifikan antara kelas eksperimen yang menggunakan model *Inquiry-Based Learning* (IBL) dengan bantuan infografis interaktif dan kelas kontrol yang menggunakan *Direct Instruction* dalam meningkatkan keyakinan epistemik. Namun, aktivitas belajar peserta didik di kelas eksperimen lebih tinggi, terlihat dari antusiasme dan semangat mereka selama proses pembelajaran. Pendekatan IBL menciptakan lingkungan belajar yang aktif, di mana siswa belajar mengeksplorasi dan memecahkan masalah secara mandiri, mendukung suasana kelas yang hidup dan menyenangkan (Guo et al., 2022).

Pembelajaran kolaboratif dalam model IBL membantu memperkuat keyakinan epistemik karena peserta didik saling berdiskusi dan belajar bersama. Di sisi lain, infografis interaktif memperkuat pemahaman siswa melalui visualisasi materi yang menarik dan mudah dipahami. Media ini tidak hanya memperjelas konsep tetapi juga mendukung pembelajaran berbasis penyelidikan dengan memfasilitasi eksplorasi dan pertanyaan kritis (Dorji & Namgyel, 2024). Infografis memungkinkan siswa menghubungkan pengetahuan dengan bukti dan justifikasi ilmiah, membangun kesadaran bahwa pengetahuan bersifat dinamis dan dapat berubah (Maulidiyah, 2020).

Meskipun hasil uji-t menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan, uji *paired t-test* memperlihatkan adanya peningkatan skor pretest dan posttest baik pada kelas eksperimen maupun kontrol. Berikut ini hasil dari uji paired sample t test:

Tabel 4. Tabel Hasil Statistik Deskriptif Efektivitas Pembelajaran Pada Peserta Didik

		Paired Samples Statistics							
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean				
Pair 1	PREEKS	63.54	30	8.200	1.497				
	POSEKS	70.05	30	8.440	1.541				
Pair 2	PREKON	63.65	30	8.206	1.498				
	POSKON	67.34	30	7.918	1.446				
		Paired Samples Correlations							
			N	Correlation	Sig.				
Pair 1	PREEKS & POSEKS		30	.466	.009				
Pair 2	PREKON & POSKON		30	.401	.028				
		Paired Samples Test							
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	PREEKS - POSEKS	-6.510	8.598	1.570	-9.721	-3.300	-4.147	29	.000
Pair 2	PREKON - POSKON	-3.698	8.824	1.611	-6.993	-.403	-2.295	29	.029

Berdasarkan pada tabel 4, pair 1 paired samples test bahwa diperoleh nilai sig. (2 tailed) sebesar $0,000 < 0,05$ maka dapat disimpulkan ada perbedaan rata-rata atau peningkatan hasil belajar peserta didik untuk *pretest* kelas eksperimen dan *posttest* kelas eksperimen (*Inquiry Based Learning*). Sedangkan pada tabel pair 2 paired samples test bahwa diperoleh nilai sig. (2 tailed) sebesar $0,029 < 0,05$ maka dapat disimpulkan ada perbedaan rata-rata atau peningkatan hasil belajar peserta didik untuk *pretest* kelas kontrol dan *posttest* kelas kontrol (*Direct Instruction*).

Dengan hasil tersebut menandakan bahwa faktor peningkatan tidak semata-mata berasal dari model pembelajaran, melainkan juga dari peran guru dalam membimbing proses belajar. Salah satu penyebab tidak signifikannya perbedaan antar kelas adalah durasi intervensi yang singkat. Perubahan keyakinan epistemik

mebutuhkan waktu dan pengalaman reflektif yang berkelanjutan agar dapat memberikan hasil yang nyata (Schiefer et al., 2020).

Faktor lain yang memengaruhi hasil adalah tingkat literasi sains peserta didik yang berbeda-beda. Peserta dengan literasi rendah kesulitan memahami konsep abstrak dan menghubungkannya dengan bukti empiris, sehingga efektivitas infografis dan IBL tidak dapat dirasakan merata. Hasil penelitian menunjukkan indikator keyakinan epistemik seperti kepastian pengetahuan dan sumber pengetahuan masih tergolong rendah, karena banyak siswa masih mengandalkan guru dan buku teks tanpa mempertanyakan keabsahan informasi (Soysal, 2024). Ini menegaskan perlunya pendekatan yang mendorong refleksi dan investigasi mendalam (Irwan, 2020).

Meskipun tidak signifikan secara statistik, uji *effect size* menunjukkan nilai 0,78 (kategori sedang), Berikut tabel hasil uji *cohen effect d* size:

Group 1	Group 2
Mean (M): 63.54	Mean (M): 70.05
Standard deviation (s): 8.200	Standard deviation (s): 8.440
Sample size (n): 30	Sample size (n): 30

Success!

Cohen's d = (70.05 - 63.54) / 8.320865 = 0.782371.

Gambar 6. Tahapan Membuka Tugas Pengamatan Klasifikasi

Diketahui dengan hasil tersebut yang mengindikasikan bahwa model IBL dengan infografis interaktif memiliki pengaruh praktis yang cukup kuat dalam membangun keyakinan epistemik. Faktor penentu utama keberhasilan justru adalah peran guru yang aktif, membimbing diskusi reflektif dan mengaitkan materi dengan konteks kehidupan nyata (Lameras et al., 2021). Dengan pendekatan berkelanjutan, adaptif, dan reflektif serta peran guru yang strategis, model IBL dan infografis interaktif memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas pembelajaran dan penguatan keyakinan epistemik siswa (Correia & Harrison, 2020).

SIMPULAN

Penerapan model pembelajaran *Inquiry-Based Learning* (IBL) berbantuan infografis interaktif pada siswa kelas VII SMPN 2 Ponorogo terbukti belum efektif dalam meningkatkan keyakinan epistemik siswa, meskipun secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol ($\text{sig. } 0,205 > 0,05$). Rata-rata skor *posttest* kelas eksperimen (70,05) lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol (67,34), dan peningkatan ini diperkuat oleh nilai *effect size* Cohen's d sebesar 0,78 yang termasuk mendekati kategori besar mengindikasikan pengaruh praktis yang cukup kuat dari model IBL berbantuan infografis interaktif. Selain itu, keterlaksanaan pembelajaran oleh guru mencapai 88,5% dan aktivitas siswa sebesar 86%, keduanya berkategori sangat baik, yang menunjukkan bahwa seluruh sintaks IBL mulai dari orientasi, perumusan masalah, penyusunan hipotesis, pengumpulan data, pengujian hipotesis, hingga penarikan kesimpulan telah terlaksana dengan optimal. Keempat indikator keyakinan epistemik, yakni kepastian pengetahuan, pengembangan pengetahuan, sumber pengetahuan, dan justifikasi pengetahuan, semuanya menunjukkan skor rata-rata yang lebih tinggi pada kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol, sehingga dapat disimpulkan bahwa model IBL berbantuan infografis interaktif mampu mendorong pembelajaran IPA yang lebih aktif, reflektif, dan berbasis bukti dalam menumbuhkan keyakinan epistemik siswa. Penelitian ini berfokus pada pengujian efektivitas pembelajaran *Inquiry-Based Learning* berbantuan infografis interaktif sebagai suatu pembelajaran terpadu. Oleh karena itu, hasil penelitian merepresentasikan pengaruh kombinasi model pembelajaran dan media yang digunakan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan media pembelajaran yang sama pada kedua kelas tersebut untuk memperoleh gambaran yang lebih spesifik mengenai kontribusi masing-masing komponen pembelajaran terhadap keyakinan epistemik siswa.

Daftar Pustaka

- Abdurroziq, A. (2025). *Analisis Model Inquiry Based Learning (IBL) Dalam Pembelajaran Rumpun Pendidikan Agama Islam (PAI) di ma Minat Kesugihan dan Man 3 Cilacap*. Universitas Islam Negeri Saifuddin Zuhri (Indonesia).
- Adha, R. (2024). *Penerapan model pembelajaran inquiry based learning untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis*

- siswa pada pembelajaran IPA di Kelas V SDN 200208 Padangsidempuan. UIN Syekh Ali Hasan Ahmad Addary Padangsidempuan.
- Correia, C. F., & Harrison, C. (2020). Teachers' beliefs about inquiry-based learning and its impact on formative assessment practice. *Research in Science & Technological Education*, 38(3), 355–376.
- Depin, Nurwahid, H., Yohanes Sulla, F., & Barella, Y. (2024). Inquiry Learning: Pengertian, Sintaks Dan Contoh Implementasi Di Kelas. *Indonesian Journal on Education and Learning*, 1(2), 39–43.
- Dorji, K., & Namgyel, T. (2024). Bhutanese Primary Science Teachers' Epistemic Beliefs of Science. *Science & Education*, 1–18.
- Gunawan, G., Harjono, A., Kosim, K., Zainuri, B. N. S., & Qothrunnada, Q. (2025). Multimodal approaches in problem-based, project-based, and inquiry-based learning models in science education: A systematic literature review. *Indonesian Journal of STEM Education*, 7(1), 1–17.
- Guo, X., Hao, X., Deng, W., Ji, X., Xiang, S., & Hu, W. (2022). The relationship between epistemological beliefs, reflective thinking, and science identity: a structural equation modeling analysis. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 40.
- Harahap, R. (2024). *Perbandingan model pembelajaran inquiry learning dan problem based learning terhadap hasil belajar siswa Kelas VIII di MTs Negeri 1 Padangsidempuan*. UIN Syekh Ali Hasan Ahmad Addary Padangsidempuan.
- Irwan, A. P. (2020). Analisis Kemampuan Literasi Sains Peserta Didik Ditinjau Dari Kemampuan Menyelesaikan Soal Fisika Di Sman 2 Bulukumba. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 15(3), 17–24. <https://doi.org/10.35580/jspf.v15i3.13494>
- JOKO, S. (2025). PENGEMBANGAN INSTRUMEN ASESMEN DIAGNOSTIK KOGNITIF BESERTA LKPD BERDIFERENSIASI KOGNITIF UNTUK MENGUKUR SERTA MENINGKATKAN KEMAMPUAN SCIENTIFIC LITERACY PADA PELAJARAN IPAS FASE B KURIKULUM MERDEKA. UNIVERSITAS LAMPUNG.
- Kumalasari, S., Yanti, N. A., & Tenggara, S. (2023). PENGARUH MODEL GUIDED INQUIRY LEARNING BERBANTUAN MEDIA FLASH CARD TERHADAP KETERAMPILAN OBSERVASI DAN PEMAHAMAN THE EFFECT OF GUIDED INQUIRY LEARNING ASSISTED BY FLASH CARD MEDIA ON STUDENT ' S OBSERVATION SKILLS AND CONCEPTUAL UNDERSTANDING OF ANIMALIA . 5(1), 22–33.
- Lameras, P., Arnab, S., De Freitas, S., Petridis, P., & Dunwell, I. (2021). Science teachers' experiences of inquiry-based learning through a serious game: a phenomenographic perspective. *Smart Learning Environments*, 8(1), 7.
- Lunn, J., Ferguson, L. E., Scholes, L., McDonald, S., Stahl, G., Comber, B., & Mills, R. (2021). Middle school students' science epistemic beliefs: Implications for measurement. *International Journal of Educational Research*, 105, Article-number.
- Magdalena, I., Fatakhatus Shodikoh, A., Pebrianti, A. R., Jannah, A. W., Susilawati, I., & Tangerang, U. M. (2021). Pentingnya Media Pembelajaran Untuk Meningkatkan Minat Belajar Siswa Sdn Meruya Selatan 06 Pagi. *EDISI : Jurnal Edukasi Dan Sains*, 3(2), 312–325. <https://ejournal.stitpn.ac.id/index.php/edisi>
- Maulidiyah, F. N. (2020). Media pembelajaran multimedia interaktif untuk anak tunagrahita ringan. *Jurnal Pendidikan*, 29(2), 93–100.
- Mellita, S. A., & Rosita, L. (2019). Pengaruh model pembelajaran inquiry based learning terhadap kemampuan berpikir kritis siswa pada mata pelajaran geografi. 3, 70–79.
- Nachtigall, V., & Firstein, A. (2024). Exploring the impact of authentic learning activities on school students' epistemic beliefs in the social sciences and humanities. *European Journal of Psychology of Education*, 39(4), 3351–3379.
- Nasution, Z. R. (2023). Pengaruh model pembelajaran Think Pair Share (TPS) berbantuan stik aljabar terhadap kemampuan pemecahan masalah matematika pada materi operasi hitung aljabar di Kelas VII SMP Islam Terpadu Alhusnayain Kecamatan Panyabungan. UIN Syekh Ali Hasan Ahmad Addary Padangsidempuan.

- Pratama, F. I. (2025). PENGARUH MODEL GUIDED INQUIRY LEARNING BERBASIS PhET SIMULATIONS TERHADAP KEMAMPUAN LITERASI SAINS PESERTA DIDIK KELAS V SD MATA PELAJARAN IPAS.
- Prihastuty, D. R. (2023). BAB VIII SAMPLING. PENGANTAR, 97.
- Putri, D. S. (2024). PENGARUH PENGGUNAAN MEDIA PEMBELAJARAN VISUAL INFOGRAFIS TIMELINE TERHADAP HASIL BELAJAR KOGNITIF SISWA PADA PEMBELAJARAN SEJARAH KELAS XI IPS 10 DI SMAN 13 BANDAR LAMPUNG TAHUN PELAJARAN 2023/2024.
- Rahman, N. A. (2024). *Kendala Guru dalam Mewujudkan Lingkungan Belajar yang Kondusif pada Sekolah Penggerak*. Universitas Jambi.
- Ramdani, A., Jufri, A. W., Jamaluddin, J., & Setiadi, D. (2020). Kemampuan Berpikir Kritis dan Penguasaan Konsep Dasar IPA Peserta Didik. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 6(1), 119–124. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v6i1.388>
- Rista, I., Nelson, N., & Amrullah, A. (2025). *Strategi Guru PAI dalam Meningkatkan Motivasi Belajar Peserta Didik pada Kurikulum Merdeka di SMPN 4 Rejang Lebong*. Institut Agama Islam Negeri Curup.
- Safitri, E., & Fadly, W. (2024). Pemahaman Siswa Terhadap Keyakinan Epistemik dan Implementasi Pada Materi Bencana Alam Berbasis Socio-Scientific Issue. *Jurnal Tadris IPA Indonesia*, 04(01), 127–140.
- Schiefer, J., Golle, J., Tibus, M., Herbein, E., Gindele, V., Trautwein, U., & Oschatz, K. (2020). Effects of an extracurricular science intervention on elementary school children's epistemic beliefs: A randomized controlled trial. *British Journal of Educational Psychology*, 90(2), 382–402.
- Seneviratne, K., Hamid, J. A., Khatibi, A., Azam, F., & Sudasinghe, S. (2019). Multi-faceted professional development designs for science teachers' self-efficacy for inquiry-based teaching: a critical review. *Universal Journal of Educational Research*, 7(7), 1595–1611.
- Sidik, R. M., & Wulan, A. R. (2025). Penilaian Epistemik dalam Pendidikan: Kajian Sistematis Terhadap Pengembangan dan Validasi Asesmen. *SEMNASFIP*, 2(2).
- Soekarman. (2021). *Implementasi Pembelajaran Fisika Pokok Bahasan Elastisitas Melalui Inquiry Based Learning di SMA Negeri 2 Donggo*. 8(2), 197–209.
- Soysal, Y. (2024). Drawing a Portrayal of Science Teachers' Epistemic Cognitions Around Different Concepts Characterizing Science Education. *Science & Education*, 1–44.
- Suyatmo, S., Yustitia, V., Santosa, T. A., Fajriana, F., & Oktawati, U. Y. (2023). Effectiveness of the Inquiry Based Learning Model Based on Mobile Learning on Students' Creative Thinking Skills: A Meta-Analysis. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(9), 712–720. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i9.5184>
- Tabuenca, B., Serrano-Iglesias, S., Martin, A. C., Villa-Torrano, C., Dimitriadis, Y., Asensio-Pérez, J. I., Alario-Hoyos, C., Gómez-Sánchez, E., Bote-Lorenzo, M. L., & Martinez-Mones, A. (2021). Affordances and core functions of smart learning environments: A systematic literature review. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 14(2), 129–145.
- Wang, H.-H., Hong, Z.-R., She, H.-C., Smith, T. J., Fielding, J., & Lin, H. (2022). The role of structured inquiry, open inquiry, and epistemological beliefs in developing secondary students' scientific and mathematical literacies. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 14.
- Wen, C.-T., Liu, C.-C., Chang, H.-Y., Chang, C.-J., Chang, M.-H., Chiang, S.-H. F., Yang, C.-W., & Hwang, F.-K. (2020). Students' guided inquiry with simulation and its relation to school science achievement and scientific literacy. *Computers & Education*, 149, 103830.
- Wen, Y., Lai, C., He, S., Cai, Y., Looi, C. K., & Wu, L. (2024). Investigating primary school students' epistemic beliefs in augmented reality-based inquiry learning. *Interactive Learning Environments*, 32(9), 5355–5372.
- Wen, Y., Wu, L., He, S., Ng, N. H. E., Teo, B. C., Looi, C. K., & Cai, Y. (2023). Integrating augmented reality into inquiry-based learning approach in primary science classrooms. *Educational Technology Research and Development*, 71(4), 1631–1651. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10235-y>